

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

**TIAGO MADALOSSO**

**BALANÇO E EFICIÊNCIA DE USO DE NUTRIENTES EM SISTEMAS  
DE PRODUÇÃO DE GRÃOS NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2015**

TIAGO MADALOSSO

**BALANÇO E EFICIÊNCIA DE USO DE NUTRIENTES EM SISTEMAS DE  
PRODUÇÃO DE GRÃOS NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de mestre científico.

Orientador: Maria do Carmo Lana

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2015**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR., Brasil)

M178b	Madalosso, Tiago Balanço e eficiência de uso de nutrientes em sistemas de produção de grãos na região oeste do Paraná / Tiago Madalosso. - Marechal Cândido Rondon, 2015. 112 p.
	Orientador: Dr. Maria do Carmo Lana
	Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2015.
	1. Fertilizantes orgânicos. 2. Sucessão de culturas. I. Lana, Maria do Carmo. II. Título.
	CDD 22.ed. 631.86 CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborado por Marcia Elisa Sbaraini Leitzke CRB-9/539

**TIAGO MADALOSSO**

**BALANÇO E EFICIÊNCIA DE USO DE NUTRIENTES EM SISTEMAS DE  
PRODUÇÃO DE GRÃOS NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ**

Dissertação de mestrado  
apresentada à Universidade Estadual do  
Oeste do Paraná, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia, para obtenção  
do título de Magister Scientiae.

APROVADA em: 26 de agosto de 2015

---

Prof. Dr. Alfredo Richart  
(PUC)

---

Pesq. Dr. Leandro Rampim  
(Unioeste)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr. Edleusa Pereira Seidel  
(Unioeste)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr. Maria do Carmo Lana  
(Orientadora)  
(Unioeste)

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, sabedoria e saúde que possibilitaram essa conquista.

A meus pais, Valdir e Ivanira, por ensinarem o valor do trabalho, da humildade, à nunca desistir dos objetivos e pelo apoio incondicional na minha formação.

À minha namorada por compreender minha dedicação ao mestrado.

À Prof<sup>a</sup>. Dra<sup>a</sup>. Maria do Carmo Lana, minha orientadora, por me aceitar, entender as minhas dificuldades, pelo aprendizado e pela condução durante o mestrado.

À Cooperativa Agroindustrial Consolata (Copacol), pela visão do valor de profissionalizar seus colaboradores, por acreditar no meu potencial, por investir e permitir que dedicasse parte do meu tempo de trabalho para presenciar as aulas durante a minha formação.

À equipe do Centro de Pesquisa Agrícola da Copacol pelo auxílio na condução e avaliação do experimento.

À Jucenei Fernando Frandoloso por me auxiliar com as análises de tecido.

A todos os colegas e professores da Pós-Graduação em Agronomia.

*Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes.*

(Albert Einstein)

## RESUMO

MADALOSSO, Tiago, M.S., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Agosto – 2015. **Balanço e eficiência de uso de nutrientes em sistemas de produção de grãos na região oeste do Paraná.** Orientador: Maria do Carmo Lana.

No Brasil é possível o cultivo de duas ou mais safras de grãos por ano, porém há evidências de que o cultivo em sistema plantio direto apenas com culturas comerciais tem resultado na degradação do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o balanço e eficiência de utilização de N, P e K, o efeito sobre as propriedades químicas do solo e variáveis biométricas das culturas em sistemas de produção de grãos na região oeste do Paraná, englobando diferentes adubações e sucessões de culturas. O experimento foi delineado em blocos ao acaso com arranjo dos tratamentos em parcelas divididas, com quatro repetições. Nas parcelas foram instaladas as sucessões de inverno (5), trigo, aveia preta, crotalária, milho 2<sup>a</sup> safra + braquiária e milho 2<sup>a</sup> safra e nas subparcelas os fertilizantes (3), orgânico, organomineral e mineral. A safra de verão foi cultivada com soja. O ensaio foi conduzido por três safras, iniciando com a semeadura da soja em 2013. As amostras de solo foram coletadas após o 3<sup>o</sup> cultivo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. No primeiro cultivo, a utilização de fertilizante orgânico promoveu incremento no rendimento de grãos, na massa de mil grãos, na altura de plantas de soja, no acamamento, no número de vagens por planta, incrementou o teor foliar e exportação de N pelos grãos de soja. No terceiro cultivo, não houve diferenças entre os fertilizantes e as sucessões com aveia preta e crotalária proporcionaram maior rendimento de grãos de soja. A aveia preta apresentou a maior produção de massa seca, maior concentração de P na parte aérea e maior extração de N, P e K. O consórcio de milho + braquiária reduziu o rendimento de grãos de milho quando comparado ao cultivo solteiro. A aplicação de cama de frango e a utilização de aveia preta ou crotalária como planta de cobertura no inverno, proporcionam maior rendimento de grãos para a cultura da soja. Utilizando a mesma dose de P e K não há diferenças no rendimento de grãos de soja, milho e trigo entre os fertilizantes mineral e organomineral. A utilização de cama de frango promove incremento dos teores de P e K do solo, porém não incrementa os teores de matéria orgânica. A eficiência de uso de P e K é superior na sucessão soja - milho 2<sup>a</sup> safra. A eficiência de uso de N, P e K é inferior na adubação com fertilizante orgânico. Não há

diferença na eficiência de uso de P e K entre os fertilizantes organomineral e mineral, já para o N, o fertilizante mineral apresenta eficiência superior. O N foi o nutriente com o balanço no solo mais negativo e a utilização de plantas de cobertura (aveia preta e crotalária) incrementa o balanço de N no solo. O P apresentou balanço no solo próximo a zero sendo menor nas sucessões com trigo e aveia preta. O balanço de K no solo foi negativo e não foi diferente entre os sistemas de produção de grãos e fertilizantes testados.

**Palavras-chave:** Sucessão de culturas. Cama de frango. Planta de cobertura. Fertilizante orgânico. Organomineral.

### ABSTRACT

MADALOSSO, Tiago, M.S., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, August – 2015. **Balance and nutrient use efficiency in grain production systems in western Paraná.** Advisor: Maria do Carmo Lana.

In Brazil it is possible for two or more per year grain crop cultivation, but there is evidence that the cultivation tillage system with only commercial crops has resulted in soil degradation. The objective of this study was to evaluate the balance and efficiency of use of N, P and K, the effect on the chemical properties of soil and biometric variables of crops in grain production systems in western Parana region, encompassing different fertilization and probate cultures. The experiment was designed in randomized blocks with the treatments arrangement in divided plots with 4 repetitions. In the plots were installed the winter successions (5), wheat, oats, sunn hemp, corn second crop + brachiaria and corn 2nd harvest and the subplots fertilizers (3) organic, organomineral and mineral. The summer crop was planted to soybeans. The test was conducted for three seasons, starting with the planting of soybeans in 2013. Soil samples were collected after the 3rd growing at 0-10 and 10-20 cm. In the first crop, the use of organic fertilizer promoted increase in grain yield, mass of thousand grains, at the height of soybean plants, the bedding, the number of pods per plant, increased the leaf content and export of N by grain soybeans. In the third crop, there were no differences between the fertilizer and succession to black oat and sun hemp provided higher-yielding soybeans. The oat presented the highest dry matter yield, higher concentration of P in the shoot and greater extraction of N, P

and K. Corn consortium + brachiaria reduced the yield of maize grain compared to monocrop. The application of poultry litter and the use of oat or crotalária as cover crops in winter, provide increased grain yield for the soybean crop. Using the same dose of P and K there is no difference in the yield of soybeans, corn and wheat between mineral fertilizers and organomineral. A use of poultry litter promotes increase of soil P and K soil, but does not increase the levels organic matter. P and K use efficiency is higher in soy succession - 2 nd harvest corn. The efficiency of use of N, P and K is lower in the fertilizer with organic fertilizer. There is no difference in the use efficiency of P and K between organomineral and mineral fertilizers, as for N, the mineral fertilizer has higher efficiency. ON was the nutrient with the most negative balance in the soil and the use of cover crops (black oats and crotalaria) increases the N balance in the soil. OP showed balance in the soil near zero being lower in succession with wheat and oats. The K balance in the soil was negative and was not different between the tested grain and fertilizer production systems.

**Keywords:** Crop rotation. Poultry litter. Cover crops. Organic fertilizer. Organomineral.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
2.1	SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	16
2.1.1	Cultura da Soja ( <i>Glycine max</i> (L.) Merrill) .....	17
2.1.2	Cultura do Milho ( <i>Zea mays</i> L.) .....	19
2.1.3	Cultura do Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) .....	21
2.2	ROTAÇÃO DE CULTURAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	21
2.3	CULTURAS PARA COBERTURA VEGETAL .....	23
2.3.1	Aveia Preta ( <i>Avena strigosa</i> (Schreb)) .....	24
2.3.2	Crotalária ( <i>Crotalaria spectabilis</i> ) .....	24
2.3.3	Braquiária ( <i>Urochloa ruziziensis</i> ).....	25
2.4	ADUBOS ORGÂNICOS .....	25
2.4.1	Composição e Eficiência de Uso dos Adubos Orgânicos.....	26
2.5	FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS.....	29
2.6	FERTILIZANTES MINERAIS.....	30
2.7	DINÂMICA DOS NUTRIENTES NO SISTEMA PLANTIO DIRETO .....	31
2.7.1	Nitrogênio .....	32
2.7.1.1	Dinâmica do Nitrogênio no Solo .....	32
2.7.1.2	Efeito do Sistema de Produção na Disponibilidade de Nitrogênio	32
2.7.2	Fósforo .....	33
2.7.2.1	Dinâmica do Fósforo no Solo.....	33
2.7.2.2	Efeito do Sistema de Produção na Disponibilidade de Fósforo ....	34
2.7.3	Potássio .....	36
2.7.3.1	Dinâmica do Potássio no Solo .....	36
2.7.3.2	Efeito do Sistema de Produção na Disponibilidade de Potássio...	37
2.8	BALANÇO DE NUTRIENTES NO SOLO .....	38
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 1 - APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE ORGÂNICO, ORGANOMINERAL E MINERAL EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS NO OESTE DO PARANÁ .....</b>	<b>40</b>
3.1	INTRODUÇÃO .....	42
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	43
3.2.1	Localização do Experimento .....	43
3.2.2	Histórico da Área e Condições do Solo.....	43

3.2.3	Dados Meteorológicos.....	44
3.2.4	Delineamento Experimental e Tratamentos .....	45
3.2.5	Primeiro Cultivo .....	45
3.2.5.1	Manejo Pré Semeadura .....	45
3.2.5.2	Adubação e Semeadura da Soja .....	46
3.2.5.3	Tratos culturais .....	47
3.2.5.4	Variáveis analisadas.....	47
3.2.6	Segundo Cultivo .....	48
3.2.6.1	Adubação e semeadura.....	48
3.2.6.2	Tratos culturais .....	49
3.2.6.3	Variáveis analisadas.....	50
3.2.7	Terceiro Cultivo .....	51
3.2.7.1	Manejo Pré Semeadura.....	51
3.2.7.2	Adubação e semeadura.....	51
3.2.7.3	Tratos culturais .....	53
3.2.7.4	Variáveis analisadas.....	53
3.2.8	Análises químicas dos teores de nutrientes .....	53
3.2.9	Análise Estatística .....	53
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
3.4	CONCLUSÕES .....	67
<b>4</b>	<b>CAPITULO 2 - BALANÇO E EFICIÊNCIA DE USO DE NUTRIENTES EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ .....</b>	<b>68</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	70
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	71
4.2.1	Localização do Experimento .....	71
4.2.2	Histórico da Área e Condições do Solo.....	71
4.2.3	Dados Meteorológicos.....	71
4.2.4	Delineamento Experimental e Tratamentos .....	72
4.2.5	Primeiro Cultivo .....	72
4.2.6	Segundo Cultivo .....	72
4.2.7	Terceiro Cultivo .....	72
4.2.8	Amostragem do solo .....	72
4.2.9	Análise do solo .....	72

4.2.10	Cálculos de balanço e eficiência de utilização de N, P e K. ....	73
4.2.11	Análise Estatística .....	74
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
4.4	CONCLUSÕES .....	90
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>91</b>
	<b>APÊNDICE A - ANOVAS .....</b>	<b>103</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil destaca-se no cenário mundial na produção de grãos e carnes. Com um território de 851,6 milhões de ha, utiliza 44,6 milhões de ha, 5,2% de seu território, com lavouras temporárias (IBGE 2015). A produção brasileira de soja em 2014 superou a dos EUA, passando assim o País, a ser o maior produtor mundial da *Commodity*. Na safra 2013/2014, com 30,2 milhões de ha cultivados, produziu 86,1 milhões de toneladas do grão, sendo a previsão para a safra 2014/2015 produzir 95 milhões de toneladas. Quanto à produção de milho, na safra 2013/2014, produziu 31,6 milhões de toneladas de milho 1ª safra e 48,4 milhões de toneladas de milho 2ª safra. A produção de trigo foi 5,9 milhões de toneladas em 2014 (CONAB, 2015).

A utilização de sistemas de cultivos que minimizem a degradação do solo como o sistema plantio direto tem ajudado na sustentabilidade de uso do solo agrícola. Para que esse sistema seja efetivo, devem ser utilizadas plantas com elevada capacidade de produção de massa seca. Quando cultivado somente com culturas comerciais, pode ocorrer degradação do solo. Os benefícios da utilização de plantas de cobertura nos sistemas de produção de grãos podem ser observados a médio e longo prazo. O uso de esterco animal também tem sido uma estratégia de manejo importante. Com o aumento da produção de animais, a quantidade disponível desse subproduto tem aumentado substancialmente. Sua utilização pode promover melhoria na fertilidade e qualidade física do solo. Como fonte de nutrientes, pode suprir totalmente os fertilizantes minerais. A utilização de plantas de cobertura com elevada capacidade de produção de massa seca e esterco animal, podem melhorar a fertilidade do solo e a eficiência de uso dos nutrientes, e incrementar o potencial produtivo pelo processo de ciclagem dos nutrientes.

Os cálculos de balanço de nutrientes têm sido utilizados para avaliar o manejo sustentável dos nutrientes no solo. De acordo com Hanáčková et al. (2008), o balanço de nutrientes no solo tem sido considerado um importante indicador da sustentabilidade do uso agrícola do solo ao longo do tempo. A diferença entre a quantidade do nutriente exportada com os grãos e aplicada com o fertilizante indica o nível de aumento ou redução do teor do nutriente no solo e, quando as saídas de um nutriente em particular são maiores que as entradas na lavoura, a condição é de insustentabilidade (OENEMA et al., 2003). Por outro lado balanços excessivamente positivos indicam a utilização excessiva de fertilizantes, o que aumenta os custos de

produção e pode causar problemas ambientais como a eutrofização das águas. Estudos realizados em vários países indicam haver um balanço negativo de nutrientes (BHATTACHARYYA et al., 2006; HANÁČKOVÁ et al., 2008; 2011), representando uma ameaça para a sustentabilidade do sistema agrícola de produção, devido ao esgotamento das reservas de nutrientes do solo.

Estudos que abordam os efeitos de diferentes sistemas de produção no balanço de nutrientes no solo são ainda limitados para os solos do Estado do Paraná. Estes estudos são importantes para avaliar os efeitos das diferentes práticas de manejo do solo que integram o sistema plantio direto no Estado. O entendimento das alterações no balanço de nutrientes no solo, decorrentes do uso de esterco na adubação e das culturas de cobertura, pode fornecer subsídios para produção em bases sustentáveis, sem comprometer o ambiente. Acredita-se que a utilização de fertilizantes orgânicos e a utilização de plantas de cobertura, melhora a eficiência e balanço dos nutrientes no solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o balanço e eficiência de utilização de N, P e K, o efeito sobre as propriedades químicas do solo e variáveis biométricas das culturas em sistemas de produção de grãos na região oeste do Paraná, englobando diferentes adubações e sucessões de culturas.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

O estado do Paraná apresenta características propícias para o cultivo de grãos. É o segundo estado em produção de soja e milho e o maior produtor de trigo do Brasil (CONAB, 2015). No estado o sistema de cultivo predominante é o sistema plantio direto. O oeste do estado apresenta um clima classificado segundo Köppen, como Cfa, subtropical mesotérmico com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões quentes (CAVIGLIONE et al., 2012). Este clima permite o cultivo de milho no outono/inverno, em razão do baixo risco de geadas até o mês de junho. Nesta região o sistema de cultivo predominante é o cultivo de soja na safra de verão e milho 2ª safra no inverno. Na safra 2014/2015, no Paraná foram semeados 1,9 milhões de hectares de milho 2ª safra, representando 20,6% da área do País com esse modelo de cultivo (CONAB, 2015).

O modelo de sucessão de cultivo, com soja na safra de verão e milho na safra de inverno, iniciado na década de 1980, teve aumento expressivo da área de cultivada no oeste do Paraná, tornando-se um sistema consolidado de cultivo. Esse modelo veio em substituição à cultura do trigo que perdeu espaço no inverno, principalmente pelos baixos preços praticados ao grão (SEAB, 2015).

O Paraná utilizou 3,5 milhões de toneladas de fertilizantes em 2013 para a produção agrícola, sendo o 5º maior consumidor nacional (IPNI, 2015). A cama de frango produzida pelas granjas do estado pode ser usada para substituir ou complementar os fertilizantes minerais, melhorando a produtividade das culturas instaladas. Ações e técnicas que melhorem a produção, e maximizem a eficiência dos fertilizantes aplicados, tem forte impacto na economia nacional, gerando maior produção de alimentos, renda, menor custo, estabilidade do agronegócio brasileiro e menor impacto ambiental.

### **2.1.1 Cultura da Soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**

A soja pertence à classe das Magnoliopsidas anuais, família Fabaceae. A espécie foi domesticada pelos chineses há cerca de cinco mil anos. Há três mil anos a soja se espalhou pela Ásia, onde começou a ser utilizada como alimento e no início do século XX passou a ser cultivada comercialmente nos Estados Unidos. No Brasil, o grão chegou com os imigrantes japoneses em 1908, mas foi introduzida oficialmente no Rio Grande do Sul em 1914. A expansão da soja no Brasil aconteceu nos anos 70, com o interesse crescente da indústria de óleo e demanda do mercado internacional (FUNDAÇÃO MERIDIONAL, 2015). Atualmente é a cultura, de maior destaque no Brasil, com 30,2 milhões de hectares semeados, com uma produtividade média de 2854 kg/ha (CONAB, 2015).

Para obter produtividades de soja cada vez maiores e não empobrecer os solos é necessário ao mínimo repor os nutrientes extraídos pelo grão. Na Tabela 1 são apresentados os resultados médios de extração de nutrientes pela cultura da soja em Londrina PR.

Tabela 1 - Quantidade absorvida e exportação de nutrientes pela cultura da soja

Parte da planta	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	S	B	Cl	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	-----kg/t-----						-----g/t-----						
Grãos	66	10	20	3,0	2,0	5,4	20	237	10	70	30	5	40
Resíduos	32	5,4	18	9,2	4,7	10	57	278	16	390	100	2	21
Total	83	15,4	38	12,2	6,7	15,4	77	515	26	460	130	7	61
Exportação (%)	51	65	53	25	30	35	26	46	38	15	23	71	66

Adaptado de Embrapa (2011).

Em razão da elevada concentração de proteína em seus grãos, o N é o elemento de maior extração e exportação pela cultura da soja. No entanto, a adubação química deste elemento é desnecessária em razão da simbiose entre a cultura e bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (EMBRAPA, 2011). Todo o N necessário à cultura é fornecido pela fixação biológica de nitrogênio (FBN).

Os nutrientes com maior extração e reposição anual na cultura da soja são o P e o K (CQFS-RS/SC, 2004; RAIJ et al. 1997). A recomendação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para a cultura da soja (expectativa de produção de 3,0 t/ha) no estado do Paraná, quando o teor na análise extraído por Mehlich-1 for acima de 6,0 mg/dm<sup>3</sup>, é de 60 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (EMBRAPA, 2006b). Essa recomendação de adubação com o dobro da extração (Tabela 1) se dá em razão dos processos imobilização do P aplicado (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2010). O P aplicado pode ser retido em formas lábeis ou não, isso ocorre tanto pela precipitação do P em solução com formas iônicas de Fe, Al e Ca, como principalmente pela sua adsorção pelos oxidróticos de Fe e de Al, presentes em solos mais intemperizados e argilosos (NOVAIS et al., 2007).

A reposição de K é realizada pela adubação mineral. O nível crítico de K no solo oriundo de basalto no Paraná é de 0,2 cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup> para a cultura da soja (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2010). Doses de K<sub>2</sub>O acima de 80 kg/ha, adicionadas ao sulco de semeadura comprometem a emergência das plântulas (BORKERT et al., 2005), portanto doses acima deste valor devem ser aplicadas a lanço em função da salinidade do KCl. A recomendação de reposição de K<sub>2</sub>O para a cultura da soja (expectativa de produção de 3,0 t/ha) no estado do Paraná, quando o teor no solo estiver entre 0,2 e 0,3 cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup> extraído por Mehlich-1, é de 50 kg/ha de K<sub>2</sub>O (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2010). Quando os teores de K no solo estiverem acima de 0,3 cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup> é possível suprimir a adubação sem perdas de produtividade (EMBRAPA, 2006b).

Como alternativa para realizar a diagnose do estado nutricional das plantas, pode-se realizar a análise de tecidos (folhas). Deve ser coletado o terceiro trifólio

totalmente formado, a partir do ápice, no ramo vegetativo da planta, coletado no estágio de floração plena (R2), para que o mesmo possa ser comparado a valores de referência (Tabela 2). Este método apresenta a desvantagem para culturas anuais, pois neste estágio, caso a deficiência seja constatada as perdas na produção podem ser irreversíveis.

Tabela 2 - Teores de nutrientes para interpretação dos resultados das análises de folhas<sup>1</sup> de soja, para solos argilosos (basalto) do Paraná (Estádio R2)

Nutriente	Trifólio sem pecíolo			Trifólio com pecíolo		
	Baixo	Suficiente	Alto	Baixo	Suficiente	Alto
-----g/kg-----						
N	<50,7	50,7 - 61,4	>61,4	<41,7	41,7 - 48,9	>48,9
P	<2,8	2,8 - 4,2	>4,2	<2,5	2,5 - 3,6	>3,6
K	<17,6	17,6 - 24,3	>24,3	<22,4	22,4 - 26,7	>26,7
Ca	<7,3	7,3 - 10,4	>10,4	<8,2	8,2 - 10,8	>10,8
Mg	<3,6	3,6 - 4,9	>4,9	<3,0	3,0 - 4,8	>4,8
S	<2,7	2,7 - 4,0	>4,0	<2,5	2,5 - 3,5	>3,5
-----mg/kg-----						
B	<49	49 - 55	>55	<52	52 - 60	>60
Cu	<9	9 - 14	>14	<8	8 - 11	>11
Fe	<137	137 - 229	>229	<119	119 - 221	>221
Mn	<48	48 - 108	>108	<40	40 - 94	>94
Zn	<25	25 - 40	>40	<22	22 - 38	>38

Adaptado de Embrapa (2011). <sup>1</sup>Terceiro trifólio totalmente formado, a partir do ápice, no ramo vegetativo da planta, coletado no estágio de floração plena (R2).

### 2.1.2 Cultura do Milho (*Zea mays* L.)

O milho por seu potencial produtivo, sua composição química e seu valor nutritivo, entre outros fatores, constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000), sendo utilizado tanto para a alimentação humana quanto para a animal. Botanicamente pertencente à classe das Liliopsidas e a família Poaceae. É uma cultura originária das Américas e possui seu centro de origem no México, hoje é cultivado amplamente em todo mundo. O milho apresenta grande variabilidade e atualmente existem cerca de 250 raças (PATERNIANI; CAMPOS, 1999). A partir da segunda metade do século XX, o desenvolvimento de híbridos aumentou a produtividade e a qualidade do milho.

No Brasil a espécie é cultivada amplamente de norte a sul do país, com uma área de cultivo de 15,8 milhões de hectares, dividida em duas épocas de semeadura, verão e inverno. O milho 2ª safra, popularmente conhecido como “milho

safrinha”, é cultivado principalmente nos estados do Mato Grosso, Paraná e Mato Grosso do Sul. O modelo caracteriza-se pelo cultivo da espécie no período de inverno, sendo semeado após a colheita da soja. Este modelo de cultivo produz 60 % da produção nacional de milho (CONAB, 2015).

Em função do cultivo do milho após o cultivo da soja, as condições climáticas não são as ideais para o cultivo da espécie (baixa precipitação e temperatura), a produtividade é menor quando comparada com o cultivo do milho 1ª safra (BROCH; RANNO, 2010). Porém observam-se ganhos no sistema de produção soja e milho, pois possibilita o cultivo de duas espécies no mesmo ano agrícola. O uso de fertilizantes neste modelo de cultivo é maximizado, pois a rápida mineralização dos restos culturais da soja fornece nutrientes ao milho, principalmente N. Na Tabela 3 estão apresentados os teores de nutrientes exportados pela cultura do milho.

Tabela 3 - Quantidade extraída e exportada de nutrientes pela cultura do milho

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn	Mo
	-----kg/t-----						-----g/t-----					
Extração	24,9	9,8	21,8	3,9	4,4	2,6	18	48,4	10,0	235	42,8	1,0
Exportação	15,8	8,7	5,8	0,5	1,5	1,1	3,2	6,1	1,2	11,6	6,1	0,6
Exportado (%)	63	89	26	12	36	45	18	14	12	5	14	63

Adaptado de Broch e Ranno (2010).

Conforme a Tabela 3, as maiores taxas de exportação ocorrem para o fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), o nitrogênio (N). De acordo com Broch e Ranno (2010), para adubação de manutenção do milho 2ª safra e uma expectativa de colheita de 6000 kg/ha são necessários aproximadamente 35-45 kg/ha de N, 50 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 35 kg/ha de K<sub>2</sub>O. Apesar de a cultura extrair até 150 kg/ha de N, não é necessário repor toda a exportação. Broch (1999) descreve que a palhada de soja fornece ao milho 2ª safra mais de 100 kg/ha de N.

Estudando diferentes combinações de fertilizantes do mercado e doses, em diferentes locais e híbridos de milho, mostram que a utilização de adubos formulados aplicados no sulco de semeadura com teores equilibrados de N, P e K (12-15-15 + micronutrientes) tem apresentado respostas positivas na produtividade da cultura do milho 2ª safra em diversos locais do estado do Mato Grosso do Sul (BROCH; RANNO, 2010).

### 2.1.3 Cultura do Trigo (*Triticum aestivum* L.)

O trigo é uma planta de ciclo anual, pertencente à família Poaceae, cultivada durante o inverno e a primavera. O grão é consumido na forma de pão, massa alimentícia, bolo e biscoito. É usado também como ração animal, quando não atinge a qualidade exigida para consumo humano, podendo substituir totalmente o milho na fabricação de rações (EMBRAPA, 2015).

O trigo ocupa o terceiro lugar em volume de produção mundial de grãos, atrás de milho e arroz (FAO, 2015). No Brasil, a produção anual oscila entre 5,0 e 6,0 milhões de toneladas. O consumo anual no país tem se mantido em torno de 10 milhões de toneladas por ano (EMBRAPA, 2015). O Paraná é o maior produtor nacional de trigo, cultivando uma área de 1,3 milhões de hectares, representando 50 % da área cultivada no país. Porém a cultura vem perdendo espaço na região oeste e norte do estado para o milho 2ª safra, em função dos altos custos de produção e desvalorização do produto no mercado (SEAB, 2015).

De acordo com a Reunião da Comissão Brasileira de Trigo e Triticale (RCBTT) (2014), recomenda-se para o trigo no estado do Paraná, a aplicação parcelada do nitrogênio. Deve-se levar em consideração também a cultura anterior, devido à imobilização de N pelos restos culturais com alta relação C/N (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010). A recomendação da adubação fosfatada e potássica depende dos teores de P e K no solo, respectivamente. A dose a ser aplicada é estabelecida pelas três faixas de teores no solo, conforme Tabela 4 (RCBTT, 2014).

Tabela 4 - Indicações de adubação para cultura do trigo no Paraná de acordo com a concentração de nutriente no solo

Teor de P*	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Teor de K*	K <sub>2</sub> O
-----mg/dm <sup>3</sup> -----	----kg/ha----	-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----	----kg/ha----
<5	60-90	<0,1	60-80
5-9	40-60	0,1-0,3	40-60
>9	20-40	>0,3	30-40

Adaptado de RCBTT (2014).\* Extrator Mehlich-1.

## 2.2 ROTAÇÃO DE CULTURAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

Os sistemas agrícolas onde predominam o uso intensivo e o manejo inadequado dos recursos naturais, muitas vezes seguidos da prática de monocultivos ou sucessão contínua de culturas (tais como, soja-trigo, soja-milho 2ª

safra, etc.) têm contribuído para a alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com degradação da matéria orgânica e conseqüentemente empobrecimento do solo, resultando na diminuição do potencial produtivo das culturas. Desta forma, a rotação de culturas incluindo diferentes espécies de plantas de cobertura adaptadas regionalmente, adequadamente distribuídas no tempo e na propriedade, pode contribuir para uma maior biodiversidade do meio ambiente e conseqüentemente maior equilíbrio do sistema como um todo (CALEGARI, 2006).

Os sistemas agrícolas de produção existentes na região Oeste do Paraná podem absorver diferentes sequências de culturas, de acordo com a infra-estrutura do produtor. No entanto, na maioria dos casos esta sequência adequada de culturas nem sempre é observada. Em grande parte, isto se deve à falta de informação e de experiências regionais comprovadas, aliada às necessidades específicas de pesquisas e validação por parte dos produtores.

As plantas de cobertura constituem importante componente em sistemas agrícolas, por melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo. A manutenção de elevada quantidade de palha e porcentagem de cobertura na superfície do solo é fundamental para a sustentabilidade do sistema plantio direto (CERETTA et al., 2002).

A quantidade de palha na superfície do solo e a uniformidade de sua distribuição podem servir de referência para a avaliação preliminar sobre as condições nas quais o sistema plantio direto está se desenvolvendo. Pode-se considerar que 6,0 t/ha de resíduos na superfície do solo seja uma quantidade adequada ao sistema plantio direto, com o qual se consegue boa cobertura do solo. Entretanto, dependendo da espécie de planta e das condições edafoclimáticas, essa quantidade pode variar bastante em função da facilidade ou dificuldade de produção de matéria seca ou da taxa de decomposição (ALVARENGA et al., 2001).

O aporte de matéria seca e conseqüentemente de matéria orgânica promovido tanto pela parte aérea quanto radicular das plantas de cobertura, em sistema plantio direto, atuam como agentes agregantes das partículas individualizadas do solo, promovendo a formação de agregados mais estáveis (CALONEGO; ROSOLEM, 2008), aumentando a porosidade do solo, a infiltração e retenção de água e diminuindo a densidade e o escoamento superficial. Os efeitos diferenciados das plantas de cobertura quando comparados às culturas anuais, nas propriedades químicas do solo, também são consideráveis, com destaque para a

absorção de nutrientes em camadas profundas do perfil do solo (GARCIA et al., 2008), velocidade de liberação dos nutrientes dos resíduos vegetais (ROSOLEM et al., 2005), absorção de formas pouco disponíveis e associações com microrganismos do solo (PAUL; CLARK, 1996).

Sistemas que integrem plantas de cobertura e rotação de culturas e que, além de proteger o solo, promovam melhorias nas condições ambientais e efeitos benéficos no desenvolvimento das culturas comerciais, deverão ser constantes no manejo dos sistemas produtivos.

### 2.3 CULTURAS PARA COBERTURA VEGETAL

A escolha de espécies vegetais para introdução nos sistemas de produção depende da adaptação delas às condições de clima de cada região e do interesse do agricultor (SILVA; ROSOLEM, 2001). Entre as principais características a serem consideradas na escolha das espécies cultivadas como plantas de cobertura estão a produção de matéria seca, a capacidade para reciclar nutrientes (OLIVEIRA et al., 2002), devem apresentar rusticidade, crescimento inicial rápido, elevada capacidade de produzir matéria seca (CARVALHO; SODRÉ FILHO, 2000), crescer bem em condições de baixa a média fertilidade do solo (CHAVES; CALEGARI, 2001) e devem ter capacidade de adaptação a baixos valores de pH do solo (ERNANI et al., 2001). Em geral, as gramíneas são eficientes na extração de nutrientes do solo e na reciclagem em sistemas de rotação de culturas.

Dentre as espécies utilizadas para cobertura de solo nos sistemas de produção predominantes na região oeste do Paraná, destacam-se a aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb), braquiária (*Brachiaria* spp.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e a ervilhaca (*Vicia sativa* L.). Em geral, estas espécies possuem características desejáveis para compor os diferentes sistemas de produção do Estado, como: elevada capacidade de produção de matéria seca, sistema radicular agressivo e profundo e eficiência na reciclagem de nutrientes, dentre outras (CALEGARI, 2006). Estas espécies podem extrair grandes quantidades de nutrientes de camadas subsuperficiais do solo que não foram absorvidos pelas culturas anuais cultivadas no verão. Estes nutrientes são liberados gradualmente na camada superficial, durante o processo de decomposição, contribuindo para manter o equilíbrio dos nutrientes no solo e aumentar a sua fertilidade, e assim permitir melhor utilização dos insumos agrícolas.

Recentemente, as plantas de cobertura têm recebido atenção adicional no sistema plantio direto, contribuindo para reduzir os efeitos negativos da acidez na subsuperfície do solo (AMARAL et al., 2004). Durante a decomposição dos resíduos vegetais, ocorre liberação de compostos orgânicos hidrossolúveis que, em última análise, são ácidos orgânicos de baixo peso molecular (FRANCHINI et al., 2001). Esses compostos possuem radicais funcionais que os tornam capazes de formar complexos orgânicos com alumínio, cálcio e magnésio (PEARSON, 1966). Dessa forma, além de neutralizarem o alumínio tóxico, esses compostos podem aumentar a mobilidade, no perfil do solo, dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado na superfície (AMARAL et al., 2004).

### **2.3.1 Aveia Preta (*Avena strigosa* (Schreb))**

A aveia preta pertencente à classe das Liliopsidas e a família Poaceae. Planta adaptada as condições de inverno, possui alta capacidade de perfilhamento, crescimento rápido, rusticidade, fácil obtenção de sementes e versatilidade de uso. É grande produtora da massa seca é adaptada a solos mais pobres e baixas temperaturas dos trópicos e é muito cultivada para forragem, principalmente na região Sudeste e Sul (CARNEIRO, 1996). Constitui-se em uma das gramíneas de inverno mais cultivadas para cobertura do solo e produção de forragem, principalmente nas regiões de clima subtropical do Brasil.

### **2.3.2 Crotalária (*Crotalaria spectabilis*)**

Pertencentes a família Fabaceae, as crotalárias são utilizadas em sistemas de rotação de cultura, adubação verde, cobertura morta, fixação de nitrogênio atmosférico e controle de nematóides na agricultura, além de reduzirem significativamente a população de plantas daninhas (ERASMO et al., 2004). Boghossian et al. (2007), destacaram a importância destas espécies na agricultura pela capacidade de fixação de N atmosférico no solo. É importante ressaltar o interesse dos agricultores pelo seu cultivo, com o propósito de reduzir a população de nematóides fitopatogênicos do solo, minimizando o custo de produção. Dentre as espécies, *C. spectabilis* apresenta amplo espectro no controle das espécies de nematóides que ocorrem no sistema de produção de grãos.

### 2.3.3 Braquiária (*Urochloa ruziziensis*)

Espécies de braquiária, por possuírem sistema radicular vigoroso e profundo, apresentam elevada tolerância à deficiência hídrica e absorção de nutrientes em camadas mais profundas do solo, desenvolvendo-se em condições ambientais desfavoráveis para a maioria das culturas produtoras de grãos e das espécies utilizadas para cobertura do solo (BARDUCCI et al., 2009). Por isso, essas espécies constituem-se em excelentes alternativas para o consórcio com a cultura do milho. Dentre as diversas espécies *U. ruziziensis* apresenta hábito de crescimento cespitoso e ereto, não forma touceiras, o que não prejudica a semeadura da cultura seguinte. Por ser uma espécie perene, a braquiária continua produzindo massa após a colheita do milho safrinha, e com o início do período chuvoso sua massa produzida pode ser maior do que a massa produzida durante o cultivo de milho safrinha. Assim, quanto mais tardia for realizada a dessecação, maior será a quantidade de palha sobre o solo e, por consequência, melhores serão as condições para cultivo da soja em sucessão (CECCON et al., 2009).

## 2.4 ADUBOS ORGÂNICOS

Os resíduos orgânicos ou adubos orgânicos recebem essa denominação em função das elevadas quantidades de carbono, hidrogênio, e oxigênio que armazenam em suas moléculas (SILVA, 2008). Vários materiais orgânicos podem ser utilizados como fertilizante. Estes podem ser de origem animal, vegetal, agroindustrial e industrial. Independente da origem, todos são caracterizados como subprodutos de processos de produção, seja animal, vegetal, de processos, misturas de camas com esterco, etc. (SILVA, 2008). Esterco de animais, resíduos de culturas e os adubos verdes constituem as principais fontes de adubos orgânicos disponíveis (CQFS-RS/SC, 2004).

Os materiais originários de granjas de confinamento de animais, onde ocorre uma grande oferta de ração possuem a tendência de serem mais ricos em nutrientes quando comparado com os animais criados extensivamente. Outro fator que determina a presença de nutrientes nos resíduos é a idade dos animais, normalmente animais adultos tem menor capacidade de absorção de nutrientes, e excretam esterco mais ricos em nutrientes quando comparados com animais jovens (TEDESCO et al., 2008).

Os fertilizantes orgânicos apresentam baixa concentração de nutrientes, necessitando a aplicação de volumes elevados quando comparados aos minerais, para suprir a mesma quantidade de nutrientes. Parte dos nutrientes está na forma orgânica que após a mineralização tornam-se disponíveis às plantas (KIEHL, 2010).

#### 2.4.1 Composição e Eficiência de Uso dos Adubos Orgânicos

A composição do esterco animal é variável, sendo influenciada por vários fatores como a espécie animal, raça, idade, alimentação que recebe etc. Em média, da quantidade de N, P e K ingeridas pelos animais adultos, cerca de 80% são eliminados pelas dejeções e cerca de 40% da matéria orgânica também é eliminada (KIEHL, 2010).

Os estercos de aves e suínos são também os mais ricos em micronutrientes, principalmente em zinco e cobre (Tabela 5) (SILVA, 2008). Esses teores elevados de macro e micronutrientes nessas duas espécies se explicam pelo esquema de arraçamento desses animais, que recebem rações enriquecidas e em maiores quantidades do que os outros animais.

Tabela 5 - Composição química dos principais resíduos orgânicos de origem animal utilizados na agricultura

Atributos	Resíduo animal					
	Bovino	Aves	Suíno	Equino	Codorna	Ovino
C orgânico, g/kg	263	311	273	266	227	377
Relação C/N	18-20/1	10-11/1	9-16/1	18/1	7/1	32/1
N total, g/kg	13-37	25-54	20-45	17-18	33	16-40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total, g/kg	1-10	13-42	4-16	2-14	22-32	4-9
K <sub>2</sub> O total, g/kg	6-25	13-39	3-35	6-15	28-49	4-28
Ca total, g/kg	5-30	51	54	-	70-108	-
Mg total, g/kg	3-4,3	9-11	6-14	-	6-10	-
S total, g/kg	0,9-2,6	4,4-7,1	2,2-4	-	4-8	-
Zn total, mg/kg	48-188	307-729	795-1189	-	631-1171	-
Cu total, mg/kg	15-27	31-82	470-1200	-	64-100	-
Cd total, mg/kg	-	4,4	-	-	-	-
Ni total, mg/kg	5,3	4,4	9,1	-	-	-
Pb total, mg/kg	5,3	37,8	13,6	-	-	-

Fonte: adaptado de Silva (2008).

Os estercos de aves são considerados mais ricos em nutrientes que os de outros animais criados em larga escala. São mais secos, contendo 5 a 15% de água, contra 65 a 85% nos demais animais (KIEHL, 2010). Somando-se o total de N, P e K contido no esterco das aves comparado com os mamíferos, observa-se que o

esterco de aves é duas a três vezes mais concentrado em nutrientes (RAIJ et al, 1997; KIEHL, 2010).

Diferentemente dos fertilizantes minerais, devido à decomposição lenta dos resíduos orgânicos, os nutrientes presentes não são disponibilizados às culturas logo após a aplicação (SILVA, 2008). Este fator é extremamente importante quando calculamos a dose do resíduo orgânico que deve ser aplicada para suprir a necessidade da cultura. A taxa de liberação dos nutrientes pelos adubos orgânicos é muito variável, as quais afetam a disponibilidade para as plantas (KIEHL, 2010).

O índice de eficiência indica a proporção dos nutrientes contidos nos adubos orgânicos que são liberados às culturas, após a aplicação ao solo. O índice de eficiência depende do nutriente analisado, composição química do resíduo, do tempo decorrido entre a aplicação do resíduo e a liberação dos nutrientes em formas prontamente disponíveis as culturas (Tabela 6). A mineralização dos resíduos orgânicos ocorre em sua maioria no primeiro ano após a aplicação, porém o restante dos nutrientes pode ser liberado gradativamente (PITTA et al., 2012). Em geral, o índice de liberação dos nutrientes varia de 30 a 100%, ou seja, há casos em que, com poucos dias de aplicação, toda a carga de alguns nutrientes presentes no resíduo já se encontra no solo em formas passíveis de serem absorvidas pelas plantas (SILVA, 2008). Pitta et al. (2012), encontraram valores de liberação de 25, 20 e 90% para N, P e K respectivamente, 30 dias após a aplicação.

Tabela 6 - Índice médio de eficiência de liberação dos nutrientes de diferentes tipos de resíduos orgânicos de animais em cultivos sucessivos

Resíduo	Nutriente	Índice de eficiência de liberação		
		1º cultivo	2º cultivo	Total
Cama de Frango	N	0,5	0,2	0,7
	P	0,8	0,2	1,0
	K	1,0	-	1,0
Esterco de suíno líquido	N	0,8	-	0,8
	P	0,9	0,1	1,0
	K	1,0	-	1,0
Esterco de bovinos sólido	N	0,3	0,2	0,5
	P	0,8	0,2	1,0
	K	1,0	-	-

Fonte: Adaptado de (CQFS-RS/SC, 2004).

A cama de frango usada como fertilizante é resultante da mistura de materiais vegetais usados para conforto dos frangos de corte juntamente com as

excreções das aves. Os materiais mais usados são: maravalha de pinus, casca de arroz, casca de amendoim, fenos de diversos capins, palhadas de várias culturas e polpa de citrus (ANGELO et al., 1997). A utilização de um ou outro material está relacionada à disponibilidade da região e o custo de transporte até a propriedade (COTTA, 1997). O material usado como cama, o tamanho de partículas, o número de lotes e o sistema de produção, definem a velocidade da decomposição e os teores de nutrientes presentes na cama de frango (KIEHL, 2010).

O número de lotes de frango criados sobre a cama antes da substituição total da cama também interfere na concentração de nutrientes presentes na cama de frango (CQFS-RS/SC, 2004). Quanto maior número de lotes de frangos criados sobre a mesma cama, maior será o grau de decomposição e diluição do esterco ao material vegetal usado inicialmente. Fukayama (2008), estudando o acúmulo de vários lotes de cama de frango sobre a concentração de nutrientes observou as maiores concentrações de macro e micronutrientes a partir do 3º lote criado sobre a mesma cama.

Na criação de frangos de corte a cama normalmente é retirada do aviário a partir do 10º lote de criação. A substituição da cama de frango é recomendada em razão principalmente de problemas sanitários com as aves. No entanto, em razão do custo elevado da substituição do material para cama de frango, alguns métodos de manejo na criação de frango têm sido desenvolvidos para contornar estes problemas sanitários.

A reutilização por mais tempo da cama de frango, confere ao material uma redução dos teores de carbono (C) pela decomposição dos materiais vegetais adicionados inicialmente (KIEHL, 2010; SILVA, 2008). Essa redução do C promove uma redução da relação C/N, conseqüentemente torna a cama de frango, um material de baixa capacidade de imobilização de N e rápida mineralização quando adicionado ao solo (SILVA, 2008). As camas de frango com mais de seis lotes, normalmente apresentam uma relação C/N inferior de 12/1 (KIEHL, 2010; RAIJ et al., 1997; CQFS-RS/SC, 2004; SILVA, 2008; VALADÃO et al., 2011), caracterizando-se como materiais ricos em N e de fácil mineralização (FLOSS, 2006), não necessitando de compostagem (KIEHL, 2010).

Para região oeste do Paraná, existem duas épocas possíveis de se efetuar a aplicação de cama de frango nas lavouras sem causar danos por amassamento nas culturas. Após a colheita da soja (fevereiro-março) e após a colheita do milho 2ª

safra ou trigo (julho, agosto e setembro). Quando não há possibilidade de aplicação imediata da cama após a retirada do aviário pela presença da cultura, esta é armazenada a céu aberto, em montes próximos das áreas a serem fertilizadas e ou comercializada para outras regiões aonde não tem cultura. Esse armazenamento temporário pode levar a perdas de nutrientes como é o caso do N, pela transformação do N orgânico em amônia ( $\text{NH}_3$ ) volátil (KIEHL, 2010, SILVA, 2008; OVIEDO-RONDÓN, 2008). Outro ponto que deve ser considerado neste armazenamento temporário da cama é a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas. A alta precipitação pode promover a lixiviação e percolação do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), que além de causar perdas de N, pode ser um contaminante do lençol freático. O  $\text{NO}_3^-$  é solúvel em água, e pode percolar pelo perfil do solo, tornando-se contaminantes da água potável (OVIEDO-RONDÓN, 2008).

Em razão da baixa concentração de nutrientes na cama, grandes volumes (> 10  $\text{m}^3/\text{ha}$ ) são aplicados por área para atender as necessidades das culturas (KIEHL, 2010; SILVA, 2008; CQFS-RS/SC, 2004). Esses volumes impossibilitam a utilização da cama de frango no sulco de semeadura pelas semeadoras-adubadoras convencionais. A adição da cama de frango ao solo, normalmente é realizada mecanicamente na superfície do solo com equipamento de arrasto rebocado por um trator. Essa forma de aplicação de esterco impede ou retarda o contato do adubo com o solo e microorganismos, com possíveis reflexos na mineralização dos compostos orgânicos, na dinâmica e na eficiência de uso dos nutrientes (SCHERER; NESI, 2009). Desta forma, o conhecimento da dinâmica dos nutrientes no solo a partir da superfície, onde os fertilizantes são depositados no sistema plantio direto, é fundamental para estabelecer ajustes na recomendação de adubos e corretivos (SILVA et al., 2010).

## 2.5 FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS

Os fertilizantes organominerais são produzidos pela mistura de fertilizantes minerais com orgânicos. A legislação Brasileira prevê que fertilizantes organominerais tenham pelo menos 50% de fertilizante orgânico em sua composição. Este pode ser composto por mistura de grânulos, que tem graves problemas em sua distribuição devido a diferenças de densidade. Ainda podem ser utilizadas outras técnicas como, por exemplo, a compostagem física-química-mecânica e, subsequente, peletização. Essa técnica consiste em unir o fertilizante

orgânico e mineral em um único “pellet”. A principal vantagem deste fertilizante, de acordo com os detentores da técnica, é em decorrência de que o fertilizante orgânico protege e encapsula o fertilizante mineral evitando as perdas de até 75% dos nutrientes (FAEP, 2012). Além disso, este fertilizante é 20% mais barato que o fertilizante mineral.

A primeira grande vantagem relativa dos fertilizantes organominerais em relação aos fertilizantes minerais é o fato de utilizarem como matéria prima, resíduos que são passivos ambientais de outros sistemas de produção. Outro ponto favorável ao setor de fertilizantes organominerais é a proximidade entre o ponto de produção de resíduos e as propriedades de produção de grãos. A proximidade favorece o estabelecimento de empresas regionais de produção de fertilizantes organominerais, resultando em ganho em logística. Comparativamente aos fertilizantes minerais, ainda faltam experimentos de campo de longa duração que permitam avaliar com maior precisão a eficiência relativa desse tipo de fertilizantes. Os principais benefícios esperados são em relação à eficiência no fornecimento de P. Teoricamente espera-se maior eficiência em relação ao fornecimento de fósforo, em função da presença de grande quantidade de ânions orgânicos nos grânulos de fertilizantes organominerais. Estes ânions orgânicos competem pelos sítios de adsorção de P, abundantes em solos tropicais, reduzindo momentaneamente a fixação desse nutriente, favorecendo a absorção pelas plantas. Espera-se ainda, aumento da atividade microbiana no entorno da área de aplicação do fertilizante organomineral devido ao fornecimento de energia para os microrganismos pela matéria orgânica contida no fertilizante. Efeitos adicionais sobre o crescimento de raízes, promovidos por compostos orgânicos presentes no fertilizante organomineral podem ocorrer, e essa é uma linha de pesquisa que merece especial atenção por parte dos órgãos de pesquisa (BENITES et al., 2010a).

## 2.6 FERTILIZANTES MINERAIS

Os fertilizantes minerais são constituídos de compostos inorgânicos. Ainda são considerados fertilizantes minerais aqueles compostos constituídos de compostos orgânicos (compostos que contem C) sintéticos ou artificiais e aqueles na forma de quelatos (ALCARDE, 2007). Os fertilizantes minerais são os mais usados na agricultura devido à alta concentração de nutrientes, menor custo por unidade do

elemento, menor umidade e efeito mais rápido. A maior parte dos fertilizantes minerais utilizados no Brasil é importada (CAMARGO, 2012).

Os fertilizantes nitrogenados são produzidos a partir do  $N_2$  atmosférico, que é inerte e não aproveitado diretamente pelas plantas. Através de processos industriais a ligação tripla do N atmosférico é quebrada e é formada a amônia, a qual origina os demais fertilizantes nitrogenados. Os fosfatos são encontrados principalmente em rochas sedimentares ou ígneas, normalmente associados a outros elementos, na forma de apatitas. Devido à baixa concentração de fósforo solúvel da maioria das rochas, para produção dos fertilizantes minerais normalmente é necessária a acidificação das mesmas, tendo como principais produtos o ácido fosfórico e o superfosfato. Para a produção de fertilizante potássico mineral, dois minerais de K são amplamente utilizados a silvita e carnalita. As principais reservas desses minerais encontram-se na Rússia e no Canadá, principais produtores mundiais do fertilizante. Cerca de 95% da produção mundial de potássio é utilizadas na fabricação de fertilizantes, sendo que desses, 90% são para a fabricação de cloreto de potássio e 5% para a fabricação de sulfato de potássio (ALCARDE, 2007).

## 2.7 DINÂMICA DOS NUTRIENTES NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

O não revolvimento do solo, a adição constante e manutenção da palhada e o cultivo rotacionado de plantas variadas tanto em quantidade como em qualidade de matéria seca produzida, premissas básicas do sistema plantio direto, afetam de maneira significativa a dinâmica dos nutrientes no sistema, exigindo um manejo diferenciado da adubação e da fertilidade do solo. Com a crescente necessidade de reduzir custos e aumentar a produtividade, além das preocupações ambientais, conceitos como “adubação de sistema” ganham força na agricultura moderna. Ao contrário do que acontece muitas vezes, quando o termo “adubação de sistema” é associado unicamente à adubação antecipada, adubar o sistema é manejá-lo em todos os aspectos de modo a promover condições para o melhor aproveitamento dos nutrientes existentes no solo e daqueles aplicados.

Um sistema de produção bem conduzido, além de melhorar o aproveitamento dos nutrientes, pode reduzir perdas dos mesmos, promovendo benefícios tanto econômicos quanto ambientais. Esses benefícios, contudo, serão maiores quanto mais equilibrado estiver o sistema. Desse modo, tão importante

quanto saber o que, como e quanto aplicar, é conhecer a dinâmica dos nutrientes no solo e as peculiaridades que envolvem as plantas utilizadas no sistema de produção, como capacidade de absorção, produção de matéria seca e taxa de decomposição da mesma, com conseqüente liberação dos nutrientes absorvidos.

## **2.7.1 Nitrogênio**

### **2.7.1.1 Dinâmica do Nitrogênio no Solo**

A dinâmica do N no solo é bastante complexa. A maior fração de N no solo está na forma orgânica, presente na matéria orgânica em diferentes moléculas e variados graus de recalcitrância, ou como parte de organismos vivos. Geralmente menos de 5% do N total está em formas inorgânicas como íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e o íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), que são as formas preferenciais de absorção de N pelas plantas (KEENEY, 1982). A disponibilidade dessas formas de N no solo é controlada principalmente pela mineralização e imobilização de N, dois processos opostos e simultâneos que ocorrem durante a decomposição de materiais orgânicos e da matéria orgânica do solo pela população microbiana heterotrófica (AITA; GIACOMINI, 2007).

Os processos de imobilização e mineralização são gerenciados pela relação C/N do material orgânico. A adição de resíduos orgânicos com elevada relação C/N causa imobilização do N mineral do solo. Quando a relação C/N dos materiais é alta, a quantidade de N não é suficiente para os microorganismos que mineralizam estes resíduos, sendo necessário retirar N inorgânico do solo para compor sua biomassa (SANTI et al., 2003). Por outro lado quando adicionados resíduos com relação C/N baixa, ocorre mineralização e sobra de N, que é disponibilizado, aumentando o teor de N inorgânico no solo.

### **2.7.1.2 Efeito do Sistema de Produção na Disponibilidade de Nitrogênio**

O N é o elemento mais afetado pelos sistemas de produção. No sistema plantio direto em função da manutenção de palha na superfície do solo, os processos que regem a disponibilidade e perda de N no solo são alterados. Em função do menor contato dos resíduos com o solo, nesse sistema a decomposição dos resíduos é mais lenta (LARA CABEZAS et al., 2000). A liberação mais lenta

pode favorecer o aproveitamento do N pelas plantas pelo maior sincronismo entre a disponibilização no solo e necessidade das plantas.

Entre as plantas, as gramíneas, apresentam elevada capacidade de absorção de N (AMADO et al., 2002), porém devido à elevada relação C/N, podem diminuir a disponibilidade do N para a cultura seguinte pelo processo de imobilização (RANELLS; WAGGER, 1997). As leguminosas por sua vez, apresentam capacidade de fixar o N atmosférico e possuem relação C/N mais baixa, o que favorece a mineralização (STUTE; POSNER, 1995). Essa rápida decomposição em muitos casos libera precocemente o N no solo em relação à necessidade de absorção das plantas cultivadas na sequência, o que pode favorecer os processos de perda de N no solo (RANELLS; WAGGER, 1997; AITA et al., 2001).

## **2.7.2 Fósforo**

### **2.7.2.1 Dinâmica do Fósforo no Solo**

No solo, o P está presente nas fases sólida e líquida, ou seja, adsorvido ou complexado com os oxi-hidróxidos de Fe, Al e Ca e com a matéria orgânica, ou livre na solução do solo. Sendo o solo uma mistura de materiais orgânicos e inorgânicos, o P também se apresenta em formas orgânicas e inorgânicas, tanto na fase sólida como na solução do solo, sendo que existe equilíbrio entre o P adsorvido e o P em solução. Devido à baixa quantidade total de água retida pelo solo e a baixa concentração de P na solução, a quantidade prontamente disponível de P para as plantas é muito baixa, havendo a necessidade de difusão de P da fase sólida para a solução para suprir as necessidades das culturas. Essa difusão é dependente do pH, do teor de óxidos e de outros fatores que afetam o equilíbrio P-sólido/P-solução (ANGHINONI; BISSANI, 2004).

A disponibilidade de P é muitas vezes descrita pelo grau de labilidade deste nutriente no solo, ou seja, pela forma e interação do P com os sítios de adsorção do solo. Se o mesmo está em solução ou fracamente adsorvido, então está na forma lábil, se está adsorvido com maior força nas argilas e óxidos de Fe e Al, então o grau de interação é que regulará a labilidade do mesmo. Com o desenvolvimento do solo, as formas lábeis de P diminuem e as formas não lábeis aumentam, especialmente

aquelas inorgânicas inativas. Assim, a participação do P orgânico aumenta (NOVAIS et al., 2007).

A aquisição do P orgânico pela biomassa microbiana do solo pode se dar por degradação total da matéria orgânica do sistema ou pela mineralização específica do fosfato orgânico, por meio exoenzimas do tipo fosfatases, que clivam o P inorgânico de formas orgânicas. Estudos constatam maior presença de bactérias solubilizadoras, responsáveis em liberar essa enzima, na rizosfera de leguminosas do que em gramíneas (BENEDETTI et al., 2005).

Os solos também podem ser considerados como fonte ou como dreno de P dependendo de suas características relacionadas ao grau de intemperismo. Assim, o solo serve como fonte quando ainda apresenta reservas naturais ou pela adição de fertilizantes. Solos em estágio avançado de intemperismo apresentam características como maior eletropositividade, menor capacidade de troca de cátions, aumento da adsorção aniônica, diminuição da saturação por bases, entre outras. Neste caso, o solo compete com a planta pelo fertilizante adicionado, caracterizando-se como um dreno (NOVAIS; SMITH, 1999).

#### 2.7.2.2 Efeito do Sistema de Produção na Disponibilidade de Fósforo

A adoção do sistema plantio direto na sua essência, afeta a dinâmica do P principalmente em alguns aspectos. O não revolvimento do solo reduz o contato entre os colóides e o íon fosfato, amenizando as reações de adsorção, embora promova a formação de linhas com maior concentração de P (P residual). A introdução de culturas com sistema radicular fasciculado, entretanto, favorece a diluição do efeito localizado na linha de semeadura, com a redistribuição do P em função do tempo. O cultivo de espécies variadas promove também aumento do P microbial e de formas lábeis e a mineralização lenta e gradual destes resíduos em sistema plantio direto proporciona a liberação e redistribuição de formas orgânicas de P mais estáveis e menos suscetíveis a reações de adsorção (ANGHINONI; BISSANI, 2004).

No sistema plantio direto, ocorre aumento de matéria orgânica nos horizontes superficiais, em decorrência da deposição de palhada, decrescendo com a profundidade. Por interagir com os óxidos de Al e Fe, a matéria orgânica é um dos principais fatores que influenciam a adsorção de P, resultando em redução dos sítios

de fixação, pelo recobrimento da superfície desses óxidos por moléculas de ácidos húmicos, acético e málico, ou pela formação de compostos na solução do solo. Ocorre, assim, tendência de menor fixação e, portanto, maior aproveitamento pela planta do P oriundo da adubação fosfatada (NZIGUHEBA et al., 1998).

Em decorrência do acúmulo de matéria orgânica na superfície em sistema plantio direto, o P se acumula nas camadas superficiais, criando um acentuado gradiente de concentração, em especial em áreas com baixa disponibilidade de P (BONO et al., 2002). Uma medida para prevenir possíveis problemas relacionados ao manejo do P em sistema plantio direto é a rotação com plantas de cobertura que possuam alta capacidade de ciclagem do P e promovam à movimentação do P em profundidade, como o milheto e a braquiária (CORRÊA et al., 2004).

Uma vez absorvido pelas plantas, o P é translocado intensamente para os diferentes órgãos vegetais, podendo ser acumulado em quantidades relativamente elevadas nas raízes, que ao serem decompostas funcionam como veículo de distribuição de P no perfil do solo (CHEPKWONY et al., 2001).

As espécies de cobertura podem produzir ânions orgânicos que competem com os íons fosfato pelos sítios de ligação dos sesquióxidos de Fe e Al, diminuindo a fixação de P, contribuindo para a maior eficiência da adubação fosfatada. A exsudação de ácidos orgânicos na rizosfera radicular de algumas espécies pode auxiliar na solubilização dos fosfatos, deixando o nutriente em estado mais disponível (KIRK, 1999). Assim, espécies vegetais com essas características, como o feijão guandu, são fundamentais na solubilização do P, principalmente o P não-lábil, alimentando assim o P na solução do solo (CHIEN; MENON, 1995).

A capacidade da planta de cobertura em absorver P é outro importante fator que deve ser levado em consideração. Plantas como as espécies do gênero *Braquiaria*, que têm alta eficiência em recuperar P do sistema, tanto pelo agressivo sistema radicular quanto pela associação com micorrizas, são boas opções para o cultivo rotacionado em sistema plantio direto (MACEDO, 2004). Plantas micorrizadas utilizam mais eficientemente o P menos disponível no solo, principalmente as formas ligadas a Fe e Al (JAYACHANDRAN, 1989). Algumas plantas de cobertura, contudo, não possuem tal associação, como o tremoço e o nabo forrageiro. Todavia, para compensar a inexistência de associação micorrízica tais plantas produzem maior quantidade de enzimas fosfatases ácidas (COSTA; LOVATO, 2004).

Estudos indicam que a aplicação de esterco animal tem proporcionado maior disponibilidade de P no solo, a médio e longo prazo (COSTA et al., 2011b), principalmente em decorrência do efeito residual e da liberação gradual do P das fontes orgânicas, deixando este nutriente menos sujeito à reação de adsorção no solo. Segundo Souza et al. (2006), a adubação orgânica reduz a adsorção/precipitação de P no solo por incrementar o teor de matéria orgânica, aumentando sua disponibilidade no solo. Por sua vez, se o P for imediatamente disponibilizado no solo, como ocorre com os fertilizantes minerais, este pode ser adsorvido ao solo, o que diminui sua disponibilidade.

### **2.7.3 Potássio**

#### **2.7.3.1 Dinâmica do Potássio no Solo**

No solo, o K pode ser encontrado na solução (íon monovalente  $K^+$ ) ou nas formas de K trocável, K não-trocável (fixado) e K estrutural, sendo que nesta forma encontra-se 98% da quantidade total de K no solo (SPARKS, 2000). Apesar de ser o material de origem do solo o principal fator que determina o potencial de disponibilidade de K do mesmo, é o grau de intemperização que dita às transformações dos minerais potássicos no solo e, portanto, governa a capacidade de suprimento às plantas, a curto e longo prazo (VEDUIM, 1994).

O suprimento de K para as plantas advém da solução e dos sítios de troca dos colóides do solo, que estão em equilíbrio entre si e com o K não trocável e com o K estrutural dos minerais (SPARKS, 2000). Todavia, alguns trabalhos têm demonstrado que a absorção total de K pelas plantas pode ser maior do que a quantidade inicial de K trocável (KAMINSKI et al., 2007), indicando haver contribuição de formas de K consideradas como não trocáveis.

Existe certo equilíbrio entre essas formas de K no solo. Quando este nutriente é retirado da solução, seja pela absorção por uma raiz ou pela perda por lixiviação, o equilíbrio é rompido e uma fração dele ligada à fase sólida é liberada para manter o equilíbrio. Se todas as formas de K estão ligadas a este equilíbrio, todas podem ser liberadas para a solução. Entretanto, a velocidade com que cada forma é liberada varia em função do tipo de reação envolvida (NACHTIGALL; VAHL, 1991). A relação K trocável/K da solução é ditada principalmente pela CTC do solo,

que varia em função do teor de matéria orgânica, da quantidade e qualidade dos minerais de argila e do pH. Em solos com alta CTC, por exemplo, haverá menos K na solução e mais K ligado aos colóides, fato este importante visando à redução das perdas de K por lixiviação (SANZONOWICZ; MIELNICZUK, 1985).

### 2.7.3.2 Efeito do Sistema de Produção na Disponibilidade de Potássio

A adoção de um sistema de produção conservacionista, como o sistema plantio direto, com a rotação com plantas de cobertura e a adição contínua de restos culturais afeta diretamente o manejo do K no sistema. O K não possui função estrutural no metabolismo vegetal, permanecendo quase totalmente na forma iônica nos tecidos (MARSCHNER, 1995). Como o K, nos restos vegetais, não fica incorporado às cadeias carbônicas (permanece na forma iônica), após a colheita ou senescência das plantas ele volta rapidamente ao solo em forma prontamente disponível para as culturas, fazendo da palhada um reservatório expressivo de K a curto prazo (ROSOLEM et al., 2007).

Assim, as quantidades de K na parte aérea de plantas de cobertura podem constituir fonte expressiva do nutriente para culturas subsequentes, em sistema plantio direto. Daí a opção de se usar plantas de cobertura com altas capacidades de produzir matéria seca e de absorver K. Estudos apontam a aveia-preta e a braquiária como sendo as espécies de cobertura com alta capacidade recicladora de K do solo, devido ao elevado teor deste nutriente na sua parte aérea, além de possuir sistema radicular profundo, permitindo trazer o K contido em camadas mais profundas do solo (BORKERT et al., 1993; GARCIA et al., 2008). O milho também influencia a dinâmica do K, uma vez que seu cultivo na ausência de adubação potássica pode reduzir em até 40% os teores de K trocável no solo (SANZONOWICZ; MIELNICZUK, 1985).

O cultivo de plantas com capacidade diferente em absorver K causa impacto no solo, modificando as formas de K adsorvidas com alta energia (SANZONOWICZ; MIELNICZUK, 1985). Outros estudos também indicam a capacidade de espécies de cobertura, como as braquiárias, dentre outras, em absorver formas consideradas não-trocáveis de K, o que muitas vezes faz com que a resposta à adubação potássica não seja consistente, principalmente em solos argilosos, onde a reserva de K é maior (GARCIA et al., 2008).

O manejo das culturas dentro do sistema de produção, desde que bem conduzido, pode reduzir também as perdas de K por lixiviação. Em sistemas de produção sem intervalos de pousio, o K permanece a maior parte do tempo no tecido vegetal vivo, ficando protegido dessas perdas. Nesses sistemas também há gradativa melhora das condições de pH e matéria orgânica, refletindo em elevação da CTC do solo e também em menores perdas por lixiviação, fato este importante principalmente em solos mais arenosos e/ou mais propensos a essas perdas (ROSOLEM et al., 2010). A liberação de ácidos orgânicos na superfície do solo proporcionada pela palha das plantas de cobertura em sistema plantio direto altera a ordem de lixiviação de cátions no solo e permite um acúmulo de K nas primeiras camadas com maior lixiviação de cátions divalentes ou trivalentes (FRANCHINI et al., 1999).

## 2.8 BALANÇO DE NUTRIENTES NO SOLO

Os cálculos de balanço de nutrientes têm sido considerados um importante indicador da sustentabilidade do uso agrícola do solo ao longo do tempo (HANÁČKOVÁ et al., 2008). De acordo com Oenema et al. (2003), a diferença entre a quantidade do nutriente exportada com os grãos e aplicada com o fertilizante indica o nível de aumento ou redução do teor do nutriente no solo e, quando as saídas de um nutriente em particular são maiores que as entradas na lavoura, a condição é de insustentabilidade.

Pesquisas realizadas em muitos países indicam um balanço negativo em nutrientes no sistema solo-planta. Dobermann et al. (1996) em 11 experimentos com fertilização potássica a longo prazo em cinco países asiáticos, demonstraram que na maioria dos locais dos experimentos o balanço de K foi negativo, com uma remoção líquida média de 34-63 kg/ha/ano de K.

Bhattacharyya et al. (2006) verificaram que a exportação nutrientes pelas culturas durante 30 anos foi maior que a quantidade aplicada apresentando um saldo negativo no balanço de nutrientes no solo. Os autores ainda concluíram que se a aplicação de fertilizante, a longo prazo, não for revista as doses atualmente recomendadas pode ameaçar a sustentabilidade do sistema de cultivo de trigo-soja de sequeiro. De modo semelhante, Singh et al. (2002) em estudo conduzido durante oito anos em um Latossolo Vermelho na Índia, verificaram que a atual recomendação de adubação de nutrientes no cultivo de arroz e de trigo no sistema

irrigado, representa uma ameaça para a sustentabilidade do sistema, devido o esgotamento das reservas de nutrientes do solo.

Hanáčková et al. (2008) avaliando o balanço de nutrientes em cinco sistemas de rotação de culturas sob preparo convencional e cultivo mínimo, verificaram que a incorporação de resíduos vegetais de plantas de cobertura ao solo promoveu um saldo positivo de 4 kg/ha/ano de P, em ambos os sistemas de cultivo. Por sua vez, a permanência da área em pousio no período de entre safra resultou em um déficit de 24 kg/ha/ano de P. Estes dados reportam a importância da rotação de culturas no sistema de produção por constituir um reservatório expressivo de nutrientes, através do processo de ciclagem do nutriente do solo.

Experimentos de longa duração que contemplem a dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta são importantes para avaliar se as quantidades de fertilizantes aplicadas anualmente estão sendo bem aproveitadas para manutenção e, ou, melhoria da fertilidade do solo e se têm influência sobre a produtividade agrícola, tornando o sistema de cultivo mais sustentável.

### **3 CAPÍTULO 1 - APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE ORGÂNICO, ORGANOMINERAL E MINERAL EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS NO OESTE DO PARANÁ**

#### **RESUMO**

No Brasil, em função das condições de clima a agricultura é praticada intensamente, podendo ser realizadas mais de uma safra por ano. Mesmo com a adoção do sistema plantio direto, tem-se evidenciado que o cultivo apenas com culturas comerciais pode resultar na degradação do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar sistemas de produção de grãos na região oeste do Paraná, em função de diferentes adubações e sucessões de culturas. O experimento foi delineado em blocos ao acaso com arranjo dos tratamentos em parcelas divididas, com quatro repetições. Nas parcelas foram instaladas as sucessões de inverno (5), trigo, aveia preta, crotalária, milho 2<sup>a</sup> safra + braquiária e milho 2<sup>a</sup> safra e nas subparcelas os fertilizantes (3) orgânico, organomineral e mineral. A safra de verão foi cultivada com soja. O ensaio foi conduzido por três safras, iniciando com a semeadura da soja em 2013. No primeiro cultivo, a utilização de fertilizante orgânico promoveu incremento no rendimento de grãos, na massa de mil grãos, na altura de plantas de soja, no acamamento de plantas, no número de vagens por planta, incrementou o teor foliar e exportação de N pelos grãos de soja. No terceiro cultivo, não houveram diferenças entre os fertilizantes e as sucessões com aveia preta e crotalária proporcionaram maior rendimento de grãos de soja. No 2<sup>o</sup> cultivo, entre as plantas de cobertura, a braquiária obteve o maior teor de K e a crotalária o maior teor de N na parte aérea. A aveia preta apresentou a maior produção de massa seca, maior concentração de P na parte aérea e maior extração de N, P e K. O milho 2<sup>a</sup> safra apresentou maior teor de K foliar em relação ao trigo. A cultura do trigo teve o maior teor de N e P nas folhas e maior concentração e exportação de N, P e K pelos grãos. O consórcio de milho + braquiária reduziu o rendimento de grãos de milho quando comparado ao cultivo solteiro. Não houveram diferenças entre os fertilizantes utilizados no 2<sup>o</sup> cultivo. A aplicação de cama de frango e a utilização de aveia preta ou crotalária como planta de cobertura no inverno, proporcionam maior rendimento de grãos para a cultura da soja. A aveia preta apresenta elevada capacidade de produção de massa seca e recuperação de nutrientes. Utilizando a mesma dose de P e K não há

diferenças no rendimento de grãos de soja, milho e trigo entre os fertilizantes mineral e organomineral.

**Palavras-chave:** Sucessão de culturas. Cama de frango. Crotalária. Braquiária. Aveia preta.

### ABSTRACT

In Brazil, depending on the weather conditions farming is practiced intensively and may be performed more than one crop per year. Even with the adoption of no-tillage system, it has shown that cultivation only with cash crops can result in soil degradation. The objective of this study was to evaluate grain production systems in the western region of Paraná, for different fertilization and crop successions. The experiment was designed in randomized blocks with the treatments arrangement in divided plots with 4 repetitions. In the plots were installed the winter successions (5), wheat, oats, sunn hemp, corn second crop + brachiaria and corn 2nd harvest and the subplots fertilizers (3) organic, organomineral and mineral. The summer crop was planted to soybeans. The test was conducted for three seasons, starting with the planting of soybeans in 2013. In the first crop, the use of organic fertilizer promoted increase in grain yield, mass of thousand grains, at the height of soybean plants, the plant lodging, number of pods per plant, increased the leaf content and export of N by soybeans. In the third crop, there were no differences between the fertilizer and succession to black oat and sun hemp provided higher-yielding soybeans. On the 2nd cultivation, between cover crops, Brachiaria had the highest content of K and crotalária the highest N content in the shoot. The oat presented the highest dry matter yield, higher concentration of P in the shoot and greater extraction of N, P and K. The 2nd harvest corn had higher leaf K content in relation to wheat. The wheat crop had the highest content of N and P in leaves and higher concentration and export of N, P and K by grains. Corn consortium + brachiaria reduced the yield of maize grain compared to monocrop. There were no differences between the 2 ° fertilizers used in cultivation. The application of poultry litter and the use of oat or crotalária as cover crops in winter, provide increased grain yield for the soybean crop. The oat has a high dry matter production capacity and recovery of nutrients. Using the same dose of P and K there is no difference in the yield of soybeans, corn and wheat between the mineral and organic fertilizers.

**Keywords:** Crop rotation. Poultry litter. Sunn hemp. Brachiaria. Oats.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Com clima tropical e subtropical, no Brasil é possível o cultivo de duas ou mais safras de grãos por ano, sem o revolvimento do solo. No oeste do Paraná, um sistema de cultivo consolidado, é a sucessão de culturas, com soja na primavera/verão e milho no outono/inverno (milho 2<sup>a</sup> safra). Esse cultivo iniciou-se na década de 1980. Nessa época, a produtividade de grãos era muito baixa e os investimentos em adubação desprezíveis. A segunda safra era sinônimo de risco e baixa tecnologia (DUARTE, 2004). Atualmente, os investimentos são altos e as produtividades aumentaram, melhorando a rentabilidade do sistema.

Este sistema permite o reaproveitamento do nitrogênio (N) fixado pela soja, pelo milho, cultivado na sequência. Ainda, soja e milho são os componentes principais da ração que alimenta os animais destinados a produção de carnes. Assim estas culturas tem grande apelo comercial, pois a região é grande produtora de carnes. Os resíduos gerados pelos animais são ricos em elementos minerais e podem ser utilizados na lavoura para aumento da fertilidade do solo e redução do uso de fertilizantes minerais (RICHETTI, 2011).

A adoção de sistemas de cultivos conservacionistas, como o plantio direto, tem se apresentado como alternativa viável para assegurar a sustentabilidade do uso agrícola do solo. No entanto, há evidências de que o cultivo em plantio direto apenas com culturas comerciais tem resultado na degradação do solo (TAVARES FILHO et al., 2010). A elevada taxa de decomposição dos resíduos vegetais após o manejo tem dificultado a manutenção da fitomassa na superfície do solo (BOER et al., 2007). As plantas de cobertura devem apresentar alta capacidade de produção de fitomassa e, sobretudo, elevada resistência quanto à decomposição, que se relaciona ao nível de recalcitrância dos resíduos (GIACOMINI et al., 2003) ou à proporção entre C e N (CRUSCIOL et al., 2005). Benefícios importantes têm sido observados nas propriedades do solo e no rendimento das culturas, em médio e longo prazo, com a utilização de plantas de cobertura com elevada capacidade de produzir matéria seca (CALEGARI et al., 2006; COSTA et al., 2011a). A utilização de diferentes sistemas de sucessões de culturas pode melhorar a fertilidade do solo e a eficiência de uso dos nutrientes, incrementando o potencial produtivo pelo processo de ciclagem dos nutrientes (BOER et al., 2007).

Além da sucessão de culturas, o uso de dejetos como fertilizante tem sido uma estratégia de manejo importante para a melhoria da qualidade (GOMES et al.,

2005) e a fertilidade do solo (COSTA et al., 2011b). Os efeitos do uso de dejetos no solo, na planta e no ambiente, são variáveis e dependem da composição química e física dos dejetos, da dose aplicada, do modo de aplicação, da época, da frequência e do tempo de aplicação. Pesquisas têm indicado que o uso dos dejetos como fonte de nutrientes tem efeito significativo nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, e incremento da produtividade das culturas (SANTOS et al., 2008).

O objetivo deste trabalho foi avaliar sistemas de produção de grãos na região oeste do Paraná, em função de diferentes adubações e sucessões de culturas.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Localização do Experimento

O experimento foi conduzido no Centro de Pesquisa Agrícola da Cooperativa Agroindustrial Consolata (CPA Copacol), no município de Cafelândia, região oeste do estado do Paraná. O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (EMBRAPA, 2006a). O experimento localizou-se a 24° 37' 18" S de latitude e 53° 18' 20" O de longitude, a 580 m de altitude.

### 3.2.2 Histórico da Área e Condições do Solo

A área onde foi conduzido o experimento apresentava-se sob sistema de plantio direto consolidado, com histórico conhecido de sucessão soja-milho safrinha há três anos. Em julho de 2013, antes da implantação do ensaio, realizou-se a amostragem de solo, para fins de recomendação de adubação e calagem. Para análise química, foram amostradas três profundidades: 0-10, 10-20 e 20-40 cm conforme descrito na Tabela 7. As amostras foram compostas de 10 subamostras, coletadas com pá-de-corte.

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao laboratório de análises de solo da Solanalise, localizado em Cascavel, PR. Para fins de recomendação de adubação e calagem, obteve-se os valores da camada de 0-20 cm, fazendo-se a média dos valores obtidos nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Para análise granulométrica, coletou-se uma amostra na profundidade de 0-50 cm. Os resultados foram: 720 g/kg de argila, 150 g/kg de silte e 130 g/kg de areia, classificado de acordo com a aptidão agrícola, como "solo tipo 3" (EMBRAPA, 2012).

Tabela 7 - Resultados da análise de solo para as diferentes profundidades

Prof.	P	M.O	pH	Ca	Mg	K	H + Al	Al <sup>3+</sup>	CTC	SB	Ca/Mg
cm	mg/dm <sup>3</sup>	%	-----cmol/dm <sup>3</sup> -----								
0 - 10	21,10	3,60	4,60	5,15	1,44	0,50	7,20	0,08	14,29	7,09	3,58
10-20	13,00	2,90	4,50	4,48	1,21	0,34	7,20	0,19	13,23	6,03	3,70
20-40	2,50	1,80	4,70	3,71	0,96	0,21	5,35	0,10	10,23	4,88	3,86
0 - 20	17,05	3,25	4,55	4,815	1,325	0,42	7,20	0,135	13,76	5,06	3,64

Prof.	V	Al	Ca	Mg	K	S-(SO <sub>4</sub> ) <sup>-2</sup>	B	Mn	Zn	Cu	Fe
cm	-----%-----					-----mg/dm <sup>3</sup> -----					
0-10	49,62	1,12	36,04	10,08	3,50	3,75	0,60	101	13,34	13,47	15
10-20	45,58	3,05	33,86	9,15	2,57	5,15	0,55	93	8,64	15,58	22
20-40	47,70	2,01	36,27	9,38	2,05	17,81	0,47	28	4,38	15,34	23
0 - 20	47,60	2,08	34,95	9,61	3,03	4,45	0,57	97	10,99	14,38	18,50

pH = Cloreto de cálcio; B = Cloreto de Bário; S-(SO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup> = Fosfato monocálcico; Ca, Mg e Al = KCl; C = Bicromato; H+Al = Tampão SMP; P, K, Cu, Zn, Fe e Mn = Mehlich-1.

Visando a elevação da saturação por bases para o valor de 70%, realizou-se uma calagem. Foi aplicado calcário dolomítico, PRNT 80%, na dose de 2 t/ha. A calagem foi realizada no dia 15 de agosto de 2013, em superfície, sem revolvimento do solo. A dose correspondeu à apenas metade da dose calculada pelo método de saturação por bases, em função do sistema de cultivo (sistema plantio direto), no qual as recomendações oficiais indicam a aplicação de calcário em superfície em culturas anuais (EMBRAPA, 2006b).

### 3.2.3 Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos (Figura 1), foram coletados na Estação Meteorológica do CPA, localizada a 250 m de distância do local de condução do ensaio. A estação faz parte da rede Agrodetecta<sup>®</sup>, que com mais de 230 estações meteorológicas automáticas espalhadas pelas principais regiões produtoras de grãos do Brasil, faz o monitoramento e previsão do risco climático para ocorrência de doenças nas culturas. Durante as três safras as condições foram satisfatórias para o desenvolvimento e produção das culturas, sem déficits hídricos prolongados e/ou outras adversidades climáticas.

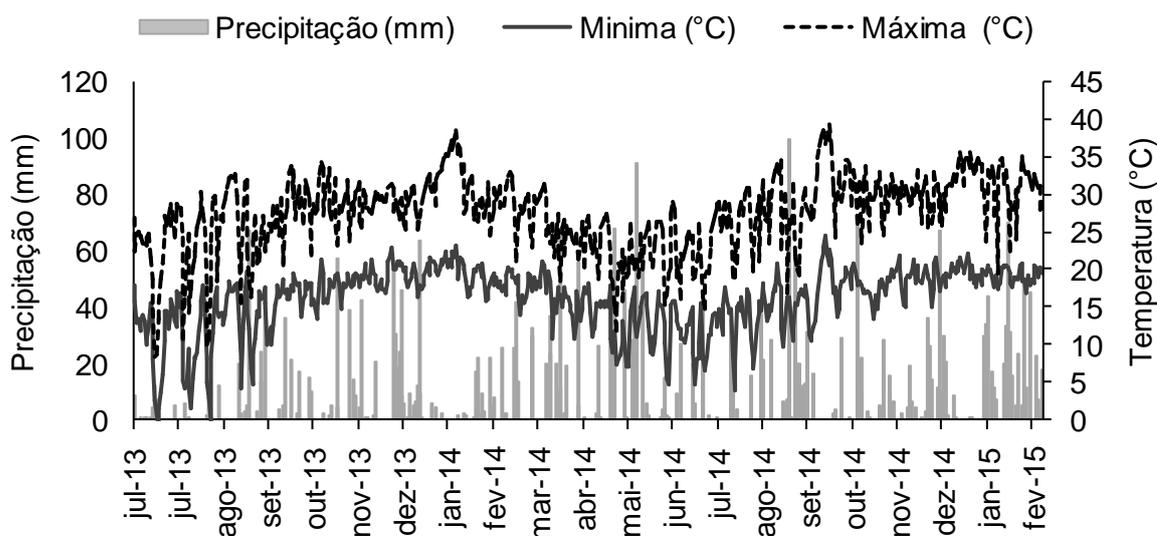


Figura 1 - Precipitação e temperatura registradas no período de Julho de 2013 a fevereiro de 2015 na estação meteorológica CPA, Cafelândia-PR.

### 3.2.4 Delineamento Experimental e Tratamentos

O experimento foi delineado em blocos ao acaso com arranjo de tratamentos em parcelas divididas, com quatro repetições. Nas parcelas foram instaladas as sucessões de inverno (5), trigo, aveia preta, crotalária, milho 2<sup>a</sup> safra + braquiária e milho 2<sup>a</sup> safra e nas subparcelas os fertilizantes (3) orgânico, organomineral e mineral, totalizando 60 parcelas experimentais.

A safra de verão foi cultivada com soja. Cada subparcela consistiu em 65 m<sup>2</sup> de área total, com 13 m de comprimento por 5 m de largura. O experimento foi instalado em outubro de 2013, foi conduzido por três safras, sendo que na primeira safra, foram aplicados somente os tratamentos da subparcela (fertilizantes). Desta forma para a análise de variância do primeiro cultivo o fator de variação consistiu apenas em de fertilizantes e as plantas de cobertura foram consideradas como repetições dentro dos blocos.

### 3.2.5 Primeiro Cultivo

#### 3.2.5.1 Manejo Pré Semeadura

No dia 02/09/2013, antecedendo a semeadura da soja, a área foi manejada para controle de invasoras com os herbicidas glifosato (Zapp Qi 620<sup>®</sup>, 2L/ha) + 2,4-D (Aminol<sup>®</sup> 806, 1L/ha). Após 8 dias, houve nova aplicação de herbicida para controle

de buva (*Conyza* sp.) com os herbicidas paraquate + diurom (Gramocil<sup>®</sup>, 2 L/ha), juntamente com o espalhante adesivo nonil fenoxi poli etanol (Agral<sup>®</sup>, 0,4 L/ha).

### 3.2.5.2 Adubação e Semeadura da Soja

A semeadura ocorreu no dia 06/10/2013. As sementes foram tratadas com o inseticida, imidacloprid + tiodicarbe (Cropstar<sup>®</sup>, 300 mL/100kg de sementes) e fungicida carbendazim + tiram (Derosal plus<sup>®</sup>, 200 mL/100kg de sementes) e inoculadas no momento da semeadura com *Bradyrhizobium japonicum* (Masterfix<sup>®</sup>, 250 mL/100kg de sementes). A cultivar utilizada foi a Syn 1059 RR, que possui ciclo aproximado de 120 dias e boa adaptação para a região. A taxa de semeadura utilizada foi de 22 sementes/m<sup>2</sup>, com espaçamento entre linhas de 0,5 m, sendo a parcela constituída por 10 linhas.

O fertilizante orgânico, utilizado foi a cama de frango, que foi aplicada antecedendo a semeadura, no dia 02/10/2013, a lanço, em superfície, através de aplicação manual, na dose de 4,0 t/ha. Utilizou-se uma cama de frango com nove lotes, cuja as propriedades encontram-se na Tabela 8. Levando em consideração a porcentagem de matéria seca, os teores de nutrientes e o índice de eficiência de liberação, chega-se a dose de 100 kg/ha/ano de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O. Estes 100 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O foram aplicados somente antes da cultura da soja, sendo que nas culturas de inverno as parcelas com fertilizante orgânico não receberam adubação. Assim, dividindo por dois cultivos, esta adubação representa 50 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O por cultivo.

Tabela 8 - Atributos químicos da cama de frango utilizada no experimento

Nº de lotes	Matéria Seca	Relação (C/N)	C	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	-----%-----		-----g/kg-----			
9	80	11	275	25	32	31

Os fertilizantes mineral e organomineral, foram aplicados no sulco de semeadura, com semeadora modelo SHM 11/13 da empresa Semeato, equipada com sulcador do tipo guilhotina. Para adubação mineral, foi utilizado o formulado 5-25-25 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, na dose de 200 kg/ha. Para o fertilizante organomineral utilizou-se a fórmula 3-13-13 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, na dose de 385 kg/ha.

### 3.2.5.3 Tratos culturais

Após a semeadura conduziu-se o ensaio seguindo as indicações técnicas da cultura da soja. Para manejo de plantas daninhas utilizou-se o herbicidas: glifosato (Zapp Qi 620<sup>®</sup>, 1,5 L/ha) no estágio V4. Para o manejo de insetos praga, foram aplicados os seguintes inseticidas: teflubenzurom (Nomolt<sup>®</sup>, 0,1 L/ha), nos estádios V4, R1, e Clorantraniliprole (Premio<sup>®</sup>, 0,06 L/ha), no estágio R3 para o manejo de lagartas; beta ciflutrina + imidacloprid (Connect<sup>®</sup>, 1,0 L/ha) no estágio R3, lambdacialotrina + tiametoxan (Engeo Pleno<sup>®</sup>, 0,3 L/ha) no estágio R5 para o manejo de percevejos. Para o manejo do complexo de doenças foram aplicados os seguintes fungicidas: trifloxistrobina + proclorazoxolol (Fox<sup>®</sup>, 0,4 L/ha) no estágio R1, azoxistrobina + ciproconazole (Priorixtra<sup>®</sup>, 0,3 L/ha) nos estádios R3 e R5.

### 3.2.5.4 Variáveis analisadas

Para determinação dos teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) foliar, foram coletadas vinte folhas de soja ao acaso por subparcela, com pecíolo. Destacou-se da planta manualmente a 3<sup>a</sup> folha totalmente aberta do ápice para a base no estágio de R1 (RAIJ, 2011).

A altura de plantas foi determinada a partir da medição do comprimento entre o solo e o ápice em cinco plantas ao acaso na subparcela. Para avaliação do acamamento, utilizou-se escala de notas de 1-9, onde 1 = 0% de plantas acamada e 9 = 100% de plantas acamadas. A população final de plantas foi determinada pela contagem de todas as plantas da área útil da subparcela. Para determinar o número de vagens de 1, 2, 3 e 4 grãos, foram coletadas 10 plantas por parcela, as quais tiveram as vagens destacadas, separadas pelo número de grãos e contadas. De posse do número de vagens de 1, 2, 3 e 4 grãos por planta, determinou-se o número total de vagens por planta, somando-se todas as vagens independentemente do número de grãos; o número de grãos por planta, que foi obtido pelo produto da multiplicação do número de grãos por vagem pelo número de vagens por planta; o número médio de grãos por vagem, determinado dividindo-se o número de grãos por planta pelo número total de vagens por planta; o número de grãos por m<sup>2</sup>, obtido multiplicando-se o número de grãos por planta pela população final de plantas e a massa de grãos por m<sup>2</sup>, que foi determinada pelo produto entre a o número de grãos por planta e a massa de mil grãos.

A colheita foi realizada com colhedora de parcelas experimentais da marca Wintersteiger<sup>®</sup>, modelo "Classic". Foram colhidas três linhas centrais por 10 m de comprimento, totalizando 15m<sup>2</sup>. A massa de grãos da área útil foi determinada em balança de precisão. A umidade gravimétrica foi determinada a partir da utilização do equipamento marca Dickey Jhon<sup>®</sup>, modelo "MINI GAC PLUS". A massa de grãos foi corrigida para umidade de 130 g/kg para o cálculo do rendimento de grãos das subparcelas. Para determinar a massa de mil grãos, foram contadas e pesadas quatro repetições de 400 sementes em cada subparcela.

Retirou-se uma amostra de 200 g de grãos para determinar o teor de N, P e K nos mesmos. Determinou-se ainda a exportação de N, P e K pelos grãos de soja, sendo esta variável calculada a partir do teor de cada nutriente nos grãos e do rendimento de grãos.

### **3.2.6 Segundo Cultivo**

#### **3.2.6.1 Adubação e semeadura**

Após a colheita da soja, foram semeados os tratamentos com a cultura do milho 2<sup>a</sup> safra. As sementes foram tratadas com o inseticida, imidacloprid + tiodicarbe (Cropstar<sup>®</sup>, 0,3 L/60.000 sementes). Utilizou-se o híbrido simples, Pioneer 3161 H, na taxa de semeadura de 60.000 sementes/ha e espaçamento entrelinhas de 0,5m. A semeadura do milho 2<sup>a</sup> safra foi realizada no dia 19/02/2014. Na mesma data, nos tratamentos com milho 2<sup>a</sup> safra +braquiária, realizou-se a semeadura da espécie *B. ruziziensis*, manualmente, com equipamento do tipo "matraca" nas entrelinhas do milho. Utilizou-se população inicial de 30 sementes/m<sup>2</sup> de braquiária. A crotalária semeada no dia 15/03/2014, utilizou-se a espécie *C. spectabilis*. O espaçamento entrelinhas adotado foi de 0,5m e taxa de semeadura de 100 sementes/m<sup>2</sup>. Para a semeadura da aveia preta, utilizou-se a cultivar BRS 139, a qual foi semeada no dia 15/04/2014 em espaçamento de 0,17 m e taxa de semeadura de 300 sementes/m<sup>2</sup>. Para os tratamentos com a cultura do trigo, utilizou-se o cultivar CD 150, semeado no dia 30/04/2014, em espaçamento entre linhas de 0,17 m e taxa de semeadura de 380 sementes/m<sup>2</sup>. As sementes de trigo foram tratadas com o inseticida, imidacloprid + tiodicarbe (Cropstar<sup>®</sup>, 0,2 L/100kg de sementes) e o fungicida difenoconazol (Spectro<sup>®</sup>, 200 ml/100 kg semente)

Para o segundo cultivo, os fertilizantes mineral e organomineral, foram aplicados no sulco de semeadura, com semeadora modelo SHM 11/13 da empresa Semeato, somente nos tratamentos milho, milho+braquiária e trigo. Para adubação mineral, foi utilizado o formulado 10-15-15 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, na dose de 333 kg/ha. Para o fertilizante organomineral utilizou-se a formula 5-10-10 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, na dose de 500 kg/ha. As culturas de cobertura (aveia-preta e crotalária) não foram fertilizadas, assim como os demais tratamentos que receberam fertilizante orgânico no primeiro cultivo, contando apenas com o efeito residual para N e P.

Visando simular as condições de manejo regionais, não foi aplicado N em cobertura nas culturas do trigo e milho.

### 3.2.6.2 Tratos culturais

Na cultura da aveia-preta aplicou-se somente o herbicida metsulfurometílico (Ally<sup>®</sup>, 0,005 kg/ha), para o controle de nabo (*Raphanus raphanistrum*). Na cultura da crotalária, realizou-se capina para o controle desta mesma invasora. Não foram realizadas aplicações de inseticidas e/ou herbicidas nestes dois cultivos.

Na cultura do trigo, realizou-se uma aplicação do herbicida metsulfurometílico (Ally<sup>®</sup>, 0,005 kg/ha), para o controle de nabo (*Raphanus raphanistrum*) e clodinafop-propargyl (Topik 240 EC<sup>®</sup>, 0,15 L/ha), para o controle de aveia silvestre (*Avena fatua*). Para o manejo de pragas foram realizadas 2 aplicações de Lufenurom (Match EC<sup>®</sup>, 0,2L/ha) no estágio de perfilhamento e florescimento. para o controle da lagarta militar (*Spodoptera frugiperda*) e uma aplicação de lambdacialotrina + tiametoxan (Engeo Pleno<sup>®</sup>, 0,3 L/ha), no estágio de florescimento para o controle do pulgão da espiga (*Rhopalosiphum graminum*). Para o manejo de doenças foram realizadas três aplicações dos produtos 1° azoxistrobina + ciproconazole + propiconazol (Priorixtra<sup>®</sup>, 0,3 L/ha + Tilt<sup>®</sup>, 0,4 L/ha); 2° piraclostrobina + epoxiconazole (Opera<sup>®</sup>, 0,75 L/ha); 3° azoxistrobina + ciproconazole (Priorixtra<sup>®</sup>, 0,3 L/ha), iniciando no estágio de emborrachamento, com intervalo entre aplicações de 20 dias.

Para o cultivo do milho foram aplicados os seguintes inseticidas: beta ciflutrina + imidacloprid (Connect<sup>®</sup>, 1,0 L/ha) e Lufenurom (Match EC<sup>®</sup>, 0,2L/ha) no estágio V2, lambdacialotrina + tiametoxan (Engeo Pleno<sup>®</sup>, 0,3 L/ha) e clorantraniliprole (Premio<sup>®</sup>, 0,125 L/ha) no estágio V10. Para o manejo de plantas daninhas realizou-

se uma aplicação dos herbicidas: atrazina (Primóleo<sup>®</sup>, 4 L/ha) + tembotriona (Soberan<sup>®</sup>, 0,2 L/ha) no estádio V2. Para o manejo de doenças foram utilizados os seguintes fungicidas: azoxistrobina + ciproconazole + propiconazol (Priorixtra<sup>®</sup>, 0,3 L/ha + Tilt<sup>®</sup>, 0,4 L/ha) no estádio V10.

### 3.2.6.3 Variáveis analisadas

Para determinação da produção de massa seca da parte aérea da aveia-preta, braquiária e crotalária, foram coletados quatro pontos por subparcela. Para aveia e crotalária cada ponto consistiu em uma linha por 1 m de comprimento e para braquiária uma entrelinha da cultura do milho por 1 m de comprimento, totalizando uma área coletada de 0,17, 0,5 e 0,5 m<sup>2</sup>, respectivamente. Para crotalária e aveia a coleta foi realizada no florescimento das culturas. Já para braquiária, devido a mesma não apresentar florescimento no período de avaliação, coletou-se as amostras 20 dias após a colheita do milho, antes do manejo de dessecação da área. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel, levadas à estufa com circulação forçada a 65°C, por 72 horas e na seqüência determinou-se sua massa seca.

As quatro amostragens de cada subparcela geraram uma média de produção de massa seca da parcela. Após a determinação da massa, uniu-se as quatro amostras em uma única amostra por subparcela, para determinação dos teores de N, P e K. Com base na produção de massa seca e concentração de N, P e K, determinou-se a extração destes nutrientes por estas culturas.

No período de florescimento do trigo e milho, foram coletadas folhas para determinação dos teores de N, P e K. No milho, a coleta consistiu em cinco folhas (folha oposta e abaixo da espiga), sem bainha, por subparcela ao acaso. No trigo, coletou-se 30 folhas (folha bandeira) por subparcela, ao acaso (RAIJ, 2011).

A colheita do trigo foi realizada com colhedora de parcelas experimentais da marca Wintersteiger, modelo Classic. Foram colhidas nove linhas centrais por 10 m de comprimento, totalizando 15,3 m<sup>2</sup> de subparcela útil. A colheita do milho foi realizada manualmente, a partir da colheita das espigas de três linhas centrais por quatro metros de comprimento somando seis m<sup>2</sup> de subparcela útil. As espigas foram trilhadas em batedor de parcelas. A massa de grãos da área útil foi determinada em balança de precisão. A umidade gravimétrica foi determinada a

partir da utilização do equipamento marca Dickey Jhon, modelo “MINI GAC PLUS”. A massa de grãos foi corrigida para umidade de 130 g/kg para o cálculo do rendimento de grãos das subparcelas. Para determinar a massa de mil grãos, foram contadas e pesadas quatro repetições de 400 sementes em cada subparcela. Retirou-se uma amostra de 200 g de grãos para determinar o teor de N, P e K nos mesmos. A exportação de N, P e K pelos grãos foi calculada a partir do teor de cada nutriente nos grãos e do rendimento de grãos obtido.

Devido às diferenças entre as culturas implantadas na segunda safra, a produção de massa seca, teores e extração de N, P e K das culturas da aveia-preta, braquiária e crotalária, foram avaliadas separadamente, bem como o rendimento de grãos, massa de mil grãos e teores de N, P e K nas folhas, nos grãos e exportados pelos grãos de trigo, milho e milho + braquiária. Assim a ANOVA foi composta por três culturas (parcelas) três fertilizantes (subparcelas) e quatro repetições.

### **3.2.7 Terceiro Cultivo**

#### **3.2.7.1 Manejo Pré Semeadura**

No dia 20/08/2014, antecedendo a semeadura da soja, a área foi manejada para controle de invasoras com os herbicidas glifosato (Zapp Qi 620<sup>®</sup>, 2L/ha) + 2,4-D (Aminol<sup>®</sup> 806, 1L/ha) + diclosulam (Spider<sup>®</sup>, 0,04 kg/ha).

#### **3.2.7.2 Adubação e semeadura**

A semeadura ocorreu no dia 04/10/2014. As sementes foram tratadas com o inseticida, imidacloprid + tiodicarbe (Cropstar<sup>®</sup>, 300 ml/100kg de sementes) e fungicida carbendazim + tiram (Derosal plus<sup>®</sup>, 200 ml/100kg de sementes) e inoculadas no momento da semeadura com *Bradyrhizobium japonicum* (Masterfix<sup>®</sup>, 250 ml/100kg de sementes). A cultivar utilizada foi a NA 5909 RR, que possui ciclo aproximado de 120 dias e boa adaptação para a região. A taxa de semeadura utilizada foi de 28 sementes/m<sup>2</sup>, com espaçamento entre linhas de 0,5 m, sendo a parcela constituída por 10 linhas.

O fertilizante orgânico foi aplicado no dia 02/10/2014. Utilizou-se a mesma cama de frango, fertilizantes e metodologias descritas no item 2.2.5.2. As doses e concentrações de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O dos adubos e efeitos residuais considerando os três cultivos constam na Tabela 9. Realizou-se o somatório do rendimento de grãos e exportação de N, P e K do primeiro e terceiro cultivo (soja).

Tabela 9 - Demonstrativo dos tratamentos, fertilizantes, doses e quantidade de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O aplicados em cada cultivo e total dos três cultivos

Cultivo	Safr	Cultura ou planta de cobertura	OR	OM	MN	OR	OM	MN	OR	OM	MN	OR	OM	MN	OR	OM	MN
			Fórmula (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O)			Dose			N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O		
			-----%			-----kg/ha-----											
1°	13/14	Soja	2,5-3,2-3,1	3-13-13	5-25-25	4.000	385	200	40	12	10	82	50	50	99	50	50
		Milho	-	5-10-10	10-15-15	-	500	333	16*	25	33	21*	50	50	0	50	50
		Milho+brac	-	5-10-10	10-15-15	-	500	333	16*	25	33	21*	50	50	0	50	50
2°	14/14	Crotalária	-	-	-	-	-	-	16*	0	0	21*	0	0	0	0	0
		Aveia preta	-	-	-	-	-	-	16*	0	0	21*	0	0	0	0	0
		Trigo	-	5-10-10	10-15-15	-	500	333	16*	25	33	21*	50	50	0	50	50
3°	14/15	Soja	2,5-3,2-3,1	3-13-13	5-25-25	4.000	385	200	40	12	10	82	50	50	99	50	50
Quantidade total de nutrientes aplicados																	
		Milho	-	-	-	-	-	-	96	48	53	184	150	150	198	150	150
	13/14	Milho+brac	-	-	-	-	-	-	96	48	53	184	150	150	198	150	150
Total	14/14	Crotalária	-	-	-	-	-	-	96	23	20	184	100	100	198	100	100
	14/15	Aveia preta	-	-	-	-	-	-	96	23	20	184	100	100	198	100	100
		Trigo	-	-	-	-	-	-	96	48	53	184	150	150	198	150	150

\* Efeito residual da fertilização de verão; OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária.

### 3.2.7.3 Tratos culturais

Após a semeadura conduziu-se o ensaio seguindo as indicações técnicas da cultura da soja. Para manejo de plantas daninhas utilizou-se o herbicidas: glifosato (Roundup Ready<sup>®</sup>, 2 L/ha) no estágio V4. Para o manejo de insetos praga, foram aplicados os seguintes inseticidas: teflubenzurom (Nomolt<sup>®</sup>, 0,1 L/ha), no estágio V4, metoxifenoazida (Intrepid<sup>®</sup>, 0,4 L/ha) no estágio R1, e Clorantraniliprole (Premio<sup>®</sup>, 0,06 L/ha), no estágio R3 para o manejo de lagartas; lambdacialotrina + tiametoxan (Engeo Pleno<sup>®</sup>, 0,3 L/ha) no estágio R3, beta ciflutrina + imidacloprid (Connect<sup>®</sup>, 1,0 L/ha) no estágio R5, para o manejo de percevejos. Para o manejo do complexo de doenças foram aplicados os seguintes fungicidas: trifloxistrobina + proclorazoxolol (Fox<sup>®</sup>, 0,4 L/ha) no estágio R1, azoxistrobina + benzovindiflupir (Elatius<sup>®</sup>, 0,2 kg/ha) no estágio R3 e azoxistrobina + ciproconazole (Priorixtra<sup>®</sup>, 0,3 L/ha) no estágio R5.

### 3.2.7.4 Variáveis analisadas

Neste cultivo, as variáveis analisadas são idênticas as do primeiro cultivo, descritas no item 2.2.5.4 e realizadas seguindo a mesma metodologia, com exceção do acamamento, avaliação que não foi realizada no terceiro cultivo.

## 3.2.8 Análises químicas dos teores de nutrientes

A determinação dos teores de N, P e K dos grãos e folhas das culturas e parte aérea das plantas de cobertura seguiram a mesma metodologia. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada a 65°C, por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho ultracentrífugo modelo ZM 200. Após secas, foram levadas para o Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas da Unioeste em Marechal Cândido Rondon. Os teores de N, P e K foram determinados pela metodologia descrita por Lana et al. (2010).

## 3.2.9 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias de quando significativas ( $P < 0,05$ ), foram submetidas ao teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro cultivo, o tratamento com fertilizante orgânico teve maior massa de mil grãos, o que resultou também em maior rendimento de grãos de soja (Tabela 10). O maior rendimento pode ser explicado pela maior carga de nutrientes aplicada, visto que na adubação orgânica, a quantidade de nutrientes adicionadas antes da cultura da soja (1° cultivo), foi maior para atender a demanda de dois cultivos. Já no 3° cultivo a massa de mil grãos da soja foi menor nos tratamentos com fertilizante orgânico e organomineral, porém não houveram diferenças entre os fertilizantes no rendimento de grãos (Tabela 11).

Tabela 10 - Rendimento de grãos, umidade dos grãos, altura de plantas, acamamento, população final de plantas e massa de mil grãos da soja no primeiro cultivo, Cafelândia-PR, safra 13/14

Fertilizante	Umidade dos grãos				Rendimento de grãos			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
	-----%-----				-----kg/ha-----			
Média	10,15	10,03	9,90	10,02	4408,7A	4182,5B	4170,6B	4253,9

Fertilizante	Altura de plantas				Massa de mil grãos			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
	-----cm-----				-----g-----			
Média	90,5A	90,5A	86,5B	89,17	158,00A	154,38B	153,96B	155,45

Fertilizante	População final				Acamamento			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
	-----Plantas/m <sup>2</sup> -----				-----Escala 1-9-----			
Média	14,85A	14,33A	13,53B	14,23	3,80A	3,25B	2,65C	3,23

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). \*1 - 0% das plantas acamadas; 9 - 100% das plantas acamadas; OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

Não houveram diferenças na umidade dos grãos de soja, nem no 1° (Tabela 10) e nem no 3° cultivo (Tabela 11), indicando não haver interferência dos tratamentos no ciclo da cultura.

Os fertilizante orgânico e organomineral, influenciaram positivamente a altura de plantas nas duas safras de soja (Tabelas 10 e 11), o que também resultou em maior acamamento das plantas no 1° cultivo. Isso é explicado pela maior dose de N adicionada com o adubo orgânico. O nitrogênio, quando disponível em excesso pode ocasionar toxidez à planta pelo acúmulo de  $\text{NH}_4^+$  nos tecidos. Esse acúmulo associado à baixa luminosidade consome carbono gerado pela fotossíntese,

enfraquecendo os tecidos de sustentação, causando o acamamento das culturas (SOUZA; FERNANDES, 2006). Em função da cultivar de soja utilizada no 3º cultivo ser mais tolerante ao acamamento, não foram observadas diferenças. Carvalho et al. (2011) observaram que a adubação com o resíduo orgânico “cama de frango” eleva a altura de plantas, massa de 1000 grãos, número de vagens por planta e o rendimento de grãos de soja, porém em doses mais elevadas favorece o acamamento da plantas.

Tabela 11 - Rendimento de grãos, umidade dos grãos, altura de plantas, população final de plantas e massa de mil grãos da soja no terceiro cultivo, Cafelândia-PR, safra 14/15

Fertilizante	Umidade dos grãos				Rendimento de grãos			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
Pl. de cob.	-----%-----				-----kg/ha-----			
Milho	14,63	14,48	14,50	14,53	5048,6	4957,0	5170,6	5058,7c
Milho+brac	14,73	14,68	14,60	14,67	5041,0	5064,5	5175,2	5093,6c
Crotalária	14,88	14,50	14,38	14,58	5417,7	5188,1	5181,5	5262,4a
Aveia preta	14,78	14,90	14,60	14,76	5318,5	5340,4	5315,6	5324,9a
Trigo	14,70	14,83	14,63	14,72	5225,2	5055,9	5226,2	5169,1b
Média	14,74	14,68	14,54	14,65	5210,2	5121,2	5213,8	5181,7

Pl. de cob.	Altura de plantas				Massa de mil grãos			
	-----cm-----				-----g-----			
Milho	91,30	94,80	89,35	91,82b	168,35	170,51	173,37	170,74b
Milho+brac	95,20	97,30	95,90	96,13a	168,88	173,17	176,01	172,69b
Crotalária	88,45	90,85	83,55	87,62c	171,41	171,41	179,30	174,04b
Aveia preta	99,20	99,70	96,40	98,43a	171,78	176,02	176,01	174,60b
Trigo	91,05	88,90	87,50	89,15c	176,17	177,69	179,27	177,71a
Média	93,04A	94,31A	90,54B	92,63	171,32C	173,76B	176,79A	173,96

Pl. de cob.	População final			
	-----Plantas/m <sup>2</sup> -----			
Milho	20,35	21,98	22,63	21,65a
Milho+brac	20,32	20,64	20,63	20,53a
Crotalária	17,00	20,06	18,58	18,55b
Aveia preta	18,53	22,14	22,18	20,95a
Trigo	20,12	21,19	19,96	20,43a
Média	19,26B	21,20A	20,80A	20,42

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

No 1º cultivo os fertilizantes orgânico e organomineral tiveram maior população final de plantas. Já no 3º cultivo a aplicação de fertilizante orgânico resultou em menor população final de plantas.

No terceiro cultivo, onde foi possível avaliar a interferência das culturas de cobertura, observa-se maior rendimento de grãos de soja quando esta é cultivada

nas sucessões com aveia preta ou crotalária (Tabela 11). Para a sucessão com aveia preta o rendimento superior é explicado pela maior produção de massa seca e ciclagem de nutrientes por esta planta de cobertura (Tabela 17).

Quando semeada na sucessão de milho ou milho+braquiária, o rendimento de grãos de soja foi inferior. A população de plantas de soja foi menor quando semeada sobre crotalária. Por serem da mesma família, provavelmente o cultivo de crotalária no inverno, favoreceu patógenos no solo que atacaram as sementes após a semeadura. Este tratamento também obteve menor altura de plantas, que pode ter sido influenciada pela menor população final de plantas, já que nesta condição a competição intra-específica fica diminuída. Apesar da menor população final e altura de plantas, o rendimento de grãos foi igual ao obtido no tratamento com aveia preta, indicando haver também benefícios pelo cultivo de espécies da mesma família em sucessão. Tanaka et al. (1992) encontram aumentos significativos de produtividade da soja pelo uso de crotalária quando comparada a outros adubos verdes, apesar da menor produção de massa seca desta. O rendimento médio de grãos foi maior no 3º cultivo quando comparado ao 1º.

No 1º cultivo, o tratamento com fertilizante orgânico, apresentou maior quantidade de vagens com 2, 3 e 4 grãos, o que resultou em maior quantidade de total de vagens por planta, número de grãos por planta, número de grãos por área e massa de grãos por área (Tabela 12), influenciando diretamente no rendimento de grãos. O número de vagens com 1 grãos foi superior nos tratamentos com fertilizante organomineral e orgânico. Não houveram diferenças no número de vagens com 3 grãos e número médio de grãos por vagem entre os tratamentos.

Tabela 12 - Componentes do rendimento da cultura da soja no primeiro cultivo, Cafelândia-PR, safra 13/14

Fertilizante	Vagens com 4 grãos				Vagens com 3 grãos			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
-----Número de vagens-----								
	1,59 A	1,1 B	1,54 A	1,41	54,84 A	50,27 B	51,86 B	52,32
Fertilizante	Vagens com 2 grãos				Vagens com 1 grão			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
-----Número de vagens-----								
	30,64 A	21,94 C	26,24 B	26,27	6,63 A	6,83 A	5,29 B	6,25

Vagens por planta					Massa de grãos por área			
Fertilizante	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
-----Número de vagens-----					-----g/m <sup>2</sup> -----			
	93,7 A	80,14 B	84,92 B	86,25	559,6 A	456,3 B	456,6 B	490,84

Grãos por planta					Grãos por vagem			
Fertilizante	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
-----Número de grãos-----								
	238,78 A	205,92 B	219,49A	221,39	2,55	2,57	2,58	2,57

Grãos por área				
Fertilizante	OR	OM	MN	Média
-----Número de grãos/m <sup>2</sup> -----				
	3543,1 A	2957,5 B	2969,4B	3156,70

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral.

No 3° cultivo não houveram diferenças para nenhum dos componentes do rendimento entre os tratamentos avaliados (Tabela 13).

Tabela 13 - Componentes do rendimento da cultura da soja no terceiro cultivo, Cafelândia-PR, safra 14/15

Tratamentos		V4G	V3G	V2G
		-----Número de vagens-----		
Pl. cob.	Milho	0,26	31,87	22,22
	Milho+braquiária	0,43	34,92	22,83
	Crotalária	0,28	37,98	23,55
	Aveia preta	0,37	31,87	21,38
	Trigo	0,20	31,76	20,33
		-----		
Fertilizante	Orgânico	0,28	34,75	22,97
	Mineral	0,37	34,05	21,19
	Organomineral	0,27	32,24	22,02
Média		0,31	33,68	22,06

Tratamentos		V1G	VPP	MGA
		-----Número de vagens-----		-----g/m <sup>2</sup> -----
Pl. cob.	Milho	4,13	58,48	537,64
	Milho+braquiária	4,71	62,88	556,47
	Crotalária	4,08	65,88	533,51
	Aveia preta	4,53	58,14	523,22
	Trigo	4,25	56,53	510,19
		-----		-----
Fertilizante	Orgânico	4,72	62,71	513,18
	Mineral	4,19	59,79	549,35
	Organomineral	4,12	58,65	534,09
Média		4,34	60,38	532,21

Tratamentos		GPP	GPV	GPA
		-----Número de grãos-----		---Nº de grãos/m <sup>2</sup> ---
	Milho	145,20	2,48	3149,45
	Milho+braquiária	156,81	2,49	3221,09
Pl. cob.	Crotalária	166,20	2,52	3064,53
	Aveia preta	144,35	2,48	3003,67
	Trigo	140,98	2,50	2871,96
	Orgânico	155,99	2,48	2996,54
Fertilizante	Mineral	150,18	2,51	3168,27
	Organomineral	145,95	2,49	3021,61
Média		150,71	2,49	3062,1

Pl. de cob. - Planta de cobertura. GPP - Número de grãos por planta; VPP - Número de vagens por planta; MGA - Massa de grãos por área (g/m<sup>2</sup>); GPA - Número de grãos por área; GPV - Número médio de grãos por vagem; V4G - Vagens por planta com 4 grãos; V3G - Vagens por planta com 3 grãos; V2G - Vagens por planta com 2 grãos; V1G - Vagens por planta com 1 grão.

Não houveram diferenças para os teores foliares de K entre o fertilizantes nas duas safras de soja (1° e 3° cultivo) (Tabelas 15 e 16). No 3° cultivo foi possível observar maior teor de K foliar quando a soja foi semeada nas sucessões com milho e milho + braquiária. O maior teor foliar também resultou em maior concentração deste elemento nos grãos de soja para a sucessão com milho + braquiária, no entanto, os teores foram semelhantes à sucessão com crotalária, com conseqüente maior exportação de K para estes tratamentos. A braquiária foi a planta de cobertura que apresentou a maior concentração de K em sua parte aérea (Tabela 17). Pelo maior rendimento de grãos, no 3° cultivo a exportação de K foi superior ao 1° cultivo, com o valor médio acima de 100 kg/ha.

O teor de K foliar no 1° cultivo ficou abaixo do limite inferior da faixa de suficiência, enquanto para o 3° cultivo, os teores ficaram dentro do limite superior da faixa de suficiência para a soja semeada em sucessão a crotalária, que apresentou os menores valores desta variável, enquanto os demais tratamentos ficaram enquadrados como altos (Tabela 14) (EMBRAPA, 2011). Quanto à concentração de K nos grãos, os valores estão de acordo com os relatados pelos mesmos autores.

Tabela 14 - Faixas de suficiência para os teores foliares e composição média dos grãos de soja

Nutriente	Trifólio com pecíolo			Grãos
	Baixo	Suficiente	Alto	
	-----g/kg-----			
N	<41,7	41,7 - 48,9	>48,9	60
P	<2,5	2,5 - 3,6	>3,6	5
K	<22,4	22,4 - 26,7	>26,7	19

Adaptado de Embrapa (2011).

Tabela 15 - Teor de N, P e K foliar, dos grãos e exportação pelos grãos da cultura da soja no primeiro cultivo, Cafelândia-PR, safra 13/14

Fertilizante	Teor de N foliar				Teor de P foliar				Teor de K foliar			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
	-----g/kg-----											
Média	41,72A	39,82B	38,49B	40,01	3,56	3,39	3,41	3,45	21,28	21,86	21,35	21,50

Fertilizante	Teor de N nos grãos				Teor de P nos grãos				Teor de K nos grãos			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
	-----g/kg-----											
Média	55,21	54,65	54,90	54,92	5,07	5,02	5,14	5,08	18,96	19,41	19,13	19,17

Fertilizante	Exportação de N				Exportação de P				Exportação de K			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
	-----kg/ha-----											
Média	243,49 A	228,56 B	228,88 B	233,64	22,34	21,02	21,45	21,60	83,63	81,21	79,82	81,55

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

Os teores de N encontrados nos grãos, foram semelhantes aos descritos pela Embrapa (2011) para o 1° e 3° cultivo. No 3° cultivo não houveram diferenças para os teores das folhas, grãos e exportação de N entre os fertilizantes ou entre as sucessões. O valor médio da concentração de N nas folhas ficou classificado como baixo. Nas duas safras de soja, o N foi o nutriente com maior concentração nas folhas, nos grãos e também com a maior exportação pela cultura.

O P foi o nutriente com a menor concentração nas folhas, nos grãos e de menor exportação pela cultura da soja em ambos os cultivos. No 1° cultivo, não houveram diferenças significativas para o teor de P foliar, dos grãos e exportado pela cultura da soja. O teor foliar médio ficou enquadrado como suficiente e o teor nos grãos foi menor do descrito pela Embrapa (2011). A exportação média de P no 1° cultivo foi de 21,6 kg/ha. No 3° cultivo, o teor de P foliar foi superior nos tratamentos com fertilizante orgânico e organomineral, e também na sucessão com aveia preta. No 3° cultivo, a sucessão com aveia preta apresentou maior rendimento de grãos (Tabela 11) indicando relação deste com o teor foliar de P. Vieira et al. (2010), estudando a variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e a produtividade da soja, verificaram a existência de uma correlação direta entre a produtividade e os teores de P e K foliar. Os teores foliares de P de todos os tratamentos ficaram enquadrados como suficientes e nos grãos próximos aos teores citados pela literatura (EMBRAPA, 2011). Não houveram diferenças para a concentração e exportação de P pelos grãos de soja no 3° cultivo (Tabela 16). Na média foram exportados 26,9 kg/ha de P.

O teor foliar de N no primeiro cultivo, foi superior para o tratamento com fertilizante orgânico. O maior teor de N foliar, não resultou em maior teor de N nos grãos, porém houve maior rendimento e portanto maior exportação de N pelos grãos com aplicação do adubo orgânico. O teor de N foliar ficou no limite inferior da faixa de suficiência para o fertilizante orgânico e classificado como baixo para os demais fertilizantes (EMBRAPA, 2011).

Estudando a correlação entre os teores de macronutrientes nas folhas de soja associadas à aplicação de resíduos orgânicos, Passos et al. (2012) verificaram que existe uma correlação direta entre os teores N, P, K, Ca e Mg foliar com o rendimento de grãos. Concluíram ainda que a adição de cama de frango promove uma melhoria significativa no estado nutricional da soja.

Tabela 16 - Teor de N, P e K foliar, dos grãos e exportação pelos grãos da cultura da soja no terceiro cultivo, Cafelândia-PR, safra 14/15

Fertilizante	Teor de N foliar				Teor de P foliar				Teor de K foliar			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
Pl. de cob.	-----g/kg-----											
Milho	38,07	37,04	35,25	36,79	3,31	3,30	3,07	3,23 b	29,40	28,00	28,55	28,65 a
Milho+brac	37,32	36,38	37,61	37,10	3,35	3,14	3,18	3,22 b	31,75	30,35	28,60	30,23 a
Crotalária	35,66	35,54	34,38	35,19	3,15	3,13	2,86	3,05 c	27,00	26,00	26,55	26,52 b
Aveia preta	36,27	36,36	36,48	36,37	3,50	3,42	3,35	3,42 a	27,55	27,55	26,75	27,28 b
Trigo	35,58	37,29	36,68	36,52	3,41	3,31	3,22	3,31 b	28,80	27,50	27,50	27,93 b
Média	36,58	36,52	36,08	36,39	3,34A	3,26A	3,13B	3,24	28,90	27,88	27,59	28,12
	Teor de N nos grãos				Teor de P nos grãos				Teor de K nos grãos			
Pl. de cob.	-----g/kg-----											
Milho	53,07	63,03	52,73	56,28	5,07	5,81	4,79	5,22	19,75	19,25	19,25	19,42 b
Milho+brac	58,74	52,37	53,27	54,79	5,36	5,19	5,02	5,19	22,25	22,25	21,50	22,00 a
Crotalária	51,77	54,99	59,88	55,55	5,33	5,08	5,10	5,17	21,75	21,25	20,25	21,08 a
Aveia preta	54,56	53,46	53,18	53,73	5,49	5,27	5,10	5,29	20,00	19,25	19,25	19,50 b
Trigo	52,68	51,93	51,92	52,18	5,37	5,07	4,91	5,11	19,25	18,25	18,00	18,50 c
Média	54,16	55,16	54,19	54,50	5,32	5,28	4,98	5,20	20,60	20,05	19,65	20,10
	Exportação de N				Exportação de P				Exportação de K			
Pl. de cob.	-----kg/ha-----											
Milho	267,74	313,48	272,54	284,59	25,58	28,88	24,78	26,42	99,70	95,39	99,84	98,31 c
Milho+brac	296,81	265,04	275,56	279,13	27,04	26,29	26,04	26,46	112,19	112,65	111,24	112,03 a
Crotalária	280,72	285,24	310,04	292,00	28,86	26,31	26,41	27,20	117,84	110,26	104,92	111,00 a
Aveia preta	290,12	285,44	282,73	286,10	29,21	28,12	27,13	28,16	106,41	102,84	102,53	103,93 b
Trigo	275,34	262,62	271,48	269,81	28,05	25,63	25,66	26,44	100,63	92,30	94,13	95,69 c
Média	282,15	282,36	282,47	282,33	27,75	27,05	26,00	26,93	107,35	102,69	102,53	104,19

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

A aveia preta apresentou a maior produção de massa seca entre as culturas de cobertura, 6430 kg/ha, 2,25 vezes maior que a crotalária, que apresentou produção intermediária e a braquiária a menor produção (Tabela 17). Segundo Silva et al. (2007), a aveia preta apresenta elevada capacidade de produção de massa seca, sendo este um dos motivos de ser amplamente utilizada como planta de cobertura no Sul do Brasil. A braquiária também possui como característica a elevada produção de massa seca, porém quando cultivada em consórcio com milho, essa capacidade é diminuída, principalmente pela menor luminosidade disponível para fotossíntese. Os dados estão de acordo com os obtidos por Torres et al. (2005), estudando uma espécie do gênero *Urochloa*, semeada no final de março e dessecada aos 110 dias, observaram que a mesma não se destacou na produção de fitomassa e no acúmulo de nitrogênio, com 2100 kg/ha e 41 kg/ha, respectivamente.

O teor de N na parte aérea foi maior na cultura da crotalária, sendo esta uma característica da família Fabaceae, que apresenta o processo de fixação biológica de N. A simbiose rizóbio-leguminosa é o mais importante sistema simbiótico entre microrganismos e plantas graças à eficiência do processo de fixação de N<sub>2</sub>, à amplitude e distribuição geográfica dos hospedeiros, e ao impacto econômico para a agricultura, uma vez que permite substancial economia de fertilizantes nitrogenados (CANTARELLA, 2007).

Aveia preta e braquiária apresentaram teores de N na parte aérea semelhantes. Apesar da aveia preta apresentar menor teor de N na parte aérea, em função da sua elevada produção de massa seca, a quantidade total de N extraída foi maior que a crotalária. A quantidade de N recuperada pela aveia preta foi superior a 100 kg/ha. Ceretta et al., (2002), relataram a produção de 7360 kg/ha de massa seca, teor de 10,8 g/kg e 80 kg/ha de N acumulado na parte aérea de aveia preta.

Quanto aos teores de P na parte aérea, a braquiária apresentou os menores e a aveia preta e crotalária apresentaram os maiores valores. Como a produção de massa seca foi maior na aveia preta, também os teores extraídos de P foram maiores. Entre os nutrientes, o P foi o que apresentou a menor quantidade acumulada na parte aérea, em ambas as culturas. A concentração de fósforo usualmente encontrada nas plantas cultivadas situa-se na faixa entre 1,5 a 5 g/kg da matéria seca, e concentrações maiores que 10 g/kg geralmente são tóxicas (EPSTEIN; BLOOM, 2005).

Tabela 17 - Produção de massa seca, teor e extração de N, P e K pela parte aérea de aveia-preta, crotalária e braquiária no segundo cultivo, Cafelândia-PR, safra 14/14

Fertilizante	Teor de N na parte aérea				Teor de P na parte aérea				Teor de K na parte aérea			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
Pl. de cob.	-----g/kg-----											
Braquiária	17,7	19,3	18,7	18,6 b	2,2	2,1	2,0	2,1 b	31,9	33,3	31,8	32,3 a
Crotalária	27,8	26,5	27,4	27,2 a	2,3	2,4	2,4	2,4 a	26,5	26,6	26,8	26,6 b
Aveia-preta	17,1	17,2	16,0	16,8 b	2,7	2,7	2,4	2,6 a	28,3	29,1	29,0	28,8 b
Média	20,9	21,0	20,7	20,8	2,4	2,4	2,3	2,37	28,9	29,7	29,2	29,3
	Extração de N pela parte aérea				Extração de P pela parte aérea				Extração de K pela parte aérea			
Pl. de cob.	-----kg/ha-----											
Braquiária	38,6	41,8	41,1	40,5 c	4,8	4,6	4,4	4,6 c	69,3	71,8	71,2	70,8 b
Crotalária	80,2	74,0	79,4	77,9 b	6,8	6,8	6,8	6,8 b	76,2	74,8	76,8	75,9 b
Aveia-preta	110,4	109,4	103,5	107,7 a	17,7	17,0	15,8	16,9 a	183,3	185,8	188,5	185,9 a
Média	76,4	75,1	74,7	75,4	9,8	9,5	9,0	9,4	109,6	110,8	112,2	110,9
	Produção de massa seca											
Pl. de cob.	-----kg/ha-----											
Braquiária	2181	2170	2209	2186 c								
Crotalária	2882	2783	2885	2850 b								
Aveia-preta	6460	6390	6439	6430 a								
Média	3841	3781	3844	3822								

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

Para o K, a braquiária teve o maior concentração na parte aérea, porém a aveia preta teve a maior extração de K, assim como para o N, pela maior produção de massa seca. A recuperação média de K pela aveia foi de 185,9 kg/ha, o que seria equivalente há uma fertilização utilizando 370 kg/ha de KCl (60% de K<sub>2</sub>O). Segundo Torres e Pereira (2008) o maior acúmulo de K ocorre em espécies gramíneas.

Não houveram diferenças significativas para produção de massa seca, teor foliar e extração de N, P, e K pelas culturas de cobertura em função dos fertilizantes utilizados (Tabela 17).

Tabela 18 - Faixas de suficiência para os teores foliares e composição média dos grãos de milho e trigo

Cultura	Tecido	N	P	K
		-----g/kg-----		
Milho	Folhas	27-35	2,0-4,0	17-35
	Grãos	28	5	18
Trigo	Folhas	20-34	2,1-3,3	15-30
	Grãos	29	6	23

Adaptado de Raji et al. (1997).

No segundo cultivo, a cultura do trigo obteve os maiores valores para os teores foliares de N e P, exportação e teor nos grãos de N, P e K. Os teores foliares encontram-se dentro da faixa de suficiência descrita por Raji et al. (1997) (Tabela 18), para os teores de P e K na cultura do milho e N, P e K para a cultura do trigo. Somente o teor foliar de N no milho, foi inferior a faixa de suficiência. Já os teores de N, P e K nos grãos de milho e trigo, foram inferiores aos descritos pelos mesmos autores.

O rendimento de grãos e massa de mil grãos foi maior na cultura do milho do que na cultura do trigo (Tabela 19). Quando consorciado com a braquiária, o rendimento de grãos de milho foi menor, porém não houveram diferenças na massa de mil grãos. Os resultados divergem dos obtidos por Correia et al. (2013), onde o cultivo consorciado de milho com braquiária (*U. ruziziensis*), não interferiu negativamente na produção de grãos da cultura em relação ao milho solteiro. O menor rendimento do consórcio (milho + braquiária), pode estar associado à competição, principalmente por água e nutrientes. Segundo Barducci et al. (2009), espécies dos gêneros *Urochloa* possuem sistema radicular vigoroso e profundo.

Tabela 19 - Massa de mil grãos, rendimento de grãos, teor foliar, teor nos grãos e exportação pelos grãos de N, P e K, do milho, milho + braquiária e trigo, Cafelândia-PR, safra 14/14

Fertilizante	Teor de foliar N				Teor de foliar P				Teor de foliar K			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
-----g/kg-----												
Cultura de inverno												
Milho	26,0	24,6	24,0	24,8 b	2,5	2,4	2,3	2,4 b	28,6	27,3	25,3	27,0 a
Milho+brac	25,4	26,4	24,8	25,6 b	2,4	2,5	2,4	2,5 b	28,1	27,0	28,6	27,9 a
Trigo	33,5	35,7	34,8	34,7 a	3,0	3,0	2,9	3,0 a	24,0	24,5	25,0	24,5 b
Média	28,3	28,9	27,9	28,4	2,6	2,7	2,6	2,6	26,9	26,3	26,3	26,5
-----g/kg-----												
	Teor de N nos grãos				Teor de P nos grãos				Teor de K nos grãos			
Cultura de inverno												
Milho	16,2	16,6	16,1	16,3 b	2,5	2,5	2,6	2,5 b	2,0	2,0	2,3	2,1 b
Milho+brac	16,4	17,5	16,1	16,7 b	2,5	2,6	2,5	2,5 b	2,0	2,3	2,3	2,2 b
Trigo	22,1	22,7	22,1	22,3 a	3,2	3,3	3,2	3,2 a	3,0	3,3	3,0	3,1 a
Média	18,2	18,9	18,1	18,4	2,7	2,8	2,7	2,8	2,3	2,5	2,5	2,4
-----kg/ha-----												
	Exportação de N pelos grãos				Exportação de P pelos grãos				Exportação de K pelos grãos			
Cultura de inverno												
Milho	94,7	100,4	97,8	97,6 b	14,5	15,2	15,7	15,1 b	11,7	12,1	13,5	12,4 b
Milho+brac	89,4	97,6	92,4	93,1 b	13,8	14,4	14,2	14,1 b	10,9	12,5	12,9	12,1 b
Trigo	123,0	121,9	118,9	121,3 a	17,6	17,7	17,1	17,5 a	16,7	17,5	16,1	16,8 a
Média	102,4	106,6	103,0	104,0	15,3	15,8	15,7	15,6	13,1	14,0	14,2	13,8
-----g-----												
	Massa de mil grãos				Rendimento de grãos							
Cultura de inverno												
Milho	327,4	329,1	331,3	329,3 a	5848	6038	6106	5997 a				
Milho+brac	317,0	325,1	329,8	324,0 a	5447	5583	5767	5599 b				
Trigo	68,7	70,9	70,3	70,0 b	5571	5361	5373	5435 b				
Média	237,7	241,7	243,8	241,1	5622	5661	5748	5677				

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária.

Não houveram diferenças significativas para o rendimento de grãos, massa de mil grãos e teores de N, P e K nas folhas, nos grãos e exportados pelo milho e trigo entre os diferentes fertilizantes aplicados.

Quando avaliado o somatório do rendimento de grãos das duas safras de soja (Tabela 20), observa-se que o fertilizante orgânico obteve o maior rendimento. As sucessões com aveia preta e crotalária proporcionaram rendimento de grãos de soja acumulado superior. Já nas sucessões com trigo, milho e milho+braquiária o rendimento de grãos de soja foi inferior. Para a exportação de N não houveram diferenças significativas entre os tratamentos. O fertilizante orgânico, teve a maior exportação de P e K. Para P não houveram diferenças significativas entre as plantas de cobertura. Já para o K, o consócio de milho + braquiária, e a sucessões com crotalária e aveia preta obtiveram as maiores exportações deste nutriente. Entre os nutrientes, o N teve a maior quantidade exportada pelos grãos de soja, superior a 500 kg/ha no somatório das duas safras, visto este ser um dos componentes principais das proteínas, existentes em grandes quantidades nos grãos de soja. O P teve a menor exportação, menos de 50 kg/ha e o K teve 185 kg/ha exportados em duas safras de soja na média.

Tabela 20 - Rendimento de grãos e exportação de N, P e K pelos grãos da cultura da soja no somatório dos dois cultivos, Cafelândia-PR, safras 13/14 e 14/15

Fertilizante	Rendimento de grãos				N Exportado			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
Pl. de cob.	-----kg/ha-----							
Milho	9468,5	9135,0	9412,7	9338,7 b	512,4	541,2	506,2	519,9
Milho+brac	9550,9	9157,9	9331,4	9346,7 b	544,7	488,1	504,7	512,5
Crotalária	9752,8	9361,5	9323,5	9479,3 a	514,1	511,8	540,2	522,0
Aveia preta	9700,1	9583,8	9506,2	9596,7 a	532,9	520,4	512,7	522,0
Trigo	9622,1	9280,4	9348,4	9416,9 b	524,0	493,2	492,9	503,4
Média	9618,9A	9303,7B	9384,4B	9435,7	525,6	510,9	511,4	516,0
	K exportado				P exportado			
Pl. de cob.	-----kg/ha-----							
Milho	183,8	178,7	182,2	181,6 b	47,3	50,8	46,5	48,2
Milho+brac	202,8	193,5	189,7	195,3 a	50,1	47,4	46,8	48,1
Crotalária	197,4	187,0	187,4	190,6 a	51,3	46,9	49,2	49,1
Aveia preta	186,9	185,1	182,9	185,0 a	51,9	48,8	50,1	50,3
Trigo	184,0	175,3	169,5	176,3 b	49,9	46,3	44,7	47,0
Média	191,0A	183,9B	182,3B	185,7	50,1A	48,1B	47,5B	48,5

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

### 3.4 CONCLUSÕES

A aplicação de cama de frango incrementa o rendimento de grãos de soja.

A utilização de aveia preta ou crotalária como planta de cobertura no inverno, proporcionam maior rendimento de grãos para a cultura da soja.

A aplicação de cama de frango eleva os teores foliares de P e N na cultura da soja, aumenta a altura de plantas e o acamamento.

A aveia preta apresenta elevada capacidade de produção de massa seca e recuperação de N, P e K.

O consórcio de milho + braquiária reduz o rendimento de grãos de milho quando comparado ao cultivo solteiro.

Utilizando a mesma dose de P e K não há diferenças no rendimento de grãos de soja, milho e trigo entre os fertilizantes mineral e organomineral

## 4 CAPITULO 2 - BALANÇO E EFICIÊNCIA DE USO DE NUTRIENTES EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ

### RESUMO

O plantio direto trouxe benefícios para o sistema de produção de grãos no Brasil, no entanto, a adoção deste sistema trouxe alterações importantes no manejo da utilização de fertilizantes e na dinâmica dos nutrientes no solo. Entender a dinâmica dos nutrientes no solo em plantio direto com diferentes fontes de nutrientes e sucessões de culturas, pode garantir a produção agrícola em bases sustentáveis. O objetivo deste trabalho foi avaliar o balanço e eficiência de utilização de N, P e K e o efeito sobre as propriedades químicas do solo em função de diferentes sistemas de produção de grãos na região oeste do Paraná, englobando diferentes adubações e sucessões de culturas. O experimento foi delineado em blocos ao acaso com arranjo dos tratamentos em parcelas divididas, com quatro repetições. Nas parcelas foram instaladas as sucessões de inverno (5), trigo, aveia preta, crotalária, milho 2<sup>a</sup> safra + braquiária e milho 2<sup>a</sup> safra e nas subparcelas os fertilizantes (3) orgânico, organomineral e mineral. A safra de verão foi cultivada com soja. O ensaio foi conduzido por três safras, iniciando com a semeadura da soja em 2013. As amostras de solo foram coletadas após o 3<sup>o</sup> cultivo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. A utilização de cama de frango promove incremento dos teores de P e K do solo, porém não incrementou os teores de matéria orgânica após dois anos de aplicações. A eficiência de uso de P e K é superior na sucessão soja - milho 2<sup>a</sup> safra. A eficiência de uso de N, P e K é inferior na adubação com fertilizante orgânico. Não há diferença na eficiência de uso de P e K entre os fertilizantes organomineral e mineral, já para o N, o fertilizante mineral apresenta eficiência superior. O N foi o nutriente com o balanço no solo mais negativo e a utilização de plantas de cobertura (aveia preta e crotalária) incrementa o balanço de N no solo. O P apresentou balanço no solo próximo a zero sendo menor nas sucessões com trigo e aveia preta. O balanço de K no solo foi negativo e não foi diferente entre os sistemas de produção de grãos e fertilizantes testados.

**Palavras-chave:** Sucessão de culturas. Fertilizante orgânico. Organomineral. Fósforo. Potássio.

## ABSTRACT

No tillage has brought benefits to the grain production system in Brazil, however, the adoption of this system brought important changes in the management of fertilizer use and dynamics of nutrients in the soil. Understand the dynamics of nutrients in the soil under no-tillage with different sources of nutrients and crop successions, may ensure agricultural production on a sustainable basis. The objective of this study was to evaluate the balance and efficiency of use of N, P and K and the effect on the chemical properties of soil for different grain production systems in western Parana region, encompassing different fertilization and crop successions. The experiment was designed in randomized blocks with the treatments arrangement in divided plots, with four replications. In the plots were installed the winter successions (5), wheat, oats, sunn hemp, corn second crop + brachiaria and corn 2nd harvest and the subplots fertilizers (3) organic, organomineral and mineral. The summer crop was planted to soybeans. The test was conducted for three seasons, starting with the planting of soybeans in 2013. Soil samples were collected after the 3rd growing at 0-10 and 10-20 cm. The use of poultry litter promotes increase of soil P and K soil, but did not increase the organic matter content after two years of applications. P and K use efficiency is higher in soy succession - 2nd harvest corn. The efficiency of use of N, P and K is lower in the fertilizer with organic fertilizer. There is no difference in the use efficiency of P and K between organomineral and mineral fertilizers, as for N, the mineral fertilizer has higher efficiency. ON was the nutrient with the most negative balance in the soil and the use of cover crops (black oats and crotalaria) increases the N balance in the soil. OP showed balance in the soil near zero being lower in succession with wheat and oats. The K balance in the soil was negative and was not different between the tested grain and fertilizer production systems.

**Keywords:** Crop rotation. Organic fertilizer. Organomineral. Phosphorus. Potassium.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

O plantio direto trouxe benefícios para o sistema de produção de grãos no Brasil. Entre estes benefícios, tem grande destaque a diminuição da erosão do solo e consequente diminuição da perda de nutrientes por escoamento superficial. A utilização de plantas com elevada capacidade de produção de massa seca, podem garantir o sucesso deste sistema. Essas espécies auxiliam na conservação dos solos, promovendo a agregação das partículas e pela proteção da superfície do solo ao impacto direto das chuvas, principal causa da erosão. Além disso, a utilização de diferentes espécies pode melhorar a eficiência de utilização dos nutrientes. Torres et al. (2008), verificaram que as plantas de cobertura apresentam capacidade de absorver nutrientes em camadas mais profundas do solo e, depois, através da decomposição e mineralização de seus resíduos, liberá-los na superfície, o que pode contribuir para o aumentar a eficiência dos fertilizantes aplicados nas culturas anuais em sucessão.

No entanto, a adoção deste sistema trouxe alterações importantes no manejo da utilização dos resíduos orgânicos. Estes, que antes eram aplicados sobre a superfície e imediatamente incorporados ao solo, atualmente são aplicados sobre a camada de palha existente e deixados na superfície do solo. Essa forma de aplicação impede ou retarda o contato do adubo com o solo e microorganismos, com possíveis reflexos na mineralização dos compostos orgânicos, na dinâmica e no balanço dos nutrientes no solo (SCHERER; NESI, 2009). O conhecimento da dinâmica dos nutrientes no solo a partir da superfície, onde os fertilizantes são depositados no sistema plantio direto, é fundamental para estabelecer ajustes na recomendação de adubos e corretivos (SILVA et al., 2010).

Além da utilização de resíduos orgânicos, alguns estudos tem avaliado a utilização de fertilizantes organominerais como forma de melhorar a eficiência do uso de nutrientes. Em relação aos nutrientes, as maiores respostas esperadas são em relação ao P, devido principalmente a grande capacidade de fixação pelos solos brasileiros. Teoricamente, esta maior eficiência se daria em função da presença de grande quantidade de ânions orgânicos nos grânulos de fertilizantes organominerais. Estes ânions orgânicos competem pelos sítios de adsorção de P, abundantes em solos tropicais, reduzindo momentaneamente a fixação desse nutriente, favorecendo a absorção pelas plantas (BENITES et al., 2010a).

Os cálculos de balanço de nutrientes têm sido utilizados para avaliar o manejo sustentável dos nutrientes no solo. De acordo com Hanáčková et al. (2008), o balanço de nutrientes no solo tem sido considerado importante indicador da sustentabilidade do uso agrícola do solo ao longo do tempo. Assim, para o manejo adequado da adubação torna-se que extrema importância estimar o balanço dos nutrientes no solo. Isso porque a aplicação insuficiente de adubo pode levar a balanços negativos, resultando na diminuição da fertilidade do solo, o que afeta a produtividade e a rentabilidade dos recursos do sistema, além de levar a degradação do solo (SINGH et al., 2002). Por outro lado, a aplicação excessiva de adubo leva a balanços excessivamente positivos, e resultam em baixa eficiência de uso de nutrientes e baixo desempenho econômico (BALIGAR et al., 2001), além de intensificar as perdas por erosão e lixiviação (ROSOLEM et al., 2010; BERTOL et al., 2011).

Entender a dinâmica dos nutrientes no solo em plantio direto com diferentes fontes de nutrientes e sucessões de culturas, pode garantir a produção agrícola em bases sustentáveis. O objetivo deste trabalho foi avaliar o balanço e eficiência de utilização de N, P e K e o efeito sobre as propriedades químicas do solo de sistemas de produção de grãos na região oeste do Paraná, englobando diferentes adubações e sucessões de culturas.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Localização do Experimento

O local e condições de implantação do experimento encontram-se descritos no **item 2.2.1** no capítulo 1.

### 4.2.2 Histórico da Área e Condições do Solo

O histórico de manejo da área e condições do solo onde o experimento foi implantado encontram-se descritos no **item 2.2.2** no capítulo 1.

### 4.2.3 Dados Meteorológicos

As condições meteorológicas ocorridas durante o período de condução do experimento estão descritas no **item 2.2.3** no capítulo 1.

#### **4.2.4 Delineamento Experimental e Tratamentos**

O delineamento experimental utilizada e a descrição dos tratamentos esta descrito no **item 2.2.4** no capítulo 1.

#### **4.2.5 Primeiro Cultivo**

O detalhamento desde a implantação até a colheita do primeiro cultivo está descrito no **item 2.2.5** no capítulo 1.

#### **4.2.6 Segundo Cultivo**

O detalhamento desde a implantação até a colheita do segundo cultivo está descrito no **item 2.2.6** no capítulo 1.

#### **4.2.7 Terceiro Cultivo**

O detalhamento desde a implantação até a colheita do terceiro cultivo está descrito no **item 2.2.7** no capítulo 1.

#### **4.2.8 Amostragem do solo**

Após a colheita do terceiro cultivo, (fevereiro de 2015), foram coletadas as amostras de solo. A amostra de cada parcela foi formada pela coleta de sete sub-amostras ao acaso. Para coleta, utilizou-se trado tipo calador, perfurando o solo até a profundidade de 20 cm. Após a retirada do trado do solo, a sub-amostra com 20 cm era dividida em duas, representando as profundidade de 0-10 e 10-20 cm. As amostras foram acondicionadas em sacos de plástico, Identificadas e encaminhadas imediatamente após a coleta ao laboratório de análises de solo da Solanalise<sup>®</sup>, localizado em Cascavel, PR.

#### **4.2.9 Análise do solo**

De acordo com a metodologia descrita por Tedesco (1995), determinaram-se os teores de P, K, Cu, Zn, Fe e Mn por Mehlich-1. O P-remanescente foi determinado pela concentração de P na solução de equilíbrio após agitação durante uma hora com solução de  $\text{CaCl}_2$  10 mmol/L, com quantidade conhecida de P. Os teores de Ca, Mg e Al pelo extrator de KCl e o teor de carbono por Walkey Black. O pH em  $\text{CaCl}_2$ . O H + Al foi determinado pelo tampão SMP. A partir da determinação dos teores calculou-se a capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases, as

relações entre cátions (Ca/Mg, Ca/K, Mg/K e (Ca+Mg)/K), saturações por bases (V) e saturação de K, Ca, Mg e Al.

#### 4.2.10 Cálculos de balanço e eficiência de utilização de N, P e K.

O balanço de N, P e K no solo em, kg/ha/ano, foi calculado, após o terceiro cultivo, com base na quantidade total de cada nutriente aplicada na adubação em, kg/ha, na quantidade exportada pela colheita dos grãos em, kg/ha e na alteração na disponibilidade de P e K na camada de 0-20 cm de solo (kg/ha), conforme a seguinte equação:

$$\text{Balanço de nutriente no solo} = [N_{\text{fertilizante}} + (N_{\text{solo inicial}} - N_{\text{solo final}}) - N_{\text{exportado}}]$$

Onde: N fertilizante representa a quantidade total de nutriente (N, P e K) aplicados na soma das três safras em kg/ha.

N solo inicial representa a quantidade de nutriente (N, P e K) disponíveis no solo em kg/ha, antes da implantação do experimento.

N solo final representa a quantidade de nutriente (N, P e K) disponíveis no solo em kg/ha, após a terceira safra.

N exportado representa a quantidade total de nutriente (N, P e K) exportados pelos grãos das três safras em kg/ha.

A contribuição de N do solo foi calculada com base no teor inicial e final de matéria orgânica, levando-se em consideração uma taxa de mineralização anual de 2,5% e concentração de 5% de nitrogênio na matéria orgânica (CANTARELLA, 2007) e um período total de 17 meses.

A eficiência do uso de N, P e K foi determinada adaptando o método proposto por Fageria e Baligar (2005), por meio do cálculo da eficiência agrônômica (EA), utilizando a fórmula abaixo, em que EA é expressa em kg/kg:

$$EA = \frac{\text{Produção total do tratamento (kg/ha)}}{\text{Quantidade total do nutriente aplicado (kg/ha)}}$$

Quantidade total do nutriente aplicado (kg/ha)

Onde: Produção total do tratamento é a soma de grãos produzidos pelas duas safras de soja mais a produção de grãos da cultura de inverno (milho ou trigo) em kg/ha.

Quantidade total do nutriente aplicado é a soma de N, P e K aplicados via fertilizante nas três safras.

Eficiência do uso representa a quantidade de grãos produzidas para cada kg de nutriente aplicado.

As quantidades totais de N, P e K aplicadas via fertilizantes no somatório dos três cultivos constam na Tabela 21.

Tabela 21 - Quantidade de N, P e K aplicados no somatório dos três cultivos, Cafelândia-PR, safras 13/14, 14/14 e 14/15

Planta de cobertura	OR	OM	MN	OR	OM	MN	OR	OM	MN
	N			P			K		
	-----kg/ha-----								
Milho	96	48	53	80	66	66	165	125	125
Milho+braquiária	96	48	53	80	66	66	165	125	125
Crotalária	96	23	20	80	44	44	165	83	83
Aveia preta	96	23	20	80	44	44	165	83	83
Trigo	96	48	53	80	66	66	165	125	125

OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral.

#### 4.2.11 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias de quando significativas ( $P < 0,05$ ), foram submetidas ao teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as sucessões de culturas avaliadas observa-se que na camada de 0-10 cm de profundidade as sucessões com milho e milho + braquiária apresentaram os maiores valores de carbono no solo. Quando observados os teores de 10-20 cm, aveia preta e trigo obtiveram menores teores de carbono que as demais sucessões. A aplicação dos fertilizantes não interferiu no teor de carbono do solo nas duas profundidades avaliadas (Tabela 22). Scherer et al. (2010), observaram que sucessivas aplicações de dejetos suíno não incrementaram o teor de carbono do solo. Fávero (2012), avaliando cinco doses (0 a 8 t/ha), após quatro cultivos e duas aplicações de cama de frango, não observou incremento nos teores de carbono do solo. Avaliando uma única aplicação de quatro doses de cama de frango (0 a 9 t/ha) Carvalho et al. (2011) também observaram não haver incremento do teor de carbono do solo.

O teor de P foi superior nas sucessões com aveia preta e trigo na camada de 0-10 cm. Já na camada de 10-20 cm, não houveram diferenças significativas para o teor de P. Para aplicação de fertilizante, houveram diferenças significativas somente na camada de 0-10 cm, sendo que o fertilizante orgânico obteve o dobro do teor de P em relação aos fertilizantes organomineral e mineral. Apesar da cama de frango ser aplicada sobre a superfície do solo, na camada de 10-20 cm não houveram diferenças dos teores de P entre os fertilizantes, indicando que apesar da conhecida baixa mobilidade deste nutriente no solo, em função de sua alta concentração superficial, houve percolação do mesmo no perfil do solo. O teor P no solo antes do cultivo era de 21,1 e 13,0 mg/dm<sup>3</sup> para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Não houveram diferenças significativas para o teor de P no solo entre os fertilizantes mineral e organomineral

O teor de P é um dos atributos químicos influenciados positivamente pela aplicação de resíduos orgânicos como a cama de frango (ABREU JÚNIOR et al., 2005). Fávero (2012), analisando a camada de 0-20 cm do solo após quatro cultivos e duas aplicações de diferentes doses de cama de frango, observou incremento linear de 3,8 mg/dm de P por tonelada de cama de frango adicionada anualmente. Silva et al. (2011), observaram um acréscimo de 0,26 mg/dm de P no solo por tonelada de cama de frango, aplicada 15 dias antes da semeadura do milho e avaliada 45 dias após a semeadura. Os autores concluíram que a cama de frango é superior na disponibilização de P, quando comparada com a adubação mineral.

Tabela 22 - Teor de carbono, fósforo e fósforo remanescente do solo em duas profundidades em função de diferentes sucessões de culturas e sistemas de adubação, Cafelândia-PR, 2015

		Teor de carbono							
Prof. (cm)		0-10				10-20			
Fertilizante	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média	
Pl. de cob.	-----g/dm <sup>3</sup> -----								
Milho	25,1	24,9	24,0	24,7 a	17,6	19,0	18,0	18,2 a	
Milho+brac	25,2	24,0	24,5	24,6 a	18,2	17,6	18,0	17,9 a	
Crotalária	22,7	23,6	23,7	23,3 b	18,0	18,9	18,4	18,4 a	
Aveia preta	24,6	22,1	22,0	22,9 b	17,3	16,3	16,3	16,6 b	
Trigo	22,2	21,6	22,1	22,0 b	16,7	16,8	16,5	16,7 b	
Média	24,0	23,3	23,3	23,5	17,5	17,7	17,4	17,6	

		Teor de fósforo							
Pl. de cob.	-----mg/dm <sup>3</sup> -----								
Milho	35,8	17,0	18,3	23,7 b	19,8	14,3	13,7	15,9	
Milho+brac	35,7	15,7	16,8	22,8 b	17,0	10,3	13,6	13,6	
Crotalária	28,6	17,8	17,5	21,3 b	14,4	13,1	13,1	13,5	
Aveia preta	50,5	20,4	15,2	28,7 a	21,6	15,4	11,3	16,1	
Trigo	41,6	21,8	25,9	29,8 a	20,3	15,0	19,1	18,1	
Média	38,4A	18,6B	18,8B	25,3	18,6	13,6	14,2	15,5	

		Teor de fósforo remanescente							
Pl. de cob.	-----mg/dm <sup>3</sup> -----								
Milho	23,2	21,2	21,0	21,8	17,8	17,7	18,0	17,8	
Milho+brac	22,3	20,5	20,4	21,1	17,7	16,2	17,3	17,1	
Crotalária	22,6	21,5	21,4	21,8	18,5	18,4	18,6	18,5	
Aveia preta	23,8	21,9	21,0	22,2	17,8	17,9	16,9	17,5	
Trigo	22,9	21,0	21,6	21,8	17,2	16,9	16,7	16,9	
Média	22,9A	21,2B	21,1B	21,7	17,78	17,41	17,48	17,56	

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária; Prof - Profundidade; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

Normalmente nos solos brasileiros o P é o elemento que apresenta maiores problemas de deficiência para as culturas e é um dos elementos com maior fixação (RAIJ, 2011). Os solos argilosos apresentam alta capacidade de fixação de fósforo, pelos óxidos de Fe e Al (NOVAIS et al., 2007). Além disso, em solos com baixa disponibilidade de fósforo, algumas espécies podem consumir mais de 20% do produto líquido da fotossíntese em mecanismos que aumentem a absorção deste elemento (MARSCHNER, 1995). Assim altos teores de P nos solos agrícolas são desejáveis para obter elevado rendimento de grãos e ainda reduzir o custo de produção, visto que o P representa boa parte do custo para fertilização das culturas anuais em solos argilosos.

Os ácidos orgânicos aumentam a disponibilidade de P nos solos principalmente pela redução da adsorção e aumento da solubilização do P (BOLAN et al., 1994). A manutenção na forma orgânica, lenta mineralização e disponibilização do P aplicado via resíduo orgânico, desfavorece a fixação do P no solo. A presença de ácidos orgânicos reduz a fixação de P pelas partículas de solo, melhorando a disponibilidade deste elemento (BRANCO et al., 2001).

Para o teor de P-remanescente, não houveram diferenças entre as sucessões de culturas nas profundidades avaliadas. Para os fertilizantes, houveram diferenças somente na camada de 0-10 cm, sendo que o teor de P-remanescente, foi maior para o fertilizante orgânico. O P-remanescente apresenta estreita correlação com o fator capacidade e com a capacidade máxima de adsorção de fosfatos (ALVAREZ et al., 2000). Quanto menor o teor de P remanescente, maior a capacidade tampão (maior a adsorção de P). A liberação de ácidos orgânicos pela decomposição dos resíduos orgânicos podem diminuir a adsorção de fosfato, seja pela competição pelos sítios de adsorção, ou por complexação do Fe e o do Al na solução do solo (CESSA et al., 2010).

Para o teor de K no solo, não houveram diferenças significativas entre as sucessões de culturas (Tabela 23). Já entre os fertilizantes, o orgânico apresentou teores de K maiores que os demais na camada de 0-10 e semelhante ao fertilizante organomineral na camada de 10-20 cm. Os teores iniciais de K no solo eram de 0,5 e 0,34  $\text{cmol/dm}^3$ , para as camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente, assim observa-se incremento dos teores K em todos os tratamentos. Carvalho et al. (2011) estudando os nutrientes do solo após a adição de doses de cama de frango no cultivo da soja, concluiu que o teor de K aumentou significativamente e linearmente.

Os teores de Ca e Mg, não apresentaram variação significativa entre os fertilizantes, porém a sucessão com trigo, apresentou os menores valores para estes dois nutrientes em ambas as camadas avaliadas. Os teores antes da implantação do experimento eram de 5,15 e 4,48 para o Ca, e 1,44 e 1,21 para o Mg, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Avaliando os teores médios após três cultivos, observa-se que houveram incrementos mais significativos para os teores de Mg do que para os de Ca na camada de 0-10 cm, já na camada de 10-20 cm, os teores de Ca diminuíram em relação ao estado original do solo. Estes resultados estão de acordo com o tipo de calcário (dolomítico) utilizado e forma de aplicação (superfície)

antes da implantação do experimento. Os teores são descritos como altos, para todos os tratamentos em ambas as camadas (RAIJ et al., 1997).

Tabela 23 - Teor de cálcio, magnésio e potássio do solo em duas profundidades em função de diferentes sucessões de culturas e sistemas de adubação, Cafelândia-PR, 2015

Teor de potássio								
Prof. (cm)	0-10				10-20			
Fertilizante	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
Pl. de cob.	-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----							
Milho	0,68	0,63	0,65	0,65	0,48	0,48	0,49	0,48
Milho+brac	0,72	0,65	0,63	0,66	0,49	0,44	0,42	0,45
Crotalária	0,72	0,63	0,56	0,64	0,54	0,51	0,43	0,49
Aveia preta	0,76	0,62	0,53	0,64	0,54	0,43	0,33	0,43
Trigo	0,67	0,59	0,52	0,59	0,45	0,40	0,31	0,38
Média	0,71A	0,62B	0,58B	0,64	0,50A	0,45A	0,39B	0,45

Teor de cálcio								
Pl. de cob.	-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----							
Milho	5,68	5,30	5,55	5,51 a	4,08	4,32	4,16	4,19 a
Milho+brac	5,55	5,48	5,29	5,44 a	4,04	4,03	3,85	3,97 a
Crotalária	5,66	5,65	5,63	5,65 a	4,30	4,37	4,23	4,30 a
Aveia preta	5,75	4,72	4,93	5,13 a	3,90	3,71	3,71	3,77 b
Trigo	4,53	4,55	4,09	4,39 b	3,58	3,25	3,03	3,29 b
Média	5,43	5,14	5,10	5,22	3,98	3,94	3,79	3,90

Teor de magnésio								
Pl. de cob.	-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----							
Milho	2,66	2,12	2,56	2,45 a	1,43	1,48	1,51	1,47 a
Milho+brac	2,50	2,75	2,47	2,57 a	1,37	1,46	1,35	1,39 a
Crotalária	2,25	2,29	2,34	2,30 a	1,35	1,56	1,44	1,45 a
Aveia preta	2,64	1,94	2,22	2,26 a	1,30	1,13	1,18	1,20 b
Trigo	1,89	1,99	1,76	1,88 b	1,19	1,12	0,95	1,09 b
Média	2,39	2,22	2,27	2,29	1,33	1,35	1,29	1,32

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária; Prof - Profundidade; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

Observa-se que a sucessão com trigo influenciou negativamente o pH do solo em ambas as camadas avaliadas. Na camada de 10-20 cm a sucessão com aveia preta também apresentou menores valores de pH. A sucessão com trigo obteve o menor valor de pH, sendo a acidez classificada como alta para este tratamento (RAIJ et al., 1997). Para os demais tratamentos desta camada a acidez fica classificada como média.

A saturação do solo por alumínio foi à única variável analisada que apresentou interação entre as sucessões e adubações, porém somente na camada

de 0-10 cm. Nos tratamentos com fertilizante orgânico, não houveram diferenças entre as sucessões de culturas para a saturação por alumínio. Na aplicação de fertilizante organomineral, a saturação por alumínio foi maior na sucessão com aveia preta. Quando a adubação ocorreu com fertilizante mineral, os maiores valores de saturação por alumínio foram observados na sucessão com trigo. Na camada de 10-20 cm, a adubação com fertilizante mineral e sucessão com trigo ou aveia apresentaram as menores saturações por alumínio (Tabela 24).

Tabela 24 - pH em cloreto de cálcio e saturação por alumínio do solo em duas profundidades em função de diferentes sucessões de culturas e sistemas de adubação, Cafelândia-PR, 2015

Prof. (cm)	pH (CaCl <sub>2</sub> )							
	0-10				10-20			
Fertilizante	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
Pl. de cob.	----- $-\log^{10} [H^+]$ -----							
Milho	5,35	5,23	5,35	5,31 a	4,80	4,93	4,98	4,90 a
Milho+brac	5,35	5,48	5,30	5,38 a	4,78	4,95	4,78	4,83 a
Crotalária	5,40	5,40	5,40	5,40 a	4,90	4,98	4,88	4,92 a
Aveia preta	5,40	5,05	5,25	5,23 a	4,75	4,60	4,65	4,67 b
Trigo	5,00	5,08	4,88	4,98 b	4,63	4,60	4,48	4,57 b
Média	5,30	5,25	5,24	5,26	4,77	4,81	4,75	4,78

Pl. de cob.	Saturação por alumínio							
	-----%							
Milho	0,00Aa	0,04Ab	0,00Ab	0,01	2,48	1,83	3,43	2,58 b
Milho+brac	0,00Aa	0,00Ab	0,63Ab	0,21	2,90	1,32	4,35	2,86 b
Crotalária	0,00Aa	0,00Ab	0,00Ab	0,00	1,17	0,68	1,68	1,18 b
Aveia preta	0,00Ba	1,91Aa	0,08Bb	0,66	4,10	6,92	5,58	5,53 a
Trigo	0,60Ba	0,00Bb	1,64Aa	0,75	5,10	7,55	11,47	8,04 a
Média	0,12	0,39	0,47	0,33	3,15B	3,66B	5,30A	4,04

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária; Prof - Profundidade; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

Na camada de 0-10 cm a sucessão com milho apresentou a maior capacidade de troca de cátions (CTC) (Tabela 25). A sucessão com trigo, por acidificar o solo (Tabela 24), também reduziu a CTC do solo, apresentando os menores valores de CTC em ambas as camadas avaliadas. A CTC é uma propriedade influenciada pelos teores de argila e matéria orgânica do solo. O teor de argila é uma característica inerente ao solo, não sendo alterada pelo manejo. Como a sucessão com trigo influenciou negativamente o teor de matéria orgânica do solo, a CTC nesse tratamento também foi inferior. A aplicação do fertilizante orgânico influenciou positivamente a CTC nas duas profundidades avaliadas, apesar da

aplicação deste fertilizante não ter interferido no teor de matéria orgânica do solo. Os resultados estão de acordo com os obtidos por Moreti et al. (2007), que estudando diferentes sistemas de adubação (orgânica e mineral), verificaram que a aplicação de cama de frango não incrementou os teores de matéria orgânica do solo, porém influenciou positivamente a CTC.

Tabela 25 - Capacidade de troca de cátions, soma de bases e saturação por bases do solo em duas profundidades em função de diferentes sucessões de culturas e sistemas de adubação, Cafelândia-PR, 2015

Capacidade de troca de cátions								
Prof. (cm)	0-10				10-20			
Fertilizante	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
Pl. de cob.	-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----							
Milho	14,26	13,64	13,95	13,95 a	12,68	12,41	12,29	12,46 a
Milho+brac	13,93	13,34	13,37	13,55 b	12,86	11,72	11,99	12,19 a
Crotalária	13,27	13,31	13,41	13,33 b	12,19	12,04	12,35	12,19 a
Aveia preta	14,05	13,18	13,09	13,44 b	12,59	12,68	12,43	12,56 a
Trigo	12,88	12,69	12,48	12,68 c	12,04	11,60	11,66	11,76 b
Média	13,68A	13,23B	13,26B	13,39	12,47A	12,09B	12,14B	12,23
Soma de bases								
Pl. de cob.	-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----							
Milho	9,01	8,05	8,75	8,60 a	5,99	6,28	6,16	6,14 a
Milho+brac	8,76	8,87	8,38	8,67 a	5,89	5,94	5,61	5,81 a
Crotalária	8,63	8,57	8,54	8,58 a	6,20	6,44	6,10	6,25 a
Aveia preta	9,15	7,27	7,67	8,03 a	5,74	5,26	5,21	5,40 b
Trigo	7,10	7,12	6,37	6,86 b	5,22	4,76	4,29	4,76 b
Média	8,53	7,97	7,94	8,15	5,80	5,74	5,47	5,67
Saturação por bases								
Pl. de cob.	-----%-----							
Milho	63,13	58,74	62,48	61,45 a	47,21	50,67	49,62	49,17 a
Milho+brac	62,83	66,46	62,04	63,78 a	45,72	50,61	46,54	47,62 a
Crotalária	64,98	64,48	63,52	64,32 a	50,70	53,66	49,36	51,24 a
Aveia preta	65,00	55,08	58,43	59,50 a	45,51	41,52	41,89	42,97 b
Trigo	55,00	56,13	50,78	53,97 b	43,31	41,06	36,88	40,41 b
Média	62,19	60,18	59,45	60,60	46,49	47,50	44,86	46,28

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária; Prof - Profundidade; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

A soma de bases e saturação por bases não foram alteradas em função da aplicação dos fertilizantes. Os resultados divergem dos obtidos por Moreti et al. (2007), que observaram incremento da soma e saturação por bases na camada de 0-10 cm do solo quando aplicada cama de frango em relação à adubação mineral. Já entre as sucessões houveram diferenças para estas variáveis nas duas

profundidades avaliadas. A sucessão com trigo apresentou os menores valores de soma de bases e saturação por bases na camada de 0-10 cm. Na camada de 10-20, a sucessão com trigo também obteve os menores valores de soma e saturação por bases, porém não diferindo da sucessão com aveia preta.

Os teores de micronutrientes encontram-se descritos na Tabela 26. Os teores de Fe não apresentaram variação significativa em função dos fertilizantes utilizados. Já para as sucessões apenas na camada de 0-10 cm houveram diferenças significativas, sendo que a sucessão com trigo apresentou os maiores teores. Provavelmente a disponibilidade de Fe foi aumentada em função da redução do pH do solo nesse tratamento. Para todos os tratamentos os teores de Fe foram maiores que  $5 \text{ mg/dm}^3$ , que são considerados altos (CQFS-RS/SC, 2004). Não houveram diferenças significativas para os teores de Mn entre os fertilizantes e sucessões de culturas avaliados. Os teores de Mn encontrados são elevados, 48,59 e  $38,95 \text{ mg/dm}^3$  para as camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Teores maiores de  $5 \text{ mg/dm}^3$  de Mn já são considerados altos (CQFS-RS/SC, 2004).

Os teores de Zn foram maiores na camada de 0-10 cm para o fertilizante orgânico e na camada de 10-20 cm para a sucessão com aveia preta. O incremento do teor de Zn em função da aplicação de cama de frango, é explicado pela composição deste resíduo. Segundo Silva (2008), o esterco de aves apresenta entre 307 e  $729 \text{ mg/kg}$  de Zn. A resposta somente na camada superficial, deve-se a forma de aplicação do resíduo (superficial) e a forte ligação que o Zn apresenta com os colóides, abundantes em solos argilosos.

Para os teores de Cu, não houveram diferenças significativas entre as sucessões, porém os teores foram menores para a utilização de fertilizante orgânico na camada de 0-10 cm. Essa redução é explicada pela ligação do Cu à matéria orgânica da cama de frango. O Cu é um dos elementos menos móveis no solo devido a sua forte adsorção nos colóides orgânicos e inorgânicos. Na matéria orgânica o Cu é retido principalmente pelos ácidos húmicos e fúlvicos formando complexos estáveis (SILVA; MENDONÇA, 2007). A adsorção específica de metais a colóides orgânicos resulta da formação de moléculas estáveis, com elevada energia de ligação, e tem como consequência a formação de complexos de esfera interna (SPARKS, 1995). Os teores de Cu em todos os tratamentos ficaram acima do limite de suficiência. Segundo Moraes et al. (2010), teores acima de  $0,8 \text{ mg/dm}^3$  de Cu extraídos por Mehlich-1 são considerados altos para os solos brasileiros.

Tabela 26 - Teores dos micronutrientes ferro, manganês, zinco e cobre do solo em duas profundidades em função de diferentes sucessões de culturas e sistemas de adubação, Cafelândia-PR, 2015

		Teor de ferro							
Prof. (cm)	0-10				10-20				
Fertilizante	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média	
Pl. de cob.	-----mg/dm <sup>3</sup> -----								
Milho	17,99	16,07	16,96	17,01 b	21,48	19,79	19,01	20,09	
Milho+brac	15,30	15,02	16,09	15,47 b	21,71	19,96	20,13	20,60	
Crotalária	15,43	15,76	16,94	16,04 b	20,60	20,81	19,37	20,26	
Aveia preta	16,45	17,85	17,59	17,30 b	20,63	23,55	24,20	22,79	
Trigo	19,04	19,42	19,61	19,36 a	23,01	21,96	23,49	22,82	
Média	16,84	16,82	17,44	17,03	21,49	21,21	21,24	21,31	
		Teor de manganês							
Pl. de cob.	-----mg/dm <sup>3</sup> -----								
Milho	46,54	46,23	48,25	47,00	37,14	37,41	35,50	36,68	
Milho+brac	49,85	50,10	50,33	50,09	38,98	37,46	40,62	39,02	
Crotalária	47,89	49,36	49,57	48,94	41,84	39,84	38,62	40,10	
Aveia preta	50,76	47,44	51,53	49,91	42,25	38,62	41,39	40,75	
Trigo	47,49	49,33	44,14	46,99	37,47	40,77	36,35	38,19	
Média	48,51	48,49	48,76	48,59	39,54	38,82	38,49	38,95	
		Teor de zinco							
Pl. de cob.	-----mg/dm <sup>3</sup> -----								
Milho	16,83	11,11	11,92	13,28	6,02	5,42	6,24	5,89 b	
Milho+brac	15,35	9,68	11,61	12,21	5,95	4,31	5,37	5,21 b	
Crotalária	12,47	10,80	8,85	10,71	5,66	6,42	5,27	5,78 b	
Aveia preta	15,56	11,95	9,99	12,50	11,22	11,12	9,08	10,47 a	
Trigo	12,54	8,25	10,70	10,50	7,33	7,80	5,75	6,96 b	
Média	14,55A	10,36B	10,61B	11,84	7,23	7,01	6,34	6,86	
		Teor de cobre							
Pl. de cob.	-----mg/dm <sup>3</sup> -----								
Milho	9,67	10,13	9,66	9,82	11,85	11,35	11,22	11,47	
Milho+brac	10,18	10,41	10,48	10,35	11,74	11,87	11,66	11,76	
Crotalária	10,20	10,72	10,96	10,63	11,72	12,14	11,58	11,81	
Aveia preta	10,85	12,16	11,94	11,65	12,79	13,08	13,51	13,13	
Trigo	10,05	10,64	9,96	10,22	11,26	12,25	11,30	11,60	
Média	10,19B	10,81A	10,60A	10,53	11,87	12,14	11,85	11,95	

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária; Prof - Profundidade; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

A saturação da CTC do solo por Ca, Mg e K, tem sido avaliada como indicador do equilíbrio entre os cátions do solo, uma vez que na absorção entre esses nutrientes pelas culturas pode ocorrer inibição competitiva, já que os três elementos competem pelos mesmos sítios de absorção nas raízes. A proporção

ideal de saturação é 40 à 50, 15 à 20 e 3 à 5% para Ca, Mg e K, respectivamente (BENITES et al., 2010b).

Tabela 27 - Percentual de saturação da CTC do solo por potássio, cálcio e magnésio em duas profundidades em função de diferentes sucessões de culturas e sistemas de adubação, Cafelândia-PR, 2015

Saturação da CTC por potássio								
Prof. (cm)	0-10				10-20			
Fertilizante	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
Pl. de cob.	-----%-----							
Milho	4,73	4,59	4,63	4,65	3,76	3,86	3,89	3,84
Milho+brac	5,12	4,84	4,66	4,87	3,76	3,79	3,45	3,67
Crotalária	5,44	4,73	4,20	4,79	4,44	4,22	3,47	4,04
Aveia preta	5,40	4,67	4,06	4,71	4,30	3,38	2,60	3,43
Trigo	5,20	4,62	4,17	4,66	3,70	3,39	2,67	3,25
Média	5,18A	4,69B	4,34B	4,74	3,99A	3,73A	3,22B	3,65

Saturação da CTC por cálcio								
Pl. de cob.	-----%-----							
Milho	39,76	38,61	39,57	39,31 a	32,19	34,86	33,51	33,52
Milho+brac	39,80	41,02	39,19	40,00 a	31,34	34,32	31,92	32,53
Crotalária	42,62	42,49	41,95	42,35 a	35,22	36,41	34,21	35,28
Aveia preta	40,86	35,75	37,53	38,04 a	30,89	29,25	29,81	29,98
Trigo	35,14	35,86	32,60	34,53 a	29,76	28,01	26,03	27,93
Média	39,63	38,74	38,16	38,85	31,88	32,57	31,10	31,85

Saturação da CTC por magnésio								
Pl. de cob.	-----%-----							
Milho	18,63	15,54	18,28	17,49	11,25	11,96	12,22	11,81 a
Milho+brac	17,91	20,61	18,19	18,90	10,62	12,50	11,17	11,43 a
Crotalária	16,93	17,26	17,37	17,19	11,04	13,03	11,68	11,92 a
Aveia preta	18,74	14,67	16,85	16,75	10,32	8,89	9,48	9,56 b
Trigo	14,67	15,65	14,02	14,78	9,85	9,66	8,17	9,23 b
Média	17,38	16,75	16,94	17,02	10,62	11,21	10,55	10,79

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária; Prof - Profundidade; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

Não houveram diferenças para a saturação por Ca entre os tratamentos avaliados nas duas profundidades avaliadas (Tabela 27). Para a saturação por Mg, houve diferença somente para as sucessões na camada de 10-20 cm, sendo que as sucessões com trigo e aveia preta, apresentaram as menores saturações nessa profundidade. Apesar da sucessão com trigo ter apresentado menores teores de Ca e Mg na duas profundidades avaliadas, em função deste tratamento também ter apresentado CTC e pH menores, a saturação por estes dois cátions não apresentou resposta significativa. A saturação por Ca nas duas profundidades avaliadas ficou

abaixo da descrita como ideal pela literatura e a saturação por Mg foi inferior a ideal na camada de 10-20 cm e adequada na camada de 0-10 cm (BENITES et al., 2010b). A saturação por K não foi influenciada pelas culturas de cobertura. Já a aplicação dos fertilizantes, alterou a saturação por K nas duas profundidades. Na camada de 0-10 cm o fertilizante orgânico, apresentou as maiores saturações por K e na camada de 10-20 o fertilizante mineral as menores. Essa diferença está diretamente relacionada à concentração deste elemento, que não foi alterada em função das sucessões e foi maior para o fertilizante orgânico na camada de 0-10 cm e menor para o fertilizante mineral na camada de 10-20 cm (Tabela 23). A saturação por K foi superior a descrita como ideal somente para o fertilizante orgânico na camada de 0-10 cm, nos demais tratamentos e profundidades ficou dentro da faixa descrita como adequada (BENITES et al., 2010b).

Não houveram diferenças nas relações entre cátions em função das diferentes sucessões de culturas (Tabela 28). Para aplicação de fertilizante, observa-se que em função do incremento nos teores de K proporcionados pelo fertilizante orgânico, a relação Ca/K foi menor nas duas profundidades e a relação Mg/K apresentou diminuição somente na camada de 10-20 cm para este tratamento. A relação  $K/\sqrt{Ca+Mg}$  também foi alterada em função do incremento de K pela aplicação de fertilizante orgânico nas duas profundidades e organomineral na profundidade de 10-20cm.

Embora na absorção dos cátions (Ca, Mg e K) possa ocorrer inibição competitiva, vários trabalhos com culturas de grãos tem mostrado que o teor trocável desses nutrientes no solo é mais importante que a relação entre eles. Para a relação Ca/Mg, valores próximos a 4 são descritos como ideais (BENITES et al., 2010b), embora valores variando entre 1 e 10, não afetam a maior parte das culturas (CQFS-RS/SC, 2004). A relação (Ca+Mg)/K tem sido utilizada para indicar a disponibilidade de K no solo. Mascarenhas et al. (2000) relatam produtividades de soja mais elevadas quando os valores da relação (Ca+Mg)/K encontravam-se entre 22 e 31. Porém relações mais elevadas podem indicar disponibilidade de potássio no solo abaixo de  $0,2 \text{ cmol/dm}^3$ , indicando assim que o teor de K deve ser utilizado como índice primário e a relação (Ca+Mg)/K como índice secundário para avaliação da disponibilidade desse elemento no solo.

Tabela 28 - Relações entre cátions do solo em duas profundidades em função de diferentes sucessões de culturas e sistemas de adubação, Cafelândia-PR, 2015

Prof. (cm)	0-10				10-20			
Fertilizante	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
Pl. de cob.	-----Relação Ca/Mg-----							
Milho	2,17	2,48	2,16	2,27	2,89	2,94	2,74	2,86
Milho+brac	2,23	2,01	2,21	2,15	2,95	2,76	2,88	2,86
Crotalária	2,55	2,51	2,51	2,52	3,20	2,83	2,98	3,00
Aveia preta	2,20	2,49	2,26	2,32	3,00	3,30	3,16	3,15
Trigo	2,40	2,30	2,37	2,35	3,04	2,92	3,20	3,05
Média	2,31	2,36	2,30	2,32	3,02	2,95	2,99	2,98
Pl. de cob.	-----Relação Ca/K-----							
Milho	8,58	8,56	8,59	8,57	8,97	9,20	8,73	8,97
Milho+brac	7,82	8,52	8,41	8,25	8,36	9,48	9,57	9,13
Crotalária	7,85	9,27	10,16	9,09	7,95	9,03	10,14	9,04
Aveia preta	7,73	7,71	9,67	8,37	7,47	9,10	12,89	9,82
Trigo	6,84	8,07	7,94	7,61	8,26	8,87	10,23	9,12
Média	7,76B	8,43 A	8,95A	8,38	8,20B	9,14 B	10,31A	9,22
Pl. de cob.	-----Relação Mg/K-----							
Milho	4,10	3,44	3,99	3,85	3,23	3,13	3,20	3,19
Milho+brac	3,53	4,26	3,90	3,90	2,86	3,41	3,31	3,19
Crotalária	3,11	3,80	4,15	3,68	2,49	3,26	3,41	3,05
Aveia preta	3,58	3,13	4,26	3,65	2,50	2,77	4,08	3,12
Trigo	2,87	3,53	3,42	3,27	2,74	3,09	3,23	3,02
Média	3,44	3,63	3,94	3,67	2,77 A	3,13 A	3,45A	3,11
Pl. de cob.	-----Relação (Ca+Mg)/K-----							
Milho	12,67	12,00	12,58	12,42	12,21	12,33	11,93	12,16
Milho+brac	11,35	12,78	12,31	12,15	11,22	12,89	12,87	12,33
Crotalária	10,96	13,06	14,30	12,78	10,44	12,29	13,55	12,09
Aveia preta	11,31	10,84	13,92	12,03	9,97	11,87	16,97	12,94
Trigo	9,70	11,60	11,35	10,88	11,00	11,96	13,45	12,14
Média	11,20A	12,06A	12,90A	12,05	10,97A	12,27A	13,75A	12,33

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária; Prof - Profundidade; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

O rendimento de grãos acumulado nas três safras foi superior no sistema de sucessão com milho no inverno (Tabela 29). Nas sucessões com aveia preta e crotalária, o rendimento acumulado foi menor, já que o somatório destas sucessões considerou duas safras de grãos contra três safras das demais. O rendimento de grãos nas sucessões com trigo e milho + braquiária foi intermediário. O maior rendimento acarretou em maior exportação total de N e P. Entretanto, a exportação total de K foi maior somente na sucessão com milho + braquiária, em função do maior teor deste elemento nos grãos de milho desta sucessão.

Tabela 29 - Rendimento de grãos e exportação de N, P e K pelos grãos das culturas(soja, milho e trigo) no somatório dos três cultivos, Cafelândia-PR, safras 13/14, 14/14 e 14/15

Fertilizante	Rendimento de grãos				N Exportado			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
Pl. de cob.	-----kg/ha-----							
Milho	15316,8	15173,3	15518,3	15336,1 a	607,0	641,6	604,0	617,5 a
Milho+ Braquiária	14998,2	14741,2	15098,0	14945,8 b	634,1	585,7	597,1	605,6 a
Crotalária	9752,8	9361,5	9323,5	9479,3 c	514,1	511,8	540,2	522,1 b
Aveia preta	9700,1	9583,8	9506,2	9596,7 c	532,9	520,4	512,7	522,0 b
Trigo	15192,7	14641,2	14721,4	14851,8 b	647,0	615,1	611,8	624,7 a
Média	12992,1	12700,2	12833,5	12841,9	587,1	574,9	573,2	578,4
	P exportado				K exportado			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
Pl. de cob.	-----kg/ha-----							
Milho	61,8	66,1	62,1	63,3 a	195,5	190,7	195,7	194,0 b
Milho+ Braquiária	63,8	61,9	61,0	62,2 a	213,7	206,0	202,6	207,4 a
Crotalária	51,3	46,9	49,2	49,1 b	197,4	187,0	187,4	190,6 b
Aveia preta	51,9	48,8	50,1	50,3 b	186,9	185,1	182,9	185,0 b
Trigo	67,6	64,0	61,8	64,5 a	200,7	192,8	185,6	193,0 b
Média	59,3	57,5	56,9	57,9	198,9A	192,3B	190,9B	194,0

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

Em geral as gramíneas (milho e trigo) possuem alta extração e baixa exportação de K, diferentemente da soja, que apresenta alta exportação de K. Assim pela maior produtividade de soja obtida nas sucessões com aveia preta e crotalária, os teores exportados de K foram equivalentes. Para os fertilizantes, não houveram diferenças na exportação de N, P e K e rendimento de grãos total.

A eficiência de uso é a razão entre a produção de grãos e a quantidade de nutrientes aplicados. O maior rendimento de grãos acumulado na sucessão com milho refletiu na maior eficiência de uso de P e K. Também em função do rendimento de grãos acumulados, as sucessões com aveia preta e crotalária, apresentaram as menores eficiências de uso de P e K (Tabela 30). Entre os fertilizantes, o orgânico obteve menor eficiência de uso de P e K. Não houveram diferenças na eficiência de uso de P e K entre os fertilizantes orgânico e organomineral.

A eficiência de uso de N foi menor quando aplicado o fertilizante orgânico. O fertilizante mineral obteve a maior eficiência de uso de N. Comparando os sistemas de produção, quando aplicado fertilizante orgânico nas sucessões com crotalária e aveia preta a eficiência foi menor, que as demais sucessões. A aplicação da cama de frango disponibilizou doses mais elevadas de N antecedendo a cultura da soja, que em função da fixação biológica de N, apresenta baixa resposta a aplicação desse elemento, sendo que o N aplicado via cama foi perdido. Fixação biológica do nitrogênio é a principal fonte de N para a cultura da soja e dependendo de sua eficiência, pode fornecer todo o N que a soja necessita (EMBRAPA, 2006b). Quando a aplicação de fertilizante orgânico ocorreu na sucessão com milho ou trigo, houve aproveitamento do N residual liberado no segundo cultivo, melhorando a eficiência de uso desse nutriente. Quando aplicados os fertilizantes organomineral e mineral a eficiência de uso de N para as sucessões com crotalária e aveia preta foi superior as demais.

Entre os fertilizantes, o N foi o que apresentou os menores valores para o balanço no solo, indicando entradas menores que as saídas desse nutriente no sistema. Isso ocorre devido à fixação biológica, que não é contabilizada no cálculo de balanço de N no solo e é responsável pelo aporte de quase todo N necessário a cultura da soja. As sucessões com plantas de cobertura (aveia preta e crotalária) incrementaram o balanço de N no solo, indicando maior ciclagem, evitando perdas desse nutriente.

Tabela 30 - Balanço e eficiência de uso de N, P e K após o terceiro cultivo em função de diferentes sucessões de culturas e sistemas de adubação, Cafelândia-PR, 2015

Fertilizante	Eficiência de uso de N				Balanço de N no solo			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
Pl. de cob.	-----kg/kg-----				-----kg/ha-----			
Milho	159,54Ca	315,45Ab	291,15Bb	255,38 c	-525,91	-612,14	-563,39	-567,15 a
Milho+brac	156,23Ca	306,46Ab	283,26Bb	248,65 d	-555,17	-549,17	-558,07	-554,14 a
Crotalária	101,59Cb	405,26Ba	466,17Aa	324,34 b	-426,85	-502,86	-533,27	-487,66 b
Aveia preta	101,04Cb	414,88Ba	475,31Aa	330,41 a	-449,28	-499,11	-494,10	-480,83 b
Trigo	158,25Ca	304,39Ab	276,20Bb	246,28 d	-554,60	-568,81	-560,97	-561,46 a
Média	135,33C	349,29B	358,42A	281,01	-502,36B	-546,41A	-541,96A	-530,25
Fertilizante	Eficiência de uso de P				Balanço de P no solo			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
Pl. de cob.	-----kg/kg-----				-----kg/ha-----			
Milho	190,52Ba	231,49Aa	236,99Aa	219,67 a	-2,84	2,24	5,44	1,61 a
Milho+brac	186,56Ba	224,89Aa	230,57Aa	214,01 b	-2,03	11,68	8,16	5,94 a
Crotalária	121,31Bb	214,16Ab	213,50 Ab	183,00 c	20,10	0,01	-1,98	6,05 a
Aveia preta	120,65Bb	219,24Ab	217,69Ab	185,87 c	-9,45	-6,80	1,09	-5,06 b
Trigo	188,98Ba	223,37Aa	224,82Aa	212,39 b	-14,98	-1,07	-7,26	-7,78 b
Média	161,60B	222,63A	224,71A	202,99	-1,84	1,21	1,08	0,15
Fertilizante	Eficiência de uso de K				Balanço de K no solo			
	OR	OM	MN	Média	OR	OM	MN	Média
Pl. de cob.	-----kg/kg-----				-----kg/ha-----			
Milho	92,95Ba	121,70Aa	124,60Aa	113,09 a	-119,26	-144,25	-160,12	-141,22
Milho+brac	91,01Ba	118,24Aa	121,22Aa	110,16 b	-156,08	-152,65	-130,85	-146,53
Crotalária	59,18Bb	112,60Ab	112,25Ab	94,68 c	-165,18	-201,23	-146,06	-170,83
Aveia preta	58,86Bb	115,27Ab	114,45Ab	96,20 c	-167,42	-164,15	-89,75	-140,45
Trigo	92,19Ba	117,44Aa	118,20Aa	109,28 b	-109,80	-97,42	-33,71	-80,31
Média	78,84B	117,05A	118,14A	104,68	-143,55	-151,94	-112,10	-135,87

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). OR - Orgânico; OM - Organomineral; MN - Mineral; Brac - Braquiária; Pl. de cob. - Planta de cobertura.

Quanto ao balanço de P no solo, não houveram diferenças entre os fertilizantes utilizados. Entre as sucessões, milho, milho + braquiária e crotalária obtiveram balanço de P positivo e superior que as sucessões com aveia preta e trigo. Esse resultado deve-se em grande parte pelo maior teor de P final no solo nos tratamentos com aveia preta e trigo. O P foi o nutriente que apresentou balanço mais próximo a zero. Os sistemas de produção de grãos e adubações não se diferenciaram em relação ao balanço de K no solo, sendo que na média o balanço foi negativo, com uma remoção média de 135,87 kg/ha.

Pesquisas realizadas em muitos países indicam um balanço negativo em nutrientes no sistema solo-planta. Dobermann et al. (1996) em 11 experimentos com fertilização potássica a longo prazo em cinco países asiáticos, demonstraram que na maioria dos locais dos experimentos o balanço de K foi negativo, com remoção líquida média de 34-63 kg/ha/ano de K.

Bhattacharyya et al. (2006) verificaram que a exportação de K pelas culturas durante 30 anos foi maior que a quantidade aplicada apresentando saldo negativo no balanço desse nutriente no solo. Os autores ainda concluíram que se a aplicação de fertilizante, a longo prazo, não for revista, as doses recomendadas pode ameaçar a sustentabilidade do sistema de cultivo de trigo-soja de sequeiro. De modo semelhante, Singh et al. (2002) em estudo conduzido durante oito anos em um Latossolo Vermelho na Índia, verificaram que a recomendação de adubação com K no cultivo de arroz e de trigo no sistema irrigado, representa uma ameaça para a sustentabilidade do sistema, devido o esgotamento das reservas do solo desse nutriente.

Hanáčková et al. (2008) avaliando o balanço de nutrientes em cinco sistemas de rotação de culturas sob preparo convencional e cultivo mínimo, verificaram que a incorporação de resíduos vegetais de plantas de cobertura ao solo promoveu saldo positivo de 4 kg/ha/ano de P, em ambos os sistemas de cultivo. Por sua vez, a permanência da área em pousio no período de entre safra resultou em um déficit de 24 kg/ha/ano de P. Estes dados reportam a importância da rotação de culturas no sistema de produção por constituir um reservatório expressivo de nutrientes, através do processo de ciclagem do nutriente do solo.

#### 4.4 CONCLUSÕES

A utilização de cama de frango promove incremento dos teores de P e K do solo, porém não incrementa os teores de matéria orgânica após dois anos de aplicações.

A eficiência de uso de P e K é superior na sucessão soja - milho 2ª safra.

A eficiência de uso de N, P e K é inferior na adubação com fertilizante orgânico aplicado antecedendo a cultura da soja.

Não há diferença na eficiência de uso de P e K entre os fertilizantes organomineral e mineral, já para o N, o fertilizante mineral apresenta eficiência superior.

O N foi o nutriente com o balanço no solo mais negativo e a utilização de plantas de cobertura, aveia preta e crotalária, incrementa o balanço e melhora a eficiência de uso desse nutriente no sistema.

O P apresentou balanço no solo próximo a zero sendo menor nas sucessões com trigo e aveia preta.

O balanço de K no solo foi negativo e não foi diferente entre os sistemas de produção de grãos e fertilizantes testados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU JÚNIOR, C.H.; OLIVEIRA, F.C.; SILVA, F.C.; BERTON, R.S. Uso de resíduos orgânicos no pomar. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.4, p.391-470, 2005.
- AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; DA ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.157-165, 2001.
- AITA, C.; GIACOMINI, J.C.; HÜBNER, A.P.; CHIAPINOTTO, I.C.; FRIES, M.R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I – Dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.739-749, 2004.
- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Eds.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. 1.ed. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p.1-42.
- ALCARDE, J.C.. Fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.
- ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P.. Plantas de cobertura de solo para sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, v.22, n.208, p.25-36, 2001.
- ALVAREZ, V.H. et al. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.27-32, 2000.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002.
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I; DESCHAMPS, F.C.. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 28, p.115-123, 2004.
- ANGELO, J.C.; GONZALES, E.; KONGO, N.; ANZAI, N.H.; CABRAL, M.M.C. Material de cama: qualidade, quantidade e efeito sobre o desempenho de frango de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.1, p.121-130, 1997.
- ANGHINONI, I.; BISSANI, C.A. Fósforo e adubos fosfatados. In: BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fertilidade do solo e manejo da adubação de culturas**. 1.ed. Porto Alegre: Genesis, v.1, 2004. p.117-138.

BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K.; HE, Z.L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, n. 7-8, p. 921-950, 2001.

BARDUCCI, R.S.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C.A.C.; BORGHI, E.; PUTAROV, T.C.; SARTI, L.M.N.; Produção de *Brachiaria Brizantha* e *Panicum Maximum* com milho e adubação nitrogenada. **Revista Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 222, p. 211-222, 2009.

BENEDETTI, T.; ANTONIOLLI, Z.I.; GIRACCA, E.N.; STEFFEN, R.B. Diversidade de fungo micorrízicos arbusculares na cultura do milho na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.4, n.1, p.44-51, 2005.

BENITES V. M.; CORREA, J.C.; MENEZES, J.F.S.; POLIDORO, J.C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. **XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**. Guarapari-ES, 2010a.

BENITES, V.M.; CARVALHO, M.C.S.; RESENTE, A.V.; POLIDORO, J.C.Ç BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRA, F.A. Potássio, cálcio e magnésio. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V. STIPP, S.R. (Eds.) **Boas práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes: Nutrientes**. IPNI, Piracicaba. 2010b. p.1-65.

BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; FEY, E.; LANA, M.C. Perda de nutrientes via escoamento superficial no sistema plantio direto sob adubação mineral e orgânica. **Ciência Rural**, v.41, n.11, p.1914-1920, 2011.

BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; KUNDU, S.; GHOSH, B.N.; SRIVASTVA, A. K.; GUPTA, H.S. Potassium balance as influenced by farmyard manure application under continuous soybean-wheat cropping system in a Typic Haplaquept. **Geoderma**, v.137, n.1-2, p.155-160, 2006.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1269-1276, 2007.

BOGHOSSIAN, M.R.; PEIXOTO, P.V.; BRITO, M.F.; TOKARNIA, C.H. Aspectos clínicopatológicos da intoxicação experimental pelas sementes de *Crotalaria mucronata* (Fabaceae) em bovinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.27, n.4, p.149-156, 2007.

BOLAN, N.A.S.; NAIDU, R.; MAHIMAIRAJARA, S.; BASKARAN, S. Influence of low-molecular-weight organic acids on the solubilization of phosphates. **Biology and Fertility of Soils**, v.18, p.311-319, 1994.

BONO, J.A.M.; MICHELON, T.; ARIAS, E.R.A.; DUBOC, E. Métodos de amostragem de solo em sistema de plantio direto. **Ensaio e Ciência**, v.6, n.2, p.99-111, 2002.

BORKERT, C.M.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; KLEPKER, D.; JÚNIOR, A.O. O potássio na cultura da soja. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Eds.). **Potássio na**

**agricultura brasileira.** Piracicaba. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p.671-722.

BORKERT, C.M.; SFREDO, G.J.; SILVA, D.N. Calibração de potássio trocável para a soja em latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.2, p.223-226, 1993.

BRANCO, S.M.; MURGEL, P.H.; CAVINATTO, V.M. Compostagem: Solubilização biológica de rocha fosfática na produção de fertilizante organomineral. **Engenharia Sanitária e Ambiental**,v.6, p.115-122, 2001.

BROCH, D.L. Manejo da fertilidade do solo na cultura do milho safrinha. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n.49, p.20-21, 1999.

BROCH, D.L.; RANNO, S.K. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura do milho "safrinha". In: FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e Produção: milho safrinha e cultura de inverno**.6ª ed. Maracaju, 2010.

CAIRES, E.F.; JORIS, H.A.W.; CHURKA, S.; ZARDO FILHO, R. Performance of maize landrace under no-till as affected by the organic and mineral fertilizers. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.55 n.2: p. 221-230, 2012.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y.R.; PASINI, J.J. (Eds.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p. 55-73.

CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 2, p. 147-158, 2006.

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1399-1407, 2008.

CAMARGO, M.S. A importância do uso de fertilizantes para o meio ambiente. **Pesquisa & Tecnologia**, v.9, n.2, 2012.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z.F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V. STIPP, S.R. (Eds.) **Boas práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes: Nutrientes**. IPNI, Piracicaba. 2010. p.1-65.

CARNEIRO, A.M. 1996. **Forragicultura**. Escola Veterinária da UFMG. Belo Horizonte. 86p. ( Bol. Técnico ).1996.

CARVALHO, A.M.; SODRÉ FILHO, J. **Uso de adubos verdes como cobertura do solo**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2000. 20 p. (Boletim de Pesquisa, 11).

CARVALHO, E.R.; REZENDE, P.M.; ANDRADE, M.J.B.; PASSOS, A.M.A.; OLIVEIRA, J.A. Fertilizante mineral e resíduo orgânico sobre características agronômicas da soja e nutrientes no solo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 930-939, 2011.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000 Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>. Acesso em: abril de 2012.

CECCON, G.; STAUT, L. A.; KURIHARA, C. H. Cerrado: Manejo de *Brachiaria ruziziensis* em consórcio com milho safrinha e rendimento de soja em sucessão. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, RS, ed. 113, p. 4-8, 2009.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M.J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p.49-54, 2002.

CESSA, R.M.A. VITORINO, A.C.T.; CELI, L.; NOVELINO, J.O.; BARBERIS, E. Adsorção de fósforo em frações argila na presença de ácido fúlvico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n.5, p.1535-1542, 2010.

CHAVES, J.C.D.; CALEGARI, A. **Adubação verde e rotação de culturas**.Informe Agropecuário, v. 22, p. 53-60, 2001.

CHEPKWONY, C.K.; HAYNES, R.J.; SWIFT, R.S.; HARRISON, R. Mineralization of soil organic P induced by drying and rewetting as a source of plant-available P in limed and unlimed samples of an acid soil. **Plant and Soil**, v.234, p.83-90, 2001.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, v.41, p.227-234, 1995.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safras. Séries históricas**. Disponível em: 2015. <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=> Acesso em: 04 de junho de 2015.

CORRÊA, J.C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.12, p.1231-1237, 2004.

CORREIA, N.M.; LEITE, M.B.; FUZITA, W.E. Consórcio de milho com *Urochloa ruziziensis* e os efeitos na cultura da soja em rotação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 65-76, 2013.

COSTA, M.D.; LOVATO, P.E. Fosfatases na dinâmica do fósforo do solo sob culturas de cobertura com espécies micorrízicas e não micorrízicas, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.603-605, 2004.

COSTA, M.S.S.M.; PIVETTA, L.A.; COSTA, L.A.M.; PIVETTA, L.G.; CASTOLDI, G.; STEINER, F. Atributos físicos do solo e produtividade do milho sob sistemas de

manejo e adubações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.810-815, 2011a.

COSTA, M.S.S.M.; PIVETTA, L.A.; STEINER, F.; COSTA, L.A.M.; CASTOLDI, G.; GOBBI, F.C. Atributos químicos do solo sob plantio direto afetado por sistemas de culturas e fontes de adubação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.4, p.579-587, 2011b.

COTTA, T. **Produção de carne de frangos**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 198p.

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

CRUSCIOL, C.A.C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E.V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 2, p. 161-168, 2005.

DOBERMANN, A.; CRUZ, P.C.S.; CASSMAN, K.G. Fertilizer inputs, nutrient balance, and soil nutrient-supplying power in intensive, irrigated rice systems. I. Potassium uptake and K balance. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 46, n. 1, p. 1-10, 1996.

DUARTE, A.P. Milho safrinha: característica e sistemas de produção. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Eds.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004. p. 109-138.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Zoneamento agrícola de risco climático: Instrumento de gestão de risco utilizado pelo seguro agrícola do Brasil**. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Zoneamento\\_agricola](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Zoneamento_agricola). Acesso em: abril de 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultura do trigo**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/trigo/cultivos>. Acesso em: maio de 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006a. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologia de Produção de Soja - Paraná 2007**. Londrina – PR, 2006b. 220p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologia de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina – PR, 2011. 261p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives**. 2ª ed. Sunderland: Sinauer, 2005. 225 p.

ERASMO, E.A.L.; AZEVEDO, W.R.; SARMENTO, R.A.; CUNHA, A.M.; GARCIA, S.L.R. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.22, n.3, p.337-342, 2004.

ERNANI, P.R.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. Influência da calagem no rendimento de matéria seca de plantas de cobertura e adubação verde, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.897-904, 2001.

FAEP. **Fertilizantes em Toledo**: nova fabrica, novas soluções. Boletim informativo do Sistema FAEP, No. 1172, de 2 a 8 de março de 2012.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v.88, p.97-185, 2005.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

FÁVERO, F. **Uso da cama de frango associada à adubação mineral no sistema de produção de grãos da região oeste do Paraná**. 2012. 79 p. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Candido Rondon, 2012.

FERREIRA, D.F. .Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFPA), v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FILLERY, I.R.P. Plant-based manipulation of nitrification in soil: a new approach to managing N loss? **Plant and Soil**, v.294, p.1-4, 2007.

FLOSS, E.L. **Fisiologia das plantas cultivadas**: o estudo que está por trás do que se vê. 3 de. Passo Fundo, 2006. 751p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World production of cereals**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/>. Acesso em: junho de 2015.

FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**, 231:55-63, 2001.

FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.2267-2276, 1999.

FUKAYAMA, E.H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações**: efeitos na produção de biogás e biofertilizante. Jaboticabal, 2008. 121p. Tese (Doutorado) Universidade Estadual Paulista, 2008.

FUNDAÇÃO MERIDIONAL. **História da soja**. Disponível em: <http://www.fundacaomeridional.com.br/soja/historico>. Acesso em: abril de 2015.

GARCIA, R.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, v.28, p.579-585, 2008.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; HUBNER, A.P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E.B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.1097-1104, 2003.

GOMES, J.A.; SCAPIM, C.A.; BRACCINI, A.L.; VIDIGAL FILHO, O.S.; SAGRILO, E.; MORA, F. Adubações orgânica e mineral, produtividade do milho e características físicas e químicas de um Argissolo Vermelho Vermelho-Amarelo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.27, p.521-529, 2005.

HANÁČKOVÁ, E.; MACÁK, M.; CANDRÁKOVÁ, E. The nutrients balance of crop rotation as an indicator of sustainable farming on arable land. **Journal of Central European Agriculture**, v.9, n.3, p.431-438, 2008.

HANÁČKOVÁ, E.; MACÁK, M.; CANDRÁKOVÁ, E. The nutrients balance of crop rotation. **Research Journal of Agricultural Science**, v. 43, n. 1, p. 62-67, 2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006**: resultados preliminares. Rio de Janeiro, IBGE, Censos 2007b. 146 p. Disponível em: <[http://http://ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006\\_segunda\\_apuracao/default.shtm](http://http://ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006_segunda_apuracao/default.shtm)>. Acesso em: 01 junho de 2015.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTIUTE. **Consumo de fertilizante por região**. Disponível em: <http://www.potafos.org/ppiweb/brazil.nsf>. Acesso em: abril de 2015.

JAYACHANDRAN, K.; SCHWAB, A.P.; HETRICK, B.A.D. Mycorrhizal mediation of phosphorus availability: synthetic iron chelate effects on phosphorus solubilization. **Soil Science Society of America Journal**, v.53, p.1701-1706, 1989.

KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1003-1010, 2007.

KEENEY, D.R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F.J. Nitrogen agriculture soils. **Soil Science Society of America**, 1982, p.605-649.

KIEHL, E.J. **Novo fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, 2010. 248p.

KIRK, G. J. D. A modelo f phosphate solubilization by organic anion excretion from plant roots. **European Journal Soil Science**, v.50, p.369-378, 1999.

LANA, M.C.; FEY, R.; FRANDOLOSO, J.F.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e tecido vegetal**: práticas de laboratório. Cascavel: EDUNIOESTE, 2010. 130 p.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho

em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.363-376, 2000.

MACEDO, M.C.M. Adubação fosfatada em pastagens cultivadas com ênfase na região do Cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.) **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p.359-396.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2<sup>nd</sup> ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; CARMELLO, Q.A.C.; GALLO, P.B.; AMBROSANO, G.M.B. Calcário e potássio para a cultura da soja. **Scientia Agricola**, v.57, p.445-449, 2000.

MORAES, M.F.; ABREU JÚNIOR, C.H.; LAVRES JÚNIOR, J. Micronutrientes. In: PROCHOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Eds.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. IPNI, Piracicaba, 2010, p.205-278

MORETI, D.; ALVES, M.C.; VALÉRIO FILHO, W.V.; CARVALHO, M.P. Atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:167-175, 2007.

NACHTIGALL, G.R.; VAHL, I.C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da Região Sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.37-42, 1991.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa, 2007. p.471-550.

NZIGUHEBA, G.; PALM, C.A.; BURESH, R.J.; SMITHSON, P.C. Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources. **Plant and Soil**, v.198, p.159-168, 1998.

OENEMA, O.; KROS, H.; DE VRIES, W. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: Implications for nutrient management and environmental policies. **European Journal of Agronomy**, v.20, n.1-2, p.3-16, 2003.

OLIVEIRA JÚNIOR, A.; CASTRO, C.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F.A. Soja. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V. STIPP, S.R. (Eds.) **Boas práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes: Culturas**. IPNI, Piracicaba. 2010. p.1-39.

OLIVEIRA, T.K.; CARVALHO, G.J.; MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.8, p.1079-1087, 2002.

OVIEDO-RONDÓN, E.O. Tecnologias para mitigar o impacto ambiental da produção de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.239-252, 2008.

PASSOS, A.M.A.; CARVALHO, E.R.; REZENDE, P.M.; BALIZA, D.P. Cama de frango, esterco de curral e pó de carvão vegetal nos teores de macronutrientes de plantas de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6. Cuiabá. **Anais...** Embrapa, Brasília-DF, 2012. 4 p.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, 1999. p. 429-485.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1996. 340p.

PEARSON, R.G. Acids and Bases. **Science**, 151:172-177, 1966.

PITTA, C.S.R.; ADAMI, P.F.; PELISSARI, A; ASSMANNT. S.; FRANCHIN, M.F.; CASSOL, L.C.; SARTOR, L.R. Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1043-1053, 2012.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. International Plant Nutrition Institute. IAC, Piracicaba, 2011. 420p.

RANELLS, N.N.; WAGGER, M.G. Nitrogen-15 recovery and release by rye and crimson clover cover crops. **Agronomy Journal**, v.61, p.943-948, 1997.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. **Informações técnicas para safra 2015: trigo e triticale**. Canela, 2014. 230p.

RICHETTI, A. **Viabilidade econômica da cultura da soja na safra 2011/2012, em Mato Grosso do sul**. Comunicado Técnico, 168. Embrapa, Dourados, 2011.

ROSECRANCE, R.C.; Mc CARTY, G.W; SHELTON, D.R.; TEASDALE, J.R. Denitrification and N mineralization from hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) and rye (*Secale cereale* L.) cover crop monocultures and bicultures. **Plant and Soil**, v.227, p.283-290, 2000.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Potassium leaching from millet straw as affected by rainfall and potassium rates. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p.1063-1074, 2005.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S.; GARCIA, R.A. Potássio lixiviado da palha de aveia-preta e milheto após a dessecação química. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.8, p.1169-1175, 2007.

ROSOLEM, C.A.; SGARIBOLDIA, T.; GARCIA, R.A.; CALONEGO, J.C. Potassium leaching as affected by soil texture and residual fertilization in tropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.41, p.1934–1943, 2010.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, L.H. Mineralização e absorção por milho do nitrogênio do solo, da palha de milho ( $^{15}\text{N}$ ) e da uréia ( $^{15}\text{N}$ ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.423-429, 1993.

SANTI, A.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I -Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1075-1083, 2003.

SANTOS, H.P.; SPERA, S.T.; TOMM, G.O.; KOCHANN, R.A.; ALEXANDRE ÁVILA, A. Efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.441-454, 2008

SANZONOWICZ, C.; MIELNICZUK, J. Distribuição de potássio no perfil de um solo influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p.45-50. 1985.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 1375-1383, 2010.

SCHERER, E.E.; NESI, C.N. Características químicas de um Latossolo sob diferentes sistemas de preparo e adubação orgânica. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 715-721, 2009.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Estimativa de safras**. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/>. Acesso em: maio de 2015.

SILVA, A. A.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, E. S. G.; STRIEDER, M. L.; RAMBO, L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, Santa Maria v. 37, n. 4, p. 928-935, 2007.

SILVA, C.A. Uso de resíduos orgânicos na agricultura. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª ed. Porto Alegre, 2008. p.597-624.

SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In:NOVAI S , R. F . ; ALVAREZ V. , V.H. ; BARROS , N. F . ;FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L.eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SILVA, J.C.P.M.; MOTTA, A.C.V.; PAULETTI, V.; VELOSO, C.M.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A.S.; SILVA, L.F.C. Esterco de gado leiteiro associado à adubação mineral e sua influência na fertilidade de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.453-463, 2010.

SILVA, R.H.; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 253-260, 2001.

SILVA, T.R.; MENEZES, J.F.S.; SIMON, G.A.; ASSIS, R.L.; SANTOS, C.J.L.; GOMES, G.V. Cultivo do milho e disponibilidade de P sob adubação com cama de frango. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v.15, n.9, p.903-910, 2011.

SILVA, T.R.B.; BORTOLUZZI, T.; SILVA, C.A.T.; ARIEIRA, C.R.D. A comparison of poultry litter applied like organic fertilizer and that applied like chemical fertilizer in corn development. **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 2, p. 194-197, 2012.

SINGH, M.; SINGH, V.P.; REDDY, D.D. Potassium balance and release kinetics under continuous rice-wheat cropping system in Vertisol. **Field Crops Research**, v. 77, n. 2-3, p. 81-91, 2002.

SOUZA, R.F.; FAQUIN, V.; TORRES, P.R.F.; BALIZA, D.P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.6, p.975-983, 2006.

SOUZA, S.R.; FERNANDES, M.S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. SBCS. Viçosa, 2006. p.215-252.

SPARKS, D.L. Bioavailability of soil potassium. In: SUMNER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000, Section D. p.48.

SPARKS, D.L. **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic Press, 1995. 267 p.

STUTE, J.K.; POSNER, J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the upper Midwest. **Agronomy Journal**, v.87, p.1063-1069, 1995.

SUBBARAO, G.V.; RONDON, M.; ITO, O.; ISHIKAWA, T. RAO, I.M.; NAKAHARA, K.; LASCANO, C.; BERRY, W.L. Biological nitrification inhibition (BNI) – is it a widespread phenomenon? **Plant and Soil**, v.294, p.5-18, 2007.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; DIAS, O.S.; CAMPIDELLI, C.; BULISANI, E.A. Cultivo da soja após incorporação de adubo verde e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, p.1477-1483, 1992.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; RIBON, A.A. Physical properties of dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 925-933, 2010.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEM, H. e VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2º ed. e ampliado. Porto Alegre: Departamento de solos, Faculdade de Agronomia/UFRGS, 1995. 174p.

TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.O. Resíduos orgânicos e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª ed. Porto Alegre, 2008. p.113-136.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1609-1618, 2008.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C.; FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.609-618, 2005.

VALADÃO, F.C.A.; MAAS, K.D.B.; WEBER, O.L.S.; JÚNIOR, D.D.V.; SILVA, T.J. Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição da cama de frango. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35. p.2073-2082, 2011.

VEDUIM, J. V. R. **Estimativa da disponibilidade de potássio em solo arenoso**. 1994. 43p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

VIEIRA, S.R.; GUEDES, O.F.; CHIBA, M.K.; MELLIS, E.V.; DECHEN, S.C.F.; MARIA, I.C. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34, p.1503-1514, 2010.

## APÊNDICE A - ANOVAS

Tabela 31 - Resumo dos quadros de análise de variância para as variáveis analisadas no primeiro cultivo (soja)

Fator de variação	GL	UMD	RND	ACM	POP	ALT	MMG	GPP	VPP
		Quadrado médio							
Bloco	3	0,2899	37214,9	1,0000	0,5556	46,10	37,59	681,73	103,76
Fertilizante	2	0,3127 <sup>NS</sup>	359850,9 <sup>**</sup>	6,6167 <sup>**</sup>	8,9042 <sup>*</sup>	105,03 <sup>**</sup>	98,53 <sup>**</sup>	5451,88 <sup>**</sup>	945,29 <sup>**</sup>
Erro	54	0,1201	27983,3	0,3796	1,8659	18,54	9,86	446,11	65,39
CV (%)		3,46	3,93	19,06	9,60	4,83	2,02	9,54	9,38
Média		10,02	4253,94	3,23	14,23	89,17	155,45	221,39	86,25

Fator de variação	GL	MGA	GPA	GPV	V4G	V3G	V2G	V1G	NFO
		Quadrado médio							
Bloco	3	4784,3	144098,2	0,0082	1,7540	64,41	48,01	3,2256	3,3509
Fertilizante	2	70908,9 <sup>**</sup>	2240420,5 <sup>**</sup>	0,0071 <sup>NS</sup>	1,4540 <sup>**</sup>	107,44 <sup>*</sup>	378,47 <sup>**</sup>	14,0240 <sup>**</sup>	52,9477 <sup>**</sup>
Erro	54	4290,2	192351,6	0,0023	0,1912	29,38	15,20	1,9516	6,2251
CV (%)		13,34	13,89	1,86	31,01	10,36	14,84	22,35	6,24
Média		490,84	3156,67	2,57	1,41	52,32	26,27	6,25	40,01

Fator de variação	GL	PFO	KFO	NGR	PGR	KGR	NEX	PEX	KEX
		Quadrado médio							
Bloco	3	0,2021	2,7173	0,7022	0,2925	1,2982	141,2	3,0529	18,2331
Fertilizante	2	0,1757 <sup>NS</sup>	2,0104 <sup>NS</sup>	1,6032 <sup>NS</sup>	0,0695 <sup>NS</sup>	1,0192 <sup>NS</sup>	1454,1 <sup>**</sup>	9,1514 <sup>NS</sup>	74,5777 <sup>NS</sup>
Erro	54	0,0597	5,6487	3,5184	0,1736	1,2874	147,1	3,8956	38,9060
CV (%)		7,07	11,06	3,42	8,20	5,92	5,19	9,14	7,65
Média		3,45	21,49	54,92	5,08	19,17	233,64	21,61	81,55

ns - Não significativo; \* - significativo a 5%; \*\* - significativo a 1%; GL -Graus de liberdade; UMD - Umidade dos grãos (%); RND - Rendimento de grãos (kg/ha); ACM - Acamamento (notas de 1-9); POP - População final de plantas (plantas/m<sup>2</sup>); ALT - Altura de plantas (cm); MMG - Massa de mil grãos (g); GPP - Número de grãos por planta; VPP - Número de vagens por planta; MGA - Massa de grãos por área (g/m<sup>2</sup>); GPA - Número de grãos por área; GPV - Número de grãos por vagem; V4G - Vagens por planta com 4 grãos; V3G - Vagens por planta com 3 grãos; V2G - Vagens por planta com 2 grãos; V1G - Vagens por planta com 1 grão; NFO - Teor de N foliar (g/kg); PFO - Teor de P foliar (g/kg); KFO - Teor de K foliar (g/kg); NGR - Teor de N nos grãos (g/kg); PGR - Teor de P nos grãos; KGR - Teor de K nos grãos; NEX - N exportado (kg/ha); PEX - P exportado (kg/ha); KEX - K exportado (kg/ha).

Tabela 32 - Resumo da análise de variância para as variáveis analisadas no segundo cultivo (milho, milho+braquiária e trigo)

Fator de variação	GL	MMG	RND	NFO	PFO	KFO	NGR
		Quadrado médio					
Bloco	3	164,6423	265194,9	3,3625	0,0003	0,6548	0,0993
Cultura (a)	2	263594,1477 **	1004269,4 *	360,8689 **	1,2099 **	36,8933 **	137,1727 **
Erro 1	6	50,1129	101972,6	0,7550	0,0071	2,8370	0,6000
Fertilizante (b)	2	115,3276 NS	50258,3 NS	3,3631 NS	0,0265 NS	1,5633 NS	2,5156 NS
Interação (a x b)	4	36,7208 NS	89547,0 NS	4,1818 NS	0,0123 NS	6,6517 NS	0,2973 NS
Erro 2	18	298,4423	319770,2	1,4617	0,0090	3,3941	1,1588
CV 1 (%)		2,94	5,62	3,06	3,21	6,36	4,21
CV 2 (%)		7,17	9,96	4,26	3,61	6,96	5,85
Média		241,07	5677,10	28,36	2,62	26,47	18,42

Fator de variação	GL	PGR	KGR	NEX	PEX	KEX
		Quadrado médio				
Bloco	3	0,0177	0,1481	73,5589	0,9135	4,4660
Cultura (a)	2	1,8861 **	3,6944 **	2740,6842 **	35,0946 **	81,2805 **
Erro 1	6	0,0304	0,0648	26,0103	2,0918	1,3495
Fertilizante (b)	2	0,0222 NS	0,1111 NS	62,5994 NS	0,7730 NS	4,0373 NS
Interação (a x b)	4	0,0112 NS	0,0694 NS	28,2463 NS	0,7555 NS	2,9541 NS
Erro 2	18	0,0095	0,1204	113,7962	1,8653	4,0525
CV 1 (%)		6,32	10,41	4,9	9,29	8,44
CV 2 (%)		3,53	14,19	10,26	8,77	14,62
Média		2,76	2,44	104,01	15,58	13,77

ns - Não significativo; \* - significativo a 5%; \*\* - significativo a 1%; GL - graus de liberdade; RND - Rendimento de grãos (kg/ha); MMG - Massa de mil grãos (g); NFO - Teor de N foliar (g/kg); PFO - Teor de P foliar (g/kg); KFO - Teor de K foliar (g/kg); NGR - Teor de N nos grãos (g/kg); PGR - Teor de P nos grãos; KGR - Teor de K nos grãos; NEX - N exportado (kg/ha); PEX - P exportado (kg/ha); KEX - K exportado (kg/ha).

Tabela 33 - Resumo da análise de variância para as variáveis analisadas no segundo cultivo (aveia-preta, braquiária e crotalária)

Fator de variação	GL	MSC	NPA	PPA	KPA	NET	PET	KET
		Quadrado médio						
Bloco	3	231769,3	7,4926	0,0580	15,0707	207,8893	1,7263	783,4385
Cultura (a)	2	62523444,0 **	374,7751 **	0,7085 *	99,8633 **	13613,5273 **	512,6976 **	50717,8111 **
Erro 1	6	236520,4	4,2540	0,0969	5,9063	92,6683	2,8671	200,9455
Fertilizante (b)	2	15356,5 NS	0,3175 NS	0,1009 NS	1,8325 NS	9,7419 NS	1,7053 NS	20,2449 NS
Interação (a x b)	4	2544,9 NS	3,0535 NS	0,0320 NS	0,8983 NS	50,8981 NS	1,0692 NS	9,2240 NS
Erro 2	18	244890,7	3,0358	0,0433	15,0297	157,8793	4,4454	10366,5898
CV 1 (%)		12,72	9,9	13,11	8,31	12,77	17,97	12,79
CV 2 (%)		12,95	8,36	8,77	13,25	16,67	22,37	21,65
Média		3821,99	20,84	2,37	29,25	75,37	9,42	110,86

ns - Não significativo; \* - significativo a 5%; \*\* - significativo a 1%; GL - graus de liberdade; NPA - Teor de N na parte aérea (g/kg); PPA - Teor de P na parte aérea (g/kg); KPA - Teor de K na parte aérea (g/kg); NET - N extraído (kg/ha); PET - P extraído (kg/ha); KET - K extraído (kg/ha).

Tabela 34 - Resumo dos quadros de análise de variância para as variáveis analisadas no terceiro cultivo (soja)

Fator de variação	GL	UMD	RND	POP	ALT	MMG	GPP	VPP	MGA
		Quadrado médio							
Bloco	3	0,3797	44682,6	1,7929	10,3776	45,5488	459,9853	70,3124	2579,3
Cultura (a)	4	0,1035 <sup>NS</sup>	150179,9 <sup>**</sup>	15,9706 <sup>*</sup>	251,5723 <sup>**</sup>	79,4178 <sup>**</sup>	1328,1289 <sup>NS</sup>	179,5682 <sup>NS</sup>	3556,2 <sup>NS</sup>
Erro 1	12	0,2353	8487,6	3,4835	9,7159	9,1995	911,7727	133,7894	18079,7
Fertilizante (b)	2	0,2082 <sup>NS</sup>	55040,7 <sup>NS</sup>	20,9462 <sup>**</sup>	73,5860 <sup>**</sup>	150,5718 <sup>**</sup>	508,1687 <sup>NS</sup>	87,6395 <sup>NS</sup>	6596,3 <sup>NS</sup>
Interação (a x b)	8	0,0590 <sup>NS</sup>	30749,2 <sup>NS</sup>	3,3601 <sup>NS</sup>	10,5768 <sup>NS</sup>	10,7555 <sup>NS</sup>	781,7743 <sup>NS</sup>	114,9993 <sup>NS</sup>	5824,0 <sup>NS</sup>
Erro 2	30	0,1828	26574,1	3,3808	11,3422	11,4576	652,5227	97,4273	9402,1
CV 1 (%)		3,31	1,78	9,14	3,37	1,74	20,04	19,16	25,26
CV 2 (%)		2,92	3,15	9	3,64	1,95	16,95	16,35	18,22
Média		14,65	5181,73	20,42	92,63	173,96	150,71	60,38	532,21
Fator de variação	GL	GPA	GPV	V4G	V3G	V2G	V1G	NFO	PFO
		Quadrado médio							
Bloco	3	168756,7	0,0006	0,0362	21,7607	12,2553	0,1480	1,1938	0,0528
Cultura (a)	4	217443,1 <sup>NS</sup>	0,0035 <sup>NS</sup>	0,0969 <sup>NS</sup>	90,7364 <sup>NS</sup>	18,9279 <sup>NS</sup>	0,8823 <sup>NS</sup>	6,3484 <sup>NS</sup>	0,2263 <sup>**</sup>
Erro 1	12	626757,0	0,0022	0,0488	59,6589	13,7185	1,2615	2,5167	0,0200
Fertilizante (b)	2	172084,7 <sup>NS</sup>	0,0042 <sup>NS</sup>	0,0635 <sup>NS</sup>	33,4102 <sup>NS</sup>	15,8702 <sup>NS</sup>	2,1305 <sup>NS</sup>	1,4969 <sup>NS</sup>	0,2191 <sup>*</sup>
Interação (a x b)	8	194315,3 <sup>NS</sup>	0,0017 <sup>NS</sup>	0,0495 <sup>NS</sup>	52,2352 <sup>NS</sup>	13,4258 <sup>NS</sup>	0,5386 <sup>NS</sup>	3,3323 <sup>NS</sup>	0,0171 <sup>NS</sup>
Erro 2	30	316383,3	0,0022	0,0448	39,9517	13,8520	1,0054	2,2542	0,0492
CV 1 (%)		25,85	1,9	72,43	22,94	16,79	25,88	4,36	4,36
CV 2 (%)		18,37	1,9	69,38	18,77	16,87	23,1	4,13	6,84
Média		3062,14	2,49	0,31	33,68	22,06	4,34	36,39	3,24

Fator de variação	GL	KFO	NGR	PGR	KGR	NEX	PEX	KEX
Quadrado médio								
Bloco	3	5,4780	61,7636	0,1009	3,8444	2308,0581	4,5252	196,2586
Cultura (a)	4	24,1577 *	30,9757 <sup>NS</sup>	0,0490 <sup>NS</sup>	23,8917 *	839,2109 <sup>NS</sup>	6,8883 <sup>NS</sup>	644,4789 **
Erro 1	12	4,8630	85,9671	0,3926	1,0806	2166,0353	9,8476	38,7989
Fertilizante (b)	2	9,4687 *	6,3811 <sup>NS</sup>	0,7009 <sup>NS</sup>	4,5500 <sup>NS</sup>	0,5450 <sup>NS</sup>	15,4739 <sup>NS</sup>	150,3121 <sup>NS</sup>
Interação (a x b)	8	1,6487 <sup>NS</sup>	61,9778 <sup>NS</sup>	0,2487 <sup>NS</sup>	0,3417 <sup>NS</sup>	1199,6171 <sup>NS</sup>	6,2456 <sup>NS</sup>	35,3328 <sup>NS</sup>
Erro 2	30	2,8153	44,9074	0,2877	1,5167	1307,7928	9,6999	59,4510
CV 1 (%)		7,84	17,01	12,06	5,17	16,48	11,65	5,98
CV 2 (%)		5,97	12,3	10,32	6,13	12,81	11,56	7,4
Média		28,12	54,50	5,20	20,10	282,33	26,93	104,19

ns - Não significativo; \* - significativo a 5%; \*\* - significativo a 1%; GL - graus de liberdade; UMD - Umidade dos grãos (%); RND - Rendimento de grãos (kg/ha); POP - População final de plantas (plantas/m<sup>2</sup>); ALT - Altura de plantas (cm); MMG - Massa de mil grãos (g); GPP - Número de grãos por planta; VPP - Número de vagens por planta; MGA - Massa de grãos por área (g/m<sup>2</sup>); GPA - Número de grãos por área; GPV - Número de grãos por vagem; V4G - Vagens por planta com 4 grãos; V3G - Vagens por planta com 3 grãos; V2G - Vagens por planta com 2 grãos; V1G - Vagens por planta com 1 grão; NFO - Teor de N foliar (g/kg); PFO - Teor de P foliar (g/kg); KFO - Teor de K foliar (g/kg); NGR - Teor de N nos grãos (g/kg); PGR - Teor de P nos grãos; KGR - Teor de K nos grãos; NEX - N exportado (kg/ha); PEX - P exportado (kg/ha); KEX - K exportado (kg/ha).

Tabela 35 - Resumo dos quadros de análise de variância para o somatório das duas safras de soja

Fator de variação	GL	Quadrado médio			
		RND	NEX	PEX	KEX
Bloco	3	43354,71	2211,07	6,0155	281,2111
Cultura (a)	4	136492,30 **	777,75 NS	18,2793 NS	670,1461 **
Erro 1	12	20703,44	1666,66	11,2756	95,8537
Fertilizante (b)	2	535916,76 **	1401,78 NS	38,2744 *	424,1910 **
Interação (a x b)	8	35416,13 NS	1518,87 NS	13,1892 NS	38,6100 NS
Erro 2	30	45631,69	1565,98	11,4291	59,7565
CV 1 (%)		1,52	7,91	6,92	5,27
CV 2 (%)		2,26	7,67	6,97	4,16
Média		9435,67	515,97	48,54	185,74

ns - Não significativo; \* - significativo a 5%; \*\* - significativo a 1%; GL - graus de liberdade; RND - Rendimento de grãos; NEX - N exportado (kg/ha); PEX - P exportado (kg/ha); KEX - K exportado (kg/ha).

Tabela 36 - Resumo dos quadros de análise de variância para o somatório dos três cultivos

Fator de variação	GL	Quadrado médio			
		RND	NEX	PEX	KEX
Bloco	3	63446,6275	1911,9289	7,6246	270,3285
Cultura (a)	4	109576808,8514 **	32308,0745 **	678,0682 **	823,5203 **
Erro 1	12	91943,1366	1875,2059	15,1171	90,2518
Fertilizante (b)	2	427207,5199 NS	1145,9339 NS	31,1172 NS	362,4824 **
Interação (a x b)	8	111921,5641 NS	1523,2108 NS	15,4873 NS	45,3958 NS
Erro 2	30	200875,9655	1513,5282	12,3599	60,9244
CV 1 (%)		2,36	7,49	6,72	4,90
CV 2 (%)		3,49	6,73	6,07	4,02
Média		12841,93	578,37	57,88	194,00

ns - Não significativo; \* - significativo a 5%; \*\* - significativo a 1%; GL - graus de liberdade; RND - Rendimento de grãos; NEX - N exportado (kg/ha); PEX - P exportado (kg/ha); KEX - K exportado (kg/ha).

Tabela 37 - Resumo dos quadros de análise de variância para a análise de solo na profundidade de 0-10 cm

Fator de variação	GL	C	P	P Rem	K	Ca	Mg	pH	m%
		Quadrado médio							
Bloco	3	6,5384	50,1030	2,6229	0,0690	3,3670	0,5718	0,2938	1,0793
Cultura (a)	4	15,8719 **	169,5352 *	1,9355 NS	0,0082 NS	3,0437 *	0,8180 *	0,3373 *	1,5245 NS
Erro 1	12	1,6809	45,8590	2,9735	0,0070	0,5783	0,2126	0,0978	0,9021
Fertilizante (b)	2	3,3844 NS	2607,6351 **	21,7705 **	0,0882 **	0,6775 NS	0,1522 NS	0,0245 NS	0,6693 NS
Interação (a x b)	8	2,4042 NS	95,6907 NS	0,5527 NS	0,0057 NS	0,2532 NS	0,2067 NS	0,0483 NS	1,8195 *
Erro 2	30	1,7633	47,4455	2,2433	0,0095	0,2884	0,1725	0,0588	0,6276
CV 1 (%)		5,52	26,82	7,93	13,15	14,56	20,13	5,95	291,35
CV 2 (%)		5,65	27,28	6,89	15,32	10,28	18,14	4,61	243,01
Média		23,49	25,25	21,74	0,64	5,22	2,29	5,26	0,33

Fator de variação	GL	CTC	S	V%	Fe	Mn	Zn	Cu	K%
		Quadrado médio							
Bloco	3	1,9847	7,9245	224,6534	9,4534	59,2389	29,1870	0,1942	2,4859
Cultura (a)	4	2,5392 **	7,0307 *	209,4714 *	26,6641 **	27,6172 NS	17,2559 NS	5,6806 NS	0,1089 NS
Erro 1	12	0,2319	1,3045	54,6294	4,3459	54,9625	19,9193	2,2047	0,3608
Fertilizante (b)	2	1,2439 *	2,1749 NS	40,2327 NS	2,4337 NS	0,4703 NS	110,3880 **	1,9984 **	3,5241 **
Interação (a x b)	8	0,2201 NS	0,9316 NS	35,0840 NS	1,8913 NS	13,6078 NS	6,1754 NS	0,3786 NS	0,2835 NS
Erro 2	30	0,2388	0,8933	36,1156	4,7142	57,1619	8,4779	0,3191	0,5403
CV 1 (%)		3,6	14,02	12,2	12,24	15,26	37,7	14,1	12,68
CV 2 (%)		3,65	11,6	9,92	12,75	15,56	24,59	5,36	15,52
Média		13,39	8,15	60,60	17,03	48,59	11,84	10,53	4,74

Fator de variação	GL	Ca%	Mg%	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
		Quadrado médio					
Bloco	3	93,5024	16,9130	0,0121	5,0376	0,4253	8,3542
Cultura (a)	4	99,2663 *	26,6309 NS	0,2195 NS	3,4508 NS	0,7284 NS	6,1039 NS
Erro 1	12	23,2800	10,6601	0,1263	1,2614	0,7393	3,3958
Fertilizante (b)	2	10,9610 NS	2,0702 NS	0,0193 NS	7,0942 *	1,2991 NS	14,3744 *
Interação (a x b)	8	8,3072 NS	9,4165 NS	0,0697 NS	1,4449 NS	0,6612 NS	3,7628 NS
Erro 2	30	10,6227	7,9396	0,0601	1,8448	0,5669	4,1488
CV 1 (%)		12,42	19,18	15,31	13,4	23,43	15,29
CV 2 (%)		8,39	16,55	10,56	16,21	20,52	16,9
Média		38,85	17,02	2,32	8,38	3,67	12,05

ns - Não significativo; \* - significativo a 5%; \*\* - significativo a 1%; GL - graus de liberdade; C - Teor de carbono ( $\text{g}/\text{dm}^3$ ); P - Teor de fósforo ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ); P Rem - Teor de fósforo remanescente ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ); K - Teor de potássio ( $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ ); Ca - Teor de cálcio ( $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ ); Mg - Teor de magnésio ( $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ ); pH - pH em cloreto de cálcio; m% - Saturação por alumínio (%); CTC - Capacidade de troca de cátions ( $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ ); S - Soma de bases ( $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ ); V% - Saturação por bases (%); Fe - Teor de ferro ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ); Mn - Teor de manganês ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ); Zn - Teor de Zinco ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ); Cu - Teor de cobre ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ); K% - Saturação por potássio (%); Ca% - Saturação por cálcio (%); Mg% - Saturação por magnésio (%); Ca/Mg - Relação cálcio/magnésio; Ca/K - Relação cálcio/potássio; Mg/K - Relação magnésio/potássio; (Ca+Mg)/K - Relação potássio cálcio+magnésio dividido por potássio.

Tabela 38 - Resumo dos quadros de análise de variância para a análise de solo na profundidade de 10-20 cm

Fator de variação	GL	C	P	P Rem	K	Ca	Mg	pH	m%
		Quadrado médio							
Bloco	3	0,6375	92,9395	1,6147	0,0396	1,7558	0,1298	0,1620	30,8729
Cultura (a)	4	8,8206 **	44,3715 NS	4,6766 NS	0,0220 *	1,9288 *	0,3447 **	0,2827 *	89,8769 *
Erro 1	12	1,1603	15,6912	4,8807	0,0073	0,5693	0,0627	0,0753	25,6575
Fertilizante (b)	2	0,3874 NS	151,8185 NS	0,7667 NS	0,0553 *	0,1888 NS	0,0212 NS	0,0187 NS	25,2520 *
Interação (a x b)	8	1,1177 NS	19,6273 NS	0,8047 NS	0,0069 NS	0,0738 NS	0,0347 NS	0,0287 NS	9,1660 NS
Erro 2	30	1,7671	46,1274	2,0908	0,0116	0,1946	0,0332	0,0280	6,8747
CV 1 (%)		6,14	25,61	12,58	19,16	19,33	18,96	5,75	125,51
CV 2 (%)		7,57	43,90	8,24	24,10	11,30	13,79	3,50	64,97
Média		17,56	15,47	17,56	0,45	3,90	1,32	4,78	4,04

Fator de variação	GL	CTC	S	V%	Fe	Mn	Zn	Cu	K%
		Quadrado médio							
Bloco	3	0,6423	3,3432	154,1561	11,0822	10,6703	16,4060	0,1535	1,1901
Cultura (a)	4	1,1588 *	4,4421 *	240,2006 *	22,6678 NS	30,8690 NS	53,6771 **	5,3726 NS	0,4462 *
Erro 1	12	0,2315	1,0314	58,8083	7,2846	35,7365	5,7390	1,7811	3,1116
Fertilizante (b)	2	0,8537 *	0,6099 NS	35,6614 NS	0,4550 NS	5,6862 NS	4,3456 NS	0,5048 NS	0,5221 *
Interação (a x b)	8	0,2772 NS	0,2282 NS	21,4516 NS	7,2342 NS	13,6462 NS	2,7537 NS	0,5281 NS	0,7212 ns
Erro 2	30	0,2291	0,3973	20,8726	7,1906	17,0554	3,9250	0,4303	18,33
CV 1 (%)		3,93	17,91	16,57	12,66	15,35	34,91	11,16	23,30
CV 2 (%)		3,91	11,11	9,87	12,58	10,60	28,87	5,49	3,65
Média		12,23	5,67	46,28	21,31	38,95	6,86	11,95	

Fator de variação	GL	Ca%	Mg%	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
Quadrado médio							
Bloco	3	81,5198	5,7885	0,0427	18,5082	1,9779	3,3794
Cultura (a)	4	101,4959 <sup>NS</sup>	20,0026 <sup>*</sup>	0,1948 <sup>NS</sup>	1,4296 <sup>NS</sup>	0,0726 <sup>NS</sup>	2,3598 <sup>NS</sup>
Erro 1	12	31,9386	4,1377	0,1417	3,0143	0,5626	1,0607
Fertilizante (b)	2	10,8421 <sup>NS</sup>	2,6353 <sup>NS</sup>	0,0220 <sup>NS</sup>	22,3354 <sup>*</sup>	2,3129 <sup>*</sup>	1,2476 <sup>*</sup>
Interação (a x b)	8	6,9467 <sup>NS</sup>	2,9072 <sup>NS</sup>	0,0932 <sup>NS</sup>	4,8692 <sup>NS</sup>	0,5300 <sup>NS</sup>	0,6131 <sup>NS</sup>
Erro 2	30	9,9769	2,0766	0,0598	5,8508	0,6996	1,0582
CV 1 (%)		17,75	18,85	12,62	18,84	24,09	14,68
CV 2 (%)		9,92	13,36	8,19	26,25	26,86	14,66
Média		31,85	10,79	2,98	9,22	3,11	7,02

ns - Não significativo; \* - significativo a 5%; \*\* - significativo a 1%; GL - graus de liberdade; C - Teor de carbono (g/dm<sup>3</sup>); P - Teor de fósforo (mg/dm<sup>3</sup>); P Rem - Teor de fósforo remanescente (mg/dm<sup>3</sup>); K - Teor de potássio (cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup>); Ca - Teor de cálcio (cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup>); Mg - Teor de magnésio (cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup>); pH - pH em cloreto de cálcio; m% - Saturação por alumínio (%); CTC - Capacidade de troca de cátions (cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup>); S - Soma de bases (cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup>); V% - Saturação por bases (%); Fe - Teor de ferro (mg/dm<sup>3</sup>); Mn - Teor de manganês (mg/dm<sup>3</sup>); Zn - Teor de zinco (mg/dm<sup>3</sup>); Cu - Teor de cobre (mg/dm<sup>3</sup>); K% - Saturação por potássio (%); Ca% - Saturação por cálcio (%); Mg% - Saturação por magnésio (%); Ca/Mg - Relação cálcio/magnésio; Ca/K - Relação cálcio/potássio; Mg/K - Relação magnésio/potássio; (Ca+Mg)/K - Relação potássio cálcio+magnésio dividido por potássio.

Tabela 39 - Resumo dos quadros de análise de variância para o balanço e a eficiência de uso de N, P e K

Fator de variação	GL	Quadrado médio					
		EAN	EAP	EAK	BSN	BSP	BSK
Bloco	3	21,196	13,034	3,368	1997,373	314,940	38181,044
Cultura (a)	4	21682,941 **	3542,993 **	881,557 **	21486,521 **	481,120 *	13417,010 NS
Erro 1	12	23,161	17,141	4,391	1832,628	106,793	4563,966
Fertilizante (b)	2	318756,629 **	25705,391 **	10020,917 **	11760,692 **	59,956 NS	8822,331 NS
Interação (a x b)	8	18408,921 **	1246,438 **	287,726 **	2757,658 NS	281,206 NS	2787,206 NS
Erro 2	30	73,016	43,512	11,548	1777,827	194,831	6249,956
CV 1 (%)		1,71	2,04	2,00	-8,07	6754,28	-49,72
CV 2 (%)		3,04	3,25	3,25	-7,95	9122,99	-58,19
Média		281,01	202,99	104,68	-530,24	0,15	-135,87

ns - Não significativo; \* - significativo a 5%; \*\* - significativo a 1%; GL - graus de liberdade; EAN - Eficiência de uso de N; EAP - Eficiência de uso de P; EAK - Eficiência de uso de K; BSN - Balanço de N no solo; BSP - Balanço de P no solo; BSK - Balanço de K no solo.