

**GREGORY FEDRI**

**CORREÇÃO, FERTILIZAÇÃO FOSFATADA MINERAL E ORGÂNICA PARA  
LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO DO NOROESTE DO  
PARANÁ**

**MARINGÁ  
PARANÁ - BRASIL  
FEVEREIRO - 2012**

**GREGORY FEDRI**

**CORREÇÃO, FERTILIZAÇÃO FOSFATADA MINERAL E ORGÂNICA PARA  
LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO DO NOROESTE DO  
PARANÁ**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Curso de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Solo e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

**MARINGÁ  
PARANÁ - BRASIL  
FEVEREIRO - 2012**

## AGRADECIMENTOS

Ao grandioso Deus por ter me iluminado e me fortalecido nesta caminhada.

Aos meus pais, Odair Pereira Fedri e Eliza Mori Fedri, pelo amor, incentivos, conselhos, confiança e pelo esforço empregado para que fosse possível a realização desta etapa da minha vida.

À Universidade Estadual de Maringá e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade concedida.

Ao Professor Antônio Nolla, meu orientador, pela amizade, conselhos e dedicação empregados durante todo este período, incentivando e apoiando-me nas dificuldades que surgiram no decorrer do curso, proporcionando ensinamentos importantes para meu crescimento pessoal e profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual a realização deste projeto seria muito dificultada.

Aos alunos de graduação Cassio Lizotti Berticelli, Mateus Konrad e William Silva Lima pela ajuda em todas as etapas do trabalho.

À Sílvia Eliana Miranda, técnica do Laboratório de Solos da UEM - Maringá, pelo auxílio no que foi necessário para a conclusão desta dissertação.

A todos os demais que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

Gregory Fedri, filho de Odair Pereira Fedri e Eliza Mori Fedri, nasceu na cidade de Umuarama, Estado do Paraná, em 07 de julho de 1987. Ingressou na Universidade Estadual de Maringá *campus* Umuarama em março de 2005, no curso de Agronomia, onde colou grau em janeiro de 2010. Em março de 2010, ingressou no Programa de Pós-graduação em Agronomia, em nível de Mestrado, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Estadual de Maringá.

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Noroeste do Estado do Paraná.....	4
2.2 Calagem para as culturas agrícolas anuais.....	6
2.3 Fertilizantes orgânicos.....	12
2.4 Fertilizantes minerais.....	23
2.5 Combinação de fertilizantes.....	28
2.6 Milho ( <i>Zea mays</i> L.).....	30
2.7 Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.).....	33
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1 Atributos químicos do solo.....	46
4.2 Desempenho vegetal.....	74
4.2.1 Cultura do milho.....	74
4.2.2 Cultura do trigo.....	86
5. CONCLUSÕES.....	96
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97

## LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Limpeza dos tambores (A), Perfuração para drenagem de água (B) e Acondicionamento de solo nos vasos (C).....	37
Figura 2	Aplicação dos corretivos de acidez do solo. Calcário (A) e Silicato de cálcio e magnésio (B).....	37
Figura 3	Aplicação dos produtos fertilizantes para composição dos tratamentos. Esterco de aves (A), Vinhaça (B), Superfosfato Simples (C) e Termofosfato magnésiano (D).....	38
Figura 4	Aplicação da palha de cana-de-açúcar (A), Distribuição dos tambores com palhada de cana (B), Aplicação da palha de milho (C) e plântulas de trigo em meio à palhada (D).....	42
Figura 5	Abertura dos orifícios para semeadura do milho (A), Detalhe das sementes de milho nos orifícios (B), Abertura dos sulcos para semeadura do trigo (C) e Detalhe das sementes de trigo nos sulcos (D).....	43
Figura 6	Amostragem do solo realizada em cada vaso. Amostras da camada de 0 - 10cm e 10 – 20cm (A); Detalhe do local de amostragem (B); Trado calador com solo amostrado (C).....	45

## LISTA DE TABELAS

		Pág.
Tabela 1	Média mensal e anual da precipitação de três municípios do noroeste paranaense (média de 20 anos).....	4
Tabela 2	Concentração média de C, N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, Ca, Mg e teor de matéria seca no esterco de suínos sólido e líquido.....	14
Tabela 3	Composição Química da Vinhaça de Diferentes Tipos de Mosto.....	17
Tabela 4	Composição nutricional de fertilizantes fosfatados.....	24
Tabela 5	Caracterização química original do Latossolo Vermelho distrófico que serviu como base experimental.....	35
Tabela 6	Teores originais de enxofre (S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), micronutrientes e granulometria do Latossolo Vermelho distrófico que serviu como base experimental.....	36
Tabela 7	Esquema demonstrativo da composição de cada tratamento utilizado.....	40
Tabela 8	Composição química da vinhaça utilizada no experimento.....	41
Tabela 9	Valores de pH CaCl <sub>2</sub> (0,01mol L <sup>-1</sup> ) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1 <sup>a</sup> amostragem) e trigo (2 <sup>a</sup> amostragem).....	47
Tabela 10	Teores de Al <sup>3+</sup> (alumínio trocável) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1 <sup>a</sup> amostragem) e trigo (2 <sup>a</sup> amostragem).....	50
Tabela 11	Teores de Ca <sup>2+</sup> (cálcio trocável) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1 <sup>a</sup> amostragem) e trigo (2 <sup>a</sup> amostragem).....	53

Tabela 12	Teores de $Mg^{2+}$ (magnésio trocável) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1ª amostragem) e trigo (2ª amostragem).....	56
Tabela 13	Teores de $K^{2+}$ (potássio disponível) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1ª amostragem) e trigo (2ª amostragem).....	60
Tabela 14	Valores de capacidade de troca de cátions (CTC) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1ª amostragem) e trigo (2ª amostragem).....	64
Tabela 15	Valores de saturação por bases (V%) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1ª amostragem) e trigo (2ª amostragem).....	67
Tabela 16	Teores de fósforo (P) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1ª amostragem) e trigo (2ª amostragem).....	71
Tabela 17	Altura das plantas de milho em resposta à aplicação de diferentes fertilizantes associados a corretivos de acidez do solo em um Latossolo Vermelho distrófico típico do noroeste paranaense.....	76
Tabela 18	Comprimento foliar de plantas de milho em resposta à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo em um Latossolo Vermelho distrófico típico do noroeste paranaense.....	78
Tabela 19	Diâmetro do caule de plantas de milho em resposta à aplicação de diferentes fertilizantes associados a corretivos de acidez do solo em um Latossolo Vermelho distrófico do noroeste paranaense.....	82
Tabela 20	Altura de plantas de trigo em resposta à aplicação de diferentes fertilizantes associados a corretivos de acidez do solo em um Latossolo Vermelho distrófico típico do noroeste paranaense.....	87

Tabela 21	Comprimento foliar de plantas de trigo em resposta à aplicação de diferentes fertilizantes associados a corretivos de acidez do solo em um Latossolo Vermelho distrófico típico do noroeste paranaense.....	89
Tabela 22	Desempenho de plantas de trigo em resposta à aplicação de diferentes fertilizantes associados a corretivos de acidez do solo em um Latossolo Vermelho distrófico do noroeste paranaense.....	91

## RESUMO

FEDRI, Gregory, Me. Universidade Estadual de Maringá, fevereiro de 2012. **Correção, fertilização fosfatada mineral e orgânica para Latossolo Vermelho distrófico típico do noroeste do Paraná.** Orientador: Antonio Nolla

Tanto a fertilização do solo, como a disponibilização de nutrientes às plantas é necessária para que seja obtido o potencial produtivo das culturas. No entanto, faz-se necessário estabelecer critérios, fontes, combinações de fertilizantes que sejam capazes de atender, de maneira ideal, a necessidade de plantas de interesse comercial. Esta pesquisa visa estudar a eficiência de diferentes corretivos, fertilizantes orgânicos e minerais, com vistas a verificar os quais melhor representem a necessidade de fertilização de um Latossolo arenoso cultivado com milho e trigo. O ensaio foi desenvolvido na estação experimental da UEM - Umuarama, em vasos de 200L, que foram preenchidos por um Latossolo Vermelho distrófico. Aplicou-se, nos vasos, diferentes fertilizantes orgânicos (6555kg ha<sup>-1</sup> de esterco de aves; 550m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça), minerais (1028kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples; 1088kg ha<sup>-1</sup> de termofosfato magnésiano), doses combinadas dos fertilizantes orgânicos e minerais (compostas por ½ orgânica + ½ mineral das fontes utilizadas). Todos os fertilizantes aplicados foram associados a corretivos de acidez do solo, sendo eles, calcário (1735kg ha<sup>-1</sup>), silicato de cálcio e magnésio (1805kg ha<sup>-1</sup>). O tratamento testemunha foi montado sem adubação nem correção de acidez. Cultivou-se o milho, o trigo, avaliou-se tamanho de folhas, altura de plantas, diâmetro de colmo para o milho. Para o trigo, avaliou-se a altura das plantas, comprimento foliar, produção de grãos, matéria e seca de plantas inteiras, palhada e grãos. Ao final de cada cultivo amostrou-se o solo dos vasos, determinando-se o pH-CaCl<sub>2</sub>, Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, P, CTC<sub>pH 7,0</sub>, estimando-se V%. O silicato de cálcio e magnésio foi mais eficiente que o calcário em elevar os teores de Ca<sup>2+</sup> e corrigir a acidez do solo na 1ª amostragem. Os dois corretivos foram igualmente eficientes na 2ª época de amostragem. A aplicação de vinhaça corrigiu a acidez do solo na camada 10 - 20cm, aumentando os

teores de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , gerando melhor desenvolvimento do milho. O termofosfato aumentou os teores de P,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ , mas gerou baixo crescimento de milho e trigo. A aplicação de esterco, superfosfato simples com o termofosfato aumentaram os teores de P disponível na camada mais superficial. O esterco gerou menor desenvolvimento de milho e melhor desempenho de trigo quando associado a fertilizantes minerais.

Palavras-chave: vinhaça; correção da acidez do solo; silicato de cálcio e magnésio; atributos químicos do solo; termofosfato magnesiano.

## ABSTRACT

FEDRI, Gregory, M.S. Maringá State University, February 2012. **Correction, mineral and organic phosphorus fertilization to sandy clay loam soil typical of northwestern Paraná.** Advisor: Antonio Nolla

The soil fertility and nutrient availability to plants is required to be obtained from the productive potential of crops. However, it is necessary to establish criteria, sources and combinations of fertilizer to be able to attend, ideally, the need for plants of commercial interest. This study was developed to study the efficiency of different correctives and organic and mineral fertilizers, in order to verify the ones that best represent the need for fertilization of a sandy Oxisol cultivated with corn and wheat. The essay was developed at the experimental station of the UEM – Umuarama, in pots of 200L, which were filled by a sandy Oxisol. It was applied, in pots, different organic fertilizers (6555kg ha<sup>-1</sup> of poultry manure; 550m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> vinasse), minerals (1028kg ha<sup>-1</sup> of superphosphate; 1088kg ha<sup>-1</sup> of magnesium thermophosphate), and combined rates of organic and mineral fertilizers (composed of organic ½ + ½ mineral from sources used). All applied fertilizers were associated to correctives of acidity of the soil, being them, limestone (1735kg ha<sup>-1</sup>) and calcium and magnesium silicate (1805kg ha<sup>-1</sup>). The control treatment was set without fertilization or correction of acidity. It was cultivated corn and wheat, evaluating leaf size, plant height and stem diameter for corn. For wheat, it was evaluated the plants height, leaf length, grain production of matter and whole dry plants, straw and grains. At the end of each culture it was sampled the soil of the vessels, determining the pH-CaCl<sub>2</sub>, Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, P, and CECpH 7.0 estimating V%. The calcium and magnesium silicate were more efficient than the lime to increase the content of Ca<sup>2+</sup> and correct the acidity of the soil in the 1st sampling. Both were equally effective corrective in the 2nd season of sampling. The application of vinasse corrected the acidity of the soil layer 10 - 20cm, increasing the concentrations of K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup>, generating better development of corn. The thermophosphate, increased levels of P, Mg<sup>2+</sup> and K<sup>+</sup>,

but produced low growth of corn and wheat. The application of manure, simple superphosphate and thermophosphate increased the levels of available P in the superficial layer. The manure generated lower growth of corn and wheat improved performance when combined with mineral fertilizers.

Keywords: vinasse, correction of soil acidity, calcium and magnesium silicate; soil chemical properties, magnesium thermophosphate.

# 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de milho do mundo (FAO, 2008a), com uma produção de 58,93 milhões de toneladas do grão, sendo o Estado do Paraná o segundo maior produtor nacional do grão, com uma área cultivada de 2,48 milhões de hectares, produtividade média de  $4927\text{kg ha}^{-1}$ , na safra 2010/2011 (CONAB, 2012). O trigo também é produzido no país, sendo o décimo oitavo produtor mundial, com produção de 6,03 milhões de toneladas do grão em 2008 (FAO, 2008b). O Estado do Paraná é considerado como o maior produtor nacional do grão, com uma área cultivada de 821,3 mil hectares, tendo uma produtividade média de  $2340\text{kg ha}^{-1}$  (CONAB, 2012).

Por certo, os solos brasileiros, demonstram problemas com acidez elevada, toxidez de Al e/ou Mn, baixos teores de Ca e Mg. Para que estes solos se tornem aptos ao processo agrícola, é necessária a prática da calagem e fertilização (LOPES et al., 1991). Com relação ao noroeste paranaense, a partir de 1997, iniciou-se o Projeto Arenito Nova Fronteira, que visa à expansão da agricultura nesta região (FONSECA & CZUY, 2005). Porém, na microrregião de Umuarama, ocorrem solos derivados do arenito Caiuá, caracterizados pela textura superficial franco-arenosa, elevada acidez (apesar dos baixos teores de  $\text{Al}^{3+}$ ;  $< 0,5\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), níveis baixos de potássio, cálcio, magnésio (soma de bases entre 0,3 a  $1,2\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), fósforo ( $2,91$  a  $4,36\text{mg dm}^{-3}$  para áreas de pastagens e culturas anuais), matéria orgânica (cerca de 1%) (CARDOSO et al., 1992; FIDALSKI, 1997; SAMBATTI et al., 2003). Nestas condições, é necessário o manejo químico ou orgânico destas áreas, com o uso de corretivos que elevem o pH, reduzindo os teores de alumínio tóxico (OLIVEIRA et al., 2000; VITTI & MAZZA, 2002), assim como a utilização de fertilizantes para elevarem os teores dos nutrientes no solo. O efeito de correção dos solos, é obtido através da aplicação de diferentes produtos como os óxidos, hidróxidos, silicatos, carbonatos (ALCARDE, 1992).

Atualmente o calcário é o corretivo mais utilizado, porém, apresenta baixa solubilidade, apesar da necessidade de dissolver-se em água. Como o calcário, alguns resíduos siderúrgicos, poderão ser usados na correção da acidez do solo. As escórias siderúrgicas são resíduos da metalurgia do ferro, processados em altas temperaturas ( $> 1900^{\circ}\text{C}$ ), produzidas pela reação do calcário com a sílica (COELHO, 1998). Assim, o uso de escórias na agricultura é uma alternativa para o aproveitamento de parte destes resíduos industriais. O silicato de cálcio 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de cálcio, apresenta, portanto, maior potencial para a correção da acidez do solo em profundidade que o calcário (ALCARDE & RODELLA, 2003). Diversos estudos demonstraram a eficiência dos silicatos na correção da acidez em subsuperfície. (PEREIRA, 1978; LOUZADA, 1987; NOLLA et al., 2009)

Logo, as recomendações de calagem, foram desenvolvidas para sistemas de produção com preparo convencional do solo, visando à elevação da saturação por bases a 70%, com amostragem de solo na camada de 0 – 20 cm. No entanto, o sistema de plantio direto, favorece uma dinâmica diferenciada dos nutrientes, gerando acúmulo de matéria orgânica, elevação da disponibilidade de nutrientes, apresentando redução da atividade do alumínio tóxico, nas camadas superficiais do solo (ANGHINONI & SALET, 2000), o que gera dúvidas sobre a camada de amostragem de solo que melhor expresse as condições de acidez do solo sob o plantio direto.

Para os solos arenosos do noroeste paranaense, estas dúvidas são ainda maiores, visto que, os critérios atualmente estabelecidos, por Caires et al. (2000), para calagem em sistema de plantio direto no Paraná ( $V\% = 65\% / \text{pH-CaCl}_2 = 5,6$ ), basearam-se em alguns experimentos de resposta à adição de calcário que posteriormente, foram extrapolados para todo o Estado (NOLLA, et al. 2009a). Assim, é importante estudar o comportamento de diferentes corretivos, como o silicato de cálcio, o magnésio, perante estes critérios de calagem, em solos arenosos, pois a recomendação do uso de corretivos, que visa maximizar a produção, é imprescindível para a lucratividade do produtor rural.

Já para a fertilização do solo no Brasil, utiliza-se a aplicação de adubos minerais, que são de aplicação mais fácil de maior solubilidade. Porém, estas fontes, compostas basicamente por sais de N, P e K, possuem alta

solubilidade, com rápida disponibilização dos nutrientes às plantas. Esta alta solubilidade, também fará com que os nutrientes que não são aproveitados pelas plantas, lixiviem, contaminando corpos d'água (SILVEROL, 2006), principalmente em solos arenosos com baixa CTC (KIEHL, 1993).

Por outro lado, a utilização de resíduos orgânicos, possibilitará a redução, ao longo dos anos, da necessidade de aplicação de fertilizantes minerais, assim como poderá melhorar a qualidade do solo, uma vez que estes agem também como condicionadores do solo. Entre os resíduos orgânicos que possuem o maior potencial de aproveitamento, estão: os esterco animais; os restos culturais; os resíduos de adubos verdes (SILVA, 2008a); resíduos agroindustriais, como torta-de-filtro e vinhaça (POLO et al.,1988). Apesar das vantagens da utilização de resíduos na agricultura, estes produtos necessitam ser aplicados conforme critérios técnicos, com doses e formas de aplicação adequadas, a fim de minimizar os danos ambientais, em decorrência da poluição do solo e da água (SILVA, 2008a).

A otimização no aproveitamento dos nutrientes pelas plantas pode ocorrer através da complementação dos adubos orgânicos, com adubos minerais. A disponibilidade de nutrientes, das fontes minerais se dá de forma rápida às plantas, porém com baixo efeito residual, pois estas fontes são compostas por sais de alta solubilidade. Entretanto, os nutrientes oriundos de fontes orgânicas serão disponibilizados gradualmente durante todo o ciclo da cultura, elevando o residual destes no solo. Isto possibilita um sincronismo de liberação dos nutrientes durante o crescimento das plantas (KIEHL, 1993; BISSANI et al., 2008), oferecendo melhor rentabilidade econômica ao produtor (MENDES et al., 2011). Para tanto, a utilização da adubação mista, necessita de programas de recomendação de adubação, de forma que ambos os tipos de adubos, contribuam nos cálculos das doses indicadas para as culturas (CIANCIO, 2010).

Esta pesquisa foi desenvolvida com a finalidade de estudar a eficiência de diferentes corretivos, fertilizantes orgânicos e minerais, com vistas a estabelecer combinações que melhor representem a necessidade de fertilização, num Latossolo arenoso, cultivado com milho e trigo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Noroeste do Estado do Paraná

A região noroeste do Paraná ocupa aproximadamente 18% da área total do estado, abrange 107 municípios num total de 3,5 milhões de hectares (SÁ & CAVIGLIONE, 1999; SAMBATTI et al. 2003). A região do arenito Caiuá é polarizada pelos municípios de Umuarama e Paranavaí, fundados na década de 50, que apresentam predominância das áreas cultiváveis com pastagem (MELLA, 1993). Segundo Caviglione et al. (2000) o clima predominante na região é, de acordo com a classificação climática de Köppen, o Cfa, ou seja, apresenta clima subtropical, com temperatura média, no mês mais frio, inferior a 18°C e temperatura no mês mais quente, acima de 22°C, apresenta verões quentes e geadas pouco frequentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, porém, sem estação seca definida. As médias mensais e anuais de precipitação dos principais municípios da região encontram-se na Tabela 1.

Na região noroeste do Paraná ocorre baixo índice pluviométrico nos meses de julho até agosto, (Tabela 1), porém isso não impede o cultivo de culturas comerciais neste período, pois os produtores se adequam a época de semeadura.

Tabela 1 - Média mensal e anual da precipitação de três municípios do noroeste paranaense (média de 20 anos)

Local	Precipitação (mm)												
	Jan	fev	mar	Abr	mai	Jun	jul	ago	set	out	nov	Dez	Total
<b>Cian</b>	213	155	133	120	135	110	71	73	131	175	146	206	1668
<b>Pvaí</b>	185	149	132	109	116	102	55	54	138	167	125	179	1511
<b>Umu</b>	174	145	129	139	142	113	68	68	143	171	161	182	1645

Cian - Cianorte; Pvaí - Paranavaí; Umu -Umuarama  
Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2000).

Com a semeadura dos materiais de inverno (aveia, triticale, trigo) entre o final de março, início de abril, em solo manejado sob plantio direto de palhada, é possível a sustentabilidade agro econômica do sistema de rotação de culturas anuais, com isso proporciona a integração da lavoura com pecuária na região (OLIVEIRA et al. 2000).

Apesar da precipitação de chuvas situar-se na faixa de 1670mm anuais, observa-se nos dados apresentados por Caviglione et al. (2000), que a evapotranspiração na região, alcança valores acima de 1600mm ano<sup>-1</sup>. Desta forma, na região de Umuarama é comum ocorrer déficits hídricos. Isto contribui para a necessidade de adoção de práticas que visem à utilização mais racional dos recursos hídricos, como a manutenção da umidade do solo.

No Estado do Paraná são típicas as formações geológicas Basalto, Sedimentar e Caiuá. A formação geológica Caiuá originou solos de baixa fertilidade, com textura arenosa na camada arável, situados principalmente na região noroeste do Paraná (FIDALSKI, 1997), os quais ocupam aproximadamente 75% desta região (SÁ & CAVIGLIONE, 1999; SAMBATTI et al. 2003). Os solos predominantes na região noroeste paranaense são classificados como: Latossolo, Vermelho-Escuro; Podzólico, Vermelho-Escuro; Podzólico, Vermelho-Amarelo; Areias Quartzosas, de textura média arenosa (EMATER-PR, 1998). Segundo Sambatti et al. (2003), correspondem aos atuais Latossolos, Vermelhos; Argissolos, Vermelhos; Argissolos, Vermelhos-Amarelos; Neossolos, Quartzarênicos; respectivamente. Esses solos são caracterizados por apresentarem baixa CTC (4,98cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), o que reduz a adsorção de bases como Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, e K<sup>+</sup> (proporcionando baixos teores destes nutrientes), além de apresentarem baixos teores de fósforo e C-orgânico (FIDALSKI, 1997; OLIVEIRA et al., 2000), tornando estes solos pobres em fertilidade, com necessidade de uma adequada fertilização, para que seja atingido o potencial produtivo das culturas (OLIVEIRA et al., 2001).

A aptidão agrícola destes solos arenosos foi descrita por Cardoso et al. (1975), como restrita para cultivos de ciclo curto, sendo regular para culturas de ciclo longo, com limitações de fertilidade, além da suscetibilidade à erosão. No entanto, uma degradação intensa do solo ocorre em resposta a um manejo inadequado do mesmo, que por sua vez, gera acentuadas perdas de solo

(horizonte A), como também a redução dos teores de matéria orgânica (CARDOSO et al., 1992; FIDALSKI, 1997).

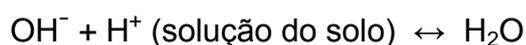
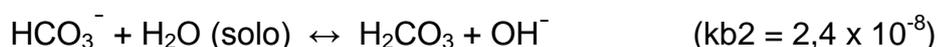
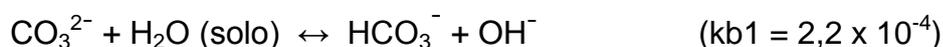
Já adoção de sistemas conservacionistas, como o sistema de plantio direto é uma das estratégias apropriadas para o uso e manejo dos solos do Noroeste do Paraná (OLIVEIRA et al., 2000). O sistema de plantio direto baseia-se na manutenção da palhada na superfície do solo, que promove a redução do impacto da gota de chuva, isso proporciona a manutenção mais prolongada da umidade, além de aumentar os teores de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo (LOPES et al., 2004). O acúmulo da matéria orgânica do solo disponibilizará os nutrientes de forma gradual (ZECH et al., 1997; BUCKMAN & BRADY, 1991), viabilizando um melhor aproveitamento dos nutrientes ao longo dos cultivos subsequentes, o que reduz a necessidade de fertilizantes minerais, racionalizando a utilização dos insumos agrícolas, para aumentar a lucratividade do agricultor (ANGHINONI, 1998), uma vez que, após sofrer os processos químicos e microbiológicos no solo, esta matéria orgânica, produz uma fração mineralizada, que se comporta semelhantemente aos nutrientes oriundos de fertilizantes minerais (KIEHL, 1993).

## **2.2 Calagem para as culturas agrícolas anuais**

A acidez do solo é o principal problema de degradação química nos solos tropicais, abrangendo grande parte das áreas agrícolas (ALCARDE & RODELLA, 2003). Em solos ácidos o aumento da disponibilidade de P às plantas ocorre através da calagem, pois esta proporciona benefícios como a neutralização do Al-trocável que causa danos às raízes das plantas sensíveis, com isso dificulta a absorção de P, o aumento da atividade microbiana, que provoca maior mineralização do P-orgânico, assim como o aumento da concentração de íons  $\text{OH}^-$ , os quais podem deslocar o P, adsorvido na superfície dos minerais, para a solução do solo (BISSANI et al., 2004). Portanto, a correção da acidez do solo é considerada como uma das práticas que mais contribuem para aumentar a eficiência dos adubos,

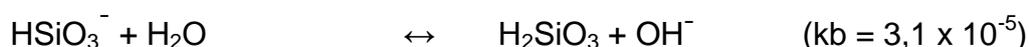
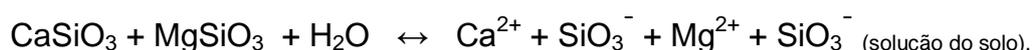
consequentemente, elevando a produtividade e rentabilidade agropecuária (LOPES et al., 2002).

Para efeito de correção dos solos a calagem, segundo Alcarde (1992), pode ser realizada através da aplicação de diferentes produtos, tais como: calcário; escória de siderurgia (silicato de cálcio e magnésio). O calcário é um produto corretivo de acidez do solo, obtido através da moagem de rochas calcárias. Esse produto, que é o mais utilizado no Brasil, possui capacidade fertilizante, uma vez que fornece  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , assim como a ação neutralizante de acidez, pois apresenta em sua constituição carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ )/carbonato de magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ). Sua ação neutralizante é descrita de forma simplificada através das seguintes equações:



Portanto, o calcário libera o  $\text{CO}_3^{2-}$ , base química que proporciona a formação de  $\text{OH}^-$  (e posteriormente o  $\text{HCO}_3^-$ ). O  $\text{OH}^-$  produzido elevará o pH do solo, uma vez que neutraliza o  $\text{H}^+$ , formando água. Cabe ressaltar que a formação de  $\text{OH}^-$  é relativamente lenta, uma vez que se trata de uma base fraca ( $\text{Kb1} = 2,2 \times 10^{-4}$ ), o que justifica a indicação de calagem (CQFS – RS/SC, 2004; RAIJ et al., 1997) ao menos três meses antes da semeadura das culturas.

Os silicatos se apresentam como produtos alternativos de correção da acidez do solo, com a vantagem de fornecerem Si às plantas, o que pode torna-las mais tolerantes ao ataque de pragas e doenças (PRADO et al., 2001). A escória básica de siderurgia, subproduto da indústria siderúrgica, apresenta como principais constituintes os silicatos de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ) e magnésio ( $\text{MgSiO}_3$ ). Segundo Alcarde (1992), apresentam a seguinte ação neutralizante:



Logo, evidencia-se que o silicato possui ação neutralizante similar à do calcário, no entanto, a base química produzida será o  $\text{SiO}_3^-$ , que também é uma base fraca ( $K_{b1} = 1.6 \times 10^{-3}$ ), apesar de possuir reatividade mais forte que o  $\text{CO}_3^-$  ( $K_{b1} = 2,2 \times 10^{-4}$ ).

Apesar disto, Prado & Fernandes (2000), ao avaliarem a aplicação de duas doses de silicato e calcário ( $1,11$  e  $2,22\text{Mg ha}^{-1}$ ;  $0,85$  e  $1,70\text{Mg ha}^{-1}$ ; respectivamente) sendo a dose 1, para atingir  $V\% = 50$ , a dose 2, o dobro da dose 1, em um Neossolo Quartzarênico, observaram que a escória de alto forno (silicato de cálcio e magnésio) apresentou reação de correção do solo mais lenta que o calcário. Os autores concluíram que este fato ocorreu principalmente pelo alto fator de intensidade de Ca neste solo, uma vez que o silicato apresenta-se mais sensível, do que o calcário, à concentração de cálcio em solução, afetando seu equilíbrio químico de dissolução, principalmente na maior dose. No entanto, isto pode levar a um efeito residual de correção mais prolongado.

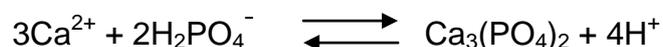
Com relação ao desempenho vegetal, Nolla et al. (2009) que avaliaram a influência do calcário, do silicato no desenvolvimento do milho, observaram que a correção da acidez do solo, independente do produto, melhora o desenvolvimento da parte aérea, como do sistema radicular das plantas, porém a aplicação de silicato promove um maior desenvolvimento do sistema radicular do milho. Apesar desses resultados, Pereira (1978), ao avaliar o efeito de corretivos de acidez em dois Argissolos argilosos, observou que a escória apresentou o mesmo poder corretivo que calcários de diferentes origens.

Conforme Carvalho-Pupatto et al. (2003), após avaliarem as respostas da cultura do arroz à aplicação de escória de alto forno num Latossolo, Vermelho-Escuro; de textura média, observaram que a aplicação deste resíduo promoveu elevação dos teores de Ca, Mg e Si no solo, proporcionou maior produtividade da cultura ( $5664\text{kg ha}^{-1}$  de grãos) na dose de  $8287\text{kg ha}^{-1}$ . Os mesmos autores relatam, em seus estudos, que doses superiores a  $8880\text{kg ha}^{-1}$  de escória, provocam a redução no desempenho do arroz, devido a uma redução na disponibilidade de micronutrientes, em decorrência de uma acentuada elevação de pH.

Independente do corretivo de acidez utilizado, o comportamento do fósforo no solo varia conforme as condições químicas do meio, de maneira geral a precipitação em solos ácidos ocorre com íons alumínio, ou ferro, presentes na solução e, no caso de solos calcáreos com íons cálcio (RAIJ, 1991; 2004).

Devido à elevada intemperização, lixiviação de bases e formação de óxi-hidróxidos de alumínio; ferro; aliadas à elevada acidez, as combinações de fósforo com ferro (P-Fe), alumínio (P-Al) são comuns em solos tropicais (NOVAIS & SMYTH, 1999). Os óxi-hidróxidos de Al e Fe apresentam-se preferencialmente com carga positiva, sendo assim capazes de reter em sua superfície vários tipos de ânions, predominantemente os íons fosfatos (HAYNES, 1982; HEDLEY et al., 1990). Desta forma a elevação do pH proporcionada pela calagem, reduz a quantidade de cargas positivas presentes nestes óxi-hidróxidos de Fe e Al (cargas pH dependentes), reduzindo assim a fixação de P à estes minerais (CASAGRANDE & CAMARGO, 1997; RAIJ, 2004).

No entanto, a calagem sempre será realizada segundo critérios técnicos, uma vez que doses superestimadas poderão trazer efeitos negativos à quantidade de P na solução do solo (BISSANI et al., 2004), pois, em solos com pH acima de 5,5, que apresentam elevados teores de cálcio trocável, oriundos dos minerais do solo e/ou da aplicação de doses elevadas de calcário, ocorre a reação do fósforo disponível no solo com o cálcio (NOVAIS & SMYTH, 1999), diminuindo a sua solubilidade. Isso ocorre, pois a precipitação do fosfato na forma tricálcica (insolúvel), se deve ao fenômeno conhecido como retrogradação (MALAVOLTA, 1959), descrito abaixo:



Assim, constata-se que uma redução na atividade do  $\text{OH}^-$ , ocasionada por um decréscimo de pH, proporciona o aumento da atividade de fósforo (imobilizado ao cálcio) em solução. Isso explica, porque fosfatos de cálcio, como a hidroxiapatita de fosfatos de rocha, apresentam maior eficiência com a elevação da acidez dos solos (RAIJ et al., 1991).

No caso de solos ácidos, a calagem prévia, pode reduzir a fixação do fosfato via precipitação, pois promove a neutralização do alumínio, como

também grande parte do ferro. Porém, a elevação do pH à valores acima de 7,0 ocasiona o aumento da fixação de P devido a precipitação do fosfato com cálcio.

Desta forma conclui-se que a retrogradação é um fenômeno pelo qual o fósforo solúvel, adicionado ao solo pela atividade antrópica, modifica-se para um estado insolúvel como a apatita em solos calcáreos, fosfatos de alumínio/ferro em solos tropicais ácidos, tornando-se pouco assimilável pelas plantas (CHAVES & OBA, 2004).

A existência simultânea de diversas formas de fosfato nos solos faz com que as mudanças nos valores de pH, aumentem a solubilidade de uns ou diminua a solubilidade de outros, portanto obtém-se, maior solubilidade dos compostos fosfatados na faixa de pH entre 5,5 - 6,8 (TISDALE et al., 1985; RAIJ, 1991).

Atualmente no Brasil, diversos indicadores de acidez do solo são utilizados para verificar se há ou não necessidade de calagem. Estes indicadores foram desenvolvidos através de programas regionais de pesquisa em fertilidade do Solo, onde se averiguou quais se adequam melhor às condições edafoclimáticas de cada região (NOLLA & ANGHINONI, 2004 - 2006). Nos Estados de Rio Grande do Sul; Santa Catarina, utiliza-se o pH-H<sub>2</sub>O 5,5 como indicador de acidez do solo sob sistema de plantio direto (CQFS RS/SC, 2004). Em São Paulo, Paraná, além de alguns Estados vizinhos, o indicador adotado é a saturação por bases de 70% (50% para região do Cerrado), para a maioria das culturas agrícolas anuais (SOUSA et al., 1989; WIETHÖLTER, 2000; RAIJ et al., 2001). O Al-trocável é o indicador de acidez mais utilizado nos estados do Nordeste; Norte; parte do Centro-Oeste (QUAGGIO, 2000). Já em boa parte da região do Cerrado; Estado de Minas Gerais utiliza-se a saturação por alumínio acima de 15% (milho, trigo e sorgo) e teor de Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> de 2,0cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> como indicadores da necessidade de calagem (RIBEIRO et al., 1999; SOUSA & LOBATO, 2004a).

É importante ressaltar que em sistemas de plantio direto, a aplicação superficial dos corretivos de acidez do solo, proporciona a formação de uma frente de alcalinização que geralmente apresenta ação até os primeiros 10cm de profundidade (ANGHINONI & SALET, 2000; AMARAL et al., 2004; ZAMBROSI, 2004; NOLLA & ANGHINONI, 2006; RAMOS et al., 2006;

FREIRIA et al., 2008). Segundo Weirich Neto et al. (2000), a ação corretiva na camada de 0 - 10cm, proporcionada pela calagem superficial, já pode ser observada aos três meses após a aplicação do corretivo, no entanto, o autor ressalta que para correção de camadas mais profundas, há necessidade de incorporação do corretivo.

Apesar de muitos autores defenderem a ação corretiva da calagem superficial somente até a camada de 0 - 10cm, trabalhos como o de Caires et al., (2003) mostram que os efeitos da calagem superficial sobre o pH do solo foram significativos na profundidade de 0 - 5cm após 11 meses, nas profundidades de 5 - 10/10 - 20cm após 23 meses, na camada de 20 - 40cm após 35 meses da aplicação do calcário. O autor referido justifica que os efeitos da calagem em profundidade somente devem ocorrer quando o pH (em água), na zona de dissolução do calcário, atingir valores na ordem de 5,2 a 5,6 com a formação e migração de  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  /  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  para as camadas mais profundas do solo. Esta hipótese é a que melhor justifica a diminuição da acidez no subsolo pela calagem, superficial ou com incorporação no sistema de plantio direto (COSTA, 2000 apud. CAIRES et al., 2003). Da mesma forma Gatiboni et al., (2003) observaram que a aplicação superficial de calcário proporciona uma redução nos teores de alumínio trocável até 60cm de profundidade, aumentando a saturação por bases até 40cm e o pH até 45cm, porém esses efeitos só são obtidos 82 meses após a aplicação. Ao avaliarem o efeito da calagem em um Latossolo arenoso do noroeste paranaense, Fidalski & Tormena (2005), concluíram que apesar da máxima resposta da calagem ter ocorrido na camada de 0 - 10cm (terceiro ano de experimento), houve a identificação de uma frente de alcalinização na camada de 10 - 20cm, frente esta verificada através de modelos de regressão linear.

Ao avaliar as respostas do trigo à calagem, Caires et al. (2008) verificaram, após estudos com um Latossolo de textura média durante 10 anos, que a calagem ( $3\text{Mg ha}^{-1}$ ) realizada 3 anos antes do cultivo do trigo promoveu uma produtividade de  $2790\text{kg ha}^{-1}$  de grãos (acréscimo de produtividade de 115% em relação ao tratamento sem correção de acidez). A calagem ( $6\text{Mg ha}^{-1}$ ) realizada 10 anos antes do cultivo do trigo promoveu produção de  $3510\text{kg ha}^{-1}$  (aumento de 170% em relação à testemunha). Os autores comentam que esta elevação na produtividade é atribuída ao maior crescimento e densidade

de raízes nas camadas de 0 - 10cm e 10 - 20cm, ocasionados pelo aumento nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ , elevação do pH, redução nos teores de  $\text{Al}^{3+}$ , assim como redução na saturação por alumínio ocorridos nesta camadas em decorrência da calagem.

Devido a estes diferentes resultados, questiona-se a camada de amostragem do solo que melhor expresse as condições reais de acidez nos solos sob o sistema de plantio direto. Para isso, alterações nas recomendações de calagem, foram propostas para o sistema de plantio direto no Paraná. Caires et al. (2000) estabelecem como critérios de calagem a elevação da saturação por bases à 65% e  $\text{pH-CaCl}_2 = 5,6$ . Porém, questiona-se a eficácia destes critérios, quando aplicados em solos arenosos do noroeste paranaense, uma vez que, esta opção de calagem foi baseada em alguns experimentos de resposta à adição de calcário em semeadura direta, posteriormente generalizados para o Paraná, que possui solos heterogêneos (NOLLA et al., 2009a). O teste destas recomendações em solos arenosos é importante para verificar se estes critérios, atualmente utilizados, de calagem são adequados para estes solos. Alguns autores têm demonstrado que os atuais critérios de calagem acabam subestimando as doses de corretivos para milho (NOLLA et al., 2009b), soja, aveia (NOLLA et al., 2009a), pois apesar dos solos arenosos do noroeste do Paraná apresentarem, em geral baixos níveis de alumínio trocável ( $< 0,5\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), os teores de soma de bases trocáveis é também baixo (0,3 a  $1,2\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) (CARDOSO et al., 1992; FIDALSKI, 1997; SAMBATTI et al., 2003). Portanto, nestas condições químicas de solo, a calagem visa principalmente à fertilização cálcica e magnésiana (SOUSA & LOBATO, 2004).

Logo, averiguar o comportamento de diferentes corretivos, como o silicato de cálcio e magnésio, perante estes critérios de calagem, em solos arenosos do noroeste paranaense, também é necessário, devido à escassez de trabalhos com este foco. A adequação do uso de corretivos, visando maximizar a produção é imprescindível para o uso racional dos recursos naturais, melhorando a lucratividade do produtor rural.

## 2.3 Fertilizantes orgânicos

A quantidade cada vez maior de resíduos orgânicos gerados pelas atividades humanas, produção animal, industrial, abre espaço para o uso agrônomo destes materiais, como fonte de nutriente às plantas e/ou como condicionadores do solo, uma vez que esta é uma alternativa ambientalmente viável (MELO & MARQUES, 2000), desde que utilizados conforme critérios técnicos (CQFS - RS/SC, 2004). O tratamento e a reciclagem dos dejetos (fezes + urina) contribuem para a redução da poluição do ambiente, oferecendo a possibilidade de reciclar os nutrientes da alimentação animal em favor da produção de biomassa, que preserva e melhora as propriedades físicas, químicas, biológicas do solo, contribuindo assim para a manutenção de um sistema produtivo e equilibrado. Esse aproveitamento de dejetos animais passa a ser cada vez mais importante em função da economia de fertilizantes químicos derivados do petróleo, que são insumos altamente energéticos, caros e não renováveis. (CAMPOS, 2008).

Portanto, a reciclagem de resíduos através de seu uso agrônomo é um procedimento interessante, desde que analisadas as suas características, potencial, consequências de sua utilização (PREZOTTO, 1992). As utilizações dos dejetos de animais, na forma sólida ou oriunda de cama sobreposta, constituem num fertilizante de boa qualidade. Estes quando manejados de forma adequada e criteriosa podem contribuir para o aumento dos teores de matéria orgânica do solo, promovendo a melhoria dos atributos químicos e microbiológicos, aumentando a produtividade das culturas (GAYA, 2004), principalmente nas condições de clima tropical; subtropical; predominantes no Brasil, com solos pobres, com alta incidência de radiação solar, que acelera a decomposição da matéria orgânica (CAMPOS, 2008). Uma fração destes resíduos aplicados ao solo é transformada em húmus, que é mais estável e libera os nutrientes mais lentamente. Desta forma, os componentes do esterco convertido em húmus, exercem influências nos solos de maneira persistente em longo prazo (BRADY, 1989).

O conhecimento da dinâmica dos nutrientes no solo a partir da superfície é essencial para o estabelecimento de ajustes na recomendação de

adubos, corretivos, principalmente em se tratando de sistema de plantio direto, onde os insumos são aplicados superficialmente. Os efeitos de longo prazo, ainda geram dúvidas quanto ao uso de esterco como adubo, especialmente em condições de não revolvimento do solo, após a utilização intensiva deste insumo por vários anos. Portanto o melhor entendimento das modificações nos atributos químicos do solo, decorrentes do uso de esterco na adubação, pode fornecer subsídios para produção em bases sustentáveis, sem comprometer o ambiente (SCHERER et al., 2007).

Para a utilização do resíduo orgânico oriundo de granjas de animais, é interessante a realização de análise química da cama (aves, suínos, dentre outros) toda vez que a mesma for usada como adubo orgânico (Tabela 2). A dose a ser utilizada de fertilizantes orgânicos é dependente da composição e do teor de matéria orgânica dos referidos resíduos, classe textural e nível de fertilidade do solo, exigências nutricionais da cultura explorada, assim como condições climáticas regionais (DURIGON et al., 2002). Diferentemente dos dejetos líquidos, não são consideradas, no caso da cama de suínos, as perdas de 20% do nitrogênio, pelo fato do mesmo encontrar-se na forma orgânica (ZAMPARETTI & GAYA, 2004).

Tabela 2 - Concentração média de C, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca, Mg e teor de matéria seca no esterco de suínos sólido e líquido

<b>Material orgânico</b>	<b>C-org.</b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Matéria seca %</b>
	.....% (m/m).....						
Esterco de suínos sólido	20	2,1	2,8	2,4	2,8	0,8	25
Esterco de bovinos sólido	30	1,5	1,4	1,5	0,8	0,5	20
Cama de frango (3 - 4)*	30	3,2	3,5	2,5	4	0,8	75
Cama de frango (5 - 6)*	28	3,5	3,8	3	4,2	0,9	75
Cama de frango (7 - 8)*	25	3,8	4	3,5	4,5	1	75
Cama de poedeiras	30	1,6	4,9	19	14	0,9	72
Cama de peru (2)*	23	5	4	4	3,7	0,8	75

\* números entre parênteses referem-se ao número de lotes de aves que permanecem sobre a mesma cama. m/m = relação massa/massa do nutriente na matéria seca.  
 FONTE: adaptado de CQFS - RS/SC (2004).

Nos dias de hoje, a geração de esterco oriundo da avicultura vem crescendo, uma vez que novas tecnologias de produção dão ao setor a oportunidade de aumento na produção de aves. Segundo Moreng & Avens (1990), para cada 100.000 aves poedeiras há uma geração de 12Mg dia<sup>-1</sup> de esterco.

Dentre os estercos de origem animal, o de aves poedeiras é um dos mais ricos em nutrientes, pois contém os dejetos líquidos e sólidos de galinhas alimentadas com ração contendo alto teor de proteína. A soma dos teores de nitrogênio; fósforo; potássio; do esterco dessas aves são duas a três vezes maiores que o encontrado nos estercos de diversos mamíferos (KIEHL, 1985).

A Embrapa (2006a) destacou características de estercos gerados por diferentes atividades agropecuárias, dentre elas a pecuária bovina, a equina, a suinocultura, a criação de aves. Dados desse instituto de pesquisa citam que os estercos oriundos de bovinos, de equinos são os mais ricos em fibras, com isso ajudam a desenvolver organismos antagonistas de fungos causadores de doença de solo. O esterco de suíno apresenta composição variável, em razão da quantidade de água que o acompanha, tipo de alimentação, idade dos animais. Esse material possui boa quantidade de N, Zn.

Em relação ao esterco de aves, a Embrapa (2006a) destaca que se trata de um resíduo rico em N, esse tipo de esterco é aplicado, normalmente, junto com a maravalha (cama) que é colocada para acomodar frangos de corte em aviários. O material, quando bem curtido, apresenta-se farelado, escuro, sem excesso de amônia. A madeira da maravalha se decompõe quase totalmente devido a grande quantidade de N do esterco.

Nicoulaud et al. (1990), avaliando a aplicação de cama de aviário em dosagens de até 36Mg ha<sup>-1</sup> na cultura da alface, observaram a elevação na absorção de N, Ca, Mg, Fe, K, culminando num aumento no rendimento de matéria seca.

Já Meneses (1993), observou elevação linear na produtividade de milho, em monocultivo, com a aplicação de doses de esterco de aves, que variaram de 0 a 60Mg ha<sup>-1</sup>, assim como resposta quadrática da cultura, quando em consórcio com o caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

Em experimento para avaliar o efeito imediato do fornecimento de N à cultura do trigo, Figueroa (2008) constatou que não houve diferença

significativa entre o tratamento com aplicação de uréia e os tratamentos com 2,8 e 4,2Mg ha<sup>-1</sup> de esterco de aves, tendo estes proporcionado produtividades de 4129, 4248, 4071kg ha<sup>-1</sup> de grãos, respectivamente. O autor atribui a semelhança dos resultados à alta fertilidade do solo avaliado, uma vez que sob teores elevados de nutriente, as culturas tendem a reduzir suas respostas à adubação. O mesmo autor também observou uma eficiência na disponibilidade de N pelo esterco superior ao encontrado na literatura.

Segundo Figueroa (2008) experimentos realizados pela Embrapa Milho e Sorgo (2000), demonstraram que a produção de milho em sistema de plantio direto fertilizado com dejetos de suínos, de maneira exclusiva ou combinada, pode gerar produtividades entre 6.400 e 8.400kg ha<sup>-1</sup>. A produtividade atingida com 50m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos suíno líquido, em aplicação exclusiva, foi 21% superior à obtida com adubação mineral. No entanto ressalta-se que a baixa concentração de nutrientes, principalmente de fósforo nos estercos (exceção feita ao de aves) justifica, em determinados casos, o seu enriquecimento com superfosfato simples (ou outra fonte mineral de nutrientes) (KIEHL, 1985; FIGUEROA, 2008).

Com relação à produção de resíduos orgânicos oriundos de processos industriais, destacam-se os gerados pelo setor sucroalcooleiro. O estado do Paraná é o segundo maior produtor de cana-de-açúcar do País, ficando atrás somente do estado de São Paulo. O cultivo paranaense de cana-de-açúcar acontece principalmente na região noroeste do estado, onde se concentra a maior parte das agroindústrias sucroalcooleiras (SILVA et al., 2010a).

Por certo a produção de etanol gera, conseqüentemente, a produção de vinhaça como subproduto do processo industrial. A produção média de vinhaça é de 10 a 15L do efluente por Litro de etanol, dependendo da configuração dos equipamentos da destilaria. A composição da vinhaça varia de acordo com o mosto, que é composto da mistura de caldo, mel e água (Tabela 3). A fertirrigação da cana-de-açúcar com vinhaça é a maneira economicamente viável que as usinas utilizam para irrigar e adubar a cultura, aumentando assim sua produtividade (ALBERS, 2007).

A aplicação de vinhaça “in natura” ao solo é uma forma de aproveitar este resíduo de forma adequada, uma vez que se trata de um excelente fertilizante, capaz de promover benefícios às propriedades físicas, químicas,

biológicas do solo (FERREIRA & MONTEIRO, 1987). Os autores referidos ainda citam que estes benefícios da aplicação de vinhaça vêm em decorrência da elevação do pH, aumento da CTC, aumento da disponibilidade de certos nutrientes, melhoria da estruturação do solo (agregados estáveis pela adição de matéria orgânica), elevação na retenção de água, além de promover o desenvolvimento da microflora e microfauna do solo.

Segundo Brito et al. (2005); Bebé (2007) a aplicação de vinhaça como fertilizante pode elevar os teores de Na no solo. Porém o manejo adequado deste resíduo no solo pode incrementar o rendimento de culturas principalmente pelo aumento de nutrientes como o potássio (PEREIRA et al., 1992). Um manejo adequado dos resíduos orgânicos é importante, pois segundo Lemos et al. (2011) a utilização intensiva destes produtos ao longo dos anos pode ocasionar grande acúmulo de nutrientes nas camadas superficiais do solo, (principalmente sob plantio direto), ocasionando transporte destes por escoamento superficial, com posterior contaminação de fontes hídricas.

Tabela 3 - Composição Química da Vinhaça de Diferentes Tipos de Mosto

Elementos	Unidades	Mosto		
		Melaço	Misto	Caldo
N	kg m <sup>-3</sup> vinhaça	0,75 – 0,79	0,33 - 0,48	0,26 - 0,35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kg m <sup>-3</sup> vinhaça	0,10 – 0,35	0,09 - 0,61	0,09 - 0,50
K <sub>2</sub> O	kg m <sup>-3</sup> vinhaça	3,50 – 7,60	2,10 - 3,40	1,01 - 2,00
CaO	kg m <sup>-3</sup> vinhaça	1,80 – 2,40	0,57 - 1,46	0,13 - 0,76
MgO	kg m <sup>-3</sup> vinhaça	0,84 – 1,40	0,33 - 0,58	0,21 - 0,41
SO <sub>4</sub>	kg m <sup>-3</sup> vinhaça	1,5	1,6	2,03
M.O.*	kg m <sup>-3</sup> vinhaça	37 – 57	19 – 45	15 - 35
Mn	mg dm <sup>-3</sup> vinhaça	6 – 11	5 – 6	5 - 10
Fe	mg dm <sup>-3</sup> vinhaça	52 – 120	47 – 130	45 - 110
Cu	mg dm <sup>-3</sup> vinhaça	3 – 9	2 – 57	1 - 18
Zn	mg dm <sup>-3</sup> vinhaça	3 – 4	3 – 50	2 - 3
pH		4,0 – 4,5	3,5 - 4,5	3,5 - 4,0

\* Matéria orgânica.  
Fonte: Orlando Filho & Leme (1984).

Desta forma a CETESB (2006), desenvolveu um estudo para regular a aplicação de vinhaça em cana de açúcar, a fim de evitar a saturação do solo por nutrientes, principalmente o potássio, evitando contaminação ambiental. Esse órgão desenvolveu a seguinte equação para proporcionar doses adequadas de aplicação deste resíduo:

$$\text{Vinhaça (m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{)} = [(0,05 \times \text{CTC} - \text{ks}) \times 3744 + 185] / \text{kvi} \quad (1)$$

Onde:

**CTC** - Capacidade de Troca Catiônica, expressa em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

**0,05** - 5% da CTC.

**ks** - teor de potássio no solo, expresso em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , à profundidade de 0 a 0,80m.

**3744** - constante para transformar os resultados da análise de fertilidade, expressos em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  ou  $\text{meq}/100\text{cm}^3$ , para  $\text{kg ha}^{-1}$  de potássio numa profundidade de 0 a 0,80m.

**185** - massa, em kg, de  $\text{K}_2\text{O}$  extraído pela cultura por hectare, por corte.

**kvi** - teor de potássio na vinhaça, expressa em  $\text{kg m}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ .

Para o estabelecimento deste critério de uso da vinhaça como fertilizante orgânico, a CETESB (2006), preconiza que o lençol freático possua no mínimo uma distância de 1,50m da superfície. Visto isso, é considerada a quantidade de potássio no solo, assim como a concentração do nutriente na vinhaça e que este teor participe de no máximo 5% da CTC na camada de 0 - 80cm, objetivando a não saturação do nutriente no solo, visto que, esse nutriente proporciona maiores perdas por lixiviação, devido a sua maior mobilidade no solo, quando comparados aos demais nutrientes que constituem esse resíduo.

Có Junior et al. (2008), avaliando o estabelecimento da dosagem de vinhaça a partir da equação recomendada pela CETESB (2006) em Latossolo Vermelho eutrófico e a utilização da mesma dosagem de potássio na forma mineral ( $185\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ), descrevem não haver diferença significativa nas duas formas de fornecimento de potássio para a cultura da cana-de-açúcar, quanto a produtividade de colmos e qualidade do caldo. Assim, pode-se atribuir

à vinhaça efeitos fertilizantes, visto que o resíduo é suficiente para suprir a demanda nutricional de potássio exigida por esta cultura.

Com adubação mista (vinhaça + cloreto de potássio), Bebé et al. (2008), verificaram que as variáveis resposta: peso seco de parte aérea, rendimento máximo relativo de peso seco da parte aérea, peso seco de raiz de milho foram máximos quando se utilizou 25% do fornecimento de K via vinhaça com o restante via cloreto de potássio.

Desta forma observa-se que as respostas vegetais quanto à aplicação de vinhaça, diferem conforme a espécie avaliada. É importante considerar que os resíduos orgânicos utilizados como fertilizantes apresentam índices de eficiência (KRAY et al., 2002; CQFS – RS/SC, 2004), que demonstram a percentagem média de transformação da quantidade total dos nutrientes, contidos nos adubo orgânicos sólidos ou líquidos, que ficam disponíveis nos três primeiros cultivos após a aplicação do adubo. Em média, 50% do nitrogênio, 60% do fósforo, 100% do potássio dos resíduos sólidos, 80% do nitrogênio, 80% do fósforo, 100% do potássio dos esterco líquidos ficam disponíveis para as plantas no primeiro cultivo. Outros 20% do nitrogênio, 30% do fósforo dos resíduos sólidos, 20% do fósforo dos resíduos líquidos ficam disponíveis para as plantas no segundo cultivo. Os resíduos sólidos, com uma menor taxa de mineralização, ainda, são capazes de liberar 10% do nitrogênio, do fósforo para as plantas no terceiro cultivo (SCHERER, 2010).

Este índice de eficiência da liberação dos nutrientes ao solo, atrelado à adubação orgânica, ocorre devido à necessidade de mineralização de muitos dos compostos orgânicos presentes neste tipo de adubo. Segundo a CQFS - RS/SC (2004) deve-se levar em consideração tal índice de eficiência dos adubos orgânicos em cultivos sucessivos para o cálculo da dose do produto a ser aplicado na área de cultivo, podendo-se utilizar a seguinte equação para resíduos líquidos:

$$X = A * B * D \quad (2)$$

Onde:

X – necessidade do nutriente ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pela cultura;

A – quantidade do produto fertilizante a ser utilizado ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ );

B – teor do nutriente no produto fertilizante ( $\text{kg m}^{-3}$ );

D – índice de eficiência de liberação do nutriente em cada cultivo ( $1^{\circ}$ ,  $2^{\circ}$  ou  $3^{\circ}$ ).

Esta equação (2), recomendada pela CQFS - RS/SC (2004), diferentemente da equação (1) preconizada pela CETESB (2006), considera apenas características inerentes ao produto fertilizante aplicado, como teor de nutrientes, volume de aplicação, não considerando algumas características importantes do solo, tais como a capacidade de adsorção de nutrientes, saturação da CTC pelos nutrientes, assim como profundidade do lençol freático. Ressalta-se que nenhuma das recomendações citadas considera a textura dos solos, assim como a capacidade e taxa de infiltração destes resíduos líquidos nos solos, o que gera dúvidas quanto o potencial de contaminação ambiental. No entanto a equação recomendada pela CQFS - RS/SC (2004) permite o estabelecimento de doses com base no teor de diferentes nutrientes, não apenas pelo conteúdo de potássio.

Para a aplicação de resíduos sólidos, a CQFS - RS/SC (2004) recomenda a utilização de uma equação que, além da concentração de nutrientes presentes nos fertilizantes, também considera o teor de matéria seca dos produtos, da seguinte forma:

$$X = A * B/100 * C/100 * D \quad (3)$$

Onde:

X – necessidade do nutriente ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pela cultura;

A – quantidade do produto fertilizante a ser utilizado ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

B – teor de matéria seca do produto fertilizante em porcentagem;

C – teor do nutriente no produto fertilizante em porcentagem;

D – índice de eficiência de liberação do nutriente ( $1^{\circ}$ ,  $2^{\circ}$  ou  $3^{\circ}$  cultivos).

O carbono (C) é o elemento fundamental dos resíduos orgânicos, estando este representado principalmente pela celulose, que compõe em média 50% do C no solo, mantendo a matéria orgânica deste ao longo dos anos. Problemas de má estruturação física, reduzida capacidade de retenção de água e o fornecimento de nutrientes, podem estar ligados a baixos teores de matéria orgânica no solo. Portanto, o fornecimento constante de matéria orgânica pela biomassa vegetal, tende a compensar as perdas geradas pela

decomposição dos resíduos orgânicos, promovendo um equilíbrio solo, planta (MENDES, 2000).

Após sofrerem os processos químicos, microbiológicos no solo, a fração mineralizada dos nutrientes provenientes dos resíduos orgânicos, comporta-se de maneira semelhante aos nutrientes oriundos de fertilizantes minerais, portanto eles passam a integrar as mesmas reações químicas dos íons já presentes no solo bem como dos provindos de fertilizantes minerais, tais como insolubilização de fósforo, lixiviação de nitrogênio e etc. (KIEHL, 1993).

Segundo Lopes (1994), os principais benefícios relacionados à incorporação de matéria orgânica ao solo são: melhoria da estrutura do solo; aumento da retenção de água; elevação da capacidade de troca de cátions (CTC); redução dos efeitos fitotóxicos de agroquímicos; favorecimento do controle biológico pelo incremento da população microbiana antagonista.

A melhoria nas propriedades físicas do solo pela presença de matéria orgânica se dá pela ação das substâncias húmicas coloidais, pois estas atuam como agentes cimentantes das partículas do solo, aumentando a estabilidade dos agregados. Concomitantemente, o adubo orgânico torna-se fonte energética de microrganismos que promovem agregação física das partículas do solo. Estes fatores culminam numa melhoria na estruturação do solo, permeabilidade, aeração e retenção hídrica (PEREIRA NETO, 2007).

A elevação na CTC promovida pela adubação orgânica ocorre principalmente, devido à matéria orgânica originada através da decomposição dos fertilizantes orgânicos, que é rica em ácidos húmicos e fúlvicos, que são polímeros naturais, ricos em grupos funcionais de cargas negativas tais como: carboxilas; OH fenólico e/ou enólico; OH alcoólico; C=O de quinonas; que são sítios de adsorção de cátions nutrientes (MORTVERD et al., 1972; RICARDO, 1961), desta forma a elevação da CTC pela matéria orgânica se faz muito importante, principalmente nos solos brasileiros com predominância de minerais argilosos como a caulinita, os óxidos hidratados de Fe e Al, que apresentam baixo poder de troca catiônica (MONIZ et al., 1995).

A presença de matéria orgânica pode favorecer o aumento da população de organismos saprofitos (que se alimentam da matéria orgânica

morta ou em decomposição) em detrimento de parasitas, melhorando os aspectos sanitários do solo, favorecendo as culturas (PEREIRA NETO, 2007).

Trabalhando num Latossolo Bruno cultivado sob plantio direto Zanetti et al., (2011) concluíram que a aplicação de doses até  $180\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  de dejetos líquido bovino favorecem a taxa de infiltração, provavelmente pela melhoria nas condições físicas do solo promovidas pelo incremento de material orgânico.

Em experimento com seis anos de duração sob plantio direto, Silva et al. (2010b) observaram uma elevação linear nos teores de C-orgânico na camada de 0 – 5cm com aplicação de doses crescentes de esterco bovino líquido até  $90\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ .

O material orgânico adicionado ao solo favorece ainda a solubilização microbiana do fósforo, sendo este efeito relacionado com a natureza desse material, pois a solubilização do P no solo pode ser o resultado da produção de  $\text{CO}_2$ , de ácidos orgânicos oriundos da mineralização do C-orgânico e da produção de enzimas, compostos quelantes, complexantes pela microbiota (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

Apesar de não apresentarem efeitos na produtividade das culturas tão marcantes e imediatos quanto os adubos minerais, os fertilizantes orgânicos apresentam melhor efeito residual, possivelmente pela liberação mais gradual dos nutrientes, pelo estímulo ao crescimento radicular, além de amentar a fertilidade natural do solo, prevenindo sua exaustão (SMITH & HADLEY, 1989).

É importante salientar que a utilização de adubos orgânicos sem o conhecimento adequado (tipos e doses) pode alterar a fertilidade do solo, a absorção de nutrientes pelas plantas, podendo não conferir o benefício esperado (MORSELLI, 2001). Portanto a dose de esterco ou outros resíduos orgânicos a serem aplicados no solo depende, entre outros fatores, principalmente da composição nutricional e teor de matéria orgânica dos referidos resíduos, classe textural, nível de fertilidade do solo, assim como exigências nutricionais da cultura explorada e condições climáticas da região (DURIGON et al.,2002).

Neste sentido, necessita-se de maiores estudos quanto à influência dos resíduos orgânicos, como a vinhaça e o esterco de aves, nos atributos químicos dos solos arenosos do noroeste paranaense, visto a escassez de trabalhos para esta situação em particular. A importância do conhecimento,

regionalizado, do comportamento destes produtos alternativos, pode auxiliar no aproveitamento racional destes recursos, diminuindo seu impacto no ambiente, pelo manejo agrícola adequado.

## **2.4 Fertilizantes minerais**

Os fertilizantes minerais são amplamente utilizados nas lavouras brasileiras, em especial os formulados do tipo NPK, fato este que pode ser relacionado à maior solubilidade destas fontes, com consequente disponibilização imediata dos nutrientes às plantas (LOURENÇO et al., 2011; SILVEROL, 2006). Porém, estas fontes compostas basicamente por sais de nitrogênio, fósforo, potássio, de alta solubilidade, podem ocasionar a lixiviação dos nutrientes que não forem aproveitados pelas plantas, com isso contaminar os corpos d'água (SILVEROL, 2006).

Grande parte do fósforo nos solos oxídicos não se encontra prontamente disponível às plantas. Desta forma, adubações frequentes com fontes fosfáticas de alta solubilidade são necessárias, utilizando-se para tal, fertilizantes químicos industrializados. (NOVAIS & SMYTH, 1999).

A adição de um fertilizante fosfatado de qualquer origem (Tabela 4) ao solo provoca uma sequência de eventos físico-químicos que transformam esse fosfato em substâncias fosfatadas complexas, que passam a governar a disponibilidade desse nutriente no solo. Assim, se forem adicionados fosfatos solúveis em água, a reação no solo é rápida e os novos produtos formados conseguem manter uma solução saturada em P em torno da região de dissolução do grânulo. Isso cria um gradiente osmótico que provoca o deslocamento da água em sua direção, e ao mesmo tempo há a difusão da solução da região mais concentrada para regiões de menor concentração, próximas, garantido soluções com P suficiente para atender a demanda de plantas quando o sistema radicular atinge essas regiões. O evento prossegue até que haja diluição da solução com P, ou até que as reações com os constituintes do solo se completem e ocorra a extinção do potencial osmótico.

Como resultado, o pH do sítio, onde ocorreu a reação será menor que o original (KAMINSKI & PERUZZO, 1997).

Tabela 4 – Composição nutricional de fertilizantes fosfatados

Fertilizante	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				Ca	Mg	S	N
	Total	Ácido cítrico	C.N.A <sup>1</sup>	água				
	.....%.....							
Superfosfato simples	19	18	18	17	19	0,2	12	-
Superfosfato triplo	45	40	44	38	13	0,3	-	-
Diamônio fosfato (DAP)	45	42	44	40	-	-	-	17
Monoamônio fosfato (MAP)	52	50	52	50	-	-	-	9
Fosfato natural Araxá	36	5	2	0	-	-	-	-
Fosfato natural de Patos	32	4	2	0	35	-	-	-
Fosfato natural Jacupiranga	33	2	0	0	-	-	-	-
Termofosfato Mg(25%SiO <sub>2</sub> )	19	16	13	0	20	8	-	-
Escória de Thomas	19	15	12	0	-	-	-	-
Multifosfato magnesiano	20	n.d.	19	6	-	-	-	-
Fosfato natural Gafsa	27	13	6	0	34	-	-	-
Fosfato natural Arad	33	9	n.d.	0	37	-	1	-
Farinha de ossos	28	n.d	n.d	n.d	25	0,4	0,1	4,5

<sup>1</sup> citrato neutro de amônio; n.d=não determinado.  
 Fonte: adaptado de Kaminski & Peruzzo, 1997; Slack, 1976.

Se o fertilizante for de baixa solubilidade haverá um tipo de reação similar, mas nesse caso, a solução será mais diluída e o potencial osmótico será menor, ambos ditados pela solubilidade do produto utilizado. Por isso, o movimento de água na direção do fertilizante será menor, esta solução influenciará volumes muito menores de solo ao redor do grânulo de fertilizantes, de modo que as rotas do movimento de P, serão a difusão na solução e o fluxo de massa, por isso, sua disponibilidade dependerá da quantidade de água no solo, o que facilitará o acesso da raiz ao nutriente (SAMPLE et al., 1980). O pH do sítio da reação praticamente não tem alteração (KAMINSKI & PERUZZO, 1997) .

Os superfosfatos simples e triplo (ambos fosfatos monocálcicos), os fosfatos monoamônico (MAP), o diamônico (DAP), são fontes aciduladas de fósforo que apresentam acima de 90% do P total solúvel em citrato neutro de amônio, dissolvendo-se rapidamente no solo, sendo praticamente equivalentes quanto à capacidade de fornecimento de P às plantas. Estes fertilizantes são encontrados geralmente no formato de grânulos, pois desta maneira o volume de solo em contato com o produto é menor, reduzindo o processo de insolubilização do P, além de facilitar a aplicação na área de cultivo (SOUSA & LOBATO, 2004b).

Por sua vez o superfosfato simples é uma fonte de P solúvel obtida através da reação de ácido sulfúrico com fosfato de rocha, portanto apresenta-se como uma mistura de fosfato monocálcico com gesso, por isso uma fosfatagem corretiva com esta fonte pode, indiretamente, promover gessagem parcial ou total, dependendo das características do solo. Por apresentar adição de enxofre, CaO, pode-se citar como principais vantagens desse produto: fornecimento de fósforo, cálcio e enxofre; o gesso agrícola formado como resíduo do processo industrial é utilizado para corrigir áreas sódicas, para melhorar o ambiente radicular em profundidade devido a alta solubilidade em água (VITTI et al., 2004).

Dentre as fontes de P, os fosfatos naturais têm se destacado como alternativa às aplicações de fosfatos acidulados. Porém, a eficiência destes fosfatos depende de fatores relacionados com suas características intrínsecas, com as propriedades do solo, com as práticas de manejo, ainda as características da planta (RAJAN et al., 1996).

Segundo Lens et al. (2000), um dos fatores que limitam o uso “in natura” dos fosfatos naturais é sua lenta solubilidade, mesmo os fosfatos naturais reativos (FNR) devem ter condições propícias para que seu efeito seja otimizado e o fornecimento de P necessário às culturas ocorra de modo satisfatório. Desta maneira, alternativas para se acelerar a solubilização dos fosfatos têm sido estudadas, como a adição de S elementar (S<sup>0</sup>), o qual é oxidado no solo por microrganismos, favorecendo a solubilização dos fosfatos naturais reativos, bem como fornecendo S, originalmente insolúvel na forma de S<sup>0</sup>.

Outra maneira de elevar a solubilização dos fosfatos naturais é aplicá-los em ambientes com suficiente aporte de matéria orgânica (sistemas de cultivo conservacionistas), pois estes fosfatos são passíveis à ação de processos químicos e/ou biológicos, com os ácidos de origem vegetal ou microbiana, solubilizando a rocha e disponibilizando fósforo inorgânico (Pi) às plantas (FERTIPAR, 2011).

Apesar da baixa solubilidade em água que os fosfatos naturais reativos apresentam, estes são eficientes como fontes de P em solos com pH em água menor que 5,5 ou pH em CaCl<sub>2</sub> menor que 5,0, portanto estes fosfatos mostram melhor dissolução em condições mais ácidas (NOVAIS et al., 2007). Por outro lado, os fosfatos naturais vêm sendo bem utilizados em solos calcariados em associação com fosfatos solúveis, pois os últimos disponibilizam P no início do cultivo de forma imediata e os fosfatos naturais proporcionam liberação gradual ao longo do ciclo produtivo, principalmente para culturas perenes como o eucalipto (NOVAIS et al., 1982).

Dados coletados sobre o efeito dos fosfatos naturais no rendimento de grãos de cevada, em rotação com outras culturas, mostraram que eles tendem a ser equivalentes aos fertilizantes solúveis no segundo ou terceiro cultivo após a aplicação, demonstrando seu efeito residual. No entanto proporcionam menor rendimento de grãos no primeiro cultivo, quando comparados com fosfatos acidulados (superfosfato triplo, superfosfato simples) (EMBRAPA, 2005; KAMINSKI & PERUZZO, 1997).

O tratamento térmico de rochas fosfatadas, com ou sem adição de outros materiais (silicatos de cálcio), origina os termofosfatos. A adição de componentes magnesianos durante o processo de fabricação origina os termofosfatos magnesianos, que apresentam a vantagem de reduzir a fixação específica do fósforo solubilizado, pois estes fertilizantes contêm silicatos capazes de competir com os fosfatos pelos sítios de adsorção, mantendo uma maior quantidade de P adsorvido em sua forma lábil (VITTI et al., 2004).

Trabalhando com fosfato natural de Trauína calcinado aplicado em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico, Coelho et al. (2011) verificaram que doses crescentes deste fosfato (até P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 120mg kg<sup>-1</sup> de solo) proporcionam o aumento no acúmulo de matéria seca em plantas de milho. Os mesmos autores também concluíram que para a dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 80mg kg<sup>-1</sup> de

solo, o superfosfato simples foi superior ao fosfato natural calcinado, provavelmente pela solubilização mais rápida deste último.

Estudando a eficiência agronômica de três tipos de termofosfatos e do superfosfato triplo aplicados a um Latossolo Vermelho de textura média, Büll et al. (1997), observaram que para uma dose de  $200\text{mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , houve uma redução gradativa nos teores de fósforo do tratamento com superfosfato triplo, que os autores atribuíram a redução da solubilidade do nutriente ao longo do tempo em decorrência da fixação pelo solo. Büll et al. (1997) também observaram que para as fontes de termofosfato em pó, os teores de fósforo no solo se mantiveram praticamente constantes durante toda a avaliação, provavelmente em função de uma taxa mais baixa de fixação, devida à menor solubilidade de seu fósforo. Outro fator que pode ter concorrido para menor fixação se refere à competição pelos mesmos sítios de adsorção do solo entre o fosfato e o silicato presentes nestes produtos (HINGSTON et al., 1972).

Já Baldeón (1995) por sua vez, demonstra que o efeito favorável do termofosfato sobre o aproveitamento de fósforo pelas plantas se deve principalmente à elevação do pH proporcionada pelos silicatos contidos na formulação destes produtos.

Franzini et al. (2011), após avaliarem o efeito de doses e modos de aplicação de fosfato reativo de Arad e superfosfato triplo na cultura do milho, concluíram que para o superfosfato triplo o modo de aplicação (sulco de plantio ou a lanço incorporado), não afetou a produtividade média do milho, já para o fosfato de Arad houve diferença, onde a maior produtividade média de milho ocorreu com aplicação a lanço incorporado. Com relação às doses, os autores verificaram que para aplicação a lanço, a dose de superfosfato triplo que proporcionou maior produtividade de milho ( $4928\text{Mg ha}^{-1}$  de grãos) foi de  $179\text{Mg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Já para o fosfato de Arad a melhor dose foi de  $193\text{Mg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $5318\text{Mg ha}^{-1}$  de grãos).

Em experimento com aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados num Latossolo cultivado com trigo, Gargantini et al. (1972), verificaram que na ausência de correção da acidez do solo, o superfosfato simples e o termofosfato foram superiores ao superfosfato triplo e ao fosfato de Araxá na dose equivalente à  $100\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Já nos solos calcariados ( $\text{Al}^{3+} = 0$  e  $\text{V}\% = 75$ ;  $2,5$  e  $8,2\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário respectivamente) todos os fertilizantes

tiveram efeito semelhante, sendo estes superiores ao fosfato de Araxá tanto na dose de 100 quanto na de 200kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Os mesmos autores concluíram que o trigo é uma cultura bastante responsiva ao fósforo, sendo as fontes solúveis mais eficientes que o fosfato tricálcico.

Diante do exposto, dúvidas sobre a eficiência dos fosfatos minerais solúveis, utilizados em solos arenosos, surgem, pois a baixa CTC e o alto fator intensidade de P destes solos, podem propiciar possíveis perdas de fósforo por lixiviação ou fixação específica aos óxidos e hidróxidos de Fe e Al. Uma forma de atenuar este problema seria a aplicação conjunta de formas de fosfato orgânicas ou de menor solubilidade, visando proporcionar suprimento constante de P ao longo do ciclo das culturas.

## **2.5 Combinação de fertilizantes**

Uma alternativa para aumentar a absorção dos nutrientes pelas plantas se faz através da complementação dos adubos orgânicos com adubação mineral, isto porque os fertilizantes orgânicos apresentam concentrações mais baixas de N, P e K, de forma que a complementação mineral destes possibilita um sincronismo de liberação dos nutrientes ao longo do período de crescimento das plantas (BISSANI et al., 2008).

Na adubação mista (fertilizantes orgânicos e minerais), a disponibilidade de nutrientes provindos de fontes minerais se dá de forma rápida às plantas, porém com baixo efeito residual. Isto ocorre, pois estas fontes são compostas por sais de alta solubilidade, o que torna os nutrientes, não aproveitados pelas plantas, passíveis à lixiviação, principalmente em solos arenosos com baixa CTC. No caso do fósforo, a alta solubilidade de fontes minerais favorece a fixação específica aos óxidos amorfos de Fe e Al. Por outro lado, os nutrientes provindos de fontes orgânicas, são disponibilizados de modo mais lento, devido à necessidade de mineralização dos compostos orgânicos. Isto promove uma liberação gradual de nutrientes durante o ciclo da cultura, assim como em fontes de disponibilidade controlada, proporcionando

menores perdas por lixiviação e/ou fixação específica (fósforo), aumentando assim o residual dos nutrientes no solo (KIEHL, 1993).

O estudo de combinações entre fertilizantes orgânicos e minerais pode auxiliar no desenvolvimento de uma agricultura mais racional e sustentável, uma vez que se torna possível a formulação de adubos organominerais a partir do enriquecimento de resíduos orgânicos com adubos minerais. Este aumento na concentração nutricional dos resíduos facilita inclusive seu transporte, para tornar a movimentação deste viável para fora das áreas produtoras, como nos polos de criação de suínos e aves (REBELLATTO et al., 2011).

Esta mistura entre adubos orgânicos e minerais além de melhorar as condições do ambiente edáfico, também pode oferecer melhor rentabilidade econômica ao produtor rural, assim como atestado por Mendes et al. (2011), que após trabalhar com a cultura do milho fertilizada com adubo mineral (NPK 05-25-15), cama de aviário e combinações destas fontes num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, observaram que o maior rendimento econômico foi obtido com a aplicação de  $10\text{Mg ha}^{-1}$  de cama de aviário complementada com  $239\text{kg ha}^{-1}$  de NPK.

Estudando a aplicação de fertilizante mineral exclusivo, organomineral sólido e líquido (cama de aves + adubos minerais; dejetos suíno + adubos minerais) num Nitossolo Vermelho distroférico, Rebellatto et al. (2011), verificaram que não houve diferença entre o desempenho dos fertilizantes na produtividade de milho, proporcionando uma média de  $5471\text{kg ha}^{-1}$  de grãos. Os mesmos autores ainda observaram que o fertilizante organomineral líquido apresenta grande potencial de fornecimento de P ao longo do perfil, devido à presença de formas solúveis orgânicas deste nutriente no fertilizante, fato este, que os autores relatam ser importante na menor fixação do P no solo com disponibilidade gradual deste nutriente à cultura do milho.

Visto a complexidade de se extrapolar os resultados obtidos nas pesquisas, com associações de fertilizantes, para as condições regionais do noroeste do Paraná, estudos a respeito do comportamento dos atributos químicos, assim como do desenvolvimento vegetal, perante a aplicação de diferentes tipos de fertilizantes são necessários, visto a importância da regionalização das recomendações de adubação. Portanto, ainda são incipientes os trabalhos com associação de fertilizantes organominerais, no

noroeste paranaense, principalmente quando aplicados em conjunto ao silicato de cálcio e magnésio.

## **2.6 Milho (*Zea mays* L.)**

O milho é considerado um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo. Apesar da maioria das cultivares de milho empregadas no Brasil, apresentarem ciclo produtivo na faixa entre 110 a 180 dias, esta é uma espécie que pode apresentar um ciclo vital bastante variado, indo desde cultivares que necessitam de cerca de 300 dias para completar seu ciclo, até cultivares que iniciam a polinização já aos 30 dias após a emergência (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

A cultura do milho se desenvolve satisfatoriamente sob condições de calor e umidade elevados, uma vez que se trata de uma planta de origem tropical. Esta cultura necessita de temperatura superior a 10°C e umidade próxima à capacidade de campo para germinação adequada. Durante a fase vegetativa, a condição ideal de desenvolvimento é atingida com temperaturas em torno de 25°C, com abundância de água e luz. Já durante o período reprodutivo, a cultura necessita de elevada luminosidade, disponibilidade de água no solo e umidade relativa do ar superior a 70% (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

De forma geral, a cultura do milho apresenta uma produção baixa e irregular, atingindo de 2 a 3Mg ha<sup>-1</sup> de grãos, de 10 a 45Mg ha<sup>-1</sup> de massa verde. No entanto, esta cultura apresenta um alto potencial produtivo quando conduzida com as tecnologias adequadas, chegando a produtividades de cerca de 10Mg ha<sup>-1</sup> de grãos e de 70Mg ha<sup>-1</sup> de forragem sob condições experimentais (EMBRAPA, 2010a), fato este que demonstra a necessidade de desenvolvimento de pesquisas regionais, que auxiliem o produtor rural a adequar e maximizar sua produção, principalmente através do uso racional de fertilizantes.

A cultura do milho safrinha (2ª safra) no Brasil ocupou, na safra 2010/2011, cerca de 5,92 milhões de hectares com uma produção de 21,59

milhões de toneladas, números estes que correspondem a uma produtividade média de  $3645\text{kg ha}^{-1}$ . Neste contexto o Estado do Paraná se destaca como segundo maior produtor nacional do grão (atrás apenas do Mato Grosso) com uma área cultivada de 1,71 milhões de hectares, produtividade média de  $3610\text{kg ha}^{-1}$ , que gerou uma produção de 6,20 milhões de toneladas do grão (CONAB, 2012).

Através da avaliação do desempenho de diferentes cultivares de milho no município de Umuarama, Gerage & Shioga (1999), obtiveram produtividade na faixa de  $6101$  a  $9243\text{kg ha}^{-1}$  de grãos para cultivares de ciclo muito precoce (25 cultivares avaliadas),  $7092$  a  $9694\text{kg ha}^{-1}$  de grãos para cultivares de ciclo precoce (37 cultivares avaliadas),  $8000$  a  $9105\text{kg ha}^{-1}$  de grãos para cultivares de ciclo normal (13 cultivares avaliadas).

Para alcançar estas altas produtividade de milho (próxima a  $10\text{t ha}^{-1}$ ), faz-se necessária a reposição, no solo, dos nutrientes extraídos das áreas de cultivo por decorrência da colheita. No que se refere à exportação dos nutrientes nos grãos, o fósforo é quase todo translocado para as sementes (80 a 90%), seguindo-se o nitrogênio (75%), o enxofre (60%), o magnésio (50%), o potássio (20-30%), o cálcio (10-15%). Isso implica que a incorporação dos restos culturais do milho devolve ao solo grande parte dos nutrientes, principalmente o potássio, o cálcio, contidos na palhada (EMBRAPA, 2010a).

No tocante aos agroecossistemas paranaenses, Muzilli (1983), preconiza que o acúmulo, além da manutenção da matéria orgânica dos solos depende principalmente de um adequado manejo dos fatores bióticos, portanto o plantio direto aparece com destaque entre os processos mais eficazes. Desta maneira o mesmo autor afirma que este sistema de cultivo deve ser mantido de forma a proporcionar ampla biodiversidade de espécies vegetais, alcançada através de sistemas diversificados de produção agrícola que, necessariamente, incluem a rotação de culturas com plantas de cobertura aliado ao não revolvimento do solo.

Atualmente o plantio direto é o sistema mais utilizado no cultivo do milho, principalmente em grandes propriedades rurais. O sistema convencional de preparo do solo é utilizado apenas para abertura de novas áreas, entre pequenos produtores, apesar de estes adotarem cada vez mais o sistema de plantio direto (CONAB, 2012).

Apesar do sistema de plantio direto (SPD) promover acúmulo e manutenção da matéria orgânica do solo, que serve como reservatório nutricional às plantas (ZECH et al., 1997; BUCKMAN & BRADY, 1991), em trabalho realizado por Kluthcouski (2000), os rendimentos de grãos de milho foram significativamente superiores na aração em relação aos demais manejos. Este comportamento do milho sugere que esta cultura se apresenta relativamente sensível à compactação do solo ou um possível efeito negativo, decorrente da cobertura morta, pode ter sido criada no plantio direto (FANCELLI & FAVARIN 1989; OLIVEIRA et al. 1989; BALBINO et al. 1994).

Com relação a esta sensibilidade do milho ao adensamento do solo promovido pelo SPD, Debiasi et al. (2010), demonstraram que num Argissolo Vermelho distrófico típico, franco-argilo-arenoso, o emprego de culturas de cobertura que antecedam a cultura do milho, melhoram o desempenho da cultura, quando comparado ao milho cultivado após campo em pousio. Os autores justificam os resultados como sendo em decorrência do menor grau de compactação na superfície do solo, devido ao maior acúmulo de matéria orgânica no mesmo, assim como por uma possível redução nas perdas de água do solo pela cobertura morta provinda das culturas de inverno.

O plantio direto ocasiona uma necessidade maior de adubação nitrogenada na cultura do milho, pois a manutenção da umidade ocasionada pela manutenção da palha em superfície favorece a lixiviação do N, assim como reduz a ascensão capilar da água que pode mover o N de camadas mais profundas para a superfície (MUZILLI et al., 1983). Entretanto, os mesmos autores afirmam que o cultivo do milho em sucessão à soja reduziu drasticamente este efeito, o que proporciona um melhor suprimento de N ao milho.

Diferenças no rendimento de grãos da cultura do milho, não foram encontradas por Muzilli et al. (1983), ao trabalhar com diferentes sistemas de manejo (plantio direto/ convencional) durante quatro anos de cultivo. Fabian & Torres (2011), também não encontraram diferenças significativas na produtividade de milho cultivado em preparo convencional, ou com diferentes coberturas vegetais em sistema de plantio direto, obtendo média de 9,6Mg ha<sup>-1</sup>.

## 2.7 Trigo (*Triticum aestivum* L.)

O trigo, por ser uma cultura de grande adaptação a uma ampla faixa de temperaturas, possui papel importante na alimentação humana, sendo cultivado em condições extremas de temperatura que variam desde -23°C (por um período de 12 horas), para algumas cultivares de inverno (GUSTA et al., 1982), até 40°C, durante o enchimento de grãos, para algumas cultivares de verão. Esta amplitude térmica permite o cultivo de trigo nas mais diversas regiões do mundo (MOREIRA et al., 2006). No entanto, a ocorrência de geadas, principalmente as de primavera (tardias), têm provocado reduções no rendimento da cultura do trigo, na maioria dos estados onde esse cereal é cultivado no Brasil (CUNHA et al., 2001; SILVA, 2008b).

Por ser originário de regiões áridas, o trigo é considerado como uma cultura tolerante ao déficit hídrico, sendo que, a demanda hídrica da cultura, dependendo do clima e da duração do ciclo se encontram no intervalo entre 450 a 600mm (DOORENBOS & KASSAM, 1979).

Para MOTA (1989), os principais problemas de ordem climática para a triticultura no Brasil são: umidade relativa muito elevada em setembro/outubro; geada no espigamento; chuva na colheita seguida de granizo (na região temperada); umidade relativa elevada; geada e seca oscilando no espigamento; chuva na colheita (na região subtropical); umidade relativa elevada no verão; temperatura do ar elevada durante o período de enchimento de grãos (na região tropical).

No Brasil, a cultura do trigo é tradicionalmente cultivada principalmente nos estados da região sul. Esse cereal apresenta grande importância no mercado nacional de grãos, porém sua produção (5,78 milhões de toneladas na safra 2011/2012) é inferior à demanda nacional de cerca de 10 milhões de toneladas (CONAB, 2010; 2012). Cerca de 90% da produção nacional se concentra na região sul do país, porém cada vez mais o cereal vem sendo introduzido na região do cerrado, através de irrigação ou sequeiro (EMBRAPA, 2010b). Neste contexto, o Estado do Paraná se destaca como o maior produtor nacional do grão com uma área cultivada de 1,04 milhões de hectares,

produtividade média de  $2399\text{kg ha}^{-1}$ , o que gera uma produção de 2,50 milhões de toneladas do grão na safra 2011/2012 (CONAB, 2012).

O trigo, segundo MOREIRA et al. (2006), é uma boa opção de diversificação dos sistemas agrícolas que utilizam o sistema de plantio direto (SPD), em função de produzir uma palha de ótima qualidade, não acidificadora do solo, em quantidade necessária para proporcionar boa cobertura do solo, muito eficiente na supressão de plantas daninhas na cultura subsequente, com alta relação carbono/nitrogênio, com boa persistência no sistema, efeitos esses que potencializam o rendimento de outras culturas utilizadas em sistema de sucessão. Em mais de 90% das lavouras de trigo do Brasil adota-se o sistema de plantio direto, sendo que em Goiás, Minas Gerais parte das áreas cultivadas são irrigadas (CONAB, 2012).

Segundo Mundstock (1999), a falta de incentivo à produção, a pequena área cultivada, os baixos tetos de rendimento são fatores que contribuem para o déficit anual na produção brasileira de trigo. A adoção de práticas de manejo que aperfeiçoem a ação dos insumos aplicados contribuiu para aumentar a produtividade nas lavouras de trigo no Brasil, que em média atingem cerca de  $2.000\text{kg ha}^{-1}$  (IBGE, 2004).

Em relação à produtividade Trindade et al., (2006) trabalhou com a cultura do trigo cultivado em SPD sobre um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, observaram que a aplicação de adubação mineral contendo  $172,9\text{kg ha}^{-1}$  de N, proporcionou uma média de  $6370\text{kg ha}^{-1}$  de grãos.

Após levantamento de dados de produção de 134 propriedades rurais no semiárido dos pampas argentino, os resultados encontrados por Díaz-Zorita et al. (1999), demonstram que em solos arenosos o trigo apresenta resposta de produtividade positiva aos teores de carbono orgânico do solo, até valores de  $42\text{Mg ha}^{-1}$ , culminando em produtividade cerca de  $2938,6\text{kg ha}^{-1}$  de grãos. Os mesmos autores relatam que para cada  $1\text{Mg ha}^{-1}$  de carbono orgânico perdido da camada de 0 – 20cm (para solos com até  $42\text{Mg ha}^{-1}$  de carbono orgânico) ocorrem uma queda na produtividade de grãos de trigo na ordem de  $40\text{kg ha}^{-1}$ .

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental do Campus Regional de Umuarama da Universidade Estadual de Maringá. O clima predominante na região é do tipo Cfa (mesotérmico úmido, com chuvas abundantes no verão, inverno seco, verões quentes), segundo classificação de Köppen (CAVIGLIONE et al., 2000). Umuarama está situada a uma latitude de 23°47' sul, longitude de 53°14' a oeste de Greenwich, com altitude de 403m. O solo que serviu como base experimental é um Latossolo Vermelho Distrófico típico apresenta textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2006b), cujos atributos químicos e granulométricos estão descritos nas Tabelas 5 e 6.

Tanto a adubação, como a correção do solo foi realizada com base nas características químicas do solo. A partir dos valores encontrados na análise de solo (Tabela 5) observou-se que os teores dos nutrientes fósforo e potássio ( $1,2\text{mg dm}^{-3}$  e  $0,05\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , respectivamente) estão abaixo dos níveis críticos de  $21\text{mg dm}^{-3}$  e  $0,11\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , para os respectivos nutrientes, recomendados pela CQFS - RS/SC (2004), sendo adequado para a maioria das culturas anuais em solos com teor de argila inferior a  $200\text{g kg}^{-1}$ , como ocorre originalmente neste solo(Tabela6).

Os nutrientes cálcio e magnésio (Tabela 5), também se encontravam bem abaixo dos níveis críticos de 1,5 e  $0,5\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , respectivamente (RAIJ et al., 1997; RIBEIRO et al., 1999; QUAGGIO, 2000).

Tabela 5 – Caracterização química original do Latossolo Vermelho distrófico que serviu como base experimental

pH	C-org.	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H + Al	Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	V
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							%
4,5	5,22	1,2	0,05	0,58	0,13	2,19	0,4	0,76	2,95	25,76

Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> - extraídos com KCl 1mol L<sup>-1</sup>; P, K – extraídos com Melhlich-1; H+Al – método SMP; C – método Walkley & Black .

Tabela 6 – Teores originais de enxofre ( $S-SO_4^{2-}$ ), micronutrientes e granulometria do Latossolo Vermelho distrófico que serviu como base experimental

<b>S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>
-----mg dm <sup>-3</sup> -----					-----g kg <sup>-1</sup> -----		
3,37	72,50	0,30	0,84	7,87	840	010	150

**S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** - Extraído pelo método Fosfato Monocálcico; **Fe, Zn, Cu, Mn** - extraídos com Mehlich-1.

O valor de  $Al^{3+}$  ( $0,4\text{cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ ), estava próximo ao valor de  $0,5\text{cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ , estabelecido pela CQFS - RS/SC (2004), como sendo o teor máximo tolerável para o desenvolvimento adequado da maioria das culturas anuais. Portanto, este se encontrava originalmente ácido, com baixa concentração de nutrientes, o que justificou a necessidade de correção da acidez do solo e a utilização de fertilizantes.

Foram utilizados para a condução do experimento, tambores (0,85m de altura x 0,54m de diâmetro), previamente limpos (Figura 1A), lavados para retirada de resíduos. Para o enchimento destes vasos, foi utilizado um Latossolo Vermelho distrófico típico da camada de 0 - 20cm. O solo foi peneirado para a retirada de pedras, madeiras, raízes, torrões, posteriormente acondicionados nos vasos até uma quantidade de 250kg (Figura 1C). Estes vasos, com  $0,273\text{m}^2$  de área, foram perfurados (1cm de diâmetro) na parte inferior para drenagem de água (Figura 1B).

Após o enchimento dos vasos, foram efetuados os tratamentos com os corretivos de acidez. Para esta finalidade, foram utilizados os produtos: calcário dolomítico; silicato de cálcio e magnésio (Figura 2), aplicados de maneira individual. A dose de corretivos necessária foi calculada de forma a elevar a saturação de bases a 70% (RAIJ et al., 1997), visando adequado desenvolvimento das culturas tanto do milho, como do trigo. As doses calculadas foram de  $1735\text{kg ha}^{-1}$  para o calcário dolomítico (PRNT = 75,2; CaO = 29%; MgO = 20%), de  $1805\text{kg ha}^{-1}$  para o silicato de cálcio e magnésio (PRNT = 72,3, CaO = 42,1%, MgO = 12,4%). Ambos os corretivos foram

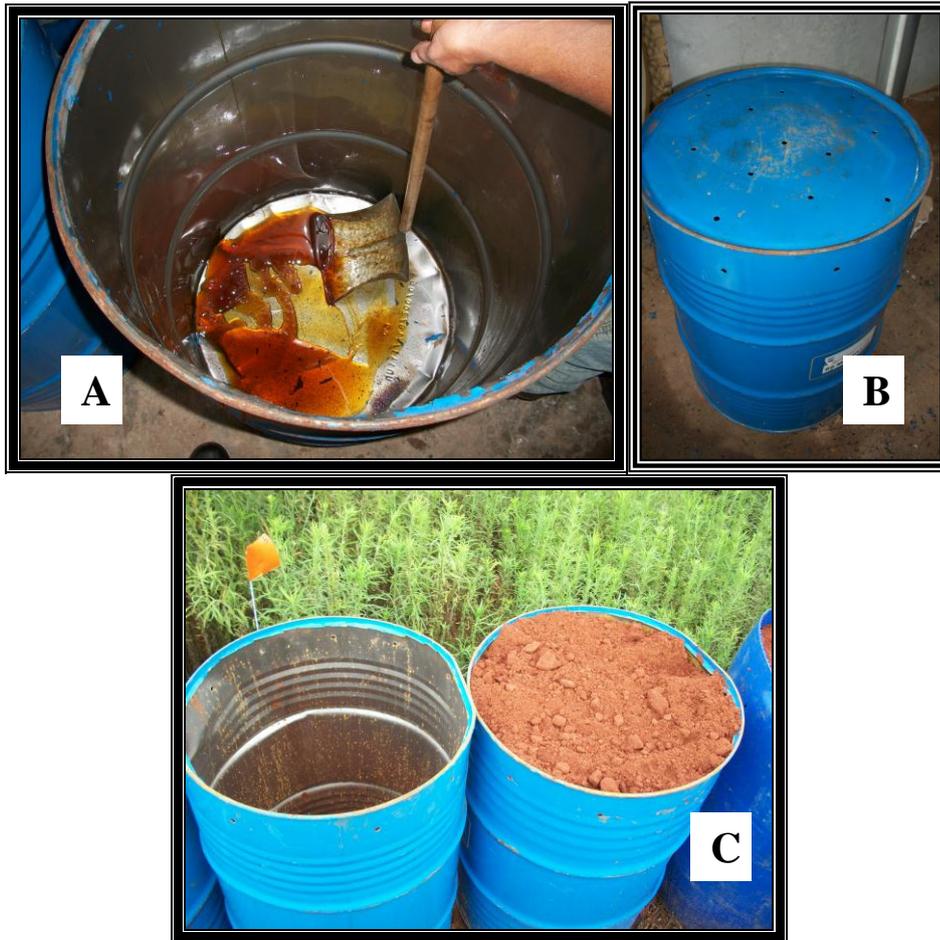


Figura 1 - Limpeza dos tambores (A), Perfuração para drenagem de água (B) e Acondicionamento de solo nos vasos (C).

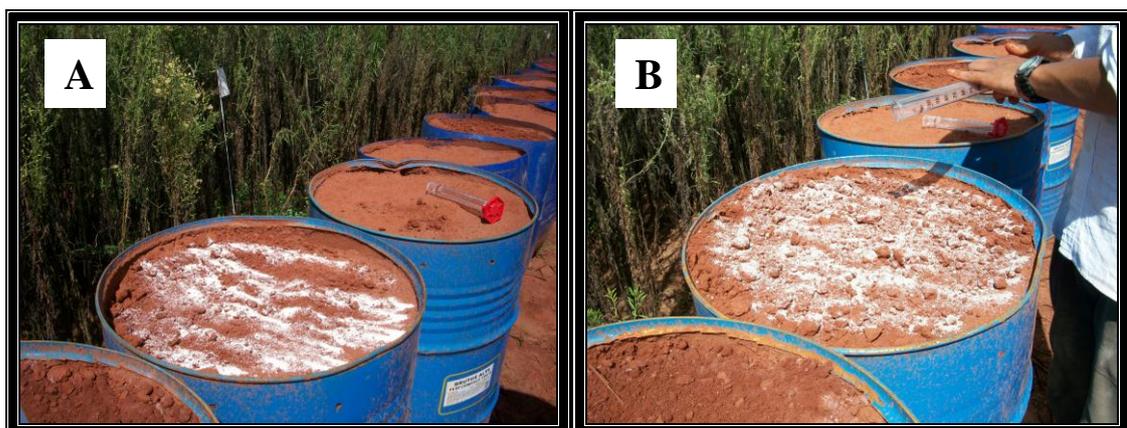


Figura 2 - Aplicação dos corretivos de acidez do solo. Calcário (A). Silicato de cálcio e magnésio (B).

aplicados nos vasos sete dias anteriores à semeadura de milho (primeira cultura conduzida), sendo que durante este período de incubação o solo foi mantido úmido, a fim de facilitar a reação dos produtos.

Para elevar a fertilidade do solo, foram utilizados fertilizantes orgânicos e minerais (Figura 3), que visaram o fornecimento de fósforo, sendo estes o esterco de galinha, vinhaça (orgânicos); superfosfato simples, termofosfato magnésiano (minerais). Desta forma, obtiveram-se 17 tratamentos, compostos por fontes de fósforo combinadas com corretivos da acidez do solo.

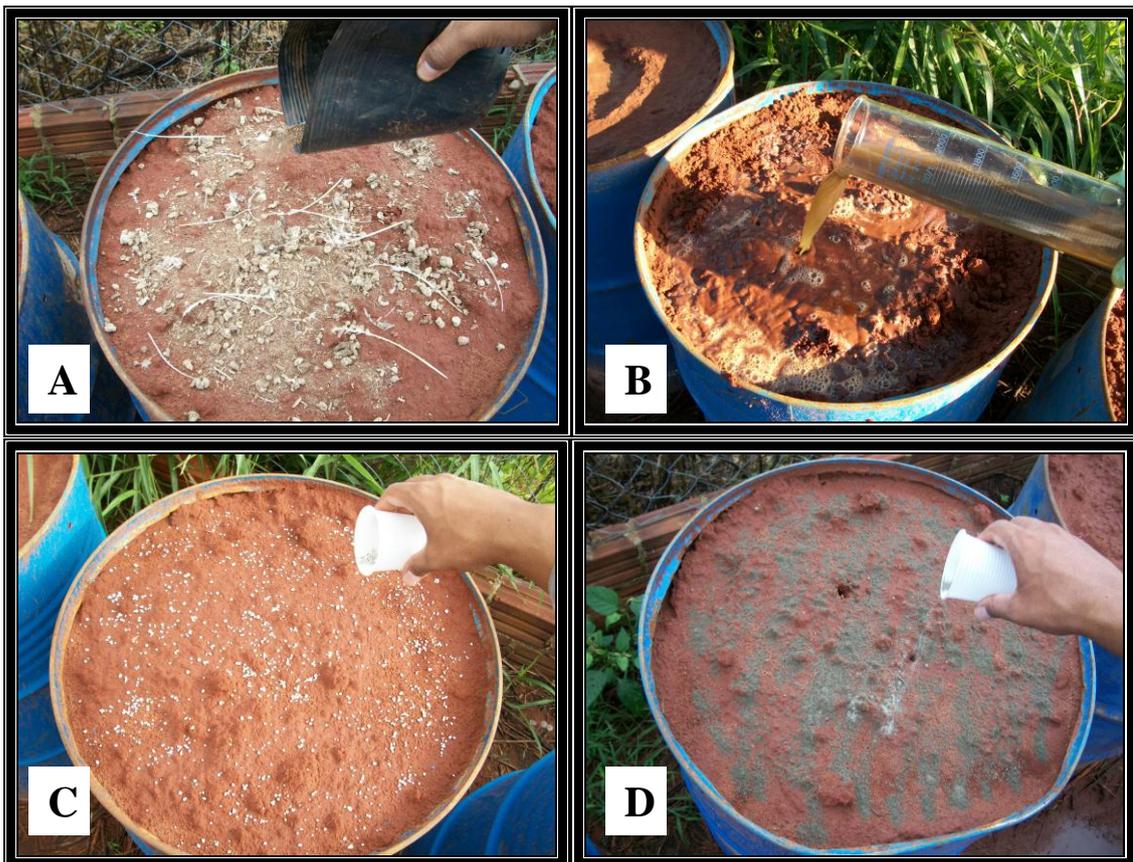


Figura 3 - Aplicação dos produtos fertilizantes para composição dos tratamentos. Esterco de aves (A), Vinhaça (B), Superfosfato Simples (C) e Termofosfato magnésiano (D).

Para composição das parcelas utilizou-se as variáveis: Esterco de galinha; vinhaça; superfosfato simples; Termofosfato magnesiano; ½ adubação orgânica (esterco de aves) + ½ adubação mineral (superfosfato simples); ½ adubação orgânica (esterco de aves) + ½ adubação mineral (Termofosfato magnesiano); ½ adubação orgânica (vinhaça) + ½ adubação mineral (superfosfato simples) e ½ adubação orgânica (vinhaça) + ½ adubação mineral (Termofosfato magnesiano).

Todas as combinações de fertilizantes receberam os corretivos de acidez do solo, sendo: calcário dolomítico ou silicato de cálcio e magnésio. Além disso, foi proposto um tratamento testemunha, sem aplicação de adubação fosfatada ou corretiva de acidez do solo. O esquema detalhado dos tratamentos encontra-se na Tabela 7. A dose utilizada para a adubação fosfatada na cultura do milho foi baseada na recomendação da CQFS - RS/SC (2004), sendo necessário para suprimento nutricional do milho 185kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Os fertilizantes utilizados como fonte de fósforo foram: a vinhaça; o esterco de aves; o superfosfato simples; o termofosfato magnesiano. A cultura do trigo não recebeu adubação fosfatada, a fim de se verificar o efeito residual das fontes de fósforo nesta cultura.

Para os tratamentos com aplicação de P via fontes orgânicas (tratamentos 2, 3, 4 e 5 - Tabela 7) a dose dos produtos foi calculada com base no teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de cada produto. Para a vinhaça, cuja composição encontra-se no Tabela 8, utilizou-se como parâmetro, para estipular a dose adequada, o trabalho realizado por Fedri et al. (2010), uma vez que estes autores avaliaram o desempenho do milho em resposta à diferentes doses de vinhaça aplicada em um Latossolo Vermelho distrófico de textura superficial arenosa do noroeste paranaense. No caso do esterco de aves utilizou-se a equação (3) (CQFS - RS/SC, 2004) para o cálculo da quantidade necessária do resíduo, baseando-se na composição média da cama de poedeiras (Tabela 2), fornecido pela CQFS - RS/SC (2004), visando fornecimento adequado de P às culturas de milho e trigo. Desta forma, empregou-se uma dose de 6555kg ha<sup>-1</sup> de esterco de aves e 550m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça.

Para os tratamentos com aplicação de P via fontes minerais (tratamentos 6, 7, 8 e 9 - Tabela 7) a dose dos produtos correspondeu a 1028kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples e 1088kg ha<sup>-1</sup> de termofosfato

magnesiano. Para os tratamentos com adubação fosfatada mista ( $\frac{1}{2}$  orgânica +  $\frac{1}{2}$  mineral), correspondente aos tratamentos 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17 (Tabela 7), a quantidade cada produto fosfatado aplicados foi à metade da utilizada nos tratamentos com fonte única de fosfato (tratamentos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 - Tabela 7), a fim de se manter a dose de  $185\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  em todos os tratamentos adubados.

Tabela 7 - Esquema demonstrativo da composição de cada tratamento utilizado

<b>FERTILIZANTES UTILIZADOS</b>	<b>CORRETIVO UTILIZADO</b>	<b>TRATAMENTO</b>
Testemunha (sem adubação)	Sem calcário ou silicato	1
Adubação orgânica (Esterco de aves)	Calcário dolomítico	2
	Silicato de Ca e Mg	3
Adubação orgânica (vinhaça)	Calcário dolomítico	4
	Silicato de Ca e Mg	5
Adubação mineral (Superfosfato simples)	Calcário dolomítico	6
	Silicato de Ca e Mg	7
Adubação mineral (Termofosfato de magnesiano)	Calcário dolomítico	8
	Silicato de Ca e Mg	9
$\frac{1}{2}$ adub. Orgânica (esterco de aves) + $\frac{1}{2}$ adub. Mineral (superfosfato simples)	Calcário dolomítico	10
	Silicato de Ca e Mg	11
$\frac{1}{2}$ adub. Orgânica (esterco de aves) + $\frac{1}{2}$ adub. Mineral (termofosfato magnesiano)	Calcário dolomítico	12
	Silicato de Ca e Mg	13
$\frac{1}{2}$ adub. Orgânica (vinhaça) + $\frac{1}{2}$ adub. Mineral (superfosfato simples)	Calcário dolomítico	14
	Silicato de Ca e Mg	15
$\frac{1}{2}$ adub. Orgânica (vinhaça) + $\frac{1}{2}$ adub. Mineral (termofosfato magnesiano)	Calcário dolomítico	16
	Silicato de Ca e Mg	17

Tabela 8 - Composição química da vinhaça utilizada no experimento

Nutrientes								pH
C	M.O	N total	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Rel.C/N	H <sub>2</sub> O
-----mg L <sup>-1</sup> -----								
1.558,0	2.835,0	336,0	192,0	1.443,0	1.790,00	40,00	4:1	4,29

N (nitrogênio orgânico) - método de Kjeldahl; C (carbono) - método titulométrico; pH – pHmetro na amostra *in natura*; M.O - matéria orgânica; Rel.C/N - relação carbono/nitrogênio

Todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de nitrogênio e potássio, que foram calculadas com base no laudo da análise do solo utilizado no experimento, segundo as recomendações da CQFS - RS/SC (2004), para a fertilização da cultura do milho. A dose de nitrogênio para a cultura do milho correspondeu a 140kg ha<sup>-1</sup>, onde 70kg ha<sup>-1</sup> foram aplicados no plantio, o remanescente aplicado em cobertura (70kg ha<sup>-1</sup>), no estágio fenológico V4, sendo a forma nitrogenada utilizada o sulfato de amônio. A dose de potássio para a cultura do milho correspondeu a 140kg ha<sup>-1</sup> aplicados na semeadura, utilizou-se como fonte potássica o cloreto de potássio.

As fertilizações nitrogenada e potássica realizadas na cultura do trigo também foram realizadas segundo recomendações da CQFS - RS/SC (2004), correspondendo a dose de 110kg ha<sup>-1</sup> de N e 121kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, também através dos fertilizantes sulfato de amônio, bem como o cloreto de potássio. O N foi parcelado, aplicando-se 20kg ha<sup>-1</sup> na semeadura e o remanescente em cobertura no período de perfilhamento da cultura.

Anteriormente à semeadura das culturas, foi aplicada uma quantidade de palha em cada vaso a fim de caracterizar o plantio direto. Para a cultura do milho foi aplicado palha de cana-de-açúcar em uma quantidade correspondente à 10Mg ha<sup>-1</sup>. No cultivo do trigo utilizou-se como material de cobertura do solo a palha proveniente da cultura do milho (Figura 4).



Figura 4 - Aplicação da palha de cana-de-açúcar (A), Distribuição dos tambores com palhada de cana (B), Aplicação da palha de milho (C) e plântulas de trigo em meio à palhada (D).

Após o preparo dos vasos (adição de solo, adição de corretivos, adubos e palhada), foi conduzido, inicialmente, o milho (safrinha) cv. “CD 386”, posteriormente o trigo cv. “CD 117”. Ambas as culturas foram semeadas em linha (Figura 5) sob palhada, no intuito de simular o sistema de plantio direto.

Para a cultura do milho foram semeadas 16 plantas, por vaso, em duas linhas de plantio espaçadas à 20cm no dia 01/05/2011. Após a germinação das plantas, efetuou-se um desbaste permanecendo 06 plantas, por vaso.

A cultura do trigo foi semeada em três linhas espaçadas à 17cm no dia 30/06/2011, manteve após o releio 100 plantas, por vaso. Durante a condução das culturas, conservou-se uma umidade do solo de 90% da capacidade de campo, através de irrigações diárias. Para o cálculo da lâmina de irrigação, a evapotranspiração de referência foi estimada através do método do tanque Classe A. Os coeficientes culturais (kc) foram adotados segundo Doorembos & Kassam (1994).



Figura 5 - Abertura dos orifícios para semeadura do milho (A), Detalhe das sementes de milho nos orifícios (B), Abertura dos sulcos para semeadura do trigo (C) e Detalhe das sementes de trigo nos sulcos (D).

É importante salientar que a cultura do milho foi avaliada somente até os 52 DAE (dias após a emergência), uma vez que a ocorrência de uma forte geada no mês de junho de 2011, que causou extensos danos à cultura, inviabilizou sua condução até o final do ciclo, por isso não se apresentou dados relativos à colheita do milho.

As pragas e doenças das culturas foram controladas quando necessário, usando-se inseticidas e fungicidas. As plantas daninhas foram controladas através de arranquio manual, conforme a manifestação das mesmas.

Concomitante à condução das culturas realizou-se avaliações do comprimento, além disso, largura foliar, diâmetro de colmo com altura das 6 plantas de cada tratamento, quinzenalmente para a cultura do milho. Para a

cultura do trigo, avaliou-se a altura das plantas e comprimento foliar de 10 plantas por tratamento a cada 20 dias. O comprimento, assim como largura foliar foram avaliados, utilizando-se a última folha totalmente expandida em cada período de avaliação. A altura de plantas foi tirada do solo, até a última folha, totalmente expandida em cada época de avaliação, porém, no caso do trigo, após o início do florescimento a altura foi tomada do solo até o ápice da inflorescência.

No período de colheita do trigo, coletou-se 10 plantas por tratamento, determinou-se a altura da planta, diâmetro do colmo do perfilho principal, matéria seca de parte aérea, matéria seca de palhada, massa de grãos, comprimento de espiga (aferido utilizando-se o perfilho principal de cada planta), matéria seca de 100 sementes. A determinação de matéria seca tanto de planta inteira, como de partes da planta foi realizada através de secagem do material obtido em estufa de ventilação forçada a 65°C, até atingir massa constante. As medidas de altura, também o comprimento foram realizadas com trena de precisão de 0,001m. As medidas de diâmetro realizadas com paquímetro de precisão 1,0 10<sup>-7</sup>m. Os valores de massa tomados através de aferição com balança de precisão igual a 0,001g.

Para verificar os atributos químicos do solo, foram efetuadas duas amostragens de solo (Figura 6). Após a colheita do milho realizou-se a 1ª amostragem de solo, correspondente a 63 dias, após aplicação dos corretivos, (07 dias de incubação dos corretivos + 4 dias para emergência das plantas de milho + 52 dias de cultivo). Em sequência à colheita do trigo aconteceu a 2ª amostragem de solo, correspondente a 171 dias, após a aplicação dos corretivos (63 dias da 1ª amostragem + 4 dias entre colheita do milho/amostragem do solo + 4 dias para emergência das plantas de trigo + 100 dias de cultivo). Para cada época de amostragem, o solo das parcelas foi coletado (Figura 6) nas camadas de 0 - 10cm e 10 - 20cm, determinou-se os teores de cálcio, magnésio, potássio, fósforo, alumínio; pH-CaCl<sub>2</sub>; soma de bases (SB) e estimou-se capacidade de troca catiônica (CTC); saturação por bases (V%), todos segundo Tedesco et al. (1995). A estimativa da acidez potencial (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>), utilizada para o cálculo da CTC foi realizada segundo Sambatti et al.(2003).

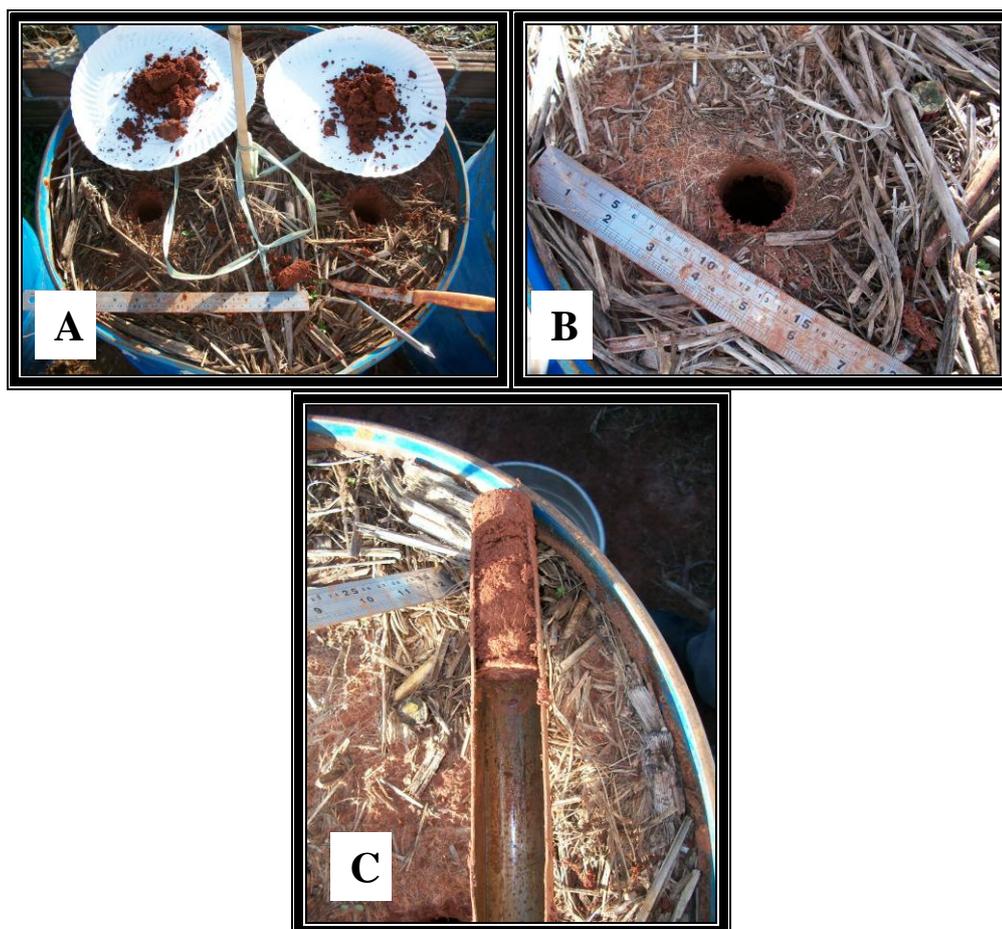


Figura 6 - Amostragem do solo realizada em cada vaso. Amostras da camada de 0 - 10cm e 10 – 20cm (A); Detalhe do local de amostragem (B); Trado calador com solo amostrado (C).

Desta maneira, utilizando-se um delineamento em blocos casualizados (DBC) com 04 repetições para desenvolver o trabalho. Os dados obtidos compreendeu-se estatisticamente pelo programa SISVAR (FERREIRA, 2000). Para tanto, estes foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilks para verificação da existência de normalidade de distribuição dos erros. Na sequência realizou-se a análise de variância (ANOVA), além disso, o teste de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Esse procedimento proporcionou a utilização dos dados, na formulação de critérios para a fertilização do solo ainda mais o desenvolvimento das culturas de milho; de trigo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos químicos do solo

Para a 1ª amostragem de solo, nos tratamentos onde se aplicou vinhaça, tanto como fertilizante fosfatado exclusivo (tratamentos 2 e 3), quanto em ½ dose (tratamento 13), os valores de pH-CaCl<sub>2</sub> da camada de 10 – 20cm foram os maiores (Tabela 9).

Esse comportamento alcalinizante da vinhaça também foi observado por Leal et al. (1983); Pereira et al. (1992); Corrêa et al. (2001); Freire & Cortes (2000); que atribuíram esta elevação de pH às reações de redução, nas quais há consumo de H<sup>+</sup> (utilizado como aceptor de elétrons), decorrentes do baixo potencial redox do meio. A multiplicação de microrganismos, ademais propicia transformações da matéria orgânica (ALMEIDA et al. 1950; ALMEIDA, 1955), principalmente do N, através da redução do nitrato para nitrito, consumindo íons H<sup>+</sup>, tendo como consequência a elevação do pH (LEAL et al. 1983).

Já para o pH-CaCl<sub>2</sub> da camada de 10 - 20cm obtido na segunda amostragem de solo (Tabela 9), observa-se que semelhantemente ao ocorrido na primeira amostragem, os tratamentos com aplicação de vinhaça proporcionaram elevação do pH-CaCl<sub>2</sub>. Esta elevação do pH se deu de forma mais intensa, nos tratamentos com aplicação de vinhaça, como fonte única de fósforo (tratamentos 2 e 3), seguido dos tratamentos com ½ dose deste fertilizante (tratamentos 10, 11, 12 e 13). Este fato mostra a possibilidade de redução na dose recomendada dos produtos corretivos de acidez do solo. Esta elevação dos valores de pH-CaCl<sub>2</sub> na camada de 10 – 20cm ocorrido nos tratamentos, onde aplicou-se vinhaça, demonstrou a capacidade do fertilizante em atuar nos atributos de acidez do solo em sub superfície. Isso ocorreu, devido ao grande volume líquido empregado na aplicação do fertilizante (550m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), o que possivelmente facilitou a lixiviação de compostos químicos, até as camadas inferiores do perfil. Sendo assim, atribui-se à vinhaça

Tabela 9 - Valores de pH CaCl<sub>2</sub> (0,01mol L<sup>-1</sup>) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1<sup>a</sup> amostragem) e trigo (2<sup>a</sup> amostragem)

Tratamentos	pH CaCl <sub>2</sub>					
	1 <sup>a</sup> amost.			2 <sup>a</sup> amost.		
	0 – 10 (cm)	0 – 10 (cm)	n.s.	10 -20 (cm)	10 -20 (cm)	n.s.
1 Testemunha	4,1 B	4,5 B	n.s.	3,7 C	4,0 C	n.s.
2 (Vi. + cal.)	5,0 A	5,5 A	n.s.	4,7 A	4,5 A	n.s.
3 (Vi. + sil.)	5,3 A	5,8 A	n.s.	4,8 A	4,7 A	n.s.
4 (Est. + cal.)	4,5 B	5,7 A	(*)	3,8 C	4,0 C	(*)
5 (Est. + sil.)	5,2 A	5,8 A	n.s.	3,8 C	4,2 C	(*)
6 (S.S. + cal.)	4,1 B	5,5 A	(*)	3,8 C	3,9 C	(*)
7 (S.S. + sil.)	4,6 B	5,4 A	n.s.	3,9 C	3,9 C	n.s.
8 (T.M. + cal.)	4,6 B	5,7 A	(*)	3,8 C	4,0 C	(*)
9 (T.M. + sil.)	5,2 A	5,9 A	n.s.	3,8 C	4,2 C	(*)
10 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + cal.)	4,9 A	5,7 A	(*)	3,9 C	4,4 B	(*)
11 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + sil.)	5,0 A	5,9 A	(*)	4,0 C	4,3 B	(*)
12 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + cal.)	5,1 A	5,8 A	(*)	4,0 C	4,4 B	n.s.
13 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + sil.)	5,3 A	5,9 A	(*)	4,3 B	4,5 A	(*)
14 (1/2Est.+ 1/2S.S. + cal.)	4,2 B	5,4 A	(*)	3,8 C	3,9 C	n.s.
15 (1/2Est.+ 1/2S.S. + sil.)	4,9 A	5,6 A	n.s.	3,8 C	4,1 C	n.s.
16 (1/2Est.+ 1/2T.M. + cal.)	4,7 A	5,6 A	(*)	3,8 C	4,1 C	n.s.
17 (1/2Est.+ 1/2T.M. + sil.)	4,8 A	5,8 A	(*)	3,8 C	4,0 C	n.s.
<b>F</b>	5,114*	5,991*		19,398*	7,959*	
<b>c.v. (%)</b>	7,20	4,95		3,66	4,06	

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste Scott-Knott (p<0,05); F – valor F calculado na análise de variância (Anava); c.v. – coeficiente de variação; \* indica diferença significativa pelo teste F (p<0,05); (\*) diferença significativa pelo teste F (p<0,05) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; ns – não significativo pelo teste F (p<0,05) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; amost. – amostragem; Vi. – vinhaça; Est. – esterco de aves; S.S. – superfosfato simples; T.M. – termofosfato magnésiano (Yoorin); cal. – calcário; sil. – silicato de cálcio e magnésio.

uma capacidade de elevação do pH do solo em camadas mais profundas do perfil, fato interessante principalmente para cultivos em sistema de plantio direto, no qual lugar os insumos são aplicados na superfície do solo. Carneiro et al. (2004), ao trabalharem com um Nitossolo argiloso, viram que a aplicação de  $100\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinhaça proporcionou elevação do pH do solo, nas camadas de 0 - 5 / 5 - 10cm, após 90 dias da aplicação.

Nos tratamentos onde se aplicou esterco de aves, superfosfato simples, termofosfato magnésiano (tratamentos 4, 5, 6, 7, 8 e 9), assim como nas combinações entre estes fertilizantes (tratamentos 14, 15, 16 e 17), observa-se, na tabela 9, uma tendência de elevação do pH- $\text{CaCl}_2$  apenas na camada mais superficial do solo, tanto na primeira, quanto na segunda amostragem de solo.

Este comportamento corrobora com os dados verificados por Leite et al. (2010) que verificaram a influência do preparo de solo convencional e do sistema de plantio direto (2, 4 e 6 anos de implantação) nos atributos químicos do solo. Estes autores observaram que os maiores valores de pH foram obtidos no plantio direto na camada mais superficial do solo (0 - 5cm), independente do tempo de implantação do sistema. Esta elevação do pH do solo na camada superficial, no sistema de plantio direto, decorre da aplicação dos insumos agrícolas (fertilizantes e corretivos) em superfície sem incorporação dos mesmos (MUZILLI, 1983; SÁ, 1993; NOLLA & ANGHINONI, 2006; CARVALHO et al., 2007; FREIRIA et al., 2008), o que restringe a profundidade de ação destes produtos.

Os dados referentes à amostragem de solo realizada 63 dias após a aplicação dos corretivos de acidez do solo (Tabela 9 – 1ª amostragem), mostraram que o silicato de cálcio e magnésio foi mais eficiente que o calcário dolomítico, na elevação do pH- $\text{CaCl}_2$ . Nos tratamentos onde este foi associado ao esterco de aves, ao termofosfato (tratamentos 5 e 9) e à combinação de  $\frac{1}{2}$  dose de esterco +  $\frac{1}{2}$  dose de superfosfato simples (tratamento 15), esta elevação de pH- $\text{CaCl}_2$  foi mais acentuada. Este comportamento pode ter ligação à maior velocidade de solubilização do silicato de cálcio e magnésio, que chega a ser cerca de 6.78 vezes mais rápida que o calcário (ALCARDE, 1992; ALCARDE & RODELLA, 2003). Esta maior reatividade do silicato de cálcio e magnésio, também pode ser observada na comparação dos valores de

pH-CaCl<sub>2</sub> entre as épocas de amostragem na camada de 0 – 10cm para os tratamentos com aplicação de esterco de aves, superfosfato simples e termofosfato magnésiano (tratamentos 5, 7 e 9 – Tabela 9), uma vez que a falta de significância nos resultados indica que, já aos 63 dias de reação, o produto proporcionou valores satisfatórios de pH-CaCl<sub>2</sub>.

Na Tabela 9, observa-se também que, de forma geral, a aplicação de calcário dolomítico e de silicato de cálcio e magnésio aumentaram os valores de pH-CaCl<sub>2</sub>, variando de 4,6 até 5,9. Isto demonstra a eficiência dos dois corretivos de acidez em elevar o pH-CaCl<sub>2</sub>, aproximando-se do recomendado (5,0 - 5,5) para o desenvolvimento normal das culturas comerciais (RAIJ et al., 1997; CQFS – RS/SC, 2004). Para os tratamentos onde, na primeira amostragem, não foi atingido o valor ideal de pH-CaCl<sub>2</sub>, observa-se que na segunda amostragem os valores atingiram o referencial, o que pode estar associado ao tempo mínimo de 3 meses para a reação completa dos corretivos, conforme o seu PRNT (BRASIL, 2004), uma vez que a segunda amostragem do solo foi realizada 171 dias (somatória dos períodos de semeadura/emergência das culturas de milho e trigo; condução das duas culturas; e período de incubação dos corretivos) após a aplicação dos corretivos de acidez do solo.

Com relação aos dados da Tabela 10, nota-se, para a primeira amostragem de solo (63 dias, após aplicação dos corretivos), que todos os tratamentos reduziram, significativamente, os teores de Al-trocável na camada de 0 - 10cm em comparação à testemunha.

Observou-se que os dois corretivos aplicados (calcário; silicato), foram eficientes na neutralização do Al<sup>3+</sup>, já na primeira amostragem de solo (após cultivo do milho), atingindo valores inferiores a 0,5cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, considerado como valor máximo tolerável para o desenvolvimento satisfatório das culturas (CQFS – RS/SC, 2004). É importante destacar que em solos arenosos, como o do presente estudo, a necessidade de aplicação de corretivo de acidez, está relacionada, também à aplicação de cálcio e magnésio, uma vez que, em solos arenosos a baixa CTC ocasiona carência de nutrientes quando a aplicação de corretivos, como calcário; silicato de cálcio e magnésio; estiver baseada exclusivamente nos teores de Al<sup>3+</sup> (RIBEIRO et al., 1999).

Tabela 10 - Teores de  $Al^{3+}$  (alumínio trocável) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1ª amostragem) e trigo (2ª amostragem)

Tratamentos	$Al^{3+}$ (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )							
	1ª amost.		2ª amost.		1ª amost.		2ª amost.	
	0 - 10 (cm)	0 - 10 (cm)			10 - 20 (cm)	10 - 20 (cm)		
1 Testemunha	0,80 E	0,71 B	(*)		0,88 D	0,82 C	n.s.	
2 (Vi. + cal.)	0,00 A	0,00 A	n.s.		0,06 A	0,12 A	n.s.	
3 (Vi. + sil.)	0,00 A	0,00 A	n.s.		0,04 A	0,02 A	n.s.	
4 (Est. + cal.)	0,06 B	0,00 A	n.s.		0,88 D	0,82 C	n.s.	
5 (Est. + sil.)	0,00 A	0,00 A	n.s.		0,72 D	0,53 B	(*)	
6 (S.S. + cal.)	0,16 D	0,00 A	(*)		0,78 D	0,97 C	n.s.	
7 (S.S. + sil.)	0,05 B	0,00 A	n.s.		0,86 D	0,79 C	n.s.	
8 (T.M. + cal.)	0,09 C	0,00 A	n.s.		0,80 D	0,66 C	n.s.	
9 (T.M. + sil.)	0,09 C	0,00 A	n.s.		0,88 D	0,68 C	n.s.	
10 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + cal.)	0,00 A	0,00 A	n.s.		0,44 C	0,44 B	n.s.	
11 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + sil.)	0,00 A	0,00 A	n.s.		0,34 C	0,47 B	n.s.	
12 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + cal.)	0,00 A	0,00 A	n.s.		0,47 C	0,12 A	(*)	
13 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + sil.)	0,00 A	0,00 A	n.s.		0,22 B	0,11 A	n.s.	
14 (1/2Est.+ 1/2S.S. + cal.)	0,16 D	0,00 A	(*)		0,85 D	0,78 C	n.s.	
15 (1/2Est.+ 1/2S.S. + sil.)	0,00 A	0,00 A	n.s.		0,79 D	0,72 C	n.s.	
16 (1/2Est.+ 1/2T.M. + cal.)	0,00 A	0,00 A	n.s.		0,88 D	0,60 B	(*)	
17 (1/2Est.+ 1/2T.M. + sil.)	0,00 A	0,00 A	n.s.		0,75 D	0,78 C	n.s.	
<b>F</b>	606,021*	1552,86*			41,759*	26,193*		
<b>c.v. (%)</b>	1,14	0,37			14,76	20,76		

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); F – valor F calculado na análise de variância (Anava); c.v. – coeficiente de variação; \* indica diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ); (\*) diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; ns – não significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; amost. – amostragem; Vi. – vinhaça; Est. – esterco de aves; S.S. – superfosfato simples; T.M. – termofosfato magnésiano (Yoorin); cal. – calcário; sil. – silicato de cálcio e magnésio.

Entre os fertilizantes avaliados destacaram-se (na 1ª amostragem de solo da camada de 0 - 10cm – Tabela 10), os tratamentos onde se aplicou os fertilizantes orgânicos (vinhaça e esterco de aves), tanto de maneira exclusiva quanto em ½ dose. Este comportamento é atribuído à ação dos ácidos orgânicos, liberados por estes resíduos, em complexar o Al-trocável, o que reduz sua toxidez, pois segundo Mafra et al. (2008), existe uma correlação significativa entre o teor de C-orgânico e o teor de Al-trocável, em que o autor descreve que o componente orgânico ao complexar o  $Al^{3+}$ , auxilia na redução da extração deste pela solução de KCl 1mol L<sup>-1</sup>. Diversos autores, também relatam a capacidade de compostos orgânicos de baixo peso molecular em solubilizar, mobilizar, ademais reduzir a toxidez de  $Al^{3+}$  (HUE et al., 1986; POHLMAN & McCOLL, 1986; HUE & AMIEN, 1989, CANELLAS et al., 1999).

Na camada de 10 - 20cm (1ª e 2ª amostragens – Tabela 10), observa-se que os tratamentos com utilização de vinhaça se destacaram dos demais, reduzindo significativamente os teores de Al-trocável, fato que demonstra a capacidade desse resíduo líquido, em atuar sobre atributos de acidez do solo nas camadas sub superficiais do perfil. Esta precipitação do  $Al^{3+}$  em sub superfície esta relacionado à elevação do pH, proporcionada por este resíduo líquido nesta camada (Tabela 9), uma vez que a redução da atividade do  $H^+$  pelo incremento de  $OH^-$  em solução favorece a formação de  $Al(OH)_3$  (MALAVOLTA, 1976). Matiazzo & Glória (1985) também observaram que a adição de vinhaça promove a precipitação do  $Al^{3+}$ , presente em Areia Quartzosa, reduzindo assim sua fitotoxidez. Ribeiro & Sengik (1983), também, verificaram a redução da toxidez de  $Al^{3+}$  com aplicação de vinhaça.

A redução dos teores de  $Al^{3+}$ , (2ª amostragem de solo - Tabela 10), corrobora com a recomendação de vários autores (ALCARDE, 1992; RAIJ et al., 1997; CQFS – RS/SC, 2004), em se manter um período mínimo de 90 dias, de incubação dos corretivos de acidez do solo, uma vez que decorridos 171 dias da aplicação dos mesmos, no presente trabalho, observa-se a neutralização do alumínio trocável na camada de 0 - 10cm.

Para os teores de alumínio trocável na camada de 10 - 20cm (2ª amostragem do solo – Tabela 10), verificou-se tendência semelhante ao comportamento dos valores de pH-CaCl<sub>2</sub> (Tabela 9), da mesma camada, o que sugere novamente a existência de uma capacidade corretiva de acidez do solo

atribuída à aplicação de vinhaça (tanto aplicada como fonte isolada de P, quanto combinada em ½ dose). Porém, nota-se que para os valores de  $Al^{3+}$  da camada de 10 - 20cm, a associação vinhaça/termofosfato, teve desempenho superior à associação vinhaça/superfosfato simples. Isso provavelmente ocorreu devido ao fato do termofosfato magnésiano apresentar características de corretivo de acidez, uma vez que, este fertilizante libera  $OH^-$  e silicatos alcalinos, durante sua solubilização, que possuem certa capacidade de reduzir a atividade do alumínio trocável, além de fornecer P (BELTRÁN et al., 1998; KORNDÖRFER & GASCHO, 1999; VITTI et al., 2004).

De modo geral, observa-se que para os tratamentos, no qual não se aplicou vinhaça, a ação dos corretivos ocorreu principalmente na camada de 0 - 10cm (Tabelas 9 e 10), corroborando com as afirmações de que ação efetiva dos corretivos, quando aplicados superficialmente em sistema de plantio direto, ocorre na camada de 0 - 10cm (SÁ, 1993, ANGHINONI & SALET, 2000; AMARAL et al., 2004; NOLLA & ANGHINONI, 2006; RAMOS et al., 2006; FREIRIA et al., 2008; NICOLODI, 2008).

Em relação aos nutrientes, notou-se que, nos tratamentos onde se aplicou esterco de aves e superfosfato simples (utilizados como fonte isolada de P ou combinados entre si), juntamente com o silicato de cálcio e magnésio (tratamentos 5, 7 e 15), ocorreu uma maior disponibilização de cálcio trocável no solo, nas camadas de 0 - 10 e 10 - 20cm, que nos demais tratamentos (Tabela 11). Esses resultados mostraram que além dos corretivos de acidez do solo (fontes tradicionais de cálcio), fertilizantes como o esterco de aves, o superfosfato simples, podem ser utilizados como fontes de cálcio, em especial nas culturas como do mirtilo (CQFS – RS/SC, 2004), da erva-mate, que necessitam de solos com pH mais baixo para um desenvolvimento satisfatório (CQFS – RS/SC, 2004), uma vez que, o calcário dolomítico e o silicato de cálcio e magnésio apresentam cerca de 18 e 14,4% de cálcio, respectivamente, em suas composições.

A aplicação de silicato de cálcio e magnésio foi mais eficiente que o calcário (na 1ª amostragem do solo), em disponibilizar cálcio na camada de 0 - 10cm (Tabela 11). Este fato pode estar ligado à maior reatividade do silicato de cálcio e magnésio (aproximadamente 6,8 vezes superior), o que parece

Tabela 11 - Teores de  $\text{Ca}^{2+}$  (cálcio trocável) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1ª amostragem) e trigo (2ª amostragem)

Tratamentos	$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )			
	1ª amost. 2ª amost.		1ª amost. 2ª amost.	
	0 – 10 (cm)	0 – 10 (cm)	10 -20 (cm)	10 -20 (cm)
1 Testemunha	0,15 F	0,27 D (*)	0,08 D	0,22 D (*)
2 (Vi. + cal.)	0,57 E	1,38 C (*)	0,33 B	0,34 C n.s.
3 (Vi. + sil.)	0,74 D	1,61 C (*)	0,36 B	0,42 B n.s.
4 (Est. + cal.)	0,75 D	1,36 C (*)	0,15 D	0,27 D (*)
5 (Est. + sil.)	1,02 B	1,83 B (*)	0,44 A	0,49 B n.s.
6 (S.S. + cal.)	1,01 B	1,56 C (*)	0,31 B	0,48 B (*)
7 (S.S. + sil.)	1,32 A	1,84 B (*)	0,32 B	0,43 B n.s.
8 (T.M. + cal.)	0,68 D	1,46 C (*)	0,18 C	0,27 D n.s.
9 (T.M. + sil.)	0,95 B	1,58 C (*)	0,24 C	0,41 C (*)
10 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ S.S. + cal.)	0,76 D	1,41 C (*)	0,29 B	0,47 B (*)
11 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ S.S. + sil.)	0,85 C	1,66 C (*)	0,33 B	0,57 A (*)
12 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ T.M. + cal.)	0,75 D	1,11 C (*)	0,25 C	0,49 B (*)
13 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ T.M. + sil.)	0,89 C	1,75 B (*)	0,41 A	0,47 B n.s.
14 ( $1/2$ Est.+ $1/2$ S.S. + cal.)	0,86 C	1,62 C (*)	0,19 C	0,61 A (*)
15 ( $1/2$ Est.+ $1/2$ S.S. + sil.)	1,24 A	2,24 A (*)	0,40 A	0,62 A (*)
16 ( $1/2$ Est.+ $1/2$ T.M. + cal.)	0,74 D	1,29 C (*)	0,14 D	0,38 C (*)
17 ( $1/2$ Est.+ $1/2$ T.M. + sil.)	1,03 B	1,47 C (*)	0,30 B	0,38 C n.s.
<b>F</b>	31,302*	13,022*	8,088*	6,035*
<b>c.v. (%)</b>	11,14	15,05	25,45	21,44

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); F – valor F calculado na análise de variância (Anava); c.v. – coeficiente de variação; \* indica diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ); (\*) diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; ns – não significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; amost. – amostragem; Vi. – vinhaça; Est. – esterco de aves; S.S. – superfosfato simples; T.M. – termofosfato magnésico (Yoorin); cal. – calcário; sil. – silicato de cálcio e magnésio.

contribuir para a maior eficiência do produto no solo, com conseqüente maior mobilidade no perfil do solo (ALCARDE & RODELLA, 2003). Essa maior mobilidade de  $\text{Ca}^{2+}$  proporcionada pela ação do silicato de cálcio e magnésio pode ser observada, quando se compara os teores deste nutriente, na camada de 10 - 20cm, dos tratamentos 5, 13, 15 e 17 (1ª amostragem do solo – Tabela 11), com os tratamentos onde aplicou-se calcário dolomítico (tratamentos 4, 12, 14 e 16 – Tabela 11).

Este comportamento também é observado na 2ª amostragem de solo, realizada após a colheita do trigo, na camada de 10 - 20cm, quando compara-se os tratamentos com silicato de cálcio e magnésio (tratamentos 3, 5, 9 e 11 – Tabela 11), aos tratamentos com aplicação de calcário dolomítico (2, 4, 8 e 10 – Tabela 11). Esse fornecimento de cálcio na camada inferior do solo ocorre em função de uma maior lixiviação de sais decorrente da maior solubilidade dos silicatos, sendo estes resultados mais expressivos em longo prazo (CARVALHO-PUPPATO et al., 2004). Outra explicação é a mobilidade dos íons  $\text{Ca}^+$  que está relacionada à formação de complexos orgânicos (Ca-orgânico), passível lixiviação, que ao se mobilizarem em profundidade, poderão ter o  $\text{Ca}^{2+}$  deslocado pelo  $\text{Al}^{3+}$  (em maior concentração em camadas inferiores do perfil), pois, esse último, forma complexos mais estáveis que o  $\text{Ca}^{2+}$  (HAYNES & MOKOLOBATE, 2001; WATANABE et al., 2004). Apesar destes resultados, ressalta-se que o maior incremento nos teores de cálcio do solo, independente do tratamento, ocorreu na camada mais superficial (0 - 10cm). Em trabalho com colunas de lixiviação, Ramos et al. (2006) concluíram que as fontes silicatadas de cálcio, proporcionaram maior elevação nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  num Neossolo Quartzarênico, do que o calcário dolomítico, nas camadas mais superficiais (0 – 5cm), após um período de 40 dias de incubação dos corretivos de acidez do solo, atribuindo este efeito à maior velocidade de solubilização dos silicatos.

Ao observarem a eficiência de corretivos de acidez em Latossolo Vermelho distrófico de textura média, Corrêa et al. (2008) concluíram que a escória de aciaria (silicato de cálcio e magnésio) foi capaz de elevar os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  até uma profundidade de 40cm, enquanto que o calcário foi eficiente em disponibilizar o nutriente somente até os 10cm, porém estes resultados foram obtidos 27 meses, após a aplicação dos corretivos.

O maior incremento nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  (Tabela 11), predominantemente na camada superior (0 - 10cm), ocorrida no presente estudo, corrobora com os resultados obtidos por Fidalski & Tormena (2005), que também verificaram que as alterações nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ , promovidas por diferentes doses de calcário, aplicadas em superfície num Latossolo Vermelho distrófico de textura arenosa (do noroeste paranaense), limitaram-se à camada de 0 - 10cm.

Na primeira amostragem de solo (Tabela 11) a aplicação dos corretivos de acidez e dos fertilizantes fosfatados, não foram capazes de aumentar os teores de cálcio, até o nível crítico de  $1,5\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para as culturas de milho, de trigo (RAIJ et al., 1997; RIBEIRO et al., 1999; QUAGGIO, 2000), nas duas camadas de solo avaliadas. Este fato pode estar relacionado ao reduzido tempo de reação dos tratamentos no solo (63 dias). Entretanto notou-se que na segunda época de amostragem (171 dias após aplicação dos corretivos), a aplicação dos corretivos e dos fertilizantes foi eficiente em elevar os teores de cálcio na camada de 0 - 10cm, apresentando elevação significativa em relação à primeira amostragem de solo. A aplicação de silicato de cálcio e magnésio foi mais eficiente que o calcário na disponibilização de  $\text{Ca}^{2+}$ , sendo que em todos os tratamentos no qual se aplicou o silicato o teor de cálcio se aproximou ou ultrapassou o nível crítico ( $1,5\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), variando de 1,47 a  $2,24\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Isso demonstra o potencial do silicato de cálcio e magnésio em fertilizar o solo com  $\text{Ca}^{2+}$ .

Para o magnésio, na primeira amostragem de solo realizada após cultivo do milho (Tabela 12), observa-se que, nos tratamentos onde se aplicou superfosfato simples (tratamentos 6 e 7), ocorreu uma menor disponibilização de  $\text{Mg}^{2+}$  na camada de 0 - 10cm, quando comparado com os demais tratamentos. Também se observa que nos tratamentos onde se aplicou metade da dose de superfosfato simples (tratamentos 10, 11, 14 e 15) ocorreu uma menor disponibilização de magnésio do que onde se aplicou termofosfato magnésiano (tratamentos 12, 13, 16 e 17).

Estes resultados podem ser atribuídos ao fato do superfosfato simples ser a única fonte nutricional utilizada que não apresenta teores significativos de magnésio em sua composição (0,2% de Mg - SLACK, 1976), uma vez que a vinhaça, o esterco de aves e o termofosfato magnésiano proporcionaram uma

Tabela 12 - Teores de  $Mg^{2+}$  (magnésio trocável) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1ª amostragem) e trigo (2ª amostragem)

Tratamentos	$Mg^{2+}$ (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )				
	1ª amost.		2ª amost.		
	0 – 10 (cm)	0 – 10 (cm)	10 -20 (cm)	10 -20 (cm)	
1 Testemunha	0,12 D	0,24 D (*)	0,05 D	0,10 C	n.s.
2 (Vi. + cal.)	0,56 A	0,80 A (*)	0,33 A	0,51 A	n.s.
3 (Vi. + sil.)	0,50 A	0,68 B (*)	0,34 A	0,48 A	n.s.
4 (Est. + cal.)	0,48 A	0,81 A (*)	0,11 C	0,24 C (*)	
5 (Est. + sil.)	0,39 B	0,90 A (*)	0,18 C	0,25 C	n.s.
6 (S.S. + cal.)	0,21 D	0,63 B (*)	0,14 C	0,17 C	n.s.
7 (S.S. + sil.)	0,19 D	0,46 C (*)	0,13 C	0,12 C	n.s.
8 (T.M. + cal.)	0,40 B	0,81 A n.s.	0,21 C	0,17 C	n.s.
9 (T.M. + sil.)	0,40 B	0,75 A (*)	0,16 C	0,19 C	n.s.
10 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + cal.)	0,42 B	0,55 B n.s.	0,29 B	0,40 B	n.s.
11 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + sil.)	0,36 B	0,60 B (*)	0,28 B	0,35 B	n.s.
12 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + cal.)	0,54 A	0,94 A (*)	0,25 B	0,46 A (*)	
13 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + sil.)	0,52 A	0,97 A (*)	0,33 A	0,42 B	n.s.
14 (1/2Est. + 1/2S.S. + cal.)	0,33 C	0,66 B (*)	0,13 C	0,20 C	n.s.
15 (1/2Est. + 1/2S.S. + sil.)	0,29 C	0,69 B (*)	0,18 C	0,20 C	n.s.
16 (1/2Est. + 1/2T.M. + cal.)	0,53 A	0,85 A (*)	0,15 C	0,20 C	n.s.
17 (1/2Est. + 1/2T.M. + sil.)	0,41 B	0,79 A (*)	0,15 C	0,17 C	n.s.
<b>F</b>	25,051*	9,530*	15,291*	16,234*	
<b>c.v. (%)</b>	13,19	16,56	21,61	24,28	

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); F – valor F calculado na análise de variância (Anava); c.v. – coeficiente de variação; \* indica diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ); (\*) diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; ns – não significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; amost. – amostragem; Vi. – vinhaça; Est. – esterco de aves; S.S. – superfosfato simples; T.M. – termofosfato magnésiano (Yoorin); cal. – calcário; sil. – silicato de cálcio e magnésio.

dose de aproximadamente 479, 65 e 87kg ha<sup>-1</sup> de magnésio, respectivamente, quando aplicados de maneira isolada, ao passo que o superfosfato simples disponibilizou apenas 2kg ha<sup>-1</sup> de Magnésio.

Em geral, percebeu-se que o calcário dolomítico, apresentou eficiência maior que o silicato de cálcio e magnésio na disponibilização de Mg<sup>2+</sup> ao solo na camada de 0 – 10cm (Tabela 12), em ambas as épocas de amostragem. Apesar da maior solubilidade do silicato de cálcio e magnésio, esse comportamento possivelmente está ligado à menor concentração de MgO presente no silicato (12,4%), uma vez que o calcário utilizado apresenta 20% de MgO, proporcionando assim, uma dose de 209kg ha<sup>-1</sup> de Mg<sup>2+</sup> para o calcário dolomítico, enquanto que o silicato de cálcio, tal qual e magnésio proporcionou apenas 135kg ha<sup>-1</sup> de Mg<sup>2+</sup>.

Ao trabalhar com um Latossolo Vermelho distrófico, Prado et al. (2004), verificaram que, após um período de incubação de três meses, o calcário dolomítico apresentou uma elevação maior que a escória de aciaria nos teores de Mg<sup>2+</sup> do solo (1,0 e 0,6cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> respectivamente). Porém, os mesmos observaram que no passar do tempo, o corretivo silicatado tende a superar o calcário, promovendo após nove meses de incubação, teores de 0,7 e 0,9cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente, para calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio. Esses autores atribuem os resultados ao comportamento distinto dos materiais corretivos na eficiência da neutralização da acidez do solo, tendo em vista as diferenças de natureza química dos materiais (silicato; carbonato).

A segunda amostragem de solo na camada de 0 - 10cm, realizada após a colheita do trigo (Tabela 12), mostra que o esterco de aves e o termofosfato magnésiano (tratamentos 4, 5, 8, 9, 16 e 17), apresentaram uma maior (p<0,05) disponibilização de Mg<sup>2+</sup> no solo, em relação aos demais tratamentos, independente do corretivo de acidez associados a esses. Isso indica que o esterco de aves e o termofosfato magnésiano, decorrido um maior período de reação no solo, mostram desempenhos satisfatórios na disponibilização de Mg<sup>2+</sup>, quando comparados às fontes minerais tradicionais de nutrientes. Ainda em relação à mesma amostragem de solo, observa-se que dentre as associações de fertilizantes utilizadas (½ dose orgânico + ½ dose mineral), independente do corretivo de acidez associado, os tratamentos em que se utilizou o superfosfato simples, como fonte mineral apresentaram

desempenhos inferiores aos demais, provavelmente porque o superfosfato simples não fornece quantidades significativas de magnésio (0,2% de Mg - SLACK, 1976).

Com relação à camada de 10 - 20cm, verifica-se que todos os tratamentos promoveram elevação dos teores de  $Mg^{2+}$  (1ª amostragem do solo - Tabela 12), porém os melhores resultados foram obtidos nos tratamentos nos quais se aplicou a vinhaça (tratamentos 2, 3, 10, 11, 12 e 13). Estes resultados indicam uma maior mobilidade no perfil deste nutriente quando fornecido junto a este resíduo líquido, que por sua vez forneceu altos teores do nutriente, visto que se utilizou uma quantidade expressiva deste fertilizante ( $550m^3 ha^{-1}$ ). Ainda relacionado à camada de 10 - 20cm, nota-se que os tratamentos com aplicação dos demais fertilizantes apresentaram desempenho semelhante, porém, superior à testemunha, indicando que este efeito pode ser atribuído aos corretivos de acidez do solo (ambos fontes de magnésio), uma vez que mesmo nos tratamentos onde aplicou-se o superfosfato simples (tratamentos 6 e 7), o qual não apresenta quantidades significativas de  $Mg^{2+}$  (SLACK, 1976), apresentaram resultados semelhantes aos demais tratamentos, nos quais se aplicou fertilização fosfatada (com exceção dos tratamentos com vinhaça).

Na 2ª amostragem de solo da camada de 10 - 20cm (Tabela 12), observou-se que os tratamentos com aplicação de vinhaça como fonte única de P (tratamentos 2 e 3), apresentaram desempenhos superiores aos demais tratamentos na disponibilização deste nutriente, seguidos dos tratamentos com aplicação de doses combinadas com vinhaça (tratamentos 10, 11, 12 e 13).

Em geral, a aplicação dos corretivos e fertilizantes foram capazes de aumentar a disponibilização de magnésio no solo na camada de 0 - 10cm (Tabela 12), com exceção dos tratamentos 6 e 7, aos quais aplicou-se superfosfato simples associado ao calcário dolomítico ou silicato de cálcio e magnésio, respectivamente, na primeira época de amostragem (milho). Entretanto, destacam-se, na primeira época de avaliação, os tratamentos onde se aplicou a vinhaça (tratamentos 2, 3, 12 e 13), assim como os tratamentos com utilização de esterco associado ao calcário (tratamento 16), por apresentarem disponibilidade de  $Mg^{2+}$  superior ao nível crítico de  $0,5cmol_c kg^{-1}$ , recomendado para as culturas do milho e do trigo (RAIJ et al., 1997; RIBEIRO

et al. 1999; QUAGGIO, 2000), o que contribui para um melhor crescimento das culturas comerciais, principalmente no primeiro cultivo.

Quaggio et al. (1985), ao averiguarem a influência de diferentes teores de magnésio do solo, na produtividade de três culturas, notaram que, em média, o milho, o triticale, a batatinha apresentaram 90% de produção relativa, quando o teor de  $Mg^{2+}$  do solo estava em  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . No entanto ressalta-se que, devido à diferença na textura e composição química dos solos nas diferentes regiões do Brasil, o comportamento das plantas pode variar, o que gera a necessidade de maiores estudos regionais.

Na segunda época de avaliação para a camada de 0 – 10cm, observa-se uma tendência de elevação dos teores de  $Mg^{2+}$  em relação à primeira avaliação, atingindo valores superiores ao nível crítico ( $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), o que demonstra o potencial dos corretivos e fertilizantes em disponibilizar magnésio, após decorrido um período de 171 dias. No entanto, o único tratamento que não elevou o teor de  $Mg^{2+}$  acima do nível crítico foi aquele em que se aplicou superfosfato simples associado ao silicato de cálcio e magnésio (tratamento 7), provavelmente devido ao menor teor de magnésio do corretivo silicatado em relação ao carbonatado, somado à baixa disponibilidade de magnésio que o superfosfato simples possui. Entretanto, ressalta-se que mesmo no tratamento 7 (superfosfato simples associado ao silicato de cálcio e magnésio) o teor de magnésio trocável aproximou-se do recomendado, atingindo  $0,46 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , demonstrando assim a possibilidade de fertilização magnesiana através da aplicação do corretivo de acidez do solo alternativo.

A aplicação de vinhaça (Tratamentos 2, 3, 10, 11, 12 e 13) proporcionou uma maior disponibilização de  $K^+$  que os demais fertilizantes empregados neste estudo (Tabela 13). Ressaltando-se que para os tratamentos com fontes minerais (Tratamentos 6, 7, 8 e 9), o potássio foi adicionado via aplicação de cloreto de potássio (KCl) e no tratamento com esterco, como a quantidade do nutriente não foi suficiente, completou-se a dose com KCl. Observa-se também que, na primeira amostragem de solo (63 dias), somente os tratamentos que continham aplicação de vinhaça foram capazes de elevar os teores de  $K^+$  no solo acima do nível crítico de  $0,11 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (CQFS – RS/SC, 2004). Esse comportamento demonstra a eficiência da

Tabela 13 - Teores de K<sup>+</sup> (potássio trocável) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1<sup>a</sup> amostragem) e trigo (2<sup>a</sup> amostragem)

Tratamentos	K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )				
	1 <sup>a</sup> amost.		2 <sup>a</sup> amost.		
	0 – 10 (cm)	0 – 10 (cm)	10 -20 (cm)	10 -20 (cm)	
1 Testemunha	0,03 E	0,08 E (*)	0,01 D	0,02 D	n.s.
2 (Vi. + cal.)	0,30 A	0,28 A n.s.	0,41 A	0,43 A	n.s.
3 (Vi. + sil.)	0,29 A	0,29 A n.s.	0,38 A	0,46 A (*)	
4 (Est. + cal.)	0,09 D	0,14 D (*)	0,04 D	0,07 D (*)	
5 (Est. + sil.)	0,09 D	0,16 C (*)	0,05 D	0,09 D (*)	
6 (S.S. + cal.)	0,02 E	0,08 E (*)	0,01 D	0,06 D (*)	
7 (S.S. + sil.)	0,03 E	0,09 E (*)	0,02 D	0,08 D (*)	
8 (T.M. + cal.)	0,08 E	0,15 C (*)	0,05 D	0,08 D	n.s.
9 (T.M. + sil.)	0,08 E	0,15 C (*)	0,05 D	0,08 D	n.s.
10 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + cal.)	0,17 C	0,21 B n.s.	0,15 C	0,29 B (*)	
11 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + sil.)	0,18 C	0,21 B n.s.	0,16 C	0,24 C (*)	
12 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + cal.)	0,30 A	0,28 A n.s.	0,14 C	0,33 B (*)	
13 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + sil.)	0,23 B	0,29 A (*)	0,19 B	0,32 B (*)	
14 (1/2Est.+ 1/2S.S. + cal.)	0,04 E	0,10 E (*)	0,03 D	0,07 D (*)	
15 (1/2Est.+ 1/2S.S. + sil.)	0,05 E	0,12 D (*)	0,03 D	0,10 D (*)	
16 (1/2Est.+ 1/2T.M. + cal.)	0,06 D	0,13 D (*)	0,03 D	0,07 D (*)	
17 (1/2Est.+ 1/2T.M. + sil.)	0,06 D	0,14 C (*)	0,04 D	0,07 D (*)	
<b>F</b>	72,080*	52,463*	113,571*	68,883*	
<b>c.v. (%)</b>	18,43	11,85	21,26	19,90	

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste Scott-Knott (p<0,05); F – valor F calculado na análise de variância (Anava); c.v. – coeficiente de variação; \* indica diferença significativa pelo teste F (p<0,05); (\*) diferença significativa pelo teste F (p<0,05) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; ns – não significativo pelo teste F (p<0,05) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; amost. – amostragem; Vi. – vinhaça; Est. – esterco de aves; S.S. – superfosfato simples; T.M. – termofosfato magnésiano (Yoorin); cal. – calcário; sil. – silicato de cálcio e magnésio.

vinhaça em disponibilizar potássio ao solo, sendo este resíduo considerado fertilizante potássico (RAIJ, 1991).

Os tratamentos com utilização de vinhaça foram, inclusive, capazes de promover elevação nos teores de  $K^+$  na camada de 10 - 20cm (Tabela 13), acima do nível crítico de  $0,11\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$  (CQFS - RS/SC, 2004), confirmando a possibilidade de lixiviação que esse nutriente apresenta, na presença de aplicação de grandes volumes de líquidos (BRITO et al., 2005), principalmente, quando analisa-se os dados referentes aos tratamentos com aplicação exclusiva de vinhaça ( $550\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$ ), como fertilizante fosfatado (tratamentos 2-3), nos quais o maior incremento nos teores de  $K^+$ , ocorreu na camada de 10 - 20cm. Estes dados ressaltam a importância de cautela na utilização de vinhaça como fertilizante, visto que altas doses deste resíduo possivelmente proporcionará a elevação dos teores de  $K^+$  em camadas mais profundas do solo, saturando-o com potássio, assim como elevando a condutividade elétrica do mesmo, inclusive, causando contaminação de corpos d'água (LYRA et al., 2003; BRITO et al., 2007; SILVA et al., 2007).

Silva et al. (2006) ao analisarem um canavial implantado sobre um Argissolo Amarelo latossólico de textura média/argilosa, no qual ocorreu a aplicação de cerca de  $500\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$  vinhaça a cada 6 anos, durante um período de 25 anos, observaram incrementos significativos nos teores de  $K^+$  do solo nas camadas de 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 80cm. Zolin et al. (2011), também verificaram incremento nos teores de  $K^+$  do solo em profundidade, com aplicação de  $150\text{m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$  de vinhaça, num Latossolo Vermelho distrófico do noroeste paranaense, durante os períodos de 1, 2, 3, 4, 12, 20 anos, tendo estes autores avaliado as camadas de 0 - 20 e 20 - 40cm.

Esta mobilidade do  $K^+$  no perfil do solo também é observada na comparação das duas épocas de amostragem de solo da camada de 10 - 20cm (Tabela 13), uma vez que verifica-se uma tendência de elevação dos teores do nutriente ao passar do tempo.

Verifica-se na Tabela 13 (após cultivo de milho), que os tratamentos com aplicação de vinhaça como fonte exclusiva de P (tratamentos 2 e 3), proporcionaram maiores teores de  $K^+$  no solo, do que os tratamentos com aplicação combinada de vinhaça + superfosfato simples. Resultados semelhantes também foram encontrados por Bebé et al., (2008), ao trabalharem

com diferentes doses de vinhaça, combinadas com adubação mineral tradicional em um Argissolo Amarelo com teor de argila de 200g kg<sup>-1</sup>. Esses autores justificaram o fato, como decorrência de uma maior absorção de K<sup>+</sup> pelas plantas de milho, no tratamento com aplicação mista de fertilizantes (50% da recomendação de potássio via vinhaça + 50% via KCl).

Com relação à 2ª amostragem de solo, na camada de 0 -10cm (após colheita do trigo – Tabela 13) observa-se, que somente os tratamentos com aplicação de superfosfato simples (tratamentos 6, 7, 14 e 15), não foram capazes de elevar os teores de K<sup>+</sup> do solo ao nível crítico de 0,11cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> (CQFS – RS/SC, 2004).

Averigua-se na Tabela 13 (2ª amostragem), onde aplicou-se esterco (tratamentos 4, 5, 16 e 17), uma tendência que este fertilizante apresenta em manter um teor mais elevado de K<sup>+</sup> na camada superior (0 - 10cm) do perfil do solo. Este comportamento pode estar ligado à adsorção do K<sup>+</sup> pelos radicais orgânicos presentes neste resíduo orgânico, assim como pela adsorção nas cargas negativas do solo, devido ao aumento de pH (Tabela 9), uma vez que, segundo Quaggio (2000) e Oliveira et al. (2002) a elevação do pH proporciona maior teor de cargas negativas pH-dependentes tanto na matéria orgânica quanto nos minerais presentes em solos altamente intemperizados. Portanto, como a solubilização do silicato é mais rápida do que a do calcário, a liberação de cargas pode ter sido mais eficiente nos tratamentos com aplicação do silicato (ALCARDE & RODELLA, 2003). Além disto, em função do esterco ter sido aplicado superficialmente, sem mobilização do solo, pode ter ocorrido uma maior concentração de compostos orgânicos na camada superior (MUZILLI, 1983; LOPES et al., 2004).

Ainda em relação ao desempenho do esterco (aplicado de forma isolada ou combinado à fontes minerais – tratamentos 5, 15 e 17) na camada de 0 - 10cm (2ª amostragem do solo – Tabela 13), nota-se que a associação do esterco ao silicato de cálcio e magnésio proporcionou um teor de K<sup>+</sup> superior aos tratamentos onde aplicou-se esterco junto ao calcário dolomítico (tratamentos 4, 14 e 16). Este comportamento pode estar associado a um possível aumento na solubilização dos ácidos orgânicos presentes no esterco devido à reação mais rápida do silicato de cálcio e magnésio, aumentando assim a quantidade de cargas negativas na camada superior (0 - 10cm) do

solo. Isto pode ter elevado a adsorção de  $K^+$  antes que esse nutriente fosse lixiviado, uma vez que este nutriente liga-se eletrostaticamente às cargas funcionais destes compostos orgânicos, sendo posteriormente disponibilizado para as plantas (KIEHL, 1985).

Em relação à capacidade de troca catiônica (CTC) (Tabela 14), observa-se que todos os tratamentos foram capazes de aumentar a CTC do solo, na primeira época de amostragem (63 dias), quando comparados à testemunha na camada de 0 - 10cm. Estes resultados provavelmente devem estar atrelados à fatores biológicos decorrentes do desenvolvimento vegetal, uma vez que os principais responsáveis pelo fornecimento de cargas negativas no solo são as argilas (que neste caso apresentam-se de forma equitativa em todos os tratamentos –  $150g\ kg^{-1}$ ) e a M.O. (matéria orgânica). Portanto, como mesmo nos tratamentos onde não se adicionou fontes de M.O ocorreu elevação nos valores de CTC, esta elevação pode ser atribuída ao componente biológico do solo, salientando-se que o valor de CTC mais baixo encontrado na testemunha pode ser consequência do menor desenvolvimento das plantas (a ser discutido no Item 4.2).

Vega (2007) mostra que as plantas apresentam uma intensa relação com diversos microrganismos do solo, principalmente em torno da rizosfera, pois estes microrganismos podem utilizar os exudados radiculares como fonte de alimento, disponibilizando nutrientes às plantas. As plantas podem secretar de 10 a 30% de fotoassimilados através das raízes (BOWEN & ROVIRA, 1999), podendo estes exudados serem compostos por mucilagens, polissacarídeos e células separadas do ápice radicular durante o processo de crescimento (McCULLY, 1999). Toda esta atividade biológica gera a formação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, capazes de produzirem cargas que auxiliam na adsorção de nutrientes. Portanto a elevação da CTC ocorrida da 1ª para a 2ª amostragem do solo (Tabela 14), pode ter ocorrido em resposta à uma maior quantidade de substâncias orgânicas liberadas pelas plantas, uma vez que anteriormente à 2ª amostragem do solo ocorreu o cultivo de trigo por um período de 100 dias, tendo esta cultura, possivelmente, liberado uma quantidade de compostos orgânicos maior que a cultura do milho.

Tabela 14 - Valores de capacidade de troca de cátions (CTC) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1ª amostragem) e trigo (2ª amostragem)

Tratamentos	CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			
	1ª amost. 2ª amost.		1ª amost.	2ª amost.
	0 – 10 (cm)	0 – 10 (cm)	10 -20 (cm)	10 -20 (cm)
1 Testemunha	1,24 B	1,98 C (*)	1,63 B	1,93 B n.s.
2 (Vi. + cal.)	2,21 A	3,32 B (*)	1,85 A	2,59 A (*)
3 (Vi. + sil.)	2,13 A	3,45 B (*)	1,68 B	2,58 A (*)
4 (Est. + cal.)	2,19 A	3,38 B (*)	1,57 B	2,30 B (*)
5 (Est. + sil.)	2,18 A	3,85 A (*)	1,80 A	2,39 B n.s.
6 (S.S. + cal.)	2,28 A	3,67 A (*)	1,95 A	2,31 B (*)
7 (S.S. + sil.)	2,47 A	3,52 B (*)	1,87 A	2,24 B (*)
8 (T.M. + cal.)	2,21 A	3,34 B (*)	1,65 B	2,01 B (*)
9 (T.M. + sil.)	2,29 A	3,34 B (*)	1,59 B	2,30 B (*)
10 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + cal.)	2,13 A	3,17 B (*)	1,95 A	2,85 A (*)
11 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + sil.)	1,99 A	3,43 B (*)	1,55 B	2,95 A (*)
12 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + cal.)	2,29 A	3,26 B (*)	1,68 B	2,57 A (*)
13 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + sil.)	2,42 A	3,86 A (*)	1,67 B	2,61 A (*)
14 (1/2Est.+ 1/2S.S. + cal.)	2,30 A	3,57 B (*)	1,61 B	2,70 A (*)
15 (1/2Est.+ 1/2S.S. + sil.)	2,53 A	4,00 A (*)	1,74 B	2,71 A (*)
16 (1/2Est.+ 1/2T.M. + cal.)	2,07 A	3,20 B (*)	1,58 B	2,23 B (*)
17 (1/2Est.+ 1/2T.M. + sil.)	2,30 A	3,29 B (*)	1,71 B	2,10 B (*)
<b>F</b>	8,294*	7,919*	1,819*	6,129*
<b>c.v. (%)</b>	8,89	9,11	11,25	9,63

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste Scott-Knott (p<0,05); F – valor F calculado na análise de variância (Anava); c.v. – coeficiente de variação; \* indica diferença significativa pelo teste F (p<0,05); (\*) diferença significativa pelo teste F (p<0,05) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; ns – não significativo pelo teste F (p<0,05) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; amost. – amostragem; Vi. – vinhaça; Est. – esterco de aves; S.S. – superfosfato simples; T.M. – termofosfato magnésiano (Yoorin); cal. – calcário; sil. – silicato de cálcio e magnésio.

Já para a camada de 10 - 20cm (1ª amostragem do solo - Tabela 14) observou-se um comportamento semelhante entre todos os tratamentos. Porém, apesar da ocorrência de diferença significativa apontada pelas avaliações estatísticas (Scott-Knott,  $p < 0,05$ ), assume-se que a variação nos valores encontrados é, na prática, muito pouco expressiva (Oliveira et al., 2002).

Apesar da elevada carga de M.O fornecida pela aplicação de vinhaça, não se verificaram elevações expressivas na CTC, entre os tratamentos estudados. Este comportamento pode ter ocorrido por a matéria orgânica presente na vinhaça estar preferencialmente na forma coloidal, o que facilita sua rápida decomposição pelos microrganismos. Portanto, não se devem esperar efeitos persistentes na elevação de M.O devido à aplicação de vinhaça (SILVA & MENDONÇA, 2007). Para que os benefícios da aplicação de vinhaça reflitam em elevação perceptível da M.O do solo, se faz necessária a aplicação de grandes volumes, durante longos períodos (MATOS, 2006). Magalhães (2010) trabalhando com aplicação de diferentes doses de vinhaça (0, 120, 240 e  $420\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) em um Latossolo Vermelho eutrófico de textura média, também não observou diferenças significativas nos teores de C-orgânico do solo entre os tratamentos avaliados.

Logo, apesar das cargas negativas provindas de compostos orgânicos de baixo peso molecular contribuírem na elevação da CTC do solo, neste caso o comportamento semelhante da CTC (Tabela 14) em relação ao pH-CaCl<sub>2</sub> (Tabela 9), sugerem que a elevação da CTC se deu principalmente em resposta à redução da acidez do solo (BARRETO, 1995) proporcionada pelos corretivos aplicados. A tendência geral apresentada pelos tratamentos em elevar a CTC com o passar do tempo (da 1ª para a 2ª amostragem do solo – Tabela 14) corroboram com esta resposta da CTC em relação à acidez do solo, pois o período de 171 dias é adequado para a reação alcalinizante dos corretivos de acidez do solo (Tabelas 9 e 10).

Estudos realizados por Oliveira et al. (2002) evidenciam que a aplicação de resíduos orgânicos, a curto prazo, pouco influenciam na CTC do solo devido a adição de compostos orgânicos ao solo, uma vez que estes só proporcionam aumentos nos teores M.O estabilizada ao solo após longo período de aplicação. Oliveira et al. (2002) e Rei et al. (2009) atribuem a

elevação da CTC em solos com aplicação recente de resíduos orgânicos à elevação no pH que estes solos podem sofrer, em decorrência da grande quantidade de minerais com cargas pH-dependentes presentes nos solos tropicais altamente intemperizados.

Ao trabalhar com diferentes doses de vinhaça em diferentes classes de solos, Gariglio (2008) observou tendência de elevação da CTC dos solos em resposta à elevação das doses de vinhaça. O autor justifica a elevação da CTC como decorrência da adição de bases ao solo, proporcional às doses aplicadas, que elevaram o pH dos mesmos e conseqüentemente liberando mais cargas negativas (pH-dependentes). Ressalta-se que não foi utilizado calagem nos tratamentos, o que poderia ter mascarado os resultados pela influencia na acidez do solo.

Os resultados obtidos na 2ª amostragem de solo para a camada de 0 - 10cm, mostra que os tratamentos com esterco (fonte isolada de P ou associado à fertilizantes minerais) associado ao silicato de cálcio e magnésio (tratamento 5, 15 e 17 – Tabela 14) proporcionou valores de CTC superiores aos do tratamento com o mesmo fertilizante associado ao calcário dolomítico (tratamento 4, 14 e 16 – Tabela 14). Estes resultados corroboram com a maior disponibilização de cálcio, ocorrida nos tratamentos com aplicação de silicato de cálcio e magnésio devido sua reação mais rápida que a do calcário (ALCARDE & RODELLA, 2003) o que implica aumento da soma de bases e CTC.

Moreti et al. (2007) após analisarem a aplicação de adubação orgânica, mineral e organomineral em um Latossolo Vermelho-Escuro, observaram que não houve diferença significativa nos valores de CTC nas camadas de 0 - 10 e 10 - 20cm ao comparar tratamentos com aplicação de esterco de frango + ½ adubação mineral com os tratamentos esterco de frango, adubação mineral integral e adubação verde utilizados isoladamente.

Com relação aos valores de saturação por bases (V% após cultivo de milho - Tabela 15) na camada de 0 - 10cm, observa-se que todos os tratamentos foram claramente superiores à testemunha, fato este já esperado, visto que nesta última não se aplicou corretivos de acidez do solo. Nesta camada nota-se também uma tendência do calcário (tratamentos 6 e 8) ser

Tabela 15 - Valores de saturação por bases (V%) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1ª amostragem) e trigo (2ª amostragem)

Tratamentos	V%					
	1ª amost.			2ª amost.		
	0 – 10 (cm)	0 – 10 (cm)	n.s.	10 -20 (cm)	10 -20 (cm)	n.s.
1 Testemunha	25,65 C	30,06 C	n.s.	9,72 G	19,09 C	n.s.
2 (Vi. + cal.)	65,29 A	74,06 A	(*)	58,34 B	49,51 A	n.s.
3 (Vi. + sil.)	72,73 A	75,75 A	n.s.	64,73 A	53,09 A	n.s.
4 (Est. + cal.)	61,14 A	68,63 B	n.s.	20,16 F	27,65 C	n.s.
5 (Est. + sil.)	68,73 A	75,10 A	n.s.	38,03 C	37,78 B	n.s.
6 (S.S. + cal.)	54,71 B	61,90 B	(*)	24,25 F	28,28 C	n.s.
7 (S.S. + sil.)	62,74 A	68,14 B	(*)	26,05 F	26,15 C	n.s.
8 (T.M. + cal.)	53,17 B	72,26 A	(*)	27,03 F	26,49 C	n.s.
9 (T.M. + sil.)	62,73 A	74,31 A	n.s.	29,64 E	28,09 C	n.s.
10 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + cal.)	64,05 A	68,75 B	n.s.	38,53 D	42,04 B	n.s.
11 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + sil.)	70,61 A	72,21 A	n.s.	50,10 C	41,06 B	n.s.
12 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + cal.)	70,33 A	71,71 A	n.s.	38,81 D	51,18 A	n.s.
13 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + sil.)	68,76 A	77,89 A	n.s.	56,82 B	46,76 A	(*)
14 (1/2Est.+ 1/2S.S. + cal.)	54,07 B	66,70 B	(*)	22,46 F	31,54 C	n.s.
15 (1/2Est.+ 1/2S.S. + sil.)	62,57 A	76,25 A	(*)	35,53 D	32,55 C	n.s.
16 (1/2Est.+ 1/2T.M. + cal.)	65,64 A	71,14 A	n.s.	20,77 F	29,61 C	n.s.
17 (1/2Est.+ 1/2T.M. + sil.)	65,74 A	73,54 A	(*)	29,22 E	29,76 C	n.s.
<b>F</b>	15,024*	25,617*		39,859*	9,010*	
<b>c.v. (%)</b>	9,13	6,20		13,89	19,18	

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); F – valor F calculado na análise de variância (Anava); c.v. – coeficiente de variação; \* indica diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ); (\*) diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; ns – não significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; amost. – amostragem; Vi. – vinhaça; Est. – esterco de aves; S.S. – superfosfato simples; T.M. – termofosfato magnésiano (Yoorin); cal. – calcário; sil. – silicato de cálcio e magnésio.

menos eficiente que o silicato de cálcio e magnésio (tratamentos 7 e 9) na elevação da saturação por bases, quando estes estão associados a um fertilizante mineral (superfosfato simples ou termofosfato magnesiano), sendo que nos tratamentos onde aplicou-se calcário dolomítico a saturação por bases não atingiu 70%, preconizado como ideal para a cultura do milho (RAIJ et al., 1997). Esta maior saturação por bases encontrada nos tratamentos com aplicação de silicato de cálcio e magnésio, ocorreu devido a maior solubilidade deste corretivo em relação ao calcário dolomítico (ALCARDE & RODELLA, 2003), proporcionando assim uma reação mais rápida. Porém, ressalta-se que a 1ª amostragem do solo foi realizada aos 63 dias após a aplicação dos corretivos, período este inferior aos 90 dias de incubação preconizado por diversos manuais de adubação e calagem (ALCARDE, 1992; RAIJ, 1997; CQFS – RS/SC, 2004).

Para os valores de saturação por bases na camada de 10 - 20cm nota-se, na primeira amostragem de solo (Tabela 15), que todos os tratamentos foram capazes de superar a testemunha, apresentando valores de saturação por bases variando de 20,16 à 64,73%. Também é possível observar que, independente do corretivo associado, os tratamentos com aplicação exclusiva de vinhaça como fertilizante apresentaram os melhores desempenhos quanto a elevação da saturação por bases, apresentando valores na faixa de 58,34 à 64,73%. Isto pode estar associado à capacidade do fertilizante em reduzir a atividade do  $Al^{3+}$  (RIBEIRO & SENGIK, 1983; MATIAZZO & GLÓRIA, 1985) e fornecer cátions nesta camada, especialmente  $K^+$  e  $Ca^{2+}$  (ORLANDO FILHO et al., 1983; BARROS et al., 2010), assim como pela elevação de pH (FREIRE & CORTES, 2000; CORRÊA et al., 2001). Esta capacidade da vinhaça em elevar o pH, reduzir o  $Al^{3+}$  e incrementar  $Ca^{2+}$  e  $K^+$  podem ser observadas nas Tabelas 9, 10, 11 e 13, respectivamente.

Apesar de ambos os corretivos, utilizados neste estudo, apresentarem resultados positivos no aumento da saturação por bases (Tabela 15), nota-se que o silicato de cálcio e magnésio teve desempenho superior ao calcário na camada de 10 - 20cm (1ª amostragem do solo), demonstrando mais uma vez que a reatividade mais elevada do silicato pode acelerar as reações e facilitar sua ação em camadas mais profundas do solo, assim como descrito por Alcarde & Rodella (2003). Estes resultados mostram que o silicato pode vir a

ser um produto bastante interessante para aplicação em sistemas de plantio direto, onde os insumos são distribuídos superficialmente ao solo.

Os resultados apresentados na Tabela 15 (2ª amostragem do solo) mostraram que decorrido o tempo hábil de reação (90 dias no mínimo), todos os tratamentos apresentaram saturação por bases acima de 60%, atingindo valores próximos ou superiores a 70%, preconizado como ideal para a maioria das culturas comerciais (RAIJ et al., 1997). Com relação à camada de 10 - 20cm, verifica-se que nos tratamentos onde aplicou-se vinhaça (tanto como fonte de P exclusiva, quanto combinada a outro fertilizante) o valor de V% aumentou, tendo nestes os melhores resultados. Isto indica que esta capacidade apresentada pelo resíduo pode ser aproveitada, especialmente em sistemas de cultivo conservacionistas (com mínima mobilização de solo), visando a correção de acidez do solo em subsuperfície com aplicação superficial de insumos. Esta elevação da saturação de bases originada pela vinhaça ocorre em resposta à elevação do pH do solo (LEAL et al., 1983; PEREIRA et al., 1992; FREIRE & CORTES, 2000; CORRÊA et al., 2001), que por sua vez induz a precipitação do  $Al^{3+}$  (MATIAZZO & GLÓRIA, 1985), liberando cargas negativas dos colóides do solo que podem adsorver as bases trocáveis fornecidas pelo resíduo, visto que este fornece grandes quantidades de cátions como  $Ca^{2+}$  e principalmente  $K^+$  (SILVA & CABEDA, 2005).

Barros et al. (2010) comparando os atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico sob cultivo de cana-de-açúcar com e sem aplicação de vinhaça, observaram elevação na saturação de bases na área que recebeu vinhaça ( $150m^3 ha^{-1}$ ) durante um período de 10 anos em comparação à área que não recebeu o resíduo. Estes autores demonstraram que a elevação da saturação de bases ocorreu nas três camadas analisadas (0 - 15; 15 - 30 e 30 - 45cm).

Apesar do destaque da vinhaça, as demais composições de tratamentos também foram, de modo menos expressivo, capazes de elevar o valor da saturação por bases (entre 26,15 a 37,68%) na camada de 10 - 20cm (segunda amostragem do solo) em comparação ao desempenho da testemunha (19,09%).

Da mesma forma, Moreti et al. (2007) trabalhando com aplicação de adubos orgânicos, organominerais e minerais em um Latossolo Vermelho-

Escuro epieutrófico álico, concluíram que a aplicação de esterco de frango e ½ da adubação mineral + esterco de frango, proporcionaram elevação na saturação de bases da camada de 0 - 10cm.

Os dados presentes na Tabela 16 (1ª amostragem do solo) mostram que dentre os fertilizantes utilizados nenhum foi capaz de elevar os teores de P no solo ao nível crítico de  $21\text{mg kg}^{-1}$  recomendado pela CQFS – RS/SC (2004) para solos de textura classe 4 (teor de argila  $< 200\text{g kg}^{-1}$ ). A vinhaça apresentou o desempenho mais baixo na elevação dos teores de fósforo (P) no solo na camada de 0 - 10cm, sendo este resíduo líquido incapaz de superar os resultados da testemunha. Da mesma forma, os tratamentos com aplicação da vinhaça combinada aos fertilizantes minerais superfosfato simples e termofosfato magnésiano (tratamentos 10, 11, 12 e 13), apesar de proporcionarem elevação nos teores de P no solo, foram superados por todos os demais tratamentos sem a aplicação do resíduo líquido (exceto a testemunha). Esta reduzida capacidade da vinhaça em fornecer fósforo ao solo pode estar atrelada à sua característica de ser um fertilizante pobre em P (PATIL et al., 1982; RIBEIRO & SENGIK, 1983; CANELLAS et. al., 2003; VILA, 2011).

De forma semelhante, Pereira et al. (1992) obtiveram resultados semelhantes com a aplicação de doses crescentes de vinhaça em solo cultivado com milho até os 45 dias após a semeadura, onde os autores somente observaram elevações significativas nos teores de P no solo, somente a partir da dose de  $600\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ .

Os resultados obtidos para os teores de P na camada de 0 - 10cm (Tabela 16) demonstraram que o esterco de aves proporcionou valores de P no solo variando de 11 a  $15,64\text{mg kg}^{-1}$ , valores estes semelhantes aos dos tratamentos com fertilizantes minerais (tratamentos 6, 7, 8 e 9), podendo este ser utilizado em substituição aos fertilizantes minerais, principalmente em solos arenosos onde é desejável o fertilizante orgânico, pois este pode influenciar positivamente no acúmulo de M.O. do solo, que por sua vez é grande responsável pelo aumento da CTC em solos com baixo teor de argila e/ou presença de argila de baixa atividade (PAVAN et al., 1985; LOPES & GUILHERME, 2004).

Tabela 16 - Teores de fósforo (P) de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo após o cultivo de milho (1ª amostragem) e trigo (2ª amostragem)

Tratamentos	P (mg kg <sup>-1</sup> )							
	1ª amost.		2ª amost.		1ª amost		2ª amost.	
	0 – 10 (cm)	0 – 10 (cm)			10 -20 (cm)	10 -20 (cm)		
1 Testemunha	1,06 C	2,24 D	ns		0,64 B	1,21 B	ns	
2 (Vi. + cal.)	2,23 C	4,49 D	(*)		1,12 B	1,16 B	ns	
3 (Vi. + sil.)	2,12 C	3,41 D	(*)		1,01 B	1,14 B	ns	
4 (Est. + cal.)	15,64 A	13,14 A	ns		1,07 B	2,45 A	ns	
5 (Est. + sil.)	11,00 A	11,76 A	ns		0,92 B	2,30 A	ns	
6 (S.S. + cal.)	11,92 A	11,14 A	ns		1,17 B	1,48 B	ns	
7 (S.S. + sil.)	13,13 A	10,67 B	ns		1,35 B	1,40 B	ns	
8 (T.M. + cal.)	13,24 A	13,41 A	ns		1,94 A	2,27 A	ns	
9 (T.M. + sil.)	11,54 A	11,99 A	(*)		1,96 A	2,05 A	ns	
10 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + cal.)	7,14 B	9,71 B	(*)		1,26 B	1,48 B	ns	
11 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + sil.)	4,29 B	6,82 C	ns		1,19 B	1,80 A	(*)	
12 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + cal.)	4,27 B	8,15 B	ns		1,08 B	1,07 B	ns	
13 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + sil.)	5,33 B	9,34 B	ns		1,08 B	2,20 A	ns	
14 (1/2Est.+ 1/2S.S. + cal.)	14,43 A	12,23 A	ns		1,10 B	1,87 A	(*)	
15 (1/2Est.+ 1/2S.S. + sil.)	12,97 A	12,48 A	ns		1,30 B	2,12 A	ns	
16 (1/2Est.+ 1/2T.M. + cal.)	12,51 A	9,35 B	ns		1,35 B	1,31 B	ns	
17 (1/2Est.+ 1/2T.M. + sil.)	9,67 A	8,57 B	ns		1,32 B	1,33 B	ns	
<b>F</b>	14,429*	10,521*			5,194*	7,054*		
<b>c.v. (%)</b>	28,36	22,40			23,07	21,04		

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); F – valor F calculado na análise de variância (Anava); c.v. – coeficiente de variação; \* indica diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ); (\*) diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; ns – não significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ) na comparação de cada tratamento na mesma camada amostrada em épocas diferentes; amost. – amostragem; Vi. – vinhaça; Est. – esterco de aves; S.S. – superfosfato simples; T.M. – termofosfato magnésiano (Yoorin); cal. – calcário; sil. – silicato de cálcio e magnésio.

Para a camada de 10 - 20cm (1ª amostragem do solo – Tabela 16), observa-se que somente os tratamentos com aplicação exclusiva de termofosfato magnésiano como fonte de fósforo foram capazes de elevar os teores de P, porém, mesmos nestes tratamentos a elevação foi bastante reduzida (comparado aos resultados da camada superior). Este comportamento para o fósforo já era esperado, visto a baixa mobilidade dos íons fosfato ao longo do perfil do solo (UNGER, 1991).

Com relação ao desempenho dos corretivos de acidez do solo em relação à disponibilidade de P durante o cultivo do milho, nota-se na Tabela 16 que ambos os produtos utilizados apresentaram resultados semelhantes nas duas camadas analisadas (ao menos no final do período de avaliação – 52 DAE do milho). De maneira geral observa-se que, após o cultivo de milho (1ª amostragem do solo), os teores de P no solo variaram de 2,12 à 15,64mg kg<sup>-1</sup>, portanto nenhuma das composições de fertilizantes associados à corretivos de acidez foram capazes de elevar os teores deste nutriente ao nível crítico de 21mg kg<sup>-1</sup> recomendado pela CQFS - RS/SC (2004) como sendo adequado para o desenvolvimentos da maioria das culturas comerciais em solos com classe textural 4 (teor de argila < 200g kg<sup>-1</sup>). Estes resultados podem ter relação com o curto prazo de reação dos corretivos de acidez do solo (na primeira amostragem), uma vez que uma reação adequada destes produtos é essencial para a disponibilização do P às plantas, pois à medida que o pH se eleva, a disponibilidade do P também se eleva, devido à elevação da concentração de íons OH<sup>-</sup> na solução do solo que aumentam a solubilidade dos fosfatos de ferro e alumínio, reduzindo assim a adsorção dos íons fosfato pela fase sólida do solo (CASAGRANDE & CAMARGO, 1997; RAIJ, 2004).

Na segunda amostragem do solo para a camada de 0 - 10cm (Tabela 16), observou-se que o teor de P nos tratamentos estudados variou de 3,41 a 13,41mg kg<sup>-1</sup>, portanto, nenhum dos tratamentos foi capaz de elevar o teor de P do solo ao nível crítico de 21mg kg<sup>-1</sup>, recomendado como ideal para o desenvolvimento da maioria das culturas em solos com teor de argila abaixo de 200g kg<sup>-1</sup> (CQFS - RS/SC, 2004). Desta maneira, conclui-se que possivelmente a dose recomendada de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> esteja subestimada, para os solos arenosos do noroeste paranaense.

É válido ressaltar que, de acordo com as recomendações do IAPAR (2003), apenas os tratamentos com aplicação de vinhaça (tratamentos 2, 3 e 10) não alcançaram o nível crítico de P no solo de  $9\text{mg kg}^{-1}$  para a cultura do trigo no Estado do Paraná, tendo os demais tratamentos se aproximado deste valor. No entanto, Wiethölter (2004) ressalta que este nível crítico de P foi estabelecido independente do teor de argila do solo, aparentemente em decorrência da maioria dos estudos terem sido conduzidos em solos argilosos. Portanto, é possível que os solos com baixo teor de argila ( $<200\text{g kg}^{-1}$ ) que ocorrem no noroeste paranaense não apresentem este comportamento.

Os teores de P na camada de 0 - 10cm (2ª amostragem do solo - Tabela 16), também confirmam a tendência de menor eficiência no fornecimento de fósforo apresentada pela vinhaça na amostragem anterior (após cultivo do milho), visto que se trata de um fertilizante pobre neste nutriente (PATIL et al., 1982; RIBEIRO & SENGIK, 1983; CANELLAS et. al., 2003; VILA, 2011). Ressalta-se que os tratamentos com aplicação de vinhaça como fonte única de P foram os únicos que não se diferenciaram estatisticamente da testemunha. Apesar disto, verifica-se que as combinações da vinhaça com uma fonte mineral de P (tratamentos 10, 11, 12 e 13) foram capazes de fornecer o nutriente até valores próximos do tratamento padrão (aplicação de superfosfato simples), podendo-se assim empregar tal resíduo como fertilizante (se complementado com uma fonte mais eficiente de P), aproveitando seus benefícios nutricionais (Tabelas 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15).

Ao avaliar os atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico de textura arenosa do noroeste paranaense submetido à diferentes doses de vinhaça, Vila (2011) também observou pequeno incremento no teor de P no solo, verificando que na dose de  $200\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  o teor de P passou de  $2,80$  para  $5,5\text{mg kg}^{-1}$ . Este autor também observou que apesar de baixos, os teores se mantiveram durante as amostragens aos 90, 180, e 360 dias após a aplicação. O autor ressalta que apesar das baixas concentrações de P na vinhaça, este nutriente, conforme é liberado, permanece prontamente disponível às plantas devido aos menores problemas de fixação específica, uma vez que os sítios de adsorção podem ser bloqueados pelos radicais orgânicos (BEAUCLAIR, 1994; YAMADA & ABDALLA, 2004) oriundos dos ácidos orgânicos de baixo peso

molecular presentes na vinhaça (GLÓRIA, 1994; CANELLAS et al., 1999 e 2003).

O termofosfato magnesiano, mesmo com uma liberação mais lenta de P, foi capaz de disponibilizar os maiores teores do nutriente ao final do ciclo do trigo na camada de 0 - 10cm (2ª amostragem do solo – 100 DAE do trigo) disponibilizando teores variando na faixa de 11,99 a 13,41mg kg<sup>-1</sup> (tratamentos 8 e 9 - Tabela 16). No entanto, é importante ressaltar que alguns trabalhos mostram que o extrator Mehlich-1 (utilizado neste trabalho) apresenta menor correlação entre desempenho vegetal e disponibilidade de P, do que o extrator resina trocadora de íons (BELTRÁN et al., 1998), quando da aplicação de termofosfatos ou outros fosfatos de baixa solubilidade em água. Em trabalho com recuperação de P em Latossolo do cerrado brasileiro, Korndörfer & Sousa (2010) verificaram que o extrator Mehlich-1, ao contrário da resina trocadora de íons, pode acabar extraíndo formas de P que ainda não estavam disponíveis no solo.

Com relação ao teor de fósforo na camada de 10 - 20cm (após colheita do trigo - Tabela 16), nota-se que houve variações muito discretas nos valores, confirmando desta forma a baixa mobilidade do nutriente no perfil do solo, independente do fertilizante ou corretivo aplicados.

## **4.2 Desempenho vegetal**

### **4.2.1 Cultura do milho**

Inicialmente é importante ressaltar que o milho não foi cultivado até a colheita, pois a ocorrência de uma forte geada no mês de junho danificou seriamente as plantas, inviabilizando a continuação do estudo. Desta forma utilizaram-se apenas os dados coletados até o período anterior à geada. Este evento climático ocorrido neste período prejudicou as lavouras de milho (CONAB, 2011) e trigo (CONAB, 2012) em Estados do sul e sudeste.

A aplicação tanto dos fertilizantes orgânicos, como os minerais, proporcionou uma maior altura das plantas de milho (Tabela 17). Os tratamentos onde

aplicou-se vinhaça proporcionaram maior crescimento das plantas, independentemente do corretivo de acidez do solo associado. O maior crescimento das plantas fertilizadas com vinhaça pode ter ocorrido em função da riqueza do fertilizante em nutrientes (Tabela 8) e pela sua disponibilização no solo (Tabelas 9, 10, 11, 12 e 13). Sengik et al. (1996) observou que a aplicação de vinhaça melhorou o desenvolvimento das plantas, atingindo o melhor desenvolvimento com a dose de 100Mg ha<sup>-1</sup> do resíduo.

Além da vinhaça, o superfosfato simples também proporcionou a maior altura das plantas de milho (Tabela 17). Este produto, pela sua solubilidade e a alta concentração de fósforo (18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), foi capaz de liberar nutrientes para as plantas (Tabelas 9, 11 e 16) o que resultou em melhores condições para o crescimento vegetal (Tabela 17). Araújo et al. (2003), avaliando as respostas do milho à aplicação de diferentes fontes de fósforo, observaram que a fonte de maior solubilidade (superfosfato triplo) proporcionou maior índice de eficiência de absorção de P e conseqüente maior redistribuição do nutriente pelas plantas de milho, em comparação aos demais fertilizantes de menor solubilidade (termofosfato magnésiano, fosfato reativo de Arad e fosfato natural de Araxá). Estes autores concluem que a absorção de P pelas plantas de milho foi condizente com a maior ou menor facilidade de aquisição do nutriente pelas raízes, na medida em que as fontes de P diferem bastante quanto à solubilidade.

O esterco de aves e o termofosfato magnésiano proporcionaram um menor tamanho de plantas que a vinhaça e o superfosfato simples (Tabela 17). Possivelmente, este comportamento esteja ligado à disponibilização de P no solo mais lenta (Tabela 12), o que resultou em plantas mais baixas (Tabela 17). Estes resultados indicam que o esterco de aves (CQFS – RS/SC, 2004; SILVA et al. 2011) assim como o termofosfato magnésiano (CHIEN, 1978; KAMINSKI et al., 1997) necessitem de um maior tempo para disponibilização completa dos nutrientes, em função da disponibilização gradual.

Silva et al. (2011) trabalhando com fertilização da cultura do milho com cama de aviário em diferentes doses e épocas de incubação, observaram

Tabela 17 - Altura das plantas de milho submetidas à aplicação de diferentes fertilizantes associados a corretivos de acidez do solo em um Latossolo Vermelho distrófico típico do noroeste paranaense

Tratamentos	Altura de Planta (cm)			
	7 DAE	22 DAE	37 DAE	52 DAE
1 Testemunha	2,50 Cb	2,77 Eb	3,56 Da	4,41 Da
2 (Vi. + cal.)	6,25 Ad	15,89 Bc	26,89 Bb	44,66 Ba
3 (Vi. + sil.)	7,08 Ac	17,69 Ac	34,08 Ab	60,00 Aa
4 (Est. + cal.)	5,08 Bd	13,75 Cc	21,08 Cb	44,08 Ba
5 (Est. + sil.)	4,91 Bd	12,85 Dc	20,12 Cb	39,21 Ba
6 (S.S. + cal.)	6,85 Ad	17,66 Ac	25,10 Bb	65,35 Aa
7 (S.S. + sil.)	6,06 Ac	15,45 Bb	22,91 Cb	52,81 Aa
8 (T.M. + cal.)	4,83 Bd	12,54 Dc	17,91 Cb	26,14 Ca
9 (T.M. + sil.)	4,91 Bd	11,06 Dc	16,40 Cb	21,79 Ca
10 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ S.S. + cal.)	6,66 Ac	18,56 Ac	30,47 Ab	65,02 Aa
11 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ S.S. + sil.)	6,70 Ad	18,04 Ac	27,83 Bb	53,67 Aa
12 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ T.M. + cal.)	6,37 Ad	17,31 Ac	28,79 Bb	53,06 Aa
13 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ T.M. + sil.)	6,52 Ad	17,48 Ac	30,08 Ab	55,00 Aa
14 ( $1/2$ Est. + $1/2$ S.S. + cal.)	5,79 Bd	16,02 Bc	25,45 Bb	56,89 Aa
15 ( $1/2$ Est. + $1/2$ S.S. + sil.)	5,42 Bd	14,52 Cc	22,08 Cb	44,50 Ba
16 ( $1/2$ Est. + $1/2$ T.M. + cal.)	5,14 Bd	14,43 Cc	22,08 Cb	37,89 Ba
17 ( $1/2$ Est. + $1/2$ T.M. + sil.)	5,64 Bd	12,70 Dc	20,23 Cb	36,16 Ba
<b>F</b>	25,148*	42,650*	24,073*	22,504*
<b>c.v. (%)</b>	10,70	10,71	16,08	19,76

Mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas indicam diferença não significativa pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); \* indica diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ); F – valor F calculado na análise de variância (Anava); c.v. – coeficiente de variação; DAE – dias após a emergência; Vi. – vinhaça; Est. – esterco de aves; S.S. – superfosfato simples; T.M. – termofosfato magnesiano (Yoorin); cal. – calcário; sil. – silicato de cálcio e magnésio.

maior crescimento das plantas (45 dias após a semeadura) quando o fertilizante aplicado ao solo passou por um período de incubação de 30 dias (maior período avaliado) anterior à semeadura da cultura.

Em relação aos tratamentos com aplicação fracionada de fertilizantes orgânicos e minerais, percebe-se que a aplicação de vinhaça associada ao superfosfato simples proporcionou o melhor crescimento e maior altura das plantas (Tabela 17), principalmente devido à riqueza de nutrientes da vinhaça (Tabela 8) e também pela alta solubilidade, que também pode ser atribuída ao superfosfato simples, que é fonte de fósforo solúvel.

A aplicação de vinhaça, associada ao termofosfato magnesiano, apresentou as maiores alturas das plantas de milho (Tabela 17), que pode ser atribuída principalmente pela solubilidade da vinhaça, ou pelo fornecimento gradual de P pelo termofosfato. A associação de fontes de P com diferentes solubilidades melhora o desempenho vegetal, pois as fontes de elevada solubilidade, promovem maior crescimento do sistema radicular no estágio inicial de desenvolvimento das culturas, tendo os fosfatos de menor solubilidade o papel de suprir as necessidades nutricionais, durante períodos mais avançados do ciclo das culturas e/ou em cultivos futuros (CHIEN et al., 1996).

Em relação aos corretivos de acidez do solo, observou-se que o calcário dolomítico e o silicato de cálcio e magnésio foram similares em proporcionar o desenvolvimento das plantas de milho (Tabela 17). Apenas para os tratamentos com aplicação exclusiva de vinhaça (tratamentos 2 e 3), a aplicação de silicato de cálcio e magnésio propiciou um maior crescimento do milho. Isto pode ter ocorrido porque o silicato apresenta em sua composição silício (Si), que confere maior resistência a estresses bióticos e abióticos como o frio, o estresse hídrico (KORNDORFER et al., 2004) e ataque de doenças (NOLLA et al., 2004). Nos demais tratamentos o calcário e o silicato apresentaram comportamento semelhante, mostrando que apesar do menor PRNT (68%) do silicato de cálcio e magnésio, o corretivo foi igualmente eficiente no desenvolvimento das plantas, justificado pelo mesmo poder de correção da acidez do solo (Tabelas 9 e 10) e pela disponibilização semelhante no fornecimento de  $\text{Ca}^{2+}$  (Tabela 11) e  $\text{Mg}^{2+}$  (Tabela 12), assim como na elevação da saturação por bases (Tabela 15).

A aplicação de fertilizantes e corretivos da acidez do solo proporcionou um aumento no comprimento das folhas de milho. Através dos dados encontrados na Tabela 18, verifica-se um maior comprimento foliar inicial (7 DAE) nos tratamentos onde se aplicou os fertilizantes com maior solubilidade (vinhaça e superfosfato simples), tanto isoladamente (tratamentos 2, 3, 6 e 7), quanto nas combinações com aplicação de ½ dose de vinhaça (tratamentos 10, 11, 12 e 13). Isto demonstra a necessidade da aplicação de fontes nutricionais com alta solubilidade para suprir com velocidade adequada a demanda inicial da cultura (CHIEN et al., 1996). Franzini et al., (2009) observaram que a associação de fontes solúveis (superfosfato triplo) com fontes de menor solubilidade (fosfato natural) promoveu melhor desenvolvimento de plantas de soja. Estes autores ressaltam que a fonte solúvel pode promover melhor desenvolvimento inicial do sistema radicular das plantas, o que pode auxiliar no aumento da absorção de P oriundo dos fosfatos naturais.

No decorrer do ciclo da cultura do milho, observa-se um melhor desenvolvimento foliar onde se aplicou fertilizantes de menor solubilidade (termofosfato magnésiano e esterco de aves - tratamentos 4, 5, 8, 9, 16 e 17), chegando estes a superar o desempenho do superfosfato simples (Tabela 18). Isto pode indicar que uma disponibilização gradual dos nutrientes seja importante para suprir a demanda nutricional da cultura, uma vez que o milho apresenta uma taxa de absorção de P constante durante todo o ciclo vital. Segundo Coelho (2006), diferentemente do potássio, o P apresenta cerca de 40% de sua absorção durante o período reprodutivo da cultura. Portanto, a aplicação de fertilizantes com disponibilização gradual de P torna-se interessante, uma vez que o parcelamento das adubações com fontes de alta solubilidade implica em aumento dos custos com mão de obra e maquinário.

É importante ressaltar que a disponibilidade de P oriundo de fontes orgânicas como o esterco de aves apresenta eficiência diferente da dos adubos fosfatados solúveis. Isto ocorre porque parte do P total contido nesses resíduos ocorre em formas sólidas, minerais ou orgânicas, que não se solubilizam ou se mineralizam rapidamente durante o período de absorção pelas plantas (GUNARY, 1968; FORDHAN & SCHWERTMANN, 1977). Desta forma, destaca-se a necessidade de um maior período de incubação destes, a fim de suprir adequadamente as demandas das plantas (SILVA et al., 2011).

Tabela 18 - Comprimento foliar de plantas de milho submetidas à aplicação de diferentes fertilizantes e corretivos de acidez do solo em um Latossolo Vermelho distrófico típico do noroeste paranaense

Tratamentos	Comprimento Foliar (cm)			
	7 DAE	22 DAE	37 DAE	52 DAE
1 Testemunha	9,44 Cb	14,14 Ca	12,85 Ea	15,14 Da
2 (Vi. + cal.)	19,87 Bc	43,77 Ab	59,73 Ba	55,41 Aa
3 (Vi. + sil.)	22,87 Ac	48,43 Ab	61,35 Ba	52,04 Ab
4 (Est. + cal.)	19,06 Bd	37,43 Bc	57,01 Ba	47,43 Bb
5 (Est. + sil.)	20,50 Bc	35,66 Bb	51,85 Ca	49,04 Aa
6 (S.S. + cal.)	23,37 Ac	38,75 Bb	51,60 Ca	41,12 Bb
7 (S.S. + sil.)	21,87 Ac	32,25 Bb	45,52 Ca	41,91 Ba
8 (T.M. + cal.)	18,87 Bc	36,25 Bb	54,16 Ca	53,33 Aa
9 (T.M. + sil.)	19,15 Bc	32,91 Bb	48,12 Ca	51,19 Aa
10 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ S.S. + cal.)	21,23 Ac	46,12 Ab	60,02 Ba	44,97 Bb
11 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ S.S. + sil.)	20,48 Bc	44,48 Ab	58,02 Ba	46,17 Bb
12 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ T.M. + cal.)	20,64 Bc	47,77 Ab	66,08 Aa	53,68 Ab
13 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ T.M. + sil.)	21,54 Ac	47,54 Ab	65,30 Aa	51,52 Ab
14 ( $1/2$ Est. + $1/2$ S.S. + cal.)	21,04 Ad	34,79 Bc	49,73 Ca	42,27 Bb
15 ( $1/2$ Est. + $1/2$ S.S. + sil.)	20,02 Bc	35,10 Bb	48,06 Ca	46,14 Ba
16 ( $1/2$ Est. + $1/2$ T.M. + cal.)	19,75 Bd	40,48 Bc	61,37 Ba	54,25 Ab
17 ( $1/2$ Est. + $1/2$ T.M. + sil.)	20,37 Bc	34,87 Bb	52,29 Ca	51,08 Aa
<b>F</b>	24,793*	27,541*	8,18*	31,597*
<b>c.v. (%)</b>	8,36	10,94	8,18	9,18

Mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas indicam diferença não significativa pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); \* indica diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ); F – valor F calculado na análise de variância (Anava); c.v. – coeficiente de variação; DAE – dias após a emergência; Vi. – vinhaça; Est. – esterco de aves; S.S. – superfosfato simples; T.M. – termofosfato magnesiano (Yoorin); cal. – calcário; sil. – silicato de cálcio e magnésio.

Com relação às combinações de fertilizantes, nota-se que independente da fonte orgânica utilizada ( $\frac{1}{2}$  dose de vinhaça ou  $\frac{1}{2}$  dose de esterco de aves), os melhores resultados para o comprimento foliar (Tabela 18) foram obtidos nos tratamentos onde aplicou-se termofosfato magnésiano associado ao esterco de aves e vinhaça (tratamentos 12, 13, 16 e 17). Este comportamento possivelmente deve estar relacionado à maior disponibilidade de  $Mg^{2+}$  (Tabela 12), assim como de  $K^+$  (Tabela 13), ocorrida na primeira amostragem do solo.

Segundo Bonato et al. (1998), o potássio é um elemento abundante nas células, responsável pela regulação do turgor das mesmas. Isto é essencial no processo de expansão celular, pois para reter a água requisitada para o aumento de volume das células, é necessário ocorrer um gradiente osmótico entre o meio intracelular e o extracelular, sendo este propiciado pelo aumento da concentração de  $K^+$  na célula. Sengik (1983) menciona que o crescimento celular e a divisão mitótica podem ser influenciados pelo enriquecimento químico do meio, portanto a percentagem de  $K^+$  absorvida pela planta funciona como regulador de crescimento e é importante na produção e fixação de compostos fotossintéticos. Da mesma forma, Santos et al. (1981) e Pereira et al. (1992) também observaram aumento da suculência (turgor celular) das plantas em resposta à aplicação de doses crescentes de vinhaça, correlacionando este aumento de suculência como resposta ao aumento de salinidade no solo provocado pela adição de vinhaça com teores elevados de  $K^+$ .

Com relação ao magnésio nas células das folhas, ao menos 25% da proteína total está contida nos cloroplastos. Isto explica o fato da deficiência de magnésio afetar o tamanho, a estrutura e a função dos cloroplastos, incluindo o processo de transferência de elétrons no fotossistema II, uma vez que a translocação de magnésio (quando este nutriente não tiver sido fornecido adequadamente) ocorre através da degradação de proteína, incluindo proteínas estruturais dos tilacóides (BONATO et al., 1998).

As plantas de milho também apresentaram, de maneira geral, um maior comprimento foliar aos 37 DAE (Tabela 18). Estes resultados corroboram com os encontrados por Vieira Junior et al. (2006), que avaliando uma metodologia para estimar a área foliar de 44 genótipos de milho, observaram que os

híbridos e variedades de polinização aberta, apresentaram de maneira geral os maiores comprimento e área foliar compreendidos entre a sexta e sétima folha (estádios V6 e V7). Segundo Magalhães et al. (2002) este comportamento está de acordo com a fenologia do milho, uma vez que a partir do período compreendido entre os estádios V6 e V8 ocorre a elevação do meristema apical acima do nível do solo, ocorrendo o início de um período de rápida alongação do caule, uma vez que a partir dos estádios seguintes inicia-se um redirecionamento nutricional para desenvolvimento das estruturas reprodutivas.

A ação dos dois corretivos de acidez avaliados, foi semelhante em aumentar o comprimento foliar do milho (Tabela 18). Porém, nota-se no tratamento com aplicação de esterco de aves associado ao silicato de cálcio e magnésio (tratamento 5) um maior comprimento foliar ao final das avaliações (52 DAE), quando comparado com a aplicação de calcário (tratamento 4). Este comportamento pode estar relacionado ao maior fornecimento de  $\text{Ca}^{2+}$  proporcionado pelo tratamento com utilização de silicato de cálcio e magnésio (Tabela 11). Ressalta-se, no entanto, que a similaridade dos resultados entre os corretivos de acidez, na maioria dos tratamentos, pode estar relacionada ao período de reação no solo inferior ao preconizado (90 dias) por diversos autores (ALCARDE, 1992; RAIJ et al., 1997; CQFS – RS/SC, 2004).

Os dados contidos na Tabela 19 mostram que o diâmetro do caule se comportou de forma semelhante às variáveis altura de planta (Tabela 17) e Comprimento foliar (Tabela 18), apresentando tendência de melhores respostas aos tratamentos onde houve aplicação de vinhaça (tratamentos 2, 3, 10, 11, 12 e 13) e superfosfato simples (tratamentos 6 e 7). Estes dados indicam que o diâmetro do caule (até os 52 DAE) é significativamente influenciado por fontes nutricionais que disponibilizam rapidamente os nutrientes às plantas, uma vez que os tratamentos com melhores desempenhos se destacam desde o início das avaliações (7 DAE), sugerindo assim que esta variável dependa de uma ampla oferta nutricional, ao menos até o período anterior à fase de rápido alongamento do caule, descrita por Magalhães et al. (2002) como sendo entre os estádios V8 e V9 (estádios estes posteriores ao último período de avaliação efetuado no presente trabalho). O bom desempenho dos tratamentos com aplicação de vinhaça (tratamentos 2, 3, 10, 11, 12 e 13), para a variável resposta diâmetro de caule (Tabela 19)

Tabela 19 - Diâmetro do caule de plantas de milho submetidas à aplicação de diferentes fertilizantes associados a corretivos de acidez do solo em um Latossolo Vermelho distrófico do noroeste paranaense

Tratamentos	Diâmetro do Caule (cm)			
	7 DAE	22 DAE	37 DAE	52 DAE
1 Testemunha	2,30 Dc	2,41 Dc	2,86 Gb	3,43 Ga
2 (Vi. + cal.)	4,50 Bc	11,35 Bb	18,02 Ca	17,38 Ba
3 (Vi. + sil.)	4,83 Ac	12,23 Bb	19,86 Ba	18,61 Ba
4 (Est. + cal.)	3,90 Cc	8,85 Cb	15,78 Da	16,04 Ca
5 (Est. + sil.)	4,01 Cc	8,29 Cb	15,35 Da	15,64 Ca
6 (S.S. + cal.)	5,02 Ad	14,20 Ac	19,55 Ba	18,45 Bb
7 (S.S. + sil.)	4,57 Bc	12,13 Bb	18,25 Ca	17,68 Ba
8 (T.M. + cal.)	3,89 Cc	8,21 Cb	13,34 Ea	13,47 Da
9 (T.M. + sil.)	3,86 Cc	7,17 Cb	11,53 Fa	11,84 Ea
10 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ S.S. + cal.)	4,50 Bd	14,71 Ac	20,78 Aa	19,75 Ab
11 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ S.S. + sil.)	4,67 Bc	14,37 Ab	21,48 Aa	20,34 Aa
12 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ T.M. + cal.)	4,42 Bc	11,89 Bb	18,41 Ca	17,73 Ba
13 ( $1/2$ Vi.+ $1/2$ T.M. + sil.)	4,63 Bc	12,28 Bb	18,42 Ca	17,79 Ba
14 ( $1/2$ Est. + $1/2$ S.S. + cal.)	4,37 Bd	12,40 Bc	18,64 Ca	17,74 Bb
15 ( $1/2$ Est. + $1/2$ S.S. + sil.)	4,06 Cc	10,28 Bb	16,11 Da	16,04 Ca
16 ( $1/2$ Est. + $1/2$ T.M. + cal.)	3,84 Cc	9,07 Cb	15,91 Da	16,17 Ca
17 ( $1/2$ Est. + $1/2$ T.M. + sil.)	3,94 Cc	7,58 Cb	13,90 Ea	14,10 Da
<b>F</b>	29,827*	31,740*	120,300*	155,530*
<b>c.v. (%)</b>	6,88	13,74	6,79	5,31

Mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas indicam diferença não significativa pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); \* indica diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ); F – valor F calculado na análise de variância (Anava); c.v. – coeficiente de variação; DAE – dias após a emergência; Vi. – vinhaça; Est. – esterco de aves; S.S. – superfosfato simples; T.M. – termofosfato magnésiano (Yoorin); cal. – calcário; sil. – silicato de cálcio e magnésio.

pode ter relação com o amplo fornecimento de potássio proporcionado por este fertilizante, proporcionando teores de 0,17 a 0,30 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> (Tabela 13), sendo estes valores superiores ao nível crítico (0,11 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) preconizado pela CQFS - RS/SC (2004). Stromberger et al. (1994) e Andreotti et al. (2001) também verificaram aumento do diâmetro do colmo de plantas de milho em resposta à elevação do teor de K<sup>+</sup> no solo. Este aumento do diâmetro do caule provavelmente não ocorre porque o potássio faz parte de algum componente estrutural da planta, mas sim, por uma possível ativação enzimática no processo de transporte de N, com conseqüente crescimento e desenvolvimento celular, o que confere aumento de tecidos na planta (STROMBERGER et al., 1994).

Estudos com cana-de-açúcar realizados por Orlando Filho (1977), mostram que suprimentos insuficientes de K<sup>+</sup> podem resultar no desenvolvimento de plantas com colmo fino e com internódios mais curtos. Isto ocorre devido a uma redução no processo fotossintético, com menor translocação de fotoassimilados (GLÓRIA, 1985), uma vez que o potássio atua como ativador enzimático de diversos processos relacionados à fotossíntese como ativação da carboxilase RuBP, assim como aumenta a difusividade de CO<sub>2</sub> nas células do mesófilo (PRADO, 2008).

Com relação aos tratamentos com aplicação de superfosfato simples (tratamentos 6, 7, 10 e 11) o bom desempenho das plantas para o diâmetro de caule (Tabela 19), possivelmente deve estar ligado à alta disponibilização de P ao solo (Tabela 16), propiciada pela elevada solubilidade do fertilizante. Segundo Coelho (2006) o milho apresenta dois picos de absorção de P, um durante o desenvolvimento vegetativo e outro após o início da formação da espiga. Portanto, fontes de elevada solubilidade propiciam melhor disponibilização de P à cultura do milho principalmente durante o pico inicial de absorção, uma vez que plantas de intenso desenvolvimento e com ciclo curto, como o milho, requerem maior nível de fósforo em solução e reposição mais rápida do P-adsorvido que as plantas de culturas perenes (COELHO, 2006).

Harger et al. (2007) verificaram que os maiores teores de P, tanto no limbo foliar quanto na parte aérea total das plantas de milho, ocorreram quando estes aplicaram fonte fosfatada de alta solubilidade (superfosfato triplo), propiciando uma melhor nutrição das plantas já aos 26 DAE. Isto ocorre devido

à minimização do efeito de competição solo/planta por P, já que o fosfato solúvel proporciona uma velocidade maior de liberação do nutriente do que os fosfatos de menor solubilidade, uma vez que a fixação de fósforo se dá preferencialmente aos colóides do solo (NOVAIS & SMYTH, 1999).

Em trabalho semelhante, Castoldi et al.(2011a), observaram que a fertilização mineral, orgânica e organomineral não influenciaram a altura e diâmetro do colmo de plantas de milho cultivadas em um Latossolo Vermelho eutroférico. Estes resultados se assemelham aos encontrados no presente estudo para os tratamentos com maiores diâmetros de caule do milho (tratamentos 2, 3, 6, 7, 10, 11, 12 e 13 - Tabela 19), uma vez que os referidos autores utilizaram como fonte orgânica na composição dos fertilizantes o efluente de biodigestor (resíduo líquido) combinado com fosfato mineral de alta solubilidade.

Nos tratamentos com aplicação de esterco avícola (tratamentos 4, 5, 14, 15, 16 e 17) o diâmetro do caule foi menor que nos tratamentos onde aplicou-se fertilizantes de maior solubilidade (tratamentos 2, 3, 6, 7, 10 e 11 - Tabela 19). Provavelmente, o rendimento das culturas pode ser maior em cultivos sequentes, uma vez que os adubos orgânicos, dadas suas características de disponibilidade de nutrientes e outras relações enzimáticas, proporcionam melhorias nas propriedades do solo de forma gradual (REDDY et al., 2000; GHOSH et al., 2004), necessitando assim de um maior tempo de incubação, principalmente o esterco de aves, para proporcionar condições satisfatórias de desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 2011).

Após trabalharem com aplicação de adubação orgânica, mineral e organomineral (utilizando esterco de poedeiras como fonte orgânica na composição dos tratamentos), Castoldi et al. (2011b) obtiveram resultados diferentes dos encontrados no presente estudo, uma vez que os autores não verificaram diferenças significativas no diâmetro de caule de plantas de milho (safrinha). No entanto, ressalta-se que a área utilizada pelos referidos autores para experimentação já havia recebendo 5 aplicações de adubação orgânica, mineral e organomineral (com diferentes fontes orgânicas) durante um período anterior de 3 anos.

Para os tratamentos com aplicação de termofosfato magnesiano (tratamentos 8, 9, 16 e 17), observa-se um menor diâmetro de caule em

relação aos demais fertilizantes empregados (Tabela 19). Este desempenho inferior do termofosfato magnésiano ocorreu mesmo com disponibilização semelhante de P em relação ao superfosfato simples (Tabela 16), indicando que pode ter ocorrido uma superestimação do P disponível nos tratamentos com aplicação de termofosfato, uma vez que o extrator utilizado (Mehlich-1) é composto por duplo ácido (0,05M de HCl + 0,0125M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), que pode ter acelerado a solubilização do termofosfato (muito pouco solúvel em água).

A Tabela 19 também mostra que dentre os tratamentos com aplicação de ½ dose de esterco de aves (tratamentos 14, 15, 16 e 17), os tratamentos que receberam aplicação de calcário dolomítico (tratamentos 14 e 16) foram superiores aos tratamentos onde aplicou-se silicato de cálcio e magnésio (tratamentos 15 e 17), comportamento este que pode ter relação com o fornecimento de Mg<sup>2+</sup>, que foi maior onde aplicou-se o calcário dolomítico (Tabela 12).

O magnésio apresenta importante papel como ativador enzimático da ribulose difosfato carboxilase (RuDPase), aumentando sua afinidade por CO<sub>2</sub>. Portanto, uma elevação no teor de Mg<sup>2+</sup> no estroma ocasiona uma maior fixação de CO<sub>2</sub> e aceleração da taxa fotossintética, tendo como consequência aumento do desempenho vegetal (PRADO, 2008). Ressalta-se que as diferenças no desenvolvimento das plantas de milho em resposta ao fornecimento de Mg<sup>2+</sup> poderiam ser maiores em estádios fenológicos mais avançados, uma vez que Flanery (1987) demonstrou que a máxima taxa de absorção de Mg<sup>2+</sup> pelo milho ocorre entre os 59 e 72 DAE, período este posterior ao da última avaliação realizada no presente estudo (52 DAE - Tabela 19).

Portanto, observou-se que a cultura do milho tendeu a apresentar melhores resultados vegetativos em resposta à aplicação de vinhaça como fonte de nutrientes, quando da aplicação deste resíduo em um Latossolo Vermelho distrófico típico do noroeste paranaense.

#### 4.2.2 Cultura do trigo

A aplicação das combinações de fertilizantes e corretivos de acidez do solo (quando comparados ao tratamento testemunha) aumentou o crescimento e altura das plantas de trigo (Tabela 20), não ocorrendo diferenças significativas no desempenho dos fertilizantes empregados. Isto evidencia a capacidade satisfatória de nutrição das plantas apresentada pelos fertilizantes e corretivos empregados neste estudo. Apesar desta resposta positiva geral, observa-se que os tratamentos com aplicação de termofosfato magnésiano (tratamentos 8 e 9 - Tabela 20) apresentaram desempenho inferior aos demais tratamentos (exceto à testemunha), no início do ciclo (até os 20 DAE). Este comportamento pode estar ligado à liberação mais lenta de P ocasionada por esta forma de fosfato (KAMINSKI et al., 1997; BRAGA, 2006), indicando uma provável menor disponibilidade do nutriente às plantas durante sua fase inicial. Na Tabela 20 verifica-se também que entre os 40 e 60 DAE as plantas de trigo dos tratamentos, em geral, apresentaram um expressivo crescimento, em relação aos períodos anteriores. Isto ocorreu provavelmente porque neste período ocorre uma etapa de alongamento do caule das plantas, uma vez que, as todas as folhas já foram emitidas (FORNASIERI FILHO, 2008). Já aos 80 DAE, observa-se uma estabilização no crescimento da cultura, visto que nesta etapa já ocorreu o florescimento e as plantas apresentam sua altura máxima, inclusive não ocorrendo diferenças significativas entre os tratamentos (exceto a testemunha). Isto pode indicar um possível menor acúmulo de matéria seca nos tratamentos que iniciaram o desenvolvimento com medidas inferiores aos demais.

Comparando o efeito da aplicação de diferentes doses de vinhaça (0, 3500 e 7000kg ha<sup>-1</sup>) ao efeito da adubação mineral na cultura do trigo cultivado em dois diferentes solos (teor de argila = 44 e 28g kg<sup>-1</sup>, respectivamente), Gemtos et al. (1999) também não observaram diferenças significativas na altura de plantas decorrente da ação dos fertilizantes e doses empregados.

Tabela 20 - Altura de plantas de trigo submetidas à aplicação de diferentes fertilizantes associados à corretivos de acidez do solo em um Latossolo Vermelho distrófico típico do noroeste paranaense

Tratamentos	Altura de Planta (cm)				
	20 DAE	40 DAE	60 DAE	80 DAE	100 DAE
1 Testemunha	1,93 Dc	3,60 Cc	11,25 Cb	19,74 Ba	21,66 Ba
2 (Vi. + cal.)	8,11 Aa	15,20 Ab	51,71 Ac	57,87 Ad	58,70 Ad
3 (Vi. + sil.)	7,33 Bd	13,46 Bc	48,29 Bb	56,75 Aa	57,37 Aa
4 (Est. + cal.)	7,60 Bd	13,92 Bc	47,21 Bb	53,50 Aa	54,45 Aa
5 (Est. + sil.)	7,18 Bd	15,16 Ac	48,87 Bb	55,33 Aa	54,91 Aa
6 (S.S. + cal.)	6,14 Bd	13,37 Bc	48,04 Bb	56,96 Aa	56,91 Aa
7 (S.S. + sil.)	6,61 Bd	15,00 Ac	48,95 Bb	57,58 Aa	58,00 Aa
8 (T.M. + cal.)	5,08 Cd	11,75 Bc	45,00 Bb	54,62 Aa	55,37 Aa
9 (T.M. + sil.)	5,09 Cd	11,71 Bc	46,42 Bb	56,16 Aa	56,99 Aa
10 ( $\frac{1}{2}$ Vi.+ $\frac{1}{2}$ S.S.+ cal.)	8,64 Ad	16,87 Ac	57,75 Ab	59,33 Aa	60,62 Aa
11 ( $\frac{1}{2}$ Vi.+ $\frac{1}{2}$ S.S. + sil.)	7,50 Bd	15,24 Ac	52,58 Ab	57,91 Aa	58,79 Aa
12 ( $\frac{1}{2}$ Vi.+ $\frac{1}{2}$ T.M.+ al.)	5,72 Cc	11,29 Bc	44,08 Bb	50,29 Aa	54,87 Aa
13 ( $\frac{1}{2}$ Vi.+ $\frac{1}{2}$ T.M.+ sil.)	6,53 Bc	14,12 Bb	50,70 Aa	50,54 Aa	56,66 Aa
14 ( $\frac{1}{2}$ Est.+ $\frac{1}{2}$ S.S.+cal.)	8,58 Ac	18,08 Ab	53,08 Aa	56,08 Aa	57,04 Aa
15 ( $\frac{1}{2}$ Est.+ $\frac{1}{2}$ S.S.+ sil.)	8,60 Ac	17,08 Ab	55,50 Aa	56,16 Aa	56,49 Aa
16 ( $\frac{1}{2}$ Est.+ $\frac{1}{2}$ T.M.+cal.)	7,29 Bd	16,41 Ac	51,71 Ab	55,70 Aa	57,04 Aa
17 ( $\frac{1}{2}$ Est.+ $\frac{1}{2}$ T.M.+ sil.)	6,24 Bc	12,33 Bc	46,87 Bb	54,87 Aa	56,49 Aa
<b>F</b>	9,023*	6,589*	14,109*	13,727*	33,549*
<b>c.v. (%)</b>	16,57	18,63	11,24	9,10	5,49

Mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas indicam diferença não significativa pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); \* indica diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ); F – valor F calculado na análise de variância (Anava); c.v. – coeficiente de variação; DAE – dias após a emergência; Vi. – vinhaça; Est. – esterco de aves; S.S. – superfosfato simples; T.M. – termofosfato magnesiano (Yoorin); cal. – calcário; sil. – silicato de cálcio e magnésio.

Ainda com relação à Tabela 20, observa-se que os corretivos de acidez do solo (calcário e silicato de cálcio e magnésio) apresentaram comportamento similar no crescimento das plantas de trigo, indicando desta forma que o silicato pode ser empregado em substituição ao calcário, sem prejuízo no crescimento da cultura do trigo, quando cultivada em Latossolo arenoso.

De maneira geral verifica-se, na Tabela 21, que a aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais proporcionou incrementos significativos, quanto ao comprimento foliar, no período inicial de avaliação (20 DAE). Apesar destes resultados, ocorreu menor crescimento das plantas de trigo (na fase inicial da cultura – 20 DAE) nos tratamentos com combinação de fertilizante orgânico (vinhaça ou esterco) ao superfosfato simples (tratamentos 10, 11, 14 e 15). Isto demonstra, que o desempenho vegetal pode ser favorecido por uma rápida disponibilização de formas minerais de fósforo, juntamente com o fornecimento de formas orgânicas do nutriente, pois estas últimas permanecem mais tempo à disposição das plantas (KIEHL, 1993; RAIJ et al. 1997; BISSANI et al., 2008).

Os dados da Tabela 21 também mostram que o maior comprimento foliar de trigo ocorreu entre os 20 e 40 DAE, indicando desta forma que a partir deste estágio as plantas já se preparavam para o início da fase de alongamento (período seguinte ao término da emissão das folhas). O término da emissão das folhas, justifica a ausência de diferença significativa no comprimento foliar ocorrido entre os 60 e 100 DAE, corroborando desta forma com os dados de altura das plantas (Tabela 20) que indicaram um alongamento das plantas entre os 40 e 60 DAE (FORNASIERI FILHO, 2008).

A aplicação de corretivos e fertilizantes orgânicos e minerais foi similar em aumentar o diâmetro do caule do perfilho principal (DCPP) e a massa de 100 sementes. Trabalhando com diferentes doses de esterco de frango (2,8; 4,2; 5,6 e 11,2Mg ha<sup>-1</sup>) comparadas à adubação mineral (80kg ha<sup>-1</sup> de N), Figueroa (2008) também não encontrou diferença significativa no peso de mil grãos em decorrência da aplicação dos fertilizantes.

A produção de matéria vegetal é uma forma de avaliar a disponibilidade de fósforo às plantas, uma vez que este é o nutriente mais limitante da produtividade de biomassa em solos tropicais (NOVAIS & SMYTH, 1999).

Tabela 21 - Comprimento foliar de plantas de trigo submetidas à aplicação de diferentes fertilizantes associados à corretivos de acidez do solo em um Latossolo Vermelho distrófico típico do noroeste paranaense

Tratamentos	Comprimento foliar (cm)				
	20 DAE	40 DAE	60 DAE	80 DAE	100 DAE
1 Testemunha	9,16 Da	7,75 Cb	5,45 Bc	5,83 Bc	5,15 Bc
2 (Vi. + cal.)	19,46 Ba	20,33 Aa	11,91 Ab	12,21 Ab	12,18 Ab
3 (Vi. + sil.)	18,25 Ca	19,58 Aa	12,74 Ab	13,83 Ab	13,79 Ab
4 (Est. + cal.)	17,91 Ca	17,54 Ba	12,75 Ab	12,79 Ab	12,74 Ab
5 (Est. + sil.)	19,04 Ba	19,37 Aa	13,54 Ab	14,37 Ab	14,33 Ab
6 (S.S. + cal.)	17,54 Ca	18,25 Ba	12,37 Ab	12,50 Ab	12,48 Ab
7 (S.S. + sil.)	18,12 Ca	19,50 Aa	12,33 Ab	14,20 Ab	14,16 Ab
8 (T.M. + cal.)	16,58 Ca	17,20 Ba	12,37 Ab	12,70 Ab	12,65 Ab
9 (T.M. + sil.)	16,08 Ca	16,37 Ba	11,46 Ab	12,54 Ab	12,49 Ab
10 ( $\frac{1}{2}$ Vi.+ $\frac{1}{2}$ S.S.+ cal.)	20,75 Aa	19,58 Aa	11,20 Ab	10,37 Ab	10,33 Ab
11 ( $\frac{1}{2}$ Vi.+ $\frac{1}{2}$ S.S.+ sil.)	19,95 Ba	19,41 Aa	10,95 Ab	12,24 Ab	12,22 Ab
12 ( $\frac{1}{2}$ Vi.+ $\frac{1}{2}$ T.M.+ cal.)	17,37 Ca	17,87 Ba	12,12 Ab	13,20 Ab	13,17 Ab
13 ( $\frac{1}{2}$ Vi.+ $\frac{1}{2}$ T.M.+ sil.)	17,25 Cb	18,66 Aa	11,37 Ac	11,21 Ac	11,19 Ac
14 ( $\frac{1}{2}$ Est.+ $\frac{1}{2}$ S.S.+ cal.)	21,20 Aa	20,50 Aa	12,37 Ab	12,41 Ab	12,38 Ab
15 ( $\frac{1}{2}$ Est.+ $\frac{1}{2}$ S.S.+ sil.)	21,29 Aa	19,46 Ab	11,41 Ac	12,50 Ac	12,46 Ac
16 ( $\frac{1}{2}$ Est.+ $\frac{1}{2}$ T.M.+ cal.)	18,91 Ba	19,00 Aa	11,91 Ab	12,62 Ab	12,59 Ab
17 ( $\frac{1}{2}$ Est.+ $\frac{1}{2}$ T.M.+ sil.)	17,37 Ca	17,33 Ba	13,46 Ac	14,91 Ab	14,87 Ab
<b>F</b>	16,047*	14,814*	8,086*	5,807*	6,586*
<b>c.v. (%)</b>	7,65	8,35	10,65	13,53	13,64

Mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas indicam diferença não significativa pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); \* indica diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ); F – valor F calculado na análise de variância (Anava); c.v. – coeficiente de variação; DAE – dias após a emergência; Vi. – vinhaça; Est. – esterco de aves; S.S. – superfosfato simples; T.M. – termofosfato magnésiano (Yoorin); cal. – calcário; sil. – silicato de cálcio e magnésio.

Wiethölter (2004) ressalta que dentre as culturas anuais mais comuns no Brasil (soja, milho e trigo), o trigo é a mais dependente de P. Em trabalho realizado por Abichequer et al. (2003) para verificar as respostas do trigo à diferentes concentrações de P em solução nutritiva, observa-se que a elevação no teor de P em solução promove uma elevação da absorção de fósforo pelas plantas, com aumento da translocação do nutriente para a parte aérea, que por sua vez proporciona aumento na produtividade de matéria seca. Segundo Bonato et al. (1998) as plantas podem armazenar o fósforo na forma de fitato nas sementes, representando de 60 a 70% do P total absorvido.

Para as variáveis resposta matéria seca total da parte aérea e matéria seca de palhada (Tabela 22), observa-se que, com exceção dos tratamentos com aplicação de termofosfato magnésiano (tratamentos 8, 9, 12 e 13), todos os tratamentos apresentaram desempenhos semelhantes, não se diferenciando estatisticamente ( $p < 0,05$ ). Os resultados inferiores obtidos nos tratamentos com aplicação de termofosfato magnésiano sugerem uma possível menor disponibilidade de P, uma vez que Brasil et al. (2007) verificaram que plantas de milho que crescem em condições de baixo fornecimento de P em solução, tendem a apresentar menores teores de N na parte aérea. Teores de nitrogênio nas plantas abaixo do ótimo proporcionam redução do crescimento (RAIJ, 1991; BONATO et al., 1998), uma vez que este nutriente é componente fundamental de proteínas (enzimas), além de ter importante função como ligante de íons metálicos em compostos indispensáveis como a clorofila (BONATO et al., 1998).

De maneira geral, verifica-se que a aplicação de fertilizantes e corretivos de acidez do solo proporcionaram uma boa produção de palha pela cultura do trigo (Tabela 22), exceto nos tratamentos com termofosfato magnésiano (tratamentos 8, 9, 12 e 13), encontrando-se acima do preconizado por Alvarenga et al. (2001) como satisfatório para o sistema de plantio direto ( $6,0 \text{Mg ha}^{-1}$ ), mantendo uma produção na faixa de  $5,83$  a  $7,23 \text{Mg ha}^{-1}$  (média de  $6,42 \text{Mg ha}^{-1}$ ).

Segundo Lopes et al. (1987), com uma quantidade de restos culturais de trigo ou milho equivalentes à  $6000 \text{kg ha}^{-1}$  é possível se obter uma cobertura do solo de cerca de 85%. Silva et al. (2005) avaliando a influência de diferentes

Tabela 22 - Desempenho de plantas de trigo submetidas à aplicação de diferentes fertilizantes associados à corretivos de acidez do solo em um Latossolo Vermelho distrófico do noroeste paranaense

Tratamentos	DCPP (mm)	CEPP (cm)	MCS (g)	MSTPA (t ha <sup>-1</sup> )	RC (t ha <sup>-1</sup> )	Prod. (kg ha <sup>-1</sup> )
1 Testemunha	0,76 B	2,29 C	1,20 B	0,47 C	0,43 C	51,2 E
2 (Vi. + cal.)	2,75 A	7,27 A	3,06 A	10,85 A	6,13 A	5009,3 A
3 (Vi. + sil.)	2,64 A	7,00 B	2,93 A	10,67 A	6,23 A	4704,9 B
4 (Est. + cal.)	2,60 A	7,27 A	3,12 A	11,67 A	6,58 A	4698,9 B
5 (Est. + sil.)	2,78 A	7,43 A	3,06 A	11,71 A	6,88 A	4624,5 B
6 (S.S. + cal.)	2,62 A	6,68 B	3,02 A	10,51 A	5,83 A	4543,4 B
7 (S.S. + sil.)	2,65 A	6,97 B	3,10 A	10,64 A	6,08 A	4346,1 B
8 (T.M. + cal.)	2,52 A	6,72 B	3,04 A	8,68 B	5,05 B	3254,8 D
9 (T.M. + sil.)	2,50 A	6,59 B	2,94 A	8,97 B	5,26 B	3504,6 D
10 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + cal.)	2,87 A	7,18 A	3,03 A	11,23 A	6,43 A	4334,4 B
11 (1/2Vi.+ 1/2S.S. + sil.)	2,84 A	7,04 A	3,16 A	10,33 A	5,96 A	4010,0 C
12 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + cal.)	2,60 A	6,77 B	3,02 A	8,65 B	5,05 B	3048,7 D
13 (1/2Vi.+ 1/2T.M. + sil.)	2,68 A	6,80 B	2,97 A	8,82 B	5,07 B	3305,6 D
14 (1/2Est.+ 1/2S.S.+ cal.)	2,70 A	7,20 A	3,10 A	11,87 A	6,61 A	4778,2 B
15 (1/2Est.+ 1/2S.S.+ sil.)	2,77 A	7,38 A	3,10 A	12,38 A	7,23 A	5544,5 A
16 (1/2Est.+ 1/2T.M.+ cal.)	2,71 A	7,17 A	3,16 A	11,46 A	6,46 A	5298,7 A
17 (1/2Est.+ 1/2T.M.+ sil.)	2,71 A	6,93 B	3,06 A	11,41 A	6,65 A	5047,8 A
<b>F</b>	34,22*	57,75*	22,32*	9,78*	9,24*	17,88*
<b>c.v. (%)</b>	6,33	4,58	6,51	17,42	17,40	13,27

Mesmas letras maiúsculas nas colunas indicam diferença não significativa pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); \* indica diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ); DCPP – diâmetro do caule do perfilho principal; CEPP – comprimento da espiga do perfilho principal; MCS - massa de 100 sementes; MSTPA – matéria seca total da parte aérea; RC – resíduo cultural; Prod. – produtividade; F – valor F calculado na análise de variância (Anava); c.v. – coeficiente de variação; Vi. – vinhaça; Est. – esterco de aves; S.S. – superfosfato simples; T.M. – termofosfato magnésiano (Yoorin); cal. – calcário; sil. – silicato de cálcio e magnésio.

proporções de cobertura de restos culturais nas perdas de solo, verificaram que a elevação da cobertura de solo de 0% para 80% reduziu em cerca de 84% as perdas de solo, quando da aplicação de 6 eventos de precipitação com intensidade de  $100\text{mm h}^{-1}$ . Desta forma, conclui-se que a produtividade de palha produzida no presente estudo, nos tratamentos com diferentes fertilizantes, apresenta potencial à promover boa proteção ao solo e reduzir possíveis perdas de solo.

A produção e manutenção de restos culturais (palha) no solo não evita apenas perdas de solo, mas também promove redução das perdas de água por escoamento superficial e/ou evaporação. Freitas et al. (2004) verificaram que uma cobertura do solo, com palhada de trigo, equivalente à  $7000\text{kg ha}^{-1}$  foi capaz de reduzir consideravelmente a evaporação de dois solos (argila =  $50\text{g kg}^{-1}$  e  $760\text{g kg}^{-1}$ ), proporcionando apenas 20% da evaporação ocorrida no solo nu. Esta manutenção da umidade do solo, ocasionada pela manutenção da palhada no solo, pode auxiliar na economia de água e energia através de irrigações menos frequentes ou com intensidades menores (FREITAS et al., 2004). Desta forma, a produção de palhada ocorrida no presente estudo ( $5,05$  a  $7,23\text{Mg ha}^{-1}$ ) pode trazer efeitos benéficos aos solos arenosos do noroeste paranaense, através da manutenção da umidade do solo, uma vez que, estes solos apresentam baixa capacidade de armazenamento de água, devido à textura grosseira.

Com relação à produtividade de grãos (Tabela 22), observa-se uma tendência de melhor desempenho da cultura de trigo quando do emprego de combinações de esterco de aves com fertilizantes minerais (superfosfato simples ou termofosfato magnesiano; tratamentos 14, 15, 16 e 17), isto demonstra a necessidade de incremento de um componente orgânico, com teores nutricionais adequados, ao solo arenoso em questão, tendo este tipo de fertilizante uma melhora em seu desempenho quando associado à fontes de P inorgânico.

Em experimento realizado por Figueroa (2008) com diferentes doses de esterco de aves, a fim de verificar a eficiência de disponibilização de N para a cultura do trigo, o autor não encontrou diferença significativa entre o desempenho do esterco e da adubação mineral na produtividade de grãos. O

mesmo autor concluiu que o esterco apresentou uma eficiência na disponibilidade de N superior à preconizada pela CQFS – RS/SC, 2004. Portanto, uma possível maior eficiência na disponibilidade de nutrientes, pode explicar a não significância ( $p > 0,05$ ) encontrada no rendimento de grãos entre os tratamentos com aplicação de esterco de aves e superfosfato simples (Tabela 22).

Os resultados de produção vegetal sugerem que o teor de P disponível no solo pode ter sido superestimado nos tratamentos com aplicação de termofosfato magnésiano, uma vez que o extrator utilizado (Mehlich-1) é composto por duplo ácido (0,05M de HCl + 0,0125M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), que pode ter acelerado a solubilização do termofosfato (muito pouco solúvel em água). Segundo Raji et al. (1991) e Nakayama et al. (1998) a resina trocadora de íons expressa de modo mais adequado os teores de P no solo (em comparação ao Mehlich-1) quando uma fonte fosfatada insolúvel em água é aplicada. Beltrán et al. (1998) trabalhando com a cultura do arroz, concluíram que o extrator Mehlich-1 foi o que mais extraiu P do solo, quando aplicado o equivalente a 200mg dm<sup>-3</sup> de P através de diferentes fontes fosfatadas, porém o extrator que melhor correlacionou disponibilidade de P e produção de matéria seca foi o Olsen. Estes mesmos autores observaram que para as fontes superfosfato simples e termofosfato magnésiano a solução Mehlich-1 extraiu 114 e 122mg dm<sup>-3</sup> de P, respectivamente, já o extrator Olsen extraiu 52 e 34mg dm<sup>-3</sup> de P, respectivamente para as mesmas fontes (quando da aplicação de uma dose de 200mg de P por dm<sup>-3</sup> de solo).

Resultados semelhantes foram encontrados por Braga (2006), que trabalhando com a cultura do milho em solo com 22% de argila, observou que o termofosfato magnésiano proporcionou menor produção de matéria seca de parte aérea do que os fertilizantes minerais de maior solubilidade em água.

Avaliando o efeito de diferentes doses de termofosfato na cultura do trigo, Richart et al. (2009) obtiveram respostas positivas na produção de grãos até a dose de 78,5kg ha<sup>-1</sup> de P (2124kg ha<sup>-1</sup> de grãos). Os mesmos autores também citam que a aplicação conjunta do termofosfato com fosfatos solúveis, seria uma estratégia adequada para maximizar o fornecimento de P para as plantas de trigo, uma vez que a fonte de maior solubilidade supriria as

necessidades iniciais de P e o termofosfato restituiria ao solo o P absorvido pela planta.

Provavelmente, a baixa produção de matéria vegetal verificada no presente estudo com a utilização do termofosfato (tratamentos 8, 9, 12 e 13 - MSTPA e Palha da Tabela 22) esteja relacionada à baixa liberação de P, a curto prazo, por essa fonte (BRAGA, 2006), uma vez que, segundo Haynes (1992) e Coelho (2006), plantas com desenvolvimento rápido (ciclo curto) e com alta taxa de acúmulo de P necessitam de elevadas concentrações deste nutriente na solução do solo, com rápida reposição do P-adsorvido, sendo possível que, de acordo com Haynes (1992), os fosfatos de solubilidade em água mais baixa não mantenham o teor de P adequado na solução do solo por tempo suficiente à absorção pelas plantas.

Outro motivo pode estar relacionado à característica responsiva deste cultivar, na qual grandes quantidades de P disponíveis podem ser necessárias para que o material genético expresse seu potencial produtivo, pois segundo Bonato et al. (1998) o processo de absorção iônica está sob o controle genético e mesmo entre cultivares pode se encontrar diferenças na capacidade e na velocidade de absorção iônica, em decorrência de vários fatores como: diferenças nos valores dos parâmetros cinéticos ( $V_{max}$ ,  $K_m$  e  $C_{min}$ ), na capacidade de solubilizar elementos na rizosfera, na produção de secreções radiculares, na capacidade de estabelecer simbiose e associações.

Para Benedito (2007) fontes alternativas de fósforo como os termofosfatos e os fosfatos naturais reativos podem vir a ser mais eficientes agronomicamente que as fontes de P com alta solubilidade em água (por exemplo os superfosfatos), quando estas forem aplicadas ao solo sob condições de elevada acidez e alta capacidade de fixação de P, na presença de culturas de ciclo longo, situação esta onde o fósforo seria liberado gradualmente durante o período produtivo.

No entanto ressalta-se que a produtividade obtida com aplicação do termofosfato magnésiano (3254,8 a 3504,6kg ha<sup>-1</sup> de grãos) está próxima da produtividade considerada adequada para trigos de primavera girando em torno de 3,6Mg ha<sup>-1</sup> (FORNASIERI FILHO, 2008).

Com relação aos tratamentos com aplicação de vinhaça (tratamentos 2 e 3), observa-se que mesmo com teores baixos de P no solo (3,91 e 4,41mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente), obteve-se satisfatório rendimento de grãos (4704,9 a 5009,3kg ha<sup>-1</sup> de grãos), equivalente à áreas irrigadas do Centro-Oeste brasileiro (próximo a 5000kg ha<sup>-1</sup>) (FORNA-SIERI FILHO, 2008). Para Resende et al. (2006) este comportamento pode ser atribuído à uma possível participação de formas orgânicas de P no suprimento nutricional das plantas.

De maneira geral nota-se que, provavelmente, o nível crítico de P para o Latossolo Vermelho (argila = 150g kg<sup>-1</sup>) utilizado no presente estudo, se adequa mais ao preconizado por Sousa et al. (2002) para os solos de cerrado com teor de argila entre 150 a 350g kg<sup>-1</sup> (P = 15mg kg<sup>-1</sup>) do que o nível crítico preconizado pela CQFS - RS/SC, (2004) para os solos com teor de argila abaixo de 200g kg<sup>-1</sup> (P = 21mg kg<sup>-1</sup>), visto a adequada produtividade apresentada pelo trigo nos tratamentos estudados, variando de 3048,7 a 5544,5kg ha<sup>-1</sup> de grãos, produtividades estas superiores à média nacional e da região sul (2670kg ha<sup>-1</sup> de grãos), compatíveis com a média produtiva dos Estados de Minas Gerais e Goiás (4433kg ha<sup>-1</sup> de grãos), que apresentam parte das áreas irrigadas (CONAB, 2012).

Ao desconsiderar-se o teor de argila do solo, observa-se que somente os tratamentos 2, 3 e 10 (Tabela 21) não atingiram o nível crítico de P no solo de 9mg kg<sup>-1</sup> para a cultura do trigo (IAPAR, 2003), indicando desta forma que os resultados deste estudo corroboram com os recomendados pelos autores referenciados anteriormente. Porém, a complexa dinâmica do fósforo nos solos tropicais altamente intemperizados (NOVAIS & SMYTH, 1999) carecem de maiores estudos quanto a teor de P mais adequado para as culturas anuais no noroeste paranaense, uma vez que os resultados obtidos para fertilização fosfatada no Paraná foram baseados, em sua maioria, em experimentos com trigo cultivado em solos argilosos (WIETHÖLTER, 2004).

Diante do exposto, verifica-se que a cultura do trigo apresentou boas respostas à adubação orgânica, quando cultivada em Latossolo Vermelho distrófico do noroeste do Estado do Paraná. Esta resposta à fertilização orgânica foi mais eficiente, principalmente, quando associou-se esterco de aves ao termofosfato magnésiano, proporcionando às maiores produtividades da cultura (5047,8 a 5544,5kg ha<sup>-1</sup> de grãos).

## 5 CONCLUSÕES

O silicato de cálcio e magnésio foi mais eficiente que o calcário dolomítico em elevar os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e corrigir a acidez do solo na 1ª amostragem e os dois corretivos foram igualmente eficientes na 2ª época de amostragem.

A aplicação única e associada, com outros adubos fosfatados, de vinhaça corrigiu a acidez do solo nas camadas de 0 - 10 e 10 - 20cm, e aumentou os teores de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  nestas camadas, gerando melhor desenvolvimento do milho.

O termofosfato magnésiano aumentou o teores de P,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , mas gerou baixa capacidade de crescimento de milho e trigo.

A aplicação de esterco de aves, superfosfato simples e termofosfato magnésiano aumentaram os teores de P disponível na camada de 0 - 10cm.

O esterco de aves gerou menor desenvolvimento de milho e elevou o desempenho de trigo quando aplicado em associação com superfosfato simples e termofosfato magnésiano.

As combinações de esterco com superfosfato simples e com termofosfato magnésiano foram os mais eficientes em aumentar o desenvolvimento e produtividade do trigo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABICHEQUER, A. D.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I. Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.373-378, 2003.

ALBERS, M. Tratamento da Vinhaça: Concentração e Outros. Dedini S/A Ind. de Base, 2007. In: **Workshop Tecnológico sobre Vinhaça**. Projeto Programa de Pesquisa em Políticas Públicas. Jaboticabal, 2007. Disponível em: <[http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/Position\\_paper\\_sessao4\\_monica\\_VS.pdf](http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/Position_paper_sessao4_monica_VS.pdf)>. Acesso em 10 de outubro de 2010.

ALCARDE, J. C. **Corretivos de acidez dos solos: características e interpretações técnicas.**, São Paulo: ANDA - Associação Nacional Para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. 1992. (Boletim Técnico, 6).

ALCARDE, J. A.; RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURTI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVARES, V. H., (ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, Sociedade brasileira de Ciência do Solo, p.291-334, 2003.

ALMEIDA, J.R. O problema da vinhaça. **Brasil Açucareiro**, v.46, p.72-77, 1955.

ALMEIDA, J. R.; RANZINI, G.; VALSECHI, O. **La vinasse dans l'agriculture**. Piracicaba: Instituto Zimotécnico, 1950. 20p.

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**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.25-36, 2001.

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.

ANDREOTTI, M.; RODRIGUES, J. D.; CRUSCIOL, C. A. C.; SOUZA, E. C. A. de.; BÜLL, L. T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agrícola**, v.58, n.1, p.145-150, jan./mar. 2001.

ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J., ed. **Uso de corretivos da acidez do solo no**

**plantio direto.** Pelotas, Núcleo Regional Sul, p.41-59, 2000. (Boletim Técnico, 4).

ARAÚJO, I. B.; RESENDE, Á. V. de.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; SANTOS, J. Z. L. Eficiência nutricional do milho em resposta a fontes e modos de aplicação de fósforo. **Revista Ceres**, v.50, n.287, p.27-39, 2003.

BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, E. F.; RALISCH, R. Desenvolvimento do milho (*Zea mays* L.) submetido a três sistemas de manejo em um Latossolo Roxo eutrófico. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., Goiânia, 1994. **Resumos...** Goiânia : ABMS, 1994. 221p.

BALDEÓN, J. R. M. **Efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnésiano em solos ácidos.** 1995. 88f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1995.

BARRETO, M.C.V. **Degradação da fração orgânica de diferentes resíduos e efeitos em algumas propriedades químicas e físicas de dois solos.** 1995. 106f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz De Queiroz”. Piracicaba, 1995.

BARROS, R. P. de.; VIÉGAS, P. R. A.; SILVA, T. L. da.; SOUZA, R. M. de.; BARBOSA, L.; VIÉGAS, R. A.; BARRETTO, M. C. V.; MELO, A. S. de. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.40, n.3, p.341-346, jul./set. 2010.

BEBÉ, F. V. **Avaliação de solos sob diferentes períodos de fertirrigação com vinhaça e alterações na qualidade do efluente.** 2007. 39 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

BEBÉ, F. V.; SILVA, G. B.; BARROS, M. DE F. C.; CAMPOS, M. C. C. Desenvolvimento do milho e alterações químicas em solo sob aplicação de vinhaça. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.8, n.2, 2008.

BEAUCLAIR, E. G. F. **Produtividade de cana-de-açúcar em função de alguns macronutrientes presentes no caldo e no solo.** 1994. 97f. Tese (Doutorado em solos e Nutrição de plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

BELTRÁN, R. R.; SILVEIRA, R. I.; PASSOS, M. J. Disponibilidade de fósforo para plantas de arroz avaliada por extratores químicos. **Scientia Agrícola**, v.55, n.2, 1998.

BENEDITO, D. S. **Eficiência agrônômica de fontes alternativas de fósforo e modelo de predição do uso de fosfatos naturais.** 2007, 121f. Tese (Doutorado em agronomia). Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, 2007.

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas.** Porto Alegre, Gênese, 2004.

BISSANI, C. A., GIANELLO, C., TEDESCO, M.J., CAMARGO, F.A.O. (Eds) **Fertilidade dos Solos e manejo da adubação de culturas.** Porto Alegre: Gênese, 2008, 328 p.

BONATO, C. M.; RUBIN FILHO, C. J.; MELGES, E.; SANTOS, V. D. **Nutrição mineral de plantas.** Maringá: UEM, 1998.

BOWEN, G. D.; ROVIRA, A. D. The rhizosphere and its management to improve plant growth. **Advances in Agronomy**, v.66, p.1-102, 1999.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos.** Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878p.

BRAGA, G. **Eficiência de fosfatos com solubilidade variável em água em solos com capacidade de fixação de fósforo induzida.** 2006. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e nutrição de plantas) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2006.

BRASIL, 2004. DECRETO N° 2954. Aprova o regulamento da lei nº 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Normas jurídicas (Texto Integral) – DEC 004954, 14 jan., 2004, 27p.

BRASIL, E. C.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; PITTA, G. V. E.; CARVALHO, J. G. de. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto a aquisição de fósforo. **Ciência agrotecnológica**, Lavras, v.31, n.3, p.704-712, maio/jun., 2007.

BRITO, F. L. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.52-56, 2005. (suplemento).

BRITO, F.L.; ROLIM, M.; PEDROSA, E.M.R. Qualidade do percolado de solos que receberam vinhaça em diferentes doses e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 318-323, 2007. (Suplemento).

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. **Naturaleza y propiedades de los suelos**. 4. ed. México D.F.: Limusa, 1991. 590p.

BÜLL, L. T.; LACERDA, S.; NAKAGAWA, J. Termofosfatos: Alterações em Propriedades Químicas em Um Latossolo Vermelho-Escuro e Eficiência Agronômica. **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, 1997.

BUSATO, J. G.; CANELLAS, L. P.; DOBBSS, L. B.; BALDOTTO, M. A.; AGUIAR, N. O.; ROSA, R. C. C.; SCHIAVO, J. A.; MARCIANO, C. R.; OLIVARES, F. L. **Guia para adubação orgânica baseado na experiência com solos e resíduos do Norte Fluminense**. Niterói : Programa Rio Rural, 2008.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.161-169, 2000.

CAIRES, E. F.; BLUM, J. ; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J. C. L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, v.28, p.57-64, 2008.

CAMARGO, M. S. de.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Solubilidade do silício em solos: influência do calcário e ácido silícico aplicados. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p.637-647, 2007.

CAMPOS, A. T. de. **Entrevista – Tratamento de dejetos de bovinos de leite**. Disponível em: <<http://www.cnpqgl.embrapa.br/nova/sala/noticias/jornaldoleite.php?id=383>>. Acesso em 25 de outubro de 2010.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; BRASIL SOBRINHO, N. M. Reações da matéria orgânica do solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.935-944, 2003.

CARDOSO, A.; CARVALHO, A. P.; HOCHMULLER, D. P.; LARACH, J. O. I. **Aptidão agrícola dos solos do noroeste do Estado do Paraná**. Curitiba: EMBRAPA-SNLCS, 1975. 41p. (Boletim técnico, 32).

CARDOSO, A.; PÖTTER, R. O.; DEDECEK, R. A. Estudo comparativo da degradação de solos pelo uso agrícola no noroeste do Paraná. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p.349-353, 1992.

CARNEIRO, C. E. A.; FIORETTO, R. A.; FONSECA, I. C. B.; NEVES, C. S. V. J.; CASTRO, A. J. S. Alterações químicas no solo induzidas pela aplicação superficial de palha de cana-de-açúcar, calcário e vinhaça. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 4, p. 265-272, out./dez. 2004.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PÍCCOLI, M. C.; GODINHO, V. P.; HERPIN, U. Changes in chemical properties in the oxisol after clearing of native Cerrado vegetation for agricultural use in Vilhena, Rondônia State, Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.96, n.1, p.95-102, 2007.

CARVALHO-PUPPATO, J. G.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1213-1218, 2004.

CARVALHO-PUPPATO, J. G.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MAUAD, M.; SILVA, R. H. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 11, p. 1323-1328, 2003.

CASAGRANDE, J. C.; CAMARGO, O. A. Adsorção de fosfato em solos com caráter ácrico avaliada por um modelo de complexação de superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 353-360, 1997.

CASTOLDI, G.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; PIVETTA, L. A.; STEINER, F. Sistemas de cultivo e uso de diferentes adubos na produção de silagem e grãos de milho. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 33, n. 1, p. 139-146, 2011a.

CASTOLDI, G.; PIVETTA, L. A.; STEINER, F.; COSTA, M. M. S. C.; COSTA, L. A. M. Sistemas de produção e sua influência na cultura do milho safrinha em plantio direto. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.10, n.1, p. 47-57, 2011b.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.

CETESB 2006. **Vinhaça** – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/P4\\_231.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/P4_231.pdf)>. Acesso em: 10 de agosto de 2011.

CHAVES, A. P.; OBA, C. A. I. **Coletânea fertilizantes VI: Críticas ao modelo brasileiro de fertilizantes fosfatados de alta solubilidade.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 25p. (Série Estudos e Documentos, 63).

CHIEN, S. H. Reactions of phosphate rocks, Rhenania Phosphate and Superphosphate with an acid soil. **Soil Sei Soe Amer J**, Madison, v. 42, p. 705-708, 1978.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G.; BILLINGHAM, K. S. Phosphorus availability from phosphate rock as enhanced by water-soluble phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, p.1173-1177, 1996.

CIANCIO, N. H. R. **Produção de Grãos, Matéria Seca e Acúmulo de Nutrientes em Culturas Submetidas à Adubação Orgânica e Mineral.** 2010. 85f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2010.

CÓ JÚNIOR, C.; MARQUES, M. O.; TASSO JÚNIOR, L. C. Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.196-203, 2008.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho.** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2006. (Circular técnica, 78).

COELHO, M. J. A.; MONROE, P. H.M.; AGUIAR, A. C. F.; MONTEIRO, E. L. S.; DADALTO, D. L. Eficiência de um fosfato natural, em duas classes de solo, no crescimento do milho. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia. **Anais...** SBCS, 2011. CD-ROM.

CONAB, 2011. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, décimo levantamento, agosto 2011. Brasília: CONAB, 2011.

CONAB, 2012. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, quarto levantamento, janeiro 2012. Brasília: CONAB, 2012.

CQFS - RS/SC, 2004. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400p.

CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, D. M. F.; PERES, M. G. M. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1583-1590, 2008.

CORRÊA, M. C. M.; CONSOLINI, F. CENTURION, J. F. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). **Acta Scientiarum**, Maringá, v.23, n.5, p.1159-1163, 2001.

CUNHA, G. C.; HAAS, J. C.; MALUF, J. R. T.; CARAMORI, P. H.; ASSAD, E. D.; BRAGA, H. J.; ZULLO Jr.,J.; LAZZAROTTO, C.; GONÇALVES, S.; WREGE, M.; BRUNETTA, D.; DOTTO, S. R.; SILVEIRA, H. Zoneamento agrícola e época de semeadura para trigo no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.400-414, 2001. (Nº Especial: Zoneamento Agrícola).

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.6, p.603-612, jun. 2010.

DÍAZ-ZORITA, M.; BUSCHIAZZO, D. E.; PEINEMANN, N. Soil Organic Matter and Wheat Productivity in the semiarid Argentine Pampas. **Agronomy Journal**, v.91, p.276-279, 1999.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da irrigação no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (FAO Irrigação e Drenagem, n.33).

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

DURIGON, R.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; PAVINATO, P.S. Produção de forragem em pastagem natural com o uso de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.983-992, 2002.

EMATER-PR, 1998. Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural. Vinculada à Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Arenito Caiuá, Integração Agricultura e Pecuária**. Curitiba, 1998. 52p. (Informação Técnica, 41)

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro. **Manual de métodos de análise de solo**, 1979.

EMBRAPA, 2005. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. **Indicações técnicas para a produção de cevada cervejeira nas safras 2005 e 2006**. disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/cevada/cevada05/cev6-4-2-1.htm>> acesso em: 30 de outubro de 2010.

EMBRAPA, 2006a. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA Clima Temperado. **Agro práticas ecológicas, Adubação Orgânica.** 1ª impressão, 2006.

EMBRAPA, 2006b. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro, RJ, 2006. 306 p.

EMBRAPA, 2010a. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Nutrição e adubação do milho.** Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/deficiencia/deficiencia.html>>. Acesso em 15 de outubro de 2010.

EMBRAPA, 2010b. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. **Trigo.** Disponível em: <<http://www.cnp.embrapa.br/culturas/trigo/index.htm>> Acesso em 15 de outubro de 2010.

FABIAN, A. J.; TORRES, J. L. R. Produtividade do Milho Após Plantas de Cobertura do Solo, Com e Sem Adubação Mineral em Uberaba, MG. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia. **Anais...** SBCS, 2011. CD-ROM.

FANCELLI, A. L.; FAVARIN, J. L. Realidade e perspectivas para o sistema de plantio direto no Estado de São Paulo. In: FANCELLI, A. L. (Coord.) **Plantio direto no Estado de São Paulo.** Piracicaba : FEALQ/ESALQ, p.15-34, 1989.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FAO (2008a). Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. **Top Production – Maize – 2008.** disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em 2 de novembro de 2010.

FAO (2008b). Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. **Top Production – Wheat – 2008.** disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em 2 de novembro de 2010.

FEDRI, G.; NOLLA, A.; VILA, E. J. P.; SANTINI, C. O.; SILVA, W.; VOLK, L. B. S. Recomendação de fertilização com vinhaça baseada no crescimento radicular da cultura do milho. In: XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 2010, Guarapari - ES. **Anais da FertBio 2010.** Viçosa: SBCS, 2010. v.29, CD-ROM.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: Reunião anual da região brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, p.255-258, 2000.

FERREIRA, E. S.; MONTEIRO, A. O. Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, n.36, p.3-7, 1987.

FERTIPAR. **Fertilizantes**. Disponível em: <<http://www.fertipar.com.br/produtos/nfr-de-gafsa-tunisia>>. Acesso em 12 de maio de 2011.

FIDALSKI, J. Fertilidade do solo sob pastagens, lavouras anuais e permanentes na região noroeste do Paraná. **Revista Unimar**, v.19, p.853-861, 1997.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Dinâmica da calagem superficial em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.29, p.235-247, 2005.

FIGUEROA, E. A. **Efeito Imediato e Residual de Esterco de Ave Poedeira em Culturas de Grãos**. 2008. 122f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2008.

FLANERY, R. L. Exigências nutricionais do milho em estudo de produtividade máxima. **Informações Agrônomicas**. n.37, p.6-7, 1987.

FONSECA, F. P.; CZUY, D. C. Formação arenito caiuí: uso, ocupação do solo e problemas ambientais na região noroeste do Paraná. **III Simpósio Nacional de Geografia Agrária – II Simpósio Internacional de Geografia Agrária Jornada Ariovaldo Umbelino de Oliveira – Presidente Prudente**, 11 a 15 de novembro de 2005.

FORDHAN, A. W.; SCHWERTMANN, U. Composition and reaction of liquid manure (gülle), with particular reference to phosphate – II: Solid phase components. **Journal of Environmental Quality**, v.6, p.101-109, 1977.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do trigo**. Jaboticabal: Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão - Funep, 2008. 338p.

FRANZINI, V. I.; CARLOS VELOSO, C. A. C.; BRASIL, E. C.; SILVA, A. R. B.; SILVA, A. R.; CARVALHO, E. J. M.; UCHÔA, E. B. Resposta do Milho Cultivado na Região do Oeste Paraense a Adubação Fosfatada. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia. **Anais...** SBCS, 2011. CD-ROM.

FRANZINI, V. I.; MURAOKA, T.; CORASPE-LEÓN, H. M.; MENDES, F. L. Eficiência de fosfato natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.9, p.1092-1099, 2009.

FREIRE, W. J.; CORTES, L. A. B. **Vinhaça de cana-deaçúcar**. Guairá: Agropecuária, 2000.

FREIRIA, A. C.; MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; YAGI, R. Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 30, n. 2, p. 285-291, 2008.

FREITAS, P. S. L. de; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, L. C. Efeito da cobertura de resíduos de culturas na evaporação direta da água do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.26, n.2, p.193-201, 2004.

GARGANTINI, H.; FEITOSA, C. T.; IGUE, T. Efeito de diferentes fertilizantes fosfatados, em diversas condições de acidez do solo, na produção do trigo em vasos. **Bragantia**, v.31, n.9, 1972.

GARIGLIO, H. A. A. **Alterações físicas e químicas e mobilidade de solutos em solos submetidos à aplicação de vinhaça proveniente da fabricação de álcool carburante**. 2008, 86f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Viçosa. 2008.

GAYA, J. P. **Indicadores biológicos do solo como uma alternativa para o uso racional de dejetos de suínos como fertilizante orgânico**. 2004, 144f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis. 2004.

GEMTOS, T. A.; CHOULIARAS, N.; MARAKIS, St. Vinasse Rate, Time of Application and Compaction Elect on Soil Properties and Durum Wheat Crop. **J. Agric. Engng Res**. v.73, p.283-296, 1999.

GERAGE, A. C.; SHIOGA, P. S **Avaliação estadual de cultivares de milho: safra 1998/99**. Londrina: IAPAR, 1999. 106p. (Informe da Pesquisa, 131).

GHOSH, P. K.; RAMESH, P.; BANDYOPADHAYAY, K. K.; TRIPATHI, A. K.; HATI, K. M.; MISRA, A. K.; ACHARYA, C. L. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer - NPK on three cropping systems in vertisols of semi arid tropics. I. Crop yields and system performance. **Bioresource Technology**, v.95, n.1, p.77-83, 2004.

GLÓRIA, N. A. Efeito do potássio na acumulação de sacarose pela cana-de-açúcar. **Açúcar e Álcool**. São Paulo, v. 5, n. 23, p. 20-25, 1985.

GLÓRIA, N. A. Utilização racional dos resíduos da agroindústria sucroalcooleira e seus efeitos na produtividade da cana-de-açúcar. In: Seminário sobre tecnologias de manejo de solo e adubação da cana-de-açúcar, 1, 1994,

Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SOPRAL/SUCRESP/ALCOOPLAN/ASSISTE, p.121-146, 1994.

GUNARY, D. The availability of phosphate in sheep dung. **Journal of Agricultural Science**, v.70, p.33-38, 1968.

GUSTA, L. V.; BURKE, M. J.; TYLER, N. J. Factors influencing hardening and survival in winter wheat. In: LI, P. H.; SAKAI, A. (Ed.). **Plant cold hardiness and freezing stress**. New York: Academic Press, 1982. v.2. p.23-40.

HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R.; ORTIZ, F. R.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 39-44, jan./mar. 2007.

HAYNES, R. J. Effects of liming on phosphate availability in acid soils: a critical review. **Plant Soil**. v.68, p.289-308, 1982.

HAYNES, R. J.; MOKOLOBATE, M. S. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.59, p.47-63, 2001.

HAYNES, R. L. Relative ability of a range of crop species to use phosphate rock and monocalcium phosphate as P sources when grown in soil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 60, p. 205-211, 1992.

HEDLEY, M. J.; HUSSIN, A.; BOLAN, N. S. New approaches to phosphorus fertilization. In: Symposium of phosphorus requirements for sustainable agriculture in Asia and Oceania, 1, 1990, Los Banos. **Proceedings...** Manila: IRRI, p.125-142, 1990.

HINGSTON, F. J.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.23, p.177-192, 1972.

HOFFMANN, I.; GERLING, D.; KYIOGWOM, U. B.; MANÉ-BIELFELDT, A. Farmers management strategies to maintain soil fertility in a remote area in northwest Nigeria. **Agric Ecosystems Environ**, v. 86, p. 263 – 275. 2001.

HUE, N. V.; AMIEN, I. Aluminum detoxification with green manures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.20, n.15/16, p.1499-1511, 1989.

HUE, N. V.; CRADDOCK, G. R.; ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, n.1, p.28-34, 1986.

IAPAR, 2003. Reunião de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do trigo, 2003, Londrina. **Relatório final**. Londrina: IAPAR, 2003. 6p.

IBGE, 2010. Instituto brasileiro de geografia e estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 17 de outubro de 2010.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de Fosfatos Naturais Reativos em Sistemas de Cultivo**. Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Santa Maria - RS, 1997. 31p. (Boletim Técnico n.3).

KAMINSKI, J.; PESSOA, A. C. S.; RHEINHEIMER, D. S. Efeito do tempo de incubação de termofosfato magnésiano no solo e inoculação com fungos micorrízicos na recuperação de fósforo pelo capim-pensacola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.27, n.3, Jul./Ago. 1997.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes organominerais**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1993. 189p.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.1, 2000.

KORNDÖRFER, G. H.; GASCHO, G. J. Avaliação de fontes de silício para o arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1., Pelotas, 1999. **Anais...** Pelotas, Embrapa, p.313-316, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 28p. (Boletim Técnico, 1).

KORNDÖRFER, G. H.; SOUSA, R. T. X. Recuperação do fósforo aplicado no solo de fontes solúveis e insolúveis em água. Goiânia: **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v.6, n.11, 2010.

KRAY, C. H.; TEDESCO, M. J. BISSANI, C. A.; TUROW, I. M. SCOLMEISTER, J. Efeitos da adição de resíduos urbanos na atividade microbiana do solo avaliados através da liberação de CO<sub>2</sub>. In: **Reunião sulbrasileira de Fertilidade do solo**. 2002. CD-ROM.

LEAL, J. R.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X.; ROSSIELLO, R. O. P. Potencial redox e pH: Variações em um solo tratado com vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.257-261, 1983.

LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoque de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1273-1280, 2010.

LEMOS, A. M. DE.; CASSOL, E. A.; RÖSSLER, L. M.; GENESINI, F. Perdas de nutrientes por escoamento superficial em diferentes sistemas de preparo do solo sob adubação orgânica e mineral. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia. **Anais...** SBCS, 2011. CD-ROM.

LENS, P.; TICHY, R.; POL, L. H. Sulfur cycle. In: LEDERBERG, J., (ed). **Encyclopedia of microbiology**. 2, ed. San Diego: Academic, p.495-505, 2000.

LOPES, A. S. Manejo: aspectos químicos. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P., (Eds.) **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: UNESP/SBCS, p.79-111, 1994.

LOPES, A. S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem**. São Paulo: ANDA, 1991. (Boletim técnico, 1).

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas**: aspectos agronômicos. 3 ed. São Paulo: ANDA, 2000.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Interpretação de análise de solo**: conceitos e aplicações. São Paulo: ANDA, 2004.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto**: Bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004.

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

LOPES, O. M. M.; COSTA, L. G.; ASSAD, M. L. L Disponibilização de Nutrientes em Misturas de Pó de Rocha com Vinhaça. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia. **Anais...** SBCS, 2011. CD-ROM.

LOPES, P. R. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relative de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.11, n.1, p.71-75, 1987.

LOURENÇO, K. S.; CORRÊA, J. C.; ERNANI, P. R.; LOPES, L. dos S.; NICOLOSO, R. da S. Absorção de NPK Pelo Feijoeiro Adubado Com Camas

De Aves e Fertilizantes Minerais. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia. **Anais...** SBCS, 2011. CD-ROM.

LOUZADA, P. T. C. **Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo e fertilizante do solo.** 1987, 52f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1987.

LYRA, R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p. 525-532, 2003.

McCULLY, M. Roots in soil: unearthing the complexities of roots and their rhizospheres. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.50, p.695-718, 1999.

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. F. F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.; ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**. Viçosa, v.32, n.2, mar./abr. 2008.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do Milho.** 1 ed., Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2002. 23p. (Circular Técnica, 22).

MAGALHÃES, V. R. **Influência de doses de vinhaça nas características agrônômicas de variedades de cana-de-açúcar, cana planta e atributos químicos do solo.** 2010, 89f. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) - Programa de pós-graduação em produção vegetal no semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros-Unimontes, Montes Claros, 2010.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu Impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos.** São Paulo: ProduQuímica, 1994. 153p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação.** São Paulo: Ceres, 1959. 487p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo.** São Paulo: Ceres, 1976. 528p.

MATIAZZO, M. E.; GLORIA, N. A. Efeito da vinhaça na acidez do solo. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v.3, p.35-40, 1985.

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos.** Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais/UFV, 2006. 120p. (Caderno Didático).

MELLA, S. C. Manejo como fator de recuperação de pastagens. In: Encontro Sobre Recuperação De Pastagens, 1., Nova Odessa, SP, **Anais...** IZ, p.61-78. 1993.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (eds). **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa, p109-141. 2000.

MENDES, C. A. P. Composto orgânico: aplicações, benefícios e restrições de uso. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.18, p.65-67, jul. 2000.

MENDES, R. T.; PEREIRA, A. L. S.; MORAIS JÚNIOR, O. P.; PELÁ, A. Aspectos Econômicos da Adubação Organomineral no Milho. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia. **Anais...** SBCS, 2011. CD-ROM.

MENESES, O. B. **Efeitos de doses de esterco no rendimento do feijão-de-corda e do milho em cultivos isolados e consorciados**. Mossoró: ESAM, (Dissertação mestrado), 1993.

MONIZ, A. C.; OLIVEIRA, J. B.; CURTI, N. Mineralogia da fração argila de rochas sedimentares e de solos da folha de Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.375-385, 1995.

MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; TRINDADE, M. G.; CÁNOVAS, A. D. **A cultura do trigo irrigado no Sistema Plantio Direto**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2006. (Circular Técnica, 78).

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 626p.

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**, v.31, p.167-175, 2007.

MORSELLI, T. B. G. A. **Cultivo sucessivo da alface sob adubação orgânica em ambiente protegido**. 2001. 128f. Tese - (Doutorado em Fitotecnia). Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.

MORTVERD, T. J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. 665 p.

MOTA, F. S. Clima e Zoneamento para a Triticultura no Brasil. In: MOTA, F. S. (ed.) **Agrometeorologia do trigo no Brasil**. Campinas: sociedade brasileira de agrometeorologia, 1989. p.5-35.

MORENG, R. E.; AVENS, J. S. **Ciência e produção de aves**, aquecimento, criação, alojamento, equipamento e produção de aves. São Paulo: Roca, p.143-178. 1990.

MUNDSTOCK, C. M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: evnagraf, 1999. 227p.

MUZILLI, O. Influência do plantio direto comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.95-102, 1983.

MUZILLI, O.; VIEIRA, M. J.; ALMEIDA, F. L. S.; NAZARENO, N. R. X.; CARVALHO, A. O. R.; LAURENTI, A. E.; LLANILO, R. F. Comportamento e possibilidades da cultura do milho em plantio direto no estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília: v.18, n.1, p.41-47, jan. 1983.

NAKAYAMA, L. H. I.; CACERES, N. T.; ALCARDE, J. C. MALAVOLTA, E. Eficiência relativa de fontes de fósforo de diferentes solubilidades na cultura do arroz. **Scientia Agricola**, v. 55, n.2, 1998.

NETO, M. S.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; CARDOSO, A. N.; DOUZET, J.; FELLER, C.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment. **Soil & Tillage Research**, v.110, p.187–195. 2010.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Indicadores da acidez do solo para recomendação de calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p. 237-248, 2008.

NICOULAUD, B. A. L.; MAURER, E. J.; ANGHINONI, I. Rendimento e absorção de nutrientes por alface em função da calagem e adubação mineral e orgânica em solo Areia Quartzosa Hidromorfica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 8, p. 6-9, 1990.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.6, n.1, Jan/Jun 2004.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.475-483, 2006.

NOLLA, A.; KONRDÖRFER, G. H.; ARRUDA, D. G. et al. Eficiência de silicato de cálcio e calcário no controle de *Cercospora sojina* na cultura da soja. In: Simpósio sobre silício na agricultura, 3., 2004, Uberlândia. **Resumos expandidos Uberlândia: Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura**, 2004. CD-ROM.

NOLLA, A.; GAVIOLI, T.; VOLK, L. B. S.; SILVA, T. R. B. da. Necessidade de calagem para um Argissolo arenoso sob sistema plantio direto na região noroeste paranaense. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.2, n.4, p.173-182, 2009a.

NOLLA, A.; PALMA, I. P.; SANDER, G.; VOLK, L. B. S.; SILVA, T. R. B. da. Desenvolvimento de milho submetido à aplicação de calcário e silicato de cálcio em um Argissolo arenoso do noroeste paranaense. **Cultivando o Saber**. Cascavel, v.2, n.4, p.154-162, 2009b.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. F.; NEVES, J. C. L.; COUTO, C. Níveis críticos de fósforo no solo para o eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.6, p.29-37, 1982.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

NOVAIS, R. F. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTAUTTI, R. B.; NEVES, J. C. (eds.). **Fertilidade do solo**. 1, ed. Viçosa: SBCS, p.471-550, 2007.

NWOKE, O. C.; VANLAUWE, B.; DIELS, J.; SANGINGA, N.; OSONUBI, O. Impact of residue characteristics on phosphorus availability in West African Sonibare moist savanna soils. **Biology and Fertility of soils** v.39, p.422 – 428, 2004.

OLIVEIRA, E. F. de; BAIRRÃO, J. F. M.; CARRARO, I. M. Efeito dos sistemas de preparo do solo sobre algumas características físicas e rendimentos de grãos de soja e milho. In: ORGANIZAÇÃO DAS COOPERATIVAS DO ESTADO DO PARANÁ. **Resultados da pesquisa na safra de verão 1987/88**. Cascavel: OCEPAR, 1989. p.233-237.

OLIVEIRA, E.; MEDEIROS, G. B.; MARUN, F.; OLIVEIRA, J. C.; SÁ, J. P. G.; COLOZZI FILHO, A.; KRANZ, W. M.; SILVA JÚNIOR, N. F.; ABRAHÃO, J. J. S.; GUERINI, V. L.; MARTIN, G. L. **Recuperação de Pastagens no Noroeste do Paraná**: Bases para Plantio Direto e Integração Lavoura e Pecuária. Londrina: IAPAR, 2000. 96p. (Informe de pesquisa, 134).

OLIVEIRA, E.; SACOMAN, A.; ALVES, A. F.; PARRÉ, J. L.; PEREIRA, M. F.; SOARES JUNIOR, D.; SÁ, J. P. G.; OLIVEIRA, J. C.; MEDEIROS, G. B. **Arenito Nova Fronteira**: Sistemas de arrendamento de terra para recuperação de áreas de pastagens degradadas. Londrina: IAPAR, 2001. 30p. (Circular técnica, 115).

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, v. 38, p. 47-57, 1996.

OLIVEIRA, F.C.; MATIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.505-519, 2002.

OORTS, K.; VANLAUWE, B.; MERCKX, R. Cation exchange capacities of soil organic matter fractions in a Ferric Lixisol with different organic matter inputs. **Agric. Ecosyst. Environ.**, **100:161-171**, 2003.

ORLANDO FILHO, J. Nutrição e adubação de cana-de-açúcar. **Brasil açucareiro**. Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 10-16, 1977.

ORLANDO FILHO, J. E LEME, E. J. A. Utilização Agrícola dos Resíduos da Agroindústria Canavieira, Simpósio Sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira, Brasília. **Anais...** p.451-475, 1984.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JUNIOR, E.; AGUJARU, R. Efeito da aplicação prolongada da vinhaça nas propriedades químicas dos solos com cana-de-açúcar: Estudo exploratório. **Revista STAB**, v.1, p.28-33, 1983.

PATIL, J. D.; SAVANT, N. K.; DESHMANE, A.N. Humification of spent wash (distillery waste) in soil. **Journal Maharshira Agricultural University**, v.7, p.80-83, 1982.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the state of Paraná, Brazil. **Turrialba**, v.35, p.131-139, 1985.

PEREIRA, J. E. **Solubilidade de alguns calcários e escórias de alto forno**. 1978. 84f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1978.

PEREIRA, J. P.; ALVARENGA, E. M.; TOSTES, J. R. P.; FONTES, L. E. F. Efeito da adição de diferentes dosagens de vinhaça a um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico na germinação e vigor de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 14, n.2, p. 147-150, 1992.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 81 p.

POHLMAN, A.A.; McCOLL, J.G. Kinetics of metal dissolution from forest soils by soluble organic acids. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.15, n.1, p.86-92, 1986.

POLO, A.; ANDREAUX, F.; CERRI, C.C.; LOBO, M.C. Resíduos orgânicos da agroindústria canavieira: 2. Decomposição biológica sob condições

controladas. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 6, n. 3, p. 53-56, 1988.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407p.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia agrícola**, v.57 n.4 Piracicaba, Oct./Dec. 2000.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil**: estudos na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 67 p.

PRADO, R. M.; NATALE, W.; FERNANDES, F. M.; CORRÊA, M. C. M. Reatividade de uma escória de siderurgia em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.197-205, 2004.

PREZOTTO, M. E. M. Química ambiental e agronomia. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 20, 1992. Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, p.157-178. 1992.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2000. 111p.

QUAGGIO, J. A.; RAMOS, V. J.; BATAGLIA, O. C., RAIJ, B. van.; SAKAI, M. Calagem para a sucessão batata-tritcale-milho usando calcários com diferentes teores de magnésio. **Bragantia**, Campinas, v.44, n.1, p.391-406, 1985.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato - Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. van. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.) **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, p.107-115, 2004.

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

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C. A. Os métodos de análise química do sistema IAC de análise de solo no contexto nacional. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H. (eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, p.5-39, 2001.

RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, J. H.; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct application to soils. **Adv. Agron.**, v.57, p.78-159, 1996.

RAMOS, L. A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.849-857, 2006.

REBELLATTO, A.; CORRÊA, J. C.; CASSOL, P. C.; NICOLOSO, R. S.; GATIBONI, L. C.. Produção de Milho em Razão da Aplicação de Fertilizantes Organominerais e Minerais. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia. **Anais...** SBCS, 2011. CD-ROM.

REDDY, D. D.; RAO, A. S.; RUPA, T. R. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. **Bioresource Technology**, v. 75, n. 2, p. 113-118, 2000.

REI, E. F. dos.; MAIA, L. R.; ARAUJO, G. L.; GARCIA, G. O.; PASSO, R. R. Alterações no pH, matéria orgânica e CTC efetiva do solo, mediante a aplicação elevadas doses de lodo de esgoto em diferentes intervalos de irrigação. **Revista Verde**, Mossoró, v.4, n.2, p.31-38 abr./jun., 2009.

RESENDE, Á. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; LAGO, F. J. Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do cerrado. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v.30, n.3, p.458-466, maio/jun., 2006.

RIBEIRO, A. C.; SILVA, M. C.; GUILHERME, L. R. G. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5, aproximação. Viçosa-MG: CFSEMG/UFV, 1999. 359p.

RIBEIRO, A. C.; SENGIK, E. Efeitos da aplicação de vinhaça nas propriedades físicas e químicas de duas amostras de Latossolos. **Revista Ceres**, v.30, p.25-31, 1983.

RICARDO, R. P. **Estudos, Ensaios e Documentos**. Lisboa: Portugal, [s.n.], p.15-18, 1961.

RICHART, A.; KAEFER, J. E.; DAGA, J.; NOZAKI, M. H.; MENON, R. Desempenho do trigo em resposta a aplicação de termosfosfato. **Synergismus scyentifica**. Pato Branco, v.4, n.1, 2009.

SÁ, J. C. M. **Manejo da Fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1993. 94p.

SÁ, J. P. G.; CAVIGLIONE, J. H. **Arenito Caiuá**: capacidade de lotação das pastagens. Londrina : IAPAR, 1999. 15p. (IAPAR. Informe da Pesquisa, 132).

SAMBATTI, J. A.; SOUZA JUNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S.; TORMENA, C. A. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos da formação Caiuá: noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2 p.257-264, 2003.

SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. Reactions of Phosphate in Soils. In.: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (eds.) **The role of Phosphorus in Agriculture**, Madison: Amer. Soc. Agron. Inc., cap. 11, p.263-310, 1980.

SANTOS, G. A.; ROSSIELLO, R. P.; FERNANDES, M. S. Efeitos da vinhaça sobre o pH do solo, a germinação e acúmulo de potássio em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.16, p.489-493, jul./ago. 1981.

SENGIK, E. **Efeitos da vinhaça sobre o solo e conseqüências sobre o crescimento do sorgo granífero**. 1983. 52f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: UFV, 1983.

SENGIK, E.; CANO, M. A. O.; SILVA, C. C.; RIBEIRO, A. C. Efeitos da vinhaça sobre o crescimento do sorgo granífero. In.: Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias. **Anuário CCA** 1995/1996, p. 163-166. 1996.

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

SILVA, A. J. N. da; CABEDA, M. S. V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solo de tabuleiro costeiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.29, n.3, p.447-457, 2005.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G.; LIMA, J. F. W. F. Alterações físicas e químicas de um Argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.76–83, 2006.

SILVA, C. A. Uso de Resíduos Orgânicos na Agricultura. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008a. p. 597-613.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIN, R. S. S.; PAIVA, K. W. N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo utilizando simulador de chuva. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.409-419, 2005.

SILVA, E. P. da. **Respostas de trigo à geada**. 2008. 113f. Dissertação – (Mestrado em agronomia). Universidade de Passo Fundo. 2008b.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. S.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2007. 1017p.

SILVA, J.; SILVA, P. S. L. e.; OLIVEIRA, M.; SILVA, K. M. B. e. Efeito de esterco bovino sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. Brasília: **Horticultura Brasileira**, v.22, n.2, p.326-331, 2004.

SILVA, J. C. P. M. da; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; VELOSO, C. M.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A. S. de; SILVA, L. F. C. e. 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, 2010b.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.108-114, 2007.

SILVA, S. S.; GARCIA, C. A.; SILVA, C. M. O destino do bagaço da cana-de-açúcar: um estudo a partir das agroindústrias sucroalcooleiras do Paraná. **Revista Agronegócios e Meio Ambiente**, v.3, n.1, p.59-76, 2010a.

SILVA, T. R. da; MENEZES, J. F. S.; SIMON, G. A.; ASSIS, R. L. de; 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** v.15, n.9, p.903–910, 2011.

SILVEROL, A. C. **Processo Humifert para fertilizantes alternativos organofosfatados**: obtenção a partir do minério de Angico dos Dias, caracterização dos compostos e avaliação da eficiência agrônômica. 2006. 179f. Dissertação – (Mestrado – Programa de pós- graduação em Geoquímica e Geotectônica) Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo. 2006.

SMITH, S. R.; HADLEY, P. A. Comparison of the effects of organic and inorganic nitrogen fertilizers their nitrate-N and ammonium-N release characteristics and effects on the growth response of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Fortune) **Plant and Soil**, Dordrecht, v.115, n.1, p.135-144, 1989.

SLACK, A. V. Os produtos fertilizantes. In: **Manual de fertilizantes**. São Paulo: CEDER/PT, p.53-76, 1976.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, p.157-200, 2004b.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004a. 416p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina - DF: Embrapa Cerrados, p.147-168, 2002.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; LOBATO, E.; CASTRO, L. H. R. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.193-198, 1989.

STROMBERGER, J. A.; TSAI, C. Y.; HUBER, D. M. Interactions of potassium with nitrogen and their influence on growth and yield potential in maize. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, p.19-37, 1994.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. Ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1985. 754p.

TRINDADE, M. G.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; CÁNOVAS, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.24-29, 2006.

UNGER, P. W. Organic matter, nutrient and pH distribution in no and conventional tillage semiarid soils. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, p.186-189, 1991.

VARANIME, Z.; PINTON, R.; BIASE, M. G.; ASTOLFI, S.; MAGGIONI, A. Low molecular weight humic substances stimulate H-ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from oat (*Avena sativa* L.) roots. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.153, p.61-69, 1993.

VEGA, N. W. O. A review on beneficial effects of rhizosphere bacteria on soil nutrient availability and plant nutrient uptake. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, Medellín, v.60, n.1, p.3621-3643, 2007.

VELOSO, C. A. C. ; BORGES, A. L. ; MUNIZ, A. S. ; VIEGAS, I. J. M. . Efeitos de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.49, n.2, p.123-128, 1992.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; DOURADO NETO, D.; BERNARDES, M. S.; FANCELLI, A. L.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N. Metodologia para estimativa da área foliar de genótipos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.2, p.182-191, 2006.

VILA, E. J. P. **Fertilização de um solo arenoso com torta de filtro e vinhaça para a cultura da cana-de-açúcar**. 2011. 80f. Dissertação (Mestrado em agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. **Encarte Informações Agronômicas**, 97, 2002. 16p.

VITTI, G. C.; WIT, A.; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. In: Simpósio Fósforo na Agricultura Brasileira, 2003, São Pedro. **Anais...** Piracicaba: Potafos: 2004. 726p.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; HERMANN, E. R. Propriedades químicas do solo e produtividade da cana-de-açúcar em função da adição da palhada de colheita, calcário e vinhaça em superfície (sem mobilização) **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 2, p. 93-100, abr./jun. 2004.

WEIRICH NETO, P. H.; CAIRES, E. F.; JUSTINO, A.; DIAS, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 257-261, 2000.

WIETHÖLTER, S. **Calagem no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 2000. 104p.

WIETHÖLTER, S. Fósforo no solo e a cultura do trigo. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.) **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, p.457-494, 2004.

YAMADA, T., ABDALLA, S.R.S. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba, Potafos, 2004. 726p.

ZANATTA, J. A. **Estoque e labilidade do carbono em frações da matéria orgânica de um Argissolo afetados por sistemas de manejo de solo**. 2006. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

ZANETTI, R. M.; DIECKOW, J.; ARMINDO, R. A.; SILVEIRA, F. M.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; BARTH, G. Aplicação de Dejeito Líquido Bovino e Infiltração de Água em Latossolo Bruno Sob Plantio Direto. In: XXXIII

Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia. **Anais...** SBCS, 2011. CD-ROM.

ZAMBROSI, F. C. B. **Calagem e gessagem na especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema de plantio direto.** 2004, 111f. (Dissertação de Mestrado) - Escala Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2004.

ZAMPARETTI, A.; GAYA, J. P. O Uso Racional Dos Dejetos Como Adubo Orgânico. In: OLIVEIRA, P. A. V. de. (Coord.) **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004.109p.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, n.14, p.117-161, 1997.

ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; FOLEGATTI, M. V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. I. Características do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.1, p.22-28, 2011.