

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO – PR
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PPGA
MESTRADO

CARACTERIZAÇÃO DA FERTILIDADE ATUAL DOS
SOLOS DA REGIÃO DE GUARAPUAVA-PR.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CILTON RIBAS

GUARAPUAVA-PR

2010

CILTON RIBAS

**CARACTERIZAÇÃO DA FERTILIDADE ATUAL
DOS SOLOS DA REGIÃO DE GUARAPUAVA-PR.**

GUARAPUAVA - PR

2010

CILTON RIBAS

**CARACTERIZAÇÃO DA FERTILIDADE ATUAL DOS SOLOS DA REGIÃO DE
GUARAPUAVA-PR.**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Mestrado, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller

Orientador

GUARAPUAVA-PR

2010

Catálogo na Publicação
Biblioteca UNICENTRO, Campus Guarapuava

Ribas, Cilton
R482 Caracterização da fertilidade atual dos solos da região de Guarapuava -
PR. / Cilton Ribas. -- Guarapuava, 2010.
52f. : il

Digitado

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller

Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual do Centro-
Oeste, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2010

1. Agronomia - Produção Vegetal. 2. Análise química de solos. Título.

CDD 631.41

CILTON RIBAS

**CARACTERIZAÇÃO DA FERTILIDADE ATUAL DOS SOLOS DA REGIÃO DE
GUARAPUAVA-PR.**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Mestrado, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 26 de março de 2010

Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller - Presidente

Prof. Dr. Cássio Antonio Tormena - Membro

Prof. Dr. Eduardo Favero Caíres - Membro

Profa. Dra. Maria Ligia Souza Silva - Membro

GUARAPUAVA-PR

2010

Dedico este trabalho a minha família e aos meus pais Nelson e Otália

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos em primeiro lugar a Deus, nosso Criador, por ter me concedido a graça da inteligência, amparo nas horas difíceis e saúde para finalizar este trabalho.

À Universidade Estadual do Centro Oeste, pela oportunidade de realizar este curso de Pós-Graduação.

À minha querida família, esposa Elizabeth e filhos Karoline e Guilherme, os quais sempre me incentivaram, sendo fontes de minha inspiração para buscar e levar adiante o desafio da qualificação.

Ao professor Dr. Marcelo Marques Lopes Müller, pela forma com que conduziu a orientação desta dissertação, pois me proporcionou crescimento e conhecimento dentro da área de pesquisa científica.

Aos professores e colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual do Centro Oeste que, com dedicação e profissionalismo, contribuíram para minha formação.

À COAMO AGROINDUSTRIAL unidades de Guarapuava, Pinhão, Cândói e Cantagalo, ao Laboratório de análises de solos TECSOLO, aos colegas agrônomos e agricultores por disponibilizarem laudos de análises de solos sem custos, tornando possível a realização deste trabalho.

Aos colegas de turma que, nas calorosas discussões, contribuíram para o alto nível das aulas e me instigaram à produção científica.

Por fim, a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para o estudo.

SUMÁRIO

Lista de tabelas.....	i
Lista de figuras.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract.....	v
1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	2
3. Referencial teórico	3
3.1. Geologia e clima como condicionadores dos solos em Guarapuava e Região.....	3
3.2. solos predominantes na região de Guarapuava	4
3.3. Evolução do uso e manejo dos solos na região de Guarapuava.....	7
3.4. Conceitos de fertilidade do solo.....	9
3.4.1. Fatores de natureza química relacionados à fertilidade do solo.....	9
3.4.1.1. Composição mineralógica dos solos.....	10
3.4.1.2. Reação do solo	11
3.4.1.3. Disponibilidade dos nutrientes.....	12
3.4.1.4. Elementos tóxicos	14
3.4.1.5. Matéria orgânica do solo (MOS).....	15
3.5. A importância da relação entre V % e pH do solo.....	17
4. Material e métodos.....	18
4.1. Abrangência da área de estudo.....	18
4.2. Fonte dos dados.....	18

4.3. Tabulação dos dados e análises estatísticas.....	20
5. Resultados e discussões.....	23
5.1. Caracterização da fertilidade atual dos solos da Região de Guarapuava.....	23
5.2. Caracterização da correlação linear entre os indicadores das análises de solo.....	38
5.3. Caracterização da dependência entre $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ e V.....	40
6. Conclusões.....	42
7. Referências Bibliográficas.....	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Lista dos indicadores químicos analisados presentes nos laudos, com seus respectivos métodos de extração e determinação nos laboratórios do Paraná.....	19
TABELA 2. Classe de teores para o estudo de distribuição de frequências, conforme indicador químico dos laudos e fonte de referência.....	21
TABELA 3: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (min. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de teores de matéria orgânica do solo (MOS) e capacidade de troca de cátions ($CTC_{pH\ 7,0}$) para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m)...	24
TABELA 4: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (min. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de teores de acidez trocável (Al^{3+}) e saturação por alumínio (m) para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).....	26
TABELA 5: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (min. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de valores de acidez ativa ($pH_{CaCl_2\ 0,01\ mol\ l^{-1}}$) e saturação da $CTC_{pH\ 7,0}$ por bases (V) para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).....	27
TABELA 6: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (min. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de teores de Ca^{2+} e saturação da $CTC_{pH\ 7,0}$ por cálcio (Ca %) para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).....	29
TABELA 7: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (min. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de teores de Mg^{2+} e saturação da $CTC_{pH\ 7,0}$ por Mg (Mg%) para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).....	30
TABELA 8: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (min. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de teores de K^+ e saturação da $CTC_{pH\ 7,0}$ por K (K%) para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).....	32
TABELA 9: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (min. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de valores de relação Ca/Mg e Ca/K para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).....	33
TABELA 10: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (Min. e Máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) para relação Mg/K e distribuição percentual das amostras nas classes de teores para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).....	34

TABELA 11: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (min. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de teores de fósforo (P) extraível (Mehlich I) para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).....	36
TABELA 12. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre indicadores químicos de solos da região de Guarapuava-PR (0,0-0,20 m).....	39
TABELA 13. Análise de variância para a regressão linear simples entre $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ e V%...	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição das diferentes formações de rochas da Bacia do Paraná.....	4
Figura 2: Carta de Solos do Estado do Paraná. No detalhe, o município de Guarapuava.....	6
Figura 3. Municípios abrangidos pelo estudo na microrregião Centro Sul do Estado do Paraná.....	19

RESUMO

RIBAS, Cilton. **Caracterização da fertilidade atual dos solos da região de Guarapuava-PR**. Guarapuava: UNICENTRO, 2010. 52p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Orientador: Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller.

Há muitos anos, técnicas de calagem e adubação passaram a ser adotadas na Região de Guarapuava visando o aumento da fertilidade dos solos e da produtividade agrícola. Houve, então, a partir das camadas mais superficiais, uma modificação na disponibilidade de nutrientes dos solos, que eram originalmente ácidos e lixiviados, transformando a Região em grande produtora de cereais. Os objetivos deste estudo foram estabelecer o panorama atual da fertilidade dos solos da Região de Guarapuava-PR, predominantemente manejados sob sistema plantio direto (SPD), além de identificar problemas e propor novos focos de estudo na área, visando à melhoria de aspectos químicos dos solos, da nutrição e da produtividade das culturas. A partir de 9.500 laudos de análises químicas de solos de 12 municípios da microrregião de Guarapuava, foram selecionados 6.534 referentes à camada de 0,0 – 0,2 m de profundidade, com datas de coleta no período 2007-2009, constituindo um sólido banco de dados com resultados atuais sobre indicadores químicos dos solos da região. Através da estatística descritiva, foram traçados os perfis de cada indicador químico presente nos laudos, com médias e distribuições de frequência para cada município e para a região como um todo. Observou-se que os solos da Região de Guarapuava, na média muito argilosos, apresentam teores de MOS compatíveis com a alta $CTC_{pH\ 7,0}$ encontrada, assim como baixa acidez, baixo teor de Al^{3+} , carência evidente de P e teores muito elevados de Mg em relação a Ca e, principalmente, em relação a K. Portanto, práticas de manejo com a finalidade de aumentar os teores de P e K e controlar as adições de Mg aos solos podem contribuir para melhorar a nutrição das plantas e maximizar a produtividade das culturas. Sugere-se, como foco para pesquisas futuras, estudar as interações no solo entre o calcário e o gesso, que pode ser fonte de P além de Ca e S, além de fontes de P e de K, buscando melhorar o balanço entre os cátions básicos do solo e a disponibilidade de P, enfatizando a importância da rotação de culturas em SPD com espécies recicladoras destes dois nutrientes.

Palavras chave: análise química de solo, fósforo, relação Ca/Mg, potássio.

ABSTRACT

RIBAS, Cilton. **Characterization of actual soil fertility at Guarapuava's region, Paraná State.** Guarapuava: UNICENTRO, 2010. 52p. Dissertation (Master in Agronomy). Orientador: Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller.

For many years, liming and fertilization techniques were adopted to increase soil fertility and crop yields at Guarapuava's Region, South of Paraná State. Therefore, from the upper soil layers, there was a modification on the availability of nutrients on the soils, which were originally acid and leached, transforming the region into a great cereal producer. The objectives of this study were to establish the actual scenery of the fertility of the soils on Guarapuava's Region, majorly managed under no till system (NT), as well as to identify fertility problems and propose new study focus on the area, aiming to achieve better soil chemical conditions and enhanced plant nutrition and crop yield. From a 9.500 set of soil test results from 12 cities on Guarapuava's microregion, 6.534 referring to the 0,0 – 0,2 m depth, with collection date ranging on the 2007-2009 period, were selected, setting up a solid and up-to-date data bank with soil chemical indicator for the region. Through “descriptive statistics” procedures of the SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) software, individual profiles of each chemical indicator present at soil test results were traced, with mean and frequency distribution for each city and for de regions as a whole. It was observed that the soils of the Region, clayey in texture, presented organic matter content compatible to the high cation exchange capacity ($CTC_{pH\ 7,0}$) found, low acidity and low aluminum level, phosphorus deficiency and high magnesium level in relation to calcium and mainly in relation to potassium. Therefore, management practices leading to enhance phosphorus and potassium and to control magnesium soil levels may contribute to improve plant nutrition and maximize crop yields. As proposition, it is suggested that focus is given to the study on interactions between lime and gypsum, that can be phosphorus source besides of calcium and sulfur, along with phosphorus and potassium sources, searching for better basic cations balance and phosphorus availability on soils, with emphasis on the role of crop rotation under NT with species that are efficient to recycle these two nutrients.

Key words: soil chemical analysis, phosphorus, Ca/Mg relation, potassium.

1. INTRODUÇÃO

Guarapuava está localizada numa posição da Bacia do Rio Paraná em que, além dos vulcanismos básicos, ocorreram também vulcanismos ácidos. Somando-se este fato às condições climáticas de excedentes hídricos, têm-se uma combinação de fatores que justifica as características típicas dos solos da região, que normalmente são ácidos e desbasificados, pobres em fósforo (P) e com alta saturação por alumínio trocável (Al^{3+}).

Estas características, historicamente, limitaram a exploração agrícola dos solos e o desenvolvimento econômico da região. Entretanto, há muito a adoção de técnicas de manejo da fertilidade dos solos permitiu o desenvolvimento do setor agropecuário, que se tornou vital para a economia. Atualmente, a região se sobressai na produção de várias espécies. Em 2008, Guarapuava se sagrou como o maior produtor brasileiro de cevada, com 22% da safra nacional (IBGE, 2010).

Houve, portanto, uma mudança na fertilidade da camada de 0,0 a 0,2 m dos solos pelo uso de corretivos e fertilizantes. Entretanto, como estes insumos representam boa parte do custo de produção, é necessário que sejam quantificados e recomendados tecnicamente com base na interpretação de análises químicas de solo. Segundo Raij et al. (2001), os laboratórios brasileiros processam um número pequeno de amostras em relação a países como os Estados Unidos da América e a Holanda, ficando claro que a agricultura brasileira precisa realizar mais análises, a fim de fazer frente às necessidades de produzir mais alimentos com menores custos e maior qualidade ambiental.

Embora seja ponto de partida para recomendar calcário e adubos, a análise química de solo é, muitas vezes, negligenciada no planejamento de aquisição de fertilizantes e corretivos pelos produtores e, em escala maior, por cooperativas e revendedores de insumos, o que pode resultar em ineficiência no uso de nutrientes pelas plantas e custos desnecessários para os produtores. Além disso, estudos dos parâmetros das análises químicas dos solos permitem, também, estabelecer relações matemáticas entre indicadores, tornando possível estimar a alteração de um em função da modificação em outro, uma ferramenta interessante para o manejo da fertilidade dos solos.

Considerando que a fertilidade dos solos na Região de Guarapuava foi alterada nas últimas décadas e que é importante conhecer a situação atual para estabelecer novos pontos de interesse para a pesquisa na área de Fertilidade do Solo, bem como para planejar as aquisições de insumos por cooperativas e revendedores, realizou-se o presente trabalho, cuja base foi montar um extenso banco de dados de análises químicas de solos disponíveis na região.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos estabelecer o panorama atual da fertilidade dos solos da Região de Guarapuava – PR, bem como identificar problemas e propor novos focos de estudo na área, visando à melhoria de aspectos químicos dos solos, da nutrição e da produtividade das culturas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Geologia e clima como condicionadores dos solos em Guarapuava e Região

A região de Guarapuava estende-se entre os rios Piquiri, ao norte, e Iguazu, ao sul, na porção Centro-Sul do Paraná, fazendo parte do Terceiro Planalto, limitado a oeste pela calha do Rio Paraná e a leste pela Serra Geral ou Serra da Boa Esperança, cujo nome correto é escarpa triássica, a qual domina, com 750 m de desnível, o Segundo Planalto (Maack, 2002).

Tanto o Terceiro quanto o Segundo Planalto fazem parte da formação geológica da bacia do Rio Paraná, cujo vulcanismo na porção do Terceiro Planalto durante a era mesozóica, há cerca de 130 milhões de anos (Amaral et al., 1966; Cordani et al., 1980), deu origem às rochas que se destacam na região. As lavas extravasadas em numerosas fissuras eram, em sua grande maioria, básicas (Petri e Fúlfaro, 1988), consolidando-se em basaltos, cuja formação denomina-se Serra Geral ou Derrame de Trapp (Sambatti, 2004).

Nesta formação, segundo Bellieni et al. (1986), 90% em volume são de rochas efusivas básicas, 7% de efusivas intermediárias e 3% de rochas ácidas. A região estudada localiza-se em área onde ocorreram vulcanismos ácidos da bacia do Paraná (Figura 1), denominados tipo Chapecó, presente no centro e no norte da Bacia, além de vulcanismos básicos da formação Serra Geral. As rochas ácidas do tipo Chapecó estão entre quartzolátitos, riódacitos e riólitos, enquanto as rochas básicas, dominantes no restante da bacia, estão entre basaltos toleíticos e andesi-basaltos.

Com latitude Sul acima de 23° e 27' (Trópico de Capricórnio), o bloco do Planalto de Guarapuava situa-se na zona subtropical do Paraná (Maack, 2002). A altitude na região está entre 800–1.200 m, sendo um forte componente na determinação do clima frio e úmido. Segundo classificação de Koeppen, o clima predominantemente é do tipo temperado Cfb, caracterizado por verões amenos, temperatura média no mês mais quente inferior a 22°C, temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C, com geadas severas e sem estação seca definida, sendo a precipitação pluvial anual média entre 1.600–2.000 mm (Iapar, 2000).

O relevo é suave nas áreas antes ocupadas pela vegetação natural de campo limpo, atualmente lavouras temporárias, sendo mais ondulado nas encostas e vales dos grandes rios, sendo suas formações influenciadas pelos períodos de glaciações e inter-glaciações que ocorreram na região, juntamente com a elevada precipitação pluvial (Maack, 2002).

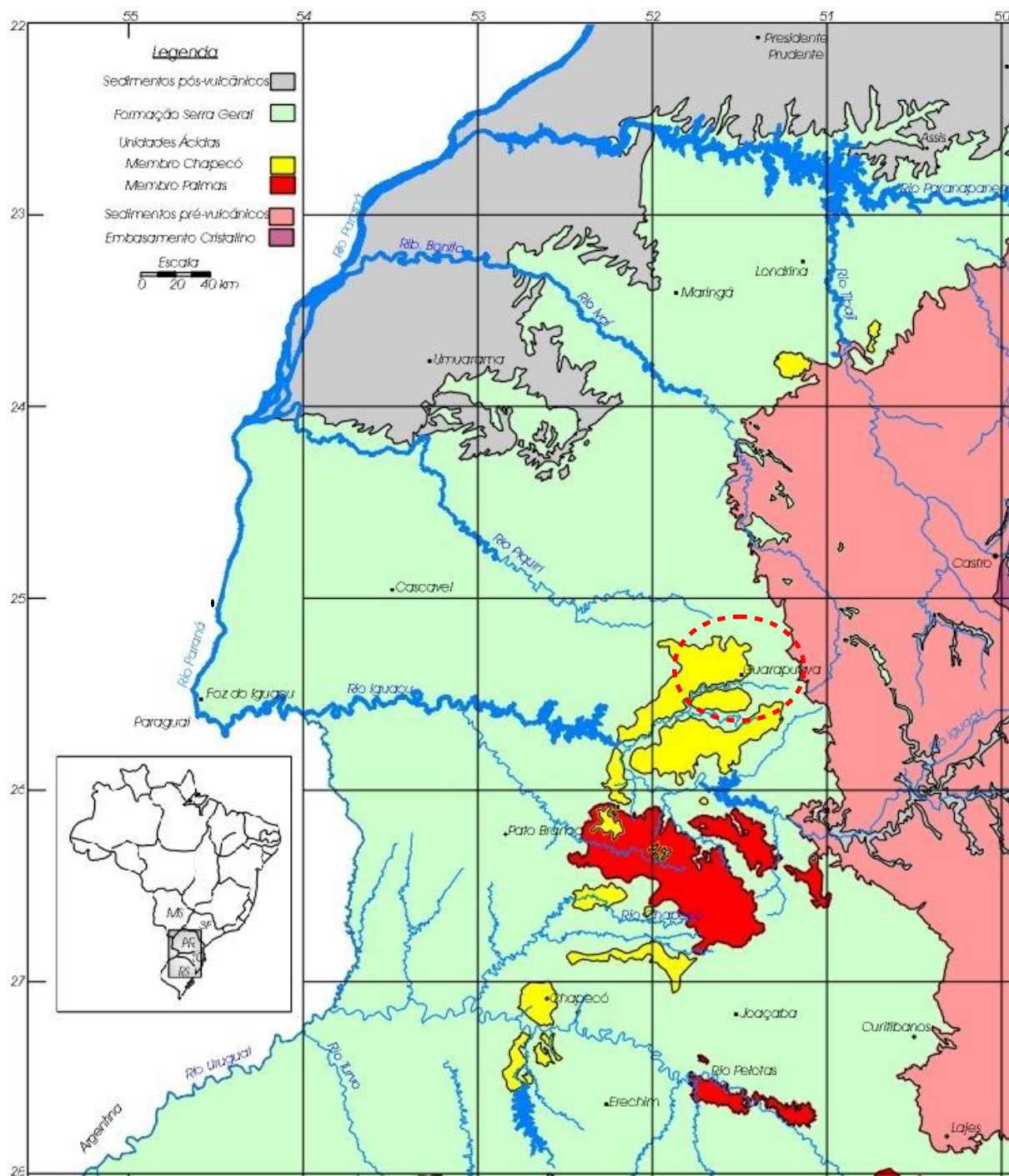


Figura 1. Distribuição das diferentes formações de rochas da Bacia do Paraná. No detalhe, o município de Guarapuava. Adaptado de Nardy et al. (2003).

3.2. Solos predominantes na Região de Guarapuava

A nova versão do mapa de levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná (Bhering et al., 2008), com legenda atualizada para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), mostra que a Região de Guarapuava é dominada por

Latossolos Brunos, Neossolos Litólicos ou Regolíticos, Cambissolos Háplicos ou Húmicos e Nitossolos Brunos, normalmente distróficos, húmicos ou alumínicos no terceiro nível categórico, conforme ilustra a Figura 2. Combinados em proporções variáveis, estes solos compõem as unidades de mapeamento da região e são, sob condições naturais, ácidos, distróficos, saturados por Al^{3+} , pobres em P e argilosos, sendo imprescindível uso de corretivos e fertilizantes para obtenção de boa produtividade (Embrapa, 1984).

Predominantes na região, os Latossolos são solos muito intemperizados e evoluídos, quase desprovidos de materiais primários, com baixa capacidade de troca catiônica, profundos, ácidos e com baixa saturação por bases (Embrapa, 1999). Os Latossolos Brunos são solos com argila de baixa atividade e, geralmente, profundos, mas na região estudada, devido ao clima Cfb, podem ser encontrados com menor profundidade, apresentando textura muito argilosa, coloração bruno-avermelhada, drenagem acentuada e elevada acidez (Embrapa, 1984).

Embora as baixas temperaturas típicas da região gerem menor intensidade das reações químicas de intemperismo, a percolação das águas das chuvas é abundante. Segundo Oliveira et al. (1992), tal combinação nos Planaltos Sulinos do Brasil resulta, via de regra, em solos ricos em constituintes orgânicos, mas pouco desenvolvidos, menos profundos e, por vezes, pedregosos, embora muito lixiviados, quimicamente pobres e de reação bastante ácida. Segundo Ker e Resende (1990), os elevados teores de Al^{3+} e os baixos teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) trocáveis presentes nos Latossolos Brunos do Sul do Brasil são indicativos de que a ação do intemperismo, aliada aos fatores climáticos, favoreceram a lixiviação de bases, apesar do conteúdo relativamente alto destas no material de origem.

Análises químicas de amostras de perfis de Latossolos Brunos da região comprovam que tais solos apresentam, naturalmente, níveis muito baixos de fertilidade natural. Dados do perfil 36 do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná (Embrapa, 1984), localizado em Guarapuava sob vegetação de Floresta de Pinheiro, mostram, na camada de 4 a 30 cm, saturação por bases (V) de 11 % e saturação por Al^{3+} (m) de 50 %. O perfil 39, localizado em Pinhão sob vegetação de Campo Natural, mostrou V de 12 % e m de 57 % na camada de 0-20 cm.

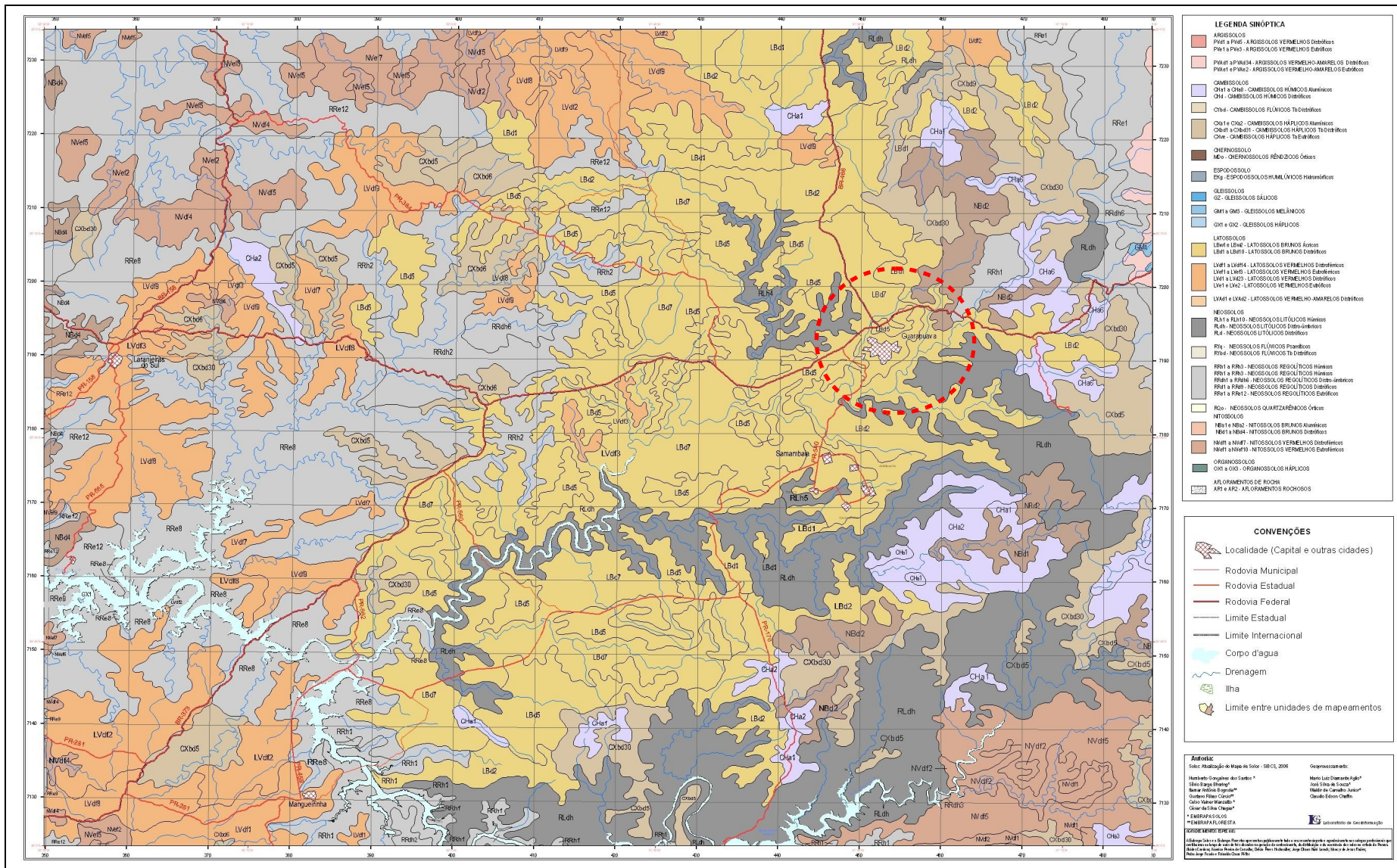


Figura 2: Carta de Solos do Estado do Paraná. No detalhe, o município de Guarapuava. *Adaptado de Bhering et al. (2008)

Ambos os perfis apresentaram teor de P menor que 1 mg dm^{-3} e, apesar destas limitações, ambos apresentaram teores elevados de carbono orgânico (C_{org}): 92 g dm^{-3} para Guarapuava (0-4 cm) e 40 g dm^{-3} para Pinhão (0-20 cm), sendo estes teores ligados ao bom potencial agrícola destes solos, pois refletem em capacidade de troca de cátions relativamente alta (normalmente acima de $15,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$).

3.3. Evolução do uso e manejo dos solos na região de Guarapuava

Os Campos de Guarapuava ganharam destaque na documentação colonial portuguesa, após a assinatura do Tratado de Madri. De 1768 a 1774, foram realizadas 11 expedições para explorar a região, no que se convencionou chamar “A Conquista dos Campos de Guarapuava” (Lacheski, 2009). No século XIX, o movimento foi de aproveitamento das terras (Machado, 1987), pois os campos naturais de Guarapuava favoreciam a pecuária e, com isso, houve incremento no comércio de tropas entre as regiões Sul, a de Minas Gerais e a de São Paulo, inaugurando a fase do tropeirismo e o ciclo da erva mate na região (Balhana et al., 1969).

Segundo Maack (2002), o uso extensivo do solo na região de Guarapuava deu-se, inicialmente, nas áreas de Campo Limpo com a criação de gado que, por vezes, não conseguia se alimentar das gramíneas duras, secas e impregnadas de sílica comuns na região, sendo necessária a renovação constante do pasto com queimas, efetuadas desde o início da ocupação até recentemente, por aproximadamente 200 anos, empobrecendo muito os solos da região.

Entre 1800 e 1940, a pecuária extensiva foi responsável pela ocupação destes campos. No entanto, as fazendas eram capazes de produzir para sua subsistência em milho, feijão, mandioca e arroz (Santos, 2001). Segundo Abreu (1996), a economia de Guarapuava em relação à agropecuária pode ser dividida em duas fases: 1ª) pecuária extensiva e agricultura de subsistência; 2ª) agricultura comercial e pecuária racional. A primeira fase, entre 1810 e 1950, adotou o tipo de vida da sociedade campeira tradicional Curitibana e dos Campos Gerais, economicamente baseadas na pecuária extensiva. A segunda fase, a partir de 1950, marca o desenvolvimento da agricultura comercial e, posteriormente, o desenvolvimento da pecuária.

Com o enfraquecimento da pecuária entre o final do século XIX e as primeiras décadas do século XX, a agricultura de subsistência, praticamente ignorada durante o domínio do tropeirismo e da extração da erva-mate, tornou-se um problema. O governo passou, então, a incentivar a colonização por imigrantes russos, poloneses, ucranianos e alemães, desde Ponta Grossa até Guarapuava (Balhana et al., 1969). Na década 1940, a erva-mate começa perder importância no Estado, iniciando-se o período de extração da madeira, que passou a ser

largamente exportada, com auge em 1939 na pauta das exportações paranaenses, por conta da segunda guerra mundial (Lacheski, 2009).

Após a 2ª Guerra Mundial, a extração de madeira tornou-se a principal atividade econômica em Guarapuava e região. Cerca de 250 serrarias se instalaram no município, que possuía a maior reserva florestal da América do Sul e, em menos de 30 anos, exterminaram com toda a mata de araucárias. A partir da década de 1950, a agricultura guarapuavana passou a ser mecanizada, com auxílio de financiamentos bancários, e o município se tornou grande produtor de grãos (Marcondes, 1998).

Segundo o último censo agropecuário realizado no Brasil (IBGE, 2006), na microrregião de Guarapuava, que abrange um total de 24.852 estabelecimentos rurais e 1.092.105 ha, 78 % dos estabelecimentos destinam área ao cultivo de lavouras temporárias, e 79% dos estabelecimentos possuem área cultivada com forrageira para corte. Estas proporções não se diferenciam muito daquelas encontradas em outras microrregiões com agricultura reconhecidamente desenvolvida no Paraná, como Londrina, com 72 e 75 %, e Ponta Grossa, com 73 e 77 %, respectivamente.

Em 2008, a distribuição de uso do solo para as culturas de maior escala em Guarapuava e região foi estimada em 173.350 ha de soja, 123.830 ha de milho, 64.100 ha de trigo, 24.340 ha de cevada, conforme levantamento da Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, Núcleos Regionais de Guarapuava (NRG) e Laranjeiras do Sul, para a safra 2007-2008 (Seab/Deral, 2008¹).

O desenvolvimento da agricultura mecanizada no sul do Brasil na década de 70 foi baseado no uso de sistemas de preparo com intenso revolvimento do solo, uso do pousio de inverno, da monocultura trigo/soja e da queima da palha de trigo. Essas práticas agrícolas determinaram altas taxas de perdas de MOS por decomposição microbiana e expressivas perdas de solos por erosão. A partir da década de 80, com o cultivo do solo em sistema plantio direto (SPD), houve uma redução das taxas de perda de MOS, contribuindo para a recuperação dos estoques de MOS dos solos na região (Bayer et al., 2006).

A expansão do SPD no Estado do Paraná possibilitou que novas áreas pudessem contar com esta técnica no controle da erosão hídrica. Segundo Eltz et al. (1989), na região de Guarapuava o SPD encontrou solo e clima propícios para seu desenvolvimento, além de agricultores motivados para superar os desafios da nova técnica. Prova disso é o experimento de longa duração sobre SPD instalado em 1980 no Município, cujas avaliações químicas e físicas iniciais de solo foram publicadas por estes autores nove anos mais tarde.

¹ Dados não publicados do Relatório interno - safra 2007/2008, cedidos por Dirlei Antonio Manfio, NRG.

Conforme Bayer et al. (2006), a combinação do SPD e de adequados esquemas de rotação de culturas aumenta os estoques de MOS do solo em relação ao preparo convencional, sendo este acúmulo de MOS responsável pelas principais alterações na química de solos em SPD. No trabalho publicado por Eltz et al. (1989), com dados coletados até sete anos e meio após a instalação do experimento, vê-se que o SPD começou a aumentar os teores de MOS em relação ao sistema de preparo convencional com aração e gradagem, a partir das camadas mais superficiais do solo, que apresentaram aumento concomitante da fertilidade, com teores maiores de P, Ca²⁺ e Mg²⁺.

Segundo a FEBRAPDP (2005), na safra 2004/2005 foram cultivados 95.757.000 ha sob SPD no Mundo, sendo que, na safra 2005/2006, o Brasil atingiu a marca dos 25.501.656 ha sob este sistema. Na região Centro-Sul do Paraná, da área de 385.620 ha cultivados com as lavouras de soja, milho, trigo e cevada nos municípios de Guarapuava, Pinhão, Reserva do Iguaçu, Turvo, Cândói, Foz do Jordão, Laranjeiras do Sul, Virmond, Campina do Simão, Cantagalo, Goioxim e Boa Ventura de São Roque, cerca de 326.500 ha, ou seja, aproximadamente 85 % foram cultivados sob SPD na safra 2007/2008 (Seab/Deral, 2008²), sendo uma das regiões do estado com os maiores índices de adoção de SPD (Costa, 2007).

3.4. Conceitos de Fertilidade do Solo

Segundo Mello et al. (1983), solo fértil é aquele que contém, em quantidades suficientes e balanceadas, todos os nutrientes essenciais em formas assimiláveis pelas plantas. Deve estar razoavelmente livre de materiais tóxicos e possuir propriedades físicas e químicas satisfatórias. Para Lopes e Guilherme (2007), solo produtivo é um solo fértil que se encontra em local com fatores climáticos favoráveis para o bom desenvolvimento das plantas nele cultivados. Portanto a produtividade agrícola não depende exclusivamente da fertilidade do solo, importando também as condições climáticas do ambiente em que o solo se insere.

3.4.1. Fatores de natureza química relacionados à fertilidade do solo

Fatores de natureza química podem influenciar positiva ou negativamente a fertilidade dos solos, sendo difícil classificá-los ou separá-los, pois, em muitos casos, estão intimamente relacionados e interagem entre si. Segundo Meurer (2007), é possível classificá-los naqueles relacionados com: composição mineralógica do solo; reação do solo (pH); disponibilidade de

² Dados não publicados do relatório interno - safra 2007/2008, cedidos por Dirlei Antonio Manfio, NRG.

nutrientes; presença de elementos tóxicos; teor de matéria orgânica do solo (MOS) e reações de sorção e precipitação.

3.4.1.1. Composição mineralógica dos solos

Considerando a ampla gama de fatores que influem na sua formação, os solos podem ter composições químicas muito distintas, a começar pela rocha-mãe, que pode ser ígnea, sedimentar ou metamórfica, com diferentes perfis mineralógicos. Nos solos, os componentes minerais podem ser divididos em dois grupos: (i) minerais primários, que provêm da rocha-mãe e não sofreram modificação química; e (ii) minerais secundários, produtos da transformação ou decomposição dos minerais primários durante a pedogênese (Lawton, 1963).

Minerais silicatados primários, como feldspatos e micas, e secundários, como caulinita, óxidos de Fe e Al, são muito importantes para a fertilidade dos solos. Os feldspatos, por exemplo, são fontes de cálcio (Ca) e potássio (K). Os fosfatos, os sulfatos e os carbonatos são fontes de P, enxofre (S), Ca e Mg respectivamente (Inda Junior et al., 2004). Portanto, a composição mineralógica determina a maior ou menor disponibilidade de elementos essenciais para as plantas, bem como de elementos que podem ser fitotóxicos (Meurer, 2007).

No caso das rochas ácidas do tipo Chapecó presentes na Região de Guarapuava, a grande massa é composta por quartzo, feldspatos alcalinos, plagioclásios, piroxênios, titanomagnetita e ilmenita. Quanto às rochas básicas, a grande massa é constituída de plagioclásios, augita, pigeonita e abundante titanomagnetita e ilmenita (Bellieni et al., 1986; Piccirillo et al., 1988).

Dependendo do grau de intemperismo do solo, podem ser formados minerais secundários do tipo 2:1, 1:1 e óxidos. O intemperismo intenso leva a maiores remoções de sílica e bases do perfil, resultando em predomínio de minerais óxidos de Fe e Al e silicatados 1:1, como a caulinita, na constituição mineralógica da fração argila do solo (Rajj, 1986), com grande importância para as reações físico-químicas.

Como o hidróxido de silício formado na reação de hidrólise entre a água e os minerais primários é relativamente solúvel em água, quanto maior a precipitação e a percolação de água durante essa fase, maior será a concentração de caulinita no produto final (Guimarães, 2006). Conforme Bayer et al. (2006), devido à alta taxa de intemperismo, os solos da região de Guarapuava têm como principais minerais na fração argila a caulinita, os óxidos de ferro (goethita e hematita) e de alumínio (gibsitita). Os autores ainda afirmam que os teores de

goethita e gibsitita encontrados na região são bastante superiores aos comumente verificados em outros tipos de solo formados a partir do mesmo material de origem, o que determina características químicas peculiares aos solos desta região.

Estudando horizontes Bw em Latossolos de Guarapuava e Cascavel-PR, Silva (2006) encontrou predomínio de caulinita e gibsitita em sua mineralogia. Entretanto, os teores goethita e hematita (óxidos de ferro) foram semelhantes em Guarapuava, enquanto em Cascavel os teores de hematita foram elevados, mas não se encontrou goethita. Conforme Embrapa (1984), a elevada altitude e o clima frio e úmido fazem predominar, na Região Sul, os solos Brunos com horizontes Húmicos, atributos que denotam, além de altos teores naturais MOS, óxidos hidratados de ferro e alumínio.

Os óxidos de Fe são responsáveis pela pigmentação vermelho-amarronzada dos solos. A hematita determina cores mais avermelhadas e a goethita, determina cores mais amareladas, sendo que teores mais baixos de Fe no material de origem, baixas temperaturas, maior umidade, maior teor de MOS e valores mais baixos de pH são os principais fatores que favorecem a formação da goethita em detrimento à hematita (Schwertmann e Taylor, 1989), (Melo et al., 2001). Segundo Torrent et al. (1994) e Borggaard (1983), solos com predomínio de goethita, devido a sua maior superfície específica, geralmente fixam mais P do que solos hematíticos.

3.4.1.2. Reação do solo

A acidez do solo pode ter origens distintas, mas normalmente advém da combinação de diversos fatores: (i) a dissociação de H^+ de grupos químicos da MOS, de bordos quebrados dos minerais de argila e da superfície de óxidos de Fe e Al; (ii) a hidrólise de Al, Fe e manganês (Mn); (iii) a formação de ácido como resultado da reação da água do solo com o gás carbônico (CO_2) proveniente do ar do solo, da respiração das raízes e organismos vivos e da decomposição da MOS; (iv) da absorção de cátions básicos pelas plantas; (v) dos resíduos ácidos ou reações acidificantes dos fertilizantes; (vi) da lixiviação; e (vii) do deslocamento de H^+ e Al^{3+} adsorvidos para a solução do solo (Tisdale et al., 1993; Pavan e Miyazawa, 1997).

No caso dos solos da região, a elevada precipitação pluviométrica, o intemperismo, o alto teor de MOS e a presença de óxidos de Fe e Al (Embrapa, 1984; Silva, 2006) são fatores determinantes nas condições naturais de acidez dos solos.

No caso dos solos cultivados sob SPD, muito adotado na Região de Guarapuava, os principais fatores que provocam acidez são a decomposição de resíduos das culturas, a reação

dos adubos nitrogenados (processo de nitrificação) e a exportação de bases pelos grãos na colheita. A dinâmica da acidez no sistema de plantio direto tem sua ação a partir da superfície do solo, pela decomposição dos resíduos das culturas e a reação dos adubos nitrogenados, formando uma frente de acidificação (Anghinoni, 2006).

Entretanto, sob SPD, o aumento do teor de MOS reduz os efeitos nocivos da acidez do solo e da toxidez por Al^{3+} . Assim, rendimentos elevados das culturas têm sido obtidos em condições de acidez elevada nesse sistema de manejo do solo, tanto em experimentos (Pöttker e Ben, 1998; Caires et al., 1998) como em áreas de lavoura (Anghinoni e Salet, 2000). A redução da acidez e a diminuição da toxidez por Al^{3+} resultam da ação contínua dos resíduos, que liberam ânions orgânicos de baixo peso molecular das culturas na superfície do solo (Miyazawa et al., 1993; Franchini et al., 1999; Miyazawa et al., 2000).

Para Mielniczuk et al. (2003), a aplicação superficial de calcário, sem incorporação ao solo, está consolidada como prática de uso generalizado de correção de acidez do solo no SPD na região Sul do Brasil. Conforme dados de Caires (2000), a calagem superficial em SPD no Paraná tem se mostrado viável, sendo possível observar respostas em produtividade de grãos de até 43% em solos ácidos da região dos Campos Gerais sob rotação em SPD.

3.4.1.3. Disponibilidade dos nutrientes

São 13 os nutrientes essenciais às plantas absorvidos a partir do solo: N, P, K, Ca, Mg, S, boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), Fe, Mn, zinco (Zn), molibdênio (Mo), todos desempenhando papéis vitais no metabolismo vegetal, determinando diretamente, portanto, a produtividade agrícola (Dechen e Nachtigall, 2006). Além da mineralogia do solo, outras características influenciam na disponibilidade dos nutrientes, sendo o pH uma das principais. Segundo Meurer (2007), os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) apresentam, por efeitos diretos ou indiretos, maior disponibilidade em pH na faixa de 6,0 a 6,5.

O pH tem efeito preponderante sobre a disponibilidade de P em solos em regiões tropicais e subtropicais, por conta de reações de adsorção e precipitação de P no solo (retenção ou fixação de P), que são altamente dependentes de pH: (i) em solos ácidos, o P inorgânico, proveniente da mineralização do P orgânico ou dos fertilizantes, precipita como minerais secundários com Fe/Al, ou é adsorvido à superfície de óxidos de Fe/Al e também à superfície de minerais da fração argila; (ii) em solos neutros ou alcalinos, o P precipita como minerais secundários com Ca e/ou é adsorvido à superfície de minerais de argila e de carbonatos de cálcio (Tisdale et al., 1993).

Em geral, a capacidade relativa de fixação de P pelos minerais no solo obedece à seqüência: óxidos amorfos (baixa cristalinidade) >> óxidos cristalinos (goetita > hematita) >> gibsitita > caulinita (Meurer et al., 2008). Segundo Bayer et al. (2006), estas reações de fixação são favorecidas por baixos valores de pH, revolvimento do solo e incorporação do fertilizante fosfatado na camada de 0,0 a 0,20 m. Por outro lado, o não revolvimento do solo e o acúmulo de MOS em SPD contribuem para o aumento da disponibilidade de P no solo, sendo que a aplicação superficial ou via semeadora no sulco resulta em acúmulo de P na camada de 0,0 a 0,08 m, gerando saturação dos sítios de adsorção e uma adsorção em sítios com menor energia de ligação com o fosfato.

O maior teor de P do solo em plantio direto pode ser devido à adição desse nutriente nas camadas superficiais, ao menor efeito diluição, às reações de adsorção e à sua reciclagem pela mineralização dos resíduos. O não revolvimento do solo reduz o contato entre os colóides do solo e o íon fosfato, diminuindo as reações de adsorção (Sá, 1999; 2004).

Considerando que há interações competitivas entre os diferentes nutrientes, as quais influem na possibilidade de absorção dos mesmos pelas células através das membranas (Epstein, 1975), na avaliação da disponibilidade dos nutrientes, também é importante considerar as relações entre os cátions para as culturas, pois de acordo com a Lei do Mínimo de Liebig, para que a produção não seja limitada por aquele nutriente presente em menor proporção ou disponibilidade, tão importante é a quantidade absoluta de um nutriente quanto a quantidade relativa desse nutriente no solo (Malavolta, 1992).

Segundo Rosolem et al. (1984), a aplicação de corretivos que fornecem relações inadequadas de Ca e Mg resulta em desbalanços nutricionais, podendo induzir a deficiências nutricionais nas plantas e comprometimento do crescimento. Para Siqueira et al. (1975), a aplicação de calcário para o suprimento de Ca e/ou Mg influi no equilíbrio nutricional do solo, sendo que o fornecimento equilibrado de cátions básicos e a eficiência das plantas em obtê-los em quantidades suficientes depende da associação da relação Ca:Mg do corretivo com a relação Ca:Mg do solo.

Oliveira et al. (1994) observaram efeitos significativos do aumento da saturação de Ca na CTC do solo no rendimento de matéria seca de mudas de cafeeiro. Silva (1980) obteve os melhores rendimentos de matéria seca de milho com a relação 3:1 entre Ca e Mg em solos com 60 e 70 % da CTC saturada com Ca. Caires et al. (2001), estudando o comportamento da cevada frente à aplicação de calcário e gesso, concluíram que o gesso aumentou os teores de Ca e S e a relação Ca/Mg do solo, proporcionando maior absorção de N, P, K, Ca e S pela cultura em condições de déficit hídrico, o que resultou em acréscimos na produção de grãos.

Porém, freqüentemente, variações na relação entre Ca e Mg (Muchovej et al., 1986) e variações das saturações dos cátions básicos na CTC do solo não influenciam no rendimento das culturas (Fox e Piekielek, 1984). Oliveira (1993), estudando o rendimento de matéria seca e a nutrição do milho em função da relação Ca:Mg no solo, relata que variações de 1 a 12:1 na referida relação não afetaram o rendimento de matéria seca.

Os solos da região de Guarapuava apresentam naturalmente alta capacidade de fixação de P no solo e baixa disponibilidade geral de nutrientes (Embrapa, 1984). Entretanto, há registros de atuação antrópica, ao longo dos anos na região, no sentido de corrigir o solo e aumentar a disponibilidade de nutrientes, utilizando-se, na década de 1980, calcário e escória de Thomas (Eltz et al., 1989; Albuquerque et al., 2005), a qual possui silicatos de Ca e Mg (Baldeon, 1995) e teor de P_2O_5 (ácido cítrico) entre 12,5 a 22,8 % (Souza, 2009). Também foram utilizados termofosfato magnésiano (Santos et al., 1991), gesso e grandes quantidades de fertilizantes NPK em cultivos importantes na região, como a batata que, tradicionalmente, é adubada com 4.000 kg ha^{-1} de 04-14-08 ou 04-16-08 (Kawakami e Müller, 2007), deixando no solo um grande efeito residual de nutrientes disponíveis para culturas subseqüentes.

O levantamento realizado por Fontoura (2004), em análises químicas de solos sob SPD realizadas por produtores associados à Cooperativa Agrária (Distrito de Entre Rios, Guarapuava-PR), mostrou que, em 2003, 49 % das amostras apresentavam pH_{CaCl_2} entre 4,4 e 5,0 - portanto, sem muitos problemas com acidez, havendo altos teores de Ca^{2+} (75% de amostras $> 4,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$) e de Mg^{2+} (97% de amostras $> 0,8 \text{ cmolc dm}^{-3}$) na maioria das amostras, com distribuição menor de P (30 % de amostras $> 9,0 \text{ mg dm}^{-3}$) e K^+ (45 % de amostras $> 0,3 \text{ cmolc dm}^{-3}$) nas classes de teor elevado.

3.4.1.4. Elementos tóxicos

O desenvolvimento das plantas pode ser restringido ou completamente paralisado por elementos tóxico, sendo que quase todos os elementos do solo, mesmo os essenciais e benéficos, tornam-se tóxicos às plantas quando presentes em concentrações muito elevadas. Provavelmente, um dos problemas de toxicidade às plantas mais amplamente difundidos no mundo envolve níveis excessivos de Al^{3+} (Tisdale et al., 1993).

Segundo Pavan e Miyazawa (1997), “a quantidade de Al^{3+} extraído aumenta com a diminuição do pH em água abaixo de 5,5, atingindo concentrações elevadas em pH em água menor que 4,5, refletindo a química de Al^{3+} , cujas quantidades relativas das formas trocáveis e não trocáveis são dependentes do pH do solo”. Com o aumento do pH, o Al^{3+} precipita-se

como $\text{Al}(\text{OH})_3$, forma não trocável, e com a acidificação do solo o íon H^+ dissolve os hidróxidos de alumínio, retornando-o à forma trocável (tóxica). Desta forma, a toxidez de Al^{3+} aumenta ou diminui dependendo do pH do solo.

O excesso de Al^{3+} afeta a divisão celular e inibe o crescimento das raízes, causa a precipitação do P tanto no solo como no interior das raízes, inibe a formação de nódulos em leguminosas e diminui a absorção e o transporte de água e nutrientes (Pavan e Oliveira, 1997).

Nos solos sob SPD, segundo Salet et al. (1999), o efeito tóxico do Al^{3+} na solução é amenizado pela formação de complexos (quelatos) altamente estáveis com a MOS. O aumento da MOS nos solos em SPD, com incremento dos compostos orgânicos dissolvidos, favorece a complexação de Al^{3+} , reduzindo a atividade do íon em solução e, conseqüentemente, a sua toxidez às culturas. Além da complexação de Al^{3+} pela MOS, a diminuição da atividade de Al^{3+} na solução do solo é decorrente do aumento da concentração de bases como Ca, Mg e K.

Meurer e Anghinoni (2008), estimando as espécies e a atividade do Al na solução de um Latossolo Vermelho distrófico típico, submetido ao SPD durante 8 anos, observaram que a espécie Al^{3+} , tóxica para as plantas, representava apenas 4,8% do total, e que mais de 72% do Al encontrava-se complexado por compostos orgânicos, não tendo efeito tóxico para as plantas. Estes fatos explicam porque em solos ácidos sob SPD não ocorre toxidez de Al para as plantas.

No trabalho de levantamento realizado por Fontoura (2004), foram comprovados baixos teores de Al^{3+} nos solos manejados sob SPD na região de Guarapuava, sendo que 93% das amostras de solos de 2003 apresentaram teores de $\text{Al}^{3+} < 0,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$.

3.4.1.5. Matéria Orgânica do Solo (MOS)

Em solos tropicais e subtropicais altamente intemperizados, a MOS tem grande importância no fornecimento de nutrientes às culturas, retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, estabilidade da estrutura, aeração, infiltração e retenção de água, além de atividade e biomassa microbianas, constituindo-se, assim, em um componente fundamental da sua capacidade produtiva (Bayer e Mielniczuk, 1999).

Englobando resíduos orgânicos de diversas naturezas e em estágios variados de decomposição, bem como a biomassa microbiana, as raízes e uma fração mais estável denominada húmus, a MOS pode ser dividida em dois grupos: (i) um constituído pelos produtos da decomposição dos resíduos e do metabolismo microbiano, como proteínas,

carboidratos, totalizando 10-15% da reserva total do C; e (ii) outro representado por substâncias húmicas que chegam a 85-90% da reserva total de C_{org} (Camargo et al., 1999).

Conforme Mello et al. (1983), a matéria orgânica humificada constitui a fração coloidal do solo e têm elevado poder de adsorção de cátions devido, principalmente, à dissociação de H^+ de grupos carboxílico (-COOH), alcoólico (-OH), fenólico (-OH), carbonil (C=O), quinona (anel C=O), metoxil (-OCH₃) e amínico (-NH₂), o que lhe confere uma alta capacidade tamponante. Portanto, quanto maior o teor de MOS humificada de um solo, maior é sua resistência à mudança no pH

De acordo com Silva e Mendonça (2007), as cargas negativas da MOS são dependentes de pH: com a elevação do pH, ocorre dissociação de H^+ dos grupamentos orgânicos e, em consequência, um incremento significativo das cargas superficiais negativas nas substâncias húmicas. No caso de solos em estágio avançado de intemperismo, com cargas predominantemente variáveis, dependentes de pH e cuja fração argila é dominada por caulinita e oxi-hidróxidos de Fe/Al, a contribuição da MOS é sempre maior.

A CTC originária das cargas dependentes de pH (CTC variável), advindas da MOS e de constituintes minerais como caulinita e oxi-hidróxidos de Fe/Al, constitui-se no mais importante componente de cargas negativas, cuja magnitude aumenta com o teor de matéria orgânica. Considerando somente a CTC variável do solo, a contribuição da matéria orgânica representa cerca de 90% do total de cargas elétricas negativas em solos do Paraná (Pavan et al., 1985). De fato, há um efeito importante do acúmulo de MOS sobre a CTC de solos sob SPD no Sul do Brasil. Conforme Ciotta et al. (2003) trabalhos de pesquisa têm verificado maiores valores de CTC na camada superficial de solos sob SPD e, como a mineralogia do solo não é afetada pelo manejo, esse efeito se deve ao acúmulo de MOS no solo.

O levantamento realizado por Fontoura (2004), em análises de solos manejados sob SPD na região de Guarapuava, mostrou que 66 % das amostras de solos de 2003 apresentaram teor de MOS > 50 g dm^{-3} .

3.5. A importância da relação entre V % e pH do solo

Conforme Rede... (1994), a calagem objetiva elevar o pH do solo até determinado valor, visando a neutralizar ou reduzir os efeitos tóxicos do alumínio e/ou do manganês do solo, bem como melhorar o ambiente radicular para as plantas absorverem os nutrientes.

Segundo Raij (2008), a relação entre pH do solo e saturação por bases (V%) é linear e muito estreita para amostras superficiais de solos, com alguma variação regional decorrente da natureza dos solos. Através dela, é possível determinar o pH em função do valor de V%, fazendo da saturação por bases um bom índice para estabelecer metas de calagem visando o aumento do pH do solo.

De fato, a relação entre saturação por bases (V%) e pH há muito é conhecida, sendo utilizada como base para o método de recomendação de calagem pela elevação da saturação por bases (Catani e Gallo, 1955; Malavolta, 1987; Lima et al., 2003), o qual é bastante difundido em diversas regiões do Brasil e oficial nos Estados de São Paulo e Paraná (Lopes et al., 1991; Nicolodi et al., 2008; Rossa, 2006).

A determinação de modelos matemáticos com base na relação entre pH e V % com base em dados regionais se presta a várias finalidades, entre elas à estimativa de atributos do solo, seja para verificação de possíveis discrepâncias em laudos de análises químicas, seja para prever o valor de pH que poderá ocorrer no solo após a calagem, quando determinada pelo método da saturação por bases.

Ainda conforme Raij (2008), para amostras do subsolo, entretanto, essa relação não deve ser usada para aferir o grau de acidez para raízes de plantas. Por outro lado, é possível ter uma idéia das características eletroquímicas do subsolo utilizando a relação entre V% e pH estabelecida para a superfície. Para isso, pode-se comparar o pH avaliado com o valor correspondente de V%. Se o valor de pH for maior do que esperado pela correlação V% x pH, para determinado valor de V%, o solo é mais eletropositivo e deve responder melhor à gessagem; se for menor, tenderá a ser mais eletronegativo e responder menos ao gesso.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Abrangência da área de estudo

Á área de estudo se localiza na Região Centro-Sul do Paraná, mais precisamente na microrregião de Guarapuava, município que possui as seguintes coordenadas geográficas oficiais (IBGE, 2009): latitude 25° 23' 02" S, longitude 51° 29' 15 W e altitude 1043,16 m. A seleção de municípios na região partiu da disponibilidade de laudos com análises químicas de solo suficientes para representação, mas considerou, também, semelhanças de clima e buscou selecionar o maior número de amostras possíveis de solos com características similares, com base na localização geográfica das glebas e consultando a Carta de Solos do Estado do Paraná (Bhering et al., 2008). Baseando-se nestes pressupostos, 12 municípios foram selecionados: Guarapuava, Pinhão, Reserva do Iguaçu, Turvo, Candói, Foz do Jordão, Laranjeiras do Sul, Virmond, Campina do Simão, Cantagalo, Goioxim e Boa Ventura de São Roque (Figura 3), que juntos possuem, de acordo com dados do IBGE (2006), 15.376 estabelecimentos rurais exercendo atividades produtivas agropecuárias, numa área cultivada total de 758.535 ha.

4.2. Fonte dos dados

Os laudos de análise química utilizados no estudo foram fornecidos por agricultores, agrônomos, pelo Laboratório de Análises Agronômicas TECSOLO Ltda e pela Cooperativa Agropecuária Mourãoense Ltda (COAMO), através de suas unidades em Guarapuava, Pinhão, Candói e Cantagalo. A partir dos laudos disponibilizados, alguns com resultados de análise granulométrica e de micronutrientes além da análise química de rotina, fez-se uma primeira seleção de 9.500 laudos, limitados aos anos de 2007, 2008 e 2009, a fim de montar um banco de dados que representasse a fertilidade atual dos solos da região.

A tabela 1 apresenta as metodologias de análise química de rotina utilizadas nos laudos. Como o número de laudos com resultados de micronutrientes foi insuficiente em muitos municípios, estes dados não foram trabalhados. Quanto aos de granulometria, embora os objetivos do trabalho tenham sido específicos sobre fertilidade, estes foram tabulados com o intuito de verificar a homogeneidade de textura entre os solos estudados, já que esta influi sobre vários indicadores químicos dos solos. Neste caso, como ainda não há uma metodologia única em uso nos laboratórios do Paraná, não é possível precisar quantos laudos foram processados pelo método da pipeta e quantos foram processados pelo método do hidrômetro.

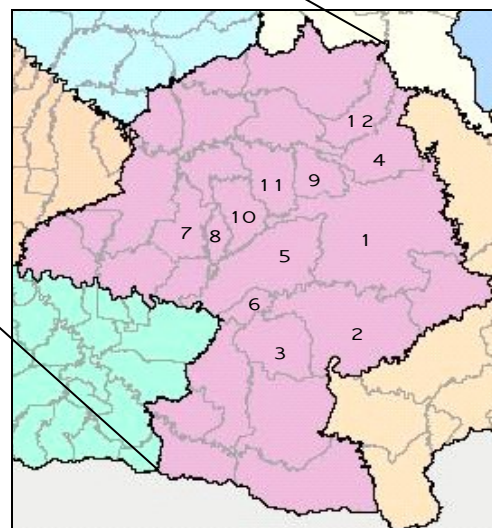


Figura 3. Municípios abrangidos pelo estudo na região Centro Sul do Estado do Paraná: 1 = Guarapuava, 2 = Pinhão, 3 = Reserva do Iguaçu, 4 = Turvo, 5 = Candói, 6 = Foz do Jordão, 7 = Laranjeiras do Sul, 8 = Virmond, 9 = Campina do Simão, 10 = Cantagalo, 11 = Goioxim, 12 = Boa Ventura de São Roque. Adaptado de IPARDES (2009).

TABELA 1. Lista dos indicadores químicos analisados presentes nos laudos, com seus respectivos métodos de extração e determinação nos laboratórios do Paraná*.

Variáveis ⁽¹⁾	Extração	Método de determinação
MOS	Oxidação Úmida	Titulometria (FeSO ₄ + Fenilamina)
pH	Solução com CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹	Potenciometria
P	Mehlich-I	Colorimetria Azul Molibdênio
K ⁺	Mehlich-I	Fotometria de Chama
Ca ²⁺ , Mg ²⁺	KCl 1 mol L ⁻¹	Fotometria de Absorção Atômica
Al ³⁺	KCl 1 mol L ⁻¹	Titulometria (NaOH + indicador)
H + Al	Solução SMP	Indireto: Potenciometria pH SMP

*Pavan et al. (1992). ⁽¹⁾ MOS: matéria orgânica do solo; pH: acidez ativa; P: fósforo; K⁺: potássio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; Al³⁺: acidez trocável, H+Al: acidez potencial.

4.3. Tabulação dos dados e análises estatísticas

Com os 9.500 laudos de 2007 a 2009, procedeu-se uma segunda seleção, mantendo-se somente aqueles referentes à camada de 0,0 a 0,2 m de profundidade, já que os laudos da camada de 0,2 a 0,4 m eram pouco numerosos, impedindo representação satisfatória. Também foram retirados aqueles que representavam seqüências numerosas de laudos de um único talhão, relacionados às áreas com uso das tecnologias de agricultura de precisão.

Após estes procedimentos, restaram 6.534 laudos com análise química de rotina, com os quais montou-se um banco de dados único em planilha eletrônica (Microsoft Excel®). Para tanto, foram digitados os laudos adquiridos na forma impressa, bem como foram convertidos laudos digitais, no caso daqueles fornecidos pelo Laboratório TECSOLO, separando-os por município. Deste total, 980 laudos representando todos os municípios, foram previamente submetidos ao teste de Kolgomorov-Smirnov, para cada variável e cada município, com o objetivo de verificar se os dados apresentavam distribuição normal antes de realizar a análise estatística descritiva.

Para definição do tamanho da amostra mínima ideal por variável por município, utilizou-se a metodologia descrita por Levine et al. (1998), em que o tamanho da amostra para média aritmética de população infinita e de grandes amostras pode ser calculado por (Eq. 1):

$$n_i = \frac{Z^2 \sigma^2}{e^2} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

- n_i – tamanho da amostra ideal representativa da variável, no caso deste estudo, número de laudos por indicador por município;
- Z – valor crítico obtido da distribuição normal, determinado pela probabilidade de confiança almejada;
- σ – desvio padrão da amostra piloto;
- e – erro de amostragem permitido.

No presente estudo, o nível de confiança adotado para todas as variáveis de todos os municípios foi de 95%. Os indicadores pH (CaCl_2), MOS, capacidade de troca de cátions ($\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$), teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} , saturação por bases (V%), saturações por cálcio (Ca%) e por magnésio (Mg%) e relação Ca/Mg apresentaram menor coeficiente de variação, indicando menor variabilidade espacial dos dados e possibilitando adotar o erro de amostragem de 5%.

Para os teores de P, K⁺, Al³⁺, saturações de alumínio (m) e de potássio (K%), relações Ca/K e Mg/K, o coeficiente de variação foi maior, indicando elevada variabilidade espacial, sendo necessário adotar um erro de amostragem de 10% e, com isso, tornar possível o estudo com o número de laudos selecionados.

Como resultado destes procedimentos iniciais, verificou-se que o número disponível de laudos era suficiente para satisfazer plenamente as exigências para todos os indicadores em todos os municípios. Em seguida, os 6.534 laudos foram submetidos ao procedimento “descriptive statistics” no programa estatístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), obtendo-se os índices de estatística descritiva: média aritmética, intervalo de confiança de 95% e coeficiente de variação. Com o estudo da distribuição de resíduos, foram identificados alguns dados inconsistentes, procedendo-se a sua retirada do banco de dados e, então, uma nova submissão dos números à análise estatística descritiva, sendo esta definitiva.

Com o objetivo de estabelecer um panorama da fertilidade dos solos da região a partir dos laudos, obtendo uma visão das condições de fertilidade dos solos de cada município, optou-se por resumir os dados em distribuições de frequência (percentual) por classes ou faixas de valores para cada indicador, por município, e na média dos municípios em conjunto. Tais classes de valores basearam-se em níveis de interpretação de análises químicas de solo, conforme indica a tabela 2.

TABELA 2. Classe de teores para o estudo de distribuição de frequências, conforme indicador químico dos laudos e fonte de referência.

Indicador ⁽¹⁾	Classes de teores				Fonte
P	-	≤ 3,0	3,1 – 6,0	> 6,0	Sfredo et al. (1999)
K	≤ 0,10	0,11 – 0,20	0,21 – 0,30	> 0,30	
Ca	-	≤ 2,0	2,1 – 4,0	> 4,0	
Mg	-	≤ 0,4	0,5 – 0,8	> 0,8	
Al	-	≤ 0,02	0,03 – 1,5	> 1,5	
Ca %	-	≤ 35,0	35,1 – 50,0	> 50,0	
Mg %	-	≤ 13,0	13,1 – 20,0	> 20,0	
K %	-	≤ 3,0	3,1 – 5,0	> 5,0	
Ca/Mg	-	≤ 1,5	1,6 – 3,5	> 3,5	
Ca/K	-	≤ 8,0	8,1 – 16,0	> 16,0	
Mg/K	-	≤ 3,0	3,1 – 6,0	> 6,0	

MOS	-	≤ 25,0	25,1 – 50,0	> 50,0	Comissão... (2004)
CTC _{pH 7,0}	-	≤ 5,0	5,1 – 15,0	> 15,0	
m %	< 1,0	1,0 – 10,0	10,1 – 20,0	> 20,0	

pH _{CaCl2}	≤ 4,3	4,4 – 5,0	5,1 – 5,5	> 5,5(2)	Raij et al. (1997)
V %	≤ 25	26 – 50	51 – 70	> 70	

⁽¹⁾P: mg dm⁻³; K, Ca, Mg, Al, CTC, S, H+Al: cmol_c dm⁻³; pH, Ca/Mg, Ca/K, Mg/K: adimensional; MOS: g dm⁻³.

Como há carência de material bibliográfico atualizado sobre níveis de interpretação geral de resultados de análise química de solo para o Estado do Paraná, e inicialmente pretendia-se utilizar material específico do próprio Estado, uma vez que todos os laudos selecionados são de propriedades rurais do Paraná, optou-se pelos níveis apresentados por Sfredo et al. (1999) para os indicadores P, K, Ca, Mg, Al, Ca%, Mg%, K%, Ca/Mg, Ca/K e Mg/K, recomendados para a cultura da soja no Paraná, sendo esta a cultura com a maior área cultivada no município de Guarapuava em 2008 (IBGE, 2010) e de forte representatividade para a microrregião do estudo, bem como de grande importância para a agricultura do Estado do Paraná.

No caso dos indicadores não contemplados por Sfredo et al. (1999), optou-se pelos níveis interpretativos apresentados pela Comissão...(2004), no caso de MOS, m% e $CTC_{pH\ 7,0}$, e por Raij et al. (1997), no caso de V% e pH (CaCl₂).

Visando investigar relações entre os indicadores químicos dos laudos estudados, procedeu-se a análise de correlação, determinando a matriz de correlação linear de Pearson, obtida através do procedimento “correlate bivariate” do programa SPSS, com significância de 95%.

Num segundo momento, definidos os indicadores de fertilidade do solo com correlação linear significativa e coeficiente elevado, foram selecionados indicadores de interesse agrônomo, submetendo-os à análise de regressão linear simples, através dos procedimentos “Analyse – regression – linear” e “curve estimation”, também do programa SPSS. Tanto para a matriz de correlação quanto para a regressão linear simples, foi utilizado o conjunto completo de dados de todos os laudos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um importante indicativo da semelhança entre os solos e que permitiu considerá-los num estudo conjunto foi o teor de argila. Como havia um total de 1612 resultados de análise granulométrica presentes nos laudos disponibilizados, para o conjunto dos municípios, calculou-se o teor média regional de argila em $610,6 \text{ g Kg}^{-1}$, sendo os limites inferior e superior para o intervalo de confiança de 95 % iguais a $601,5$ e $619,8 \text{ g Kg}^{-1}$, havendo, portanto, uniformidade dos solos quanto à textura. Os teores médios de silte e areia nestas amostras foram de $301,6$ e $80,3 \text{ g Kg}^{-1}$, respectivamente.

Ainda como registro, exemplificando que, conforme Raij et al. (2001), os laboratórios brasileiros processam um número pequeno de amostras em relação a outros países, apenas 1933 dos 6.534 laudos selecionados, ou seja, 29,6 % possuíam resultados de análise química para micronutrientes, os quais seriam necessários para quantificar e recomendar tecnicamente o uso de fertilizantes, sendo que tem se tornado cada vez mais comum a comercialização de fertilizantes fontes de micronutrientes para aplicação via foliar.

5.1. Caracterização da fertilidade atual dos solos da Região de Guarapuava

Os dados de MOS e $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ são apresentados na tabela 3. O teor médio de MOS variou de $39,1$ a $42,6 \text{ g dm}^{-3}$, com média geral de $40,7 \text{ g dm}^{-3}$ para a camada de solo de $0,0-0,2$ m de profundidade. Na região, 92,6 % das amostras mostraram teor de MOS entre $25,1$ e $50,0 \text{ g dm}^{-3}$, e apenas 6,4 % das amostras foram distribuídas na classe $> 50,0 \text{ g dm}^{-3}$.

Utilizando as mesmas faixas de valores interpretativos, o levantamento realizado por fontoura et al. (2004), em laudos de análise química de solo exclusivamente realizados por produtores associados à Cooperativa Agrária da região de Guarapuava, encontrou distribuição distinta, com a maioria das amostras (66 %) distribuída na classe de teores mais elevados ($> 50 \text{ g dm}^{-3}$) e média de $54,63 \text{ g dm}^{-3}$ para o ano de 2003. Estes dados comprovam que os teores de MOS nas camadas superficiais dos solos da região são consideráveis, sendo os valores encontrados por fontoura et al. (2004) mais elevados por conta da amostragem, que neste estudo englobou laudos de amostragem tanto da camada de $0,0-0,1$ m quanto da de $0,0-0,2$ m, provocando um efeito concentração nos teores de carbono orgânico e, conseqüentemente, nos valores de MOS.

TABELA 3: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95% (mín. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de teores de matéria orgânica do solo (MOS) e capacidade de troca de cátions ($CTC_{pH\ 7,0}$) para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).

	Mun. ⁽¹⁾	\bar{x}	mín.	máx.	n	CV	< 25,0 ⁽²⁾	25,1-50,0	> 50,0
		-----g Kg ⁻³ -----			-		-----%		
MOS	1	40,9	40,6	41,3	1212	15,2	1,0	92,7	6,3
	2	40,8	40,2	41,1	786	16,0	0,4	92,8	6,9
	3	41,0	40,3	41,6	291	13,8	0,3	92,6	7,1
	4	39,1	38,9	40,0	528	16,0	1,3	90,5	8,2
	5	41,2	40,5	41,6	609	16,1	0,6	89,4	10,0
	6	42,6	41,9	43,3	245	13,6	0,8	88,9	10,3
	7	40,7	40,0	41,0	438	13,8	0,9	95,9	3,2
	8	39,3	38,8	39,8	456	13,0	0,4	98,1	1,5
	9	40,9	40,8	41,3	432	13,5	0,2	94,1	5,7
	10	42,2	41,7	42,6	675	14,5	0,2	90,1	9,7
	11	39,4	38,7	40,0	401	17,2	4,2	90,9	4,9
	12	40,1	39,8	40,8	391	13,2	1,3	95,2	3,5
	Média	40,7	40,2	41,1	539	14,6	1,0	92,6	6,4
	Mun. ⁽¹⁾	\bar{x}	mín.	máx.	n	CV	≤ 5,0 ⁽³⁾	5,1-15,0	> 15,0
		-----cmol _c dm ⁻³ -----			-		-----%		
CTC pH 7,0	1	12,7	12,6	12,8	1217	16,1	0,0	86,9	13,1
	2	12,9	12,7	13,0	780	16,0	0,0	84,5	15,5
	3	12,6	12,4	12,9	289	15,3	0,0	89,2	10,8
	4	13,0	12,8	13,2	529	14,9	0,0	84,4	15,6
	5	12,8	12,6	13,0	605	15,6	0,2	86,9	12,9
	6	12,5	12,3	12,8	247	14,8	0,4	93,3	6,3
	7	13,0	12,8	13,1	437	13,7	0,4	86,5	13,1
	8	12,9	12,7	13,1	455	15,5	0,0	83,9	16,1
	9	13,2	13,0	13,4	431	17,9	0,0	75,5	24,5
	10	13,3	13,1	13,3	676	17,2	0,0	78,6	21,4
	11	12,7	12,5	12,9	402	16,3	0,0	84,7	15,3
	12	12,6	12,4	12,8	394	14,2	0,3	89,9	10,8
	Média	12,8	12,7	13,0	539	15,6	0,1	85,3	14,6

⁽¹⁾Municípios: 1=Guarapuava, 2=Pinhão, 3=Reserva do Iguacu, 4=Turvo, 5=Candói, 6=Foz do Jordão, 7=Laranjeiras do Sul, 8=Virmond, 9=Campina do Simão, 10=Cantagalo, 11=Goioxim, 12=Boa V. São Roque. ⁽²⁾Classes de teores de MOS em g dm⁻³. ⁽³⁾Classes de valores de $CTC_{pH\ 7,0}$ em cmol_c dm⁻³.

Um dos fatores que justifica os níveis de MOS dos solos estudados é o clima frio e úmido da região de Guarapuava: a temperatura média no mês mais frio é inferior a 18°C e a precipitação média anual situa-se entre 1.600 e 2.000 mm (Iapar, 2000). Segundo Oliveira et al. (1992), nos planaltos sulinos do Brasil, tal combinação resulta, via de regra, em solos consideravelmente ricos em constituintes orgânicos. Outro fator a ser considerado sobre os níveis de MOS na região é o fato do SPD ser predominante em relação ao manejo com preparo convencional. Levantamentos do Iapar indicam que as Regiões de Guarapuava e Ponta Grossa são as que, no Estado do Paraná, mais utilizam este sistema. Segundo Costa

(2007), “estimativas indicam que o SPD é adotado em até 90% da área semeada com culturas anuais na região de Guarapuava”, o que concorda com levantamento do Núcleo Regional da Secretaria de Estado de Agricultura e Abastecimento em Guarapuava (Seab/Deral, 2008³), de 85% da área de cultivo de espécies anuais sob SPD, nos 12 municípios estudados.

Os valores médios de $CTC_{pH7,0}$ variaram de 12,5 a 13,3 $cmol_c dm^{-3}$ nos municípios, com média geral de 12,8 $cmol_c dm^{-3}$. Quanto à distribuição nas classes de teores, a maioria das amostras, considerando média geral de 85,3 %, mostrou valores de $CTC_{pH7,0}$ entre 5,1 a 15,0 $cmol_c dm^{-3}$, sendo de 14,6 % a proporção dos laudos com valores superiores a 15,0 $cmol_c dm^{-3}$ e de apenas 0,1 % para laudos com valores $\leq 5,0 cmol_c dm^{-3}$. Estes resultados demonstram que a maioria dos solos possuem $CTC_{pH7,0}$ elevada, o que está em acordo com os dados de textura, muito argilosa e, principalmente, de MOS, uma vez que elevados teores de MOS são determinantes para a CTC em solos tropicais e subtropicais (Ciotta et al., 2003). Nos solos do Paraná, segundo Pavan et al. (1985), a CTC originária de cargas variáveis, advindas da MOS e constituintes minerais como caulinita e oxi-hidróxidos de Fe/Al, é o mais importante componente de cargas negativas e, considerando-se somente a CTC variável do solo, a contribuição da matéria orgânica representa cerca de 90% do total de cargas nestes solos.

Na tabela 4 são apresentados os dados de acidez trocável (Al^{3+}) e saturação por alumínio (m) na CTC efetiva (calculada como somatório de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e Al^{3+}). Embora a cobertura pedológica da região apresente solos naturalmente ácidos (Embrapa, 1984), as médias municipais para Al^{3+} variaram de 0,1 a 0,5 $cmol_c dm^{-3}$, resultando em média regional de 0,2 $cmol_c dm^{-3}$, sendo bastante similar ao resultado do trabalho realizado por Fontoura et al. (2004), encontrou média de 0,15 $cmol_c dm^{-3}$ para o Al^{3+} em 2003.

A dispersão relativa dos dados, medida pelo coeficiente de variação, mostrou-se forte, devido ao grande número de laudos com valor zero, tanto para o teor de Al^{3+} quanto para m. Entretanto, a distribuição de frequência nas diferentes classes de teores mostrou que 75% das amostras da região apresentaram teores de $Al^{3+} \leq 0,02 cmol_c dm^{-3}$, sendo este resultado devido à alteração das características naturais do solo na camada estudada pela calagem, atualmente sem incorporação nas áreas sob PD.

A saturação por alumínio (m) acompanhou este comportamento e teve média regional de 1,8 %, condizente com os baixos teores absolutos de Al^{3+} , havendo distribuição de 77,2 % das amostras da região na classe de valores de $m \leq 1,0$ %. A partir de dados coletados em um experimento de longa duração sobre calagem em plantio direto no Município de Guarapuava,

³ Dados não publicados do relatório interno - safra 2007/2008, cedidos por Dirlei Antonio Manfio NRG.

instalado em 1978 em área de Latossolo Bruno, Ciotta et al. (2004) ressaltam a importância da aplicação e reaplicação de calcário nas áreas sob SPD, destacando seu efeito no controle da acidez do solo e na diminuição dos teores e saturações de Al^{3+} na camada de 0,0 a 0,2 m de profundidade.

TABELA 4: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (mín. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de teores de acidez trocável (Al^{3+}) e saturação por alumínio (m) para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).

	Mun. ⁽¹⁾	\bar{x}	mín.	máx.	n	CV	Distribuição percentual			
							$\leq 0,02^{(2)}$	0,03-1,5	> 1,5	
		----- <i>cmol, dm⁻³</i> -----			-	-----%				
Al^{3+}	1	0,3	0,2	0,3	1212	247,0	75,1	16,6	8,3	
	2	0,5	0,4	0,6	773	205,9	69,5	14,2	16,3	
	3	0,2	0,1	0,3	283	222,1	66,9	26,7	6,4	
	4	0,4	0,4	0,5	529	181,3	58,9	28,4	12,6	
	5	0,1	0,1	0,2	605	250,6	76,5	21,2	2,3	
	6	0,1	0,0	0,1	250	330,0	83,0	16,2	0,8	
	7	0,1	0,0	0,1	436	384,5	87,8	9,7	2,5	
	8	0,1	0,1	0,1	457	387,1	82,9	15,6	1,5	
	9	0,3	0,2	0,4	430	197,7	69,4	23,3	7,3	
	10	0,1	0,1	0,2	669	248,3	79,6	18,6	1,8	
	11	0,2	0,2	0,3	393	214,1	72,2	21,4	6,4	
	12	0,1	0,1	0,2	395	260,1	77,7	20,3	2,0	
Média		0,2	0,2	0,3	536	260,7	75,0	19,4	5,7	
		-----%			-	-----%				
	Mun. ⁽¹⁾	\bar{x}	mín.	máx.	n	CV	Distribuição percentual			
							$\leq 1,0^{(3)}$	1,1-10,0	10,1-20,0	> 20,0
m	1	2,4	2,0	2,7	1214	245,8	76,3	13,5	6,1	4,1
	2	4,0	3,5	4,6	779	205,7	71,2	10,7	9,3	8,8
	3	1,9	1,4	2,4	286	225,8	71,2	18,6	5,1	5,1
	4	3,4	2,8	3,9	524	180,4	61,5	21,6	10,8	6,1
	5	1,6	0,9	1,4	608	256,2	78,6	17,6	2,8	1,0
	6	0,4	0,2	0,5	246	352,8	90,1	7,5	1,6	0,8
	7	0,5	0,3	0,7	436	376,7	89,2	7,4	2,3	1,1
	8	0,9	0,7	1,1	457	282,0	84,1	13,5	2,0	0,4
	9	2,0	1,6	2,4	424	195,7	70,1	19,9	7,3	2,7
	10	1,1	0,9	1,4	668	251,6	80,7	14,2	4,1	1,0
	11	1,9	1,5	2,3	394	218,7	73,7	15,5	9,1	1,7
	12	1,0	0,8	1,3	394	259,3	80,1	15,3	3,8	0,8
Média		1,8	1,4	2,1	536	254,2	77,2	14,6	5,4	2,8

⁽¹⁾Municípios: 1=Guarapuava, 2=Pinhão, 3=Reserva do Iguazu, 4=Turvo, 5=Candói, 6=Foz do Jordão, 7=Laranjeiras do Sul, 8=Virmond, 9=Campina do Simão, 10=Cantagalo, 11=Goioxim, 12=Boa V. São Roque. ⁽²⁾Classes de teores de Al^{3+} em $cmol, dm^{-3}$; ⁽³⁾Classes de valores de m em % da CTCefetiva.

Além da calagem, outro fator que pode ter contribuído para que os valores de Al^{3+} e m % tenham se concentrado nas classes de menor valor é o teor de MOS, pois o Al^{3+} tóxico às

plantas pode ser complexado pela MOS, formando espécies não tóxicas (Meurer, 2008).

Na tabela 5 encontram-se os dados de acidez ativa (pH) e saturação por bases (V) na CTC_{pH7,0}. Verifica-se que a classe com valores de pH_{CaCl2} entre 5,1 e 5,5 apresentou maior distribuição (43,6 %), e que as classes de 4,4 a 5,0 (24,6 %) e > 5,5 (23,5 %) apresentaram distribuição similar, sendo pequena a distribuição de amostras na classe de acidez mais elevada. No trabalho de Fontoura (2004) encontrou-se maior distribuição na classe de 4,4 a 5,0 (49 %), com média de 4,96 para o ano de 2003, sendo seguida pela classe de 5,1 a 5,5 (32 %) e também com pequeno percentual na classe de acidez mais elevada.

TABELA 5: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (min. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de valores de acidez ativa (pH_{CaCl2} 0,01 mol l⁻¹) e saturação da CTC_{pH7,0} por bases (V) para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).

	Mun ⁽¹⁾	\bar{x}	Mín.	Máx.	n	CV	$\leq 4,3^{(2)}$	4,4-5,0	5,1-5,5	> 5,5	
		-----				-	-----%				
pH _{CaCl2}	1	5,1	5,1	5,1	1208	10,0	9,2	26,0	44,8	20,0	
	2	5,0	5,0	5,0	783	11,9	17,0	21,2	46,3	15,5	
	3	5,0	4,9	5,0	288	9,0	9,5	34,8	43,2	12,5	
	4	4,9	4,9	5,0	522	10,9	17,7	30,8	33,5	18,0	
	5	5,1	5,1	5,1	607	8,8	7,0	25,9	47,6	19,5	
	6	5,2	5,2	5,2	248	6,6	2,0	27,7	52,5	19,8	
	7	5,3	5,3	5,4	440	8,4	3,4	16,9	45,2	34,5	
	8	5,3	5,3	5,4	455	8,8	4,1	17,4	40,2	38,3	
	9	5,2	5,2	5,3	428	7,9	9,1	26,8	40,3	23,8	
	10	5,2	5,2	5,3	668	9,2	5,7	19,8	42,8	31,7	
	11	5,1	5,0	5,1	394	10,1	11,6	24,1	42,4	21,9	
	12	5,2	5,2	5,3	389	7,9	3,5	23,4	45,2	27,9	
Média	5,1	5,1	5,2	536	9,1	8,3	24,6	43,6	23,5		
	Mun.	\bar{x}	Mín.	Máx.	n ⁽³⁾	CV	$\leq 25^{(3)}$	26-50	51-70	> 70	
		-----%				-	-----%				
V	1	55,1	54,2	56,0	1216	16,4	6,1	22,9	56,6	14,4	
	2	51,8	50,5	53,1	772	35,6	13,3	18,9	54,9	12,9	
	3	54,6	53,1	56,1	288	24,1	4,4	28,7	58,1	8,8	
	4	50,3	48,8	51,8	524	33,7	12,1	28,4	48,1	11,3	
	5	56,1	54,9	57,2	607	26,3	6,3	19,7	58,5	15,5	
	6	60,3	59,2	61,5	242	15,4	1,6	17,0	67,2	14,2	
	7	62,6	61,7	63,5	425	15,5	2,0	11,0	63,7	23,3	
	8	63,2	62,1	64,2	443	17,3	1,3	14,1	53,9	30,7	
	9	55,2	53,7	56,6	425	27,6	5,3	25,2	51,7	17,8	
	10	59,0	57,8	60,2	666	27,0	4,9	18,6	48,2	28,3	
	11	56,1	53,5	56,6	393	26,3	7,4	19,5	56,6	16,5	
	12	60,2	59,0	61,5	384	20,0	2,3	17,1	57,5	23,1	
Média	57,0	55,7	58,2	532	23,8	5,6	20,1	56,2	18,1		

Municípios: 1=Guarapuava, 2=Pinhão, 3=Reserva do Iguçu, 4=Turvo, 5=Candói, 6=Foz do Jordão, 7=Laranjeiras do Sul, 8=Virmond, 9=Campina do Simão, 10=Cantagalo, 11=Goioxim, 12=Boa V. São Roque. ⁽²⁾Classes de valores de pH adimensional, ⁽³⁾Classes de valores de V em %.

A média regional de pH_{CaCl2} foi de 5,1 no presente estudo, o que segundo Almeida e

Ernani (1996) pode resultar em valor de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ próximo de 5,5, abaixo do valor 6,0 tido como mais favorável a culturas como soja, feijão, trigo e milho (Fageria e Zimmermann, 1998). Entretanto, segundo Souza Junior et al. (2007), acima de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 5,5 espera-se que todo o Al^{3+} esteja hidrolisado, não havendo, portanto, teores consideráveis de Al^{3+} e nem valores elevados de m, o que concorda com os dados da tabela 4. Ademais, sob SPD, há o efeito da MOS complexando o Al^{3+} (Hargrove e Thomas, 1981) e evitando, assim, parte dos efeitos negativos da acidez do solo. Portanto, a intoxicação das plantas por Al^{3+} não é atualmente importante na maioria das áreas estudadas, considerando-se a camada de 0,0 a 0,2 m.

Ainda na tabela 5, vê-se que a saturação por bases (V) média dos municípios foi de 57%, com 56,2% das amostras na faixa de valores entre 51-70% e 18,1% na faixa de valores > 70%, superando os valores levantados por Fontoura (2004), que encontrou média de 52,1 % em 2003 e 53% das amostras entre 51-70% e 6 % acima de 70%. Estes resultados discordam das características naturais dos Latossolos da região, ácidos e desbasificados desde os primeiros centímetros de profundidade, como demonstram os dados dos perfis 36 e 39 (página 5) do levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná (Embrapa, 1984). Entretanto, o presente trabalho abrange somente laudos de análise da camada de 0,0 a 0,2 m em solos cultivados, sendo estes resultados, portanto, relacionados à antropização, com grande efeito do uso de fertilizantes e, principalmente, de corretivos pelos agricultores.

Mesmo que já se tenha observado, em alguns estados brasileiros, que os rendimentos das culturas têm sido adequados sob SPD após longos períodos sem reaplicação de calcário, em solos com pH considerado baixo (Anghinoni e Salet, 2000), considerando a médias de $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 5,1$ e $V = 57\%$, bem como que 81,9% dos laudos apresentaram V inferior ou igual a 70%, recomendado para culturas como milho, feijão (Iapar, 2003) e soja (Embrapa, 2006), fica demonstrada a importância de se continuar estudando a correção da acidez dos solos, devendo-se trabalhar sob a ótica de evolução química dos solos sob SPD consolidado.

Na tabela 6 estão os resultados referentes ao teor de cálcio (Ca^{2+}) no solo e sua saturação na $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ (Ca %). Verifica-se que o teor médio regional de Ca^{2+} foi de $4,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, ou seja, $\geq 4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, classe de teores em que foram distribuídas 59,1 % das amostras. Outros 30% foram distribuídos na classe de 2,1 a $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e somente 11,3 % das amostras ficaram na classe $\leq 2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. O levantamento de Fontoura (2004) apontou média um pouco maior para o ano de 2003, de $5,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} , o que, certamente, se deve à participação de amostras da camada de 0,0-0,1 m, resultando, neste estudo, em 76% de amostras na classe de teores $\geq 4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

TABELA 6: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (min. e máx.), número de

amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de teores de Ca^{2+} e saturação da $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ por cálcio (Ca %) para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).

	Mun. ⁽¹⁾	\bar{x}	mín.	máx.	n	CV	$\leq 2,0$ ⁽²⁾	2,1 - 4,0	> 4,0
		----- $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ -----			-		-----%		
Ca²⁺	1	4,1	4,0	4,2	1211	42,0	12,8	34,9	52,3
	2	3,9	3,8	4,0	774	46,5	18,8	29,4	51,8
	3	4,0	3,8	4,2	290	38,0	10,8	35,8	53,4
	4	3,9	3,7	4,0	528	48,8	21,2	29,2	49,6
	5	4,3	4,2	4,4	606	42,4	12,2	29,0	58,8
	6	4,3	4,2	4,5	247	32,6	5,9	33,6	60,5
	7	4,8	4,7	5,0	435	29,4	4,7	21,9	73,4
	8	4,9	4,7	5,1	458	36,2	4,8	25,4	69,8
	9	4,5	4,3	4,7	432	41,7	11,4	30,0	58,6
	10	4,8	4,6	4,9	668	41,7	10,3	24,8	64,9
	11	4,2	4,0	4,4	398	42,6	14,8	34,9	55,4
	12	4,5	4,3	4,6	397	36,6	7,5	31,2	61,3
	Média		4,4	4,2	4,5	537	39,9	11,3	30,0
	Mun. ⁽¹⁾	\bar{x}	mín.	máx.	n	CV	$\leq 35,0$ ⁽³⁾	35,1–50,0	> 50,0
		-----%			-		-----%		
Ca%	1	31,9	31,2	32,5	1213	36,5	54,9	40,9	4,3
	2	30,3	29,4	31,3	781	43,7	54,1	42,6	3,3
	3	31,9	30,7	33,1	290	32,5	60,1	37,2	2,7
	4	29,0	27,9	30,1	528	43,2	61,7	36,1	2,2
	5	33,3	32,3	34,2	610	32,3	49,7	45,1	5,2
	6	35,5	34,5	36,5	245	22,7	46,6	49,0	4,4
	7	37,9	37,2	38,5	421	19,1	35,2	60,7	4,1
	8	37,8	36,9	38,7	453	26,0	36,1	54,1	9,8
	9	32,6	31,5	33,8	425	33,6	49,9	46,0	4,1
	10	34,9	34,0	35,8	673	34,9	44,4	46,6	9,0
	11	31,9	30,7	33,0	401	37,4	54,2	41,4	4,4
	12	35,4	34,4	36,4	391	27,4	46,2	49,8	4,0
	Média		33,5	32,6	34,5	536	32,4	49,4	45,8

⁽¹⁾Municípios: 1=Guarapuava, 2=Pinhão, 3=Reserva do Iguçu, 4=Turvo, 5=Candói, 6=Foz do Jordão, 7=Laranjeiras do Sul, 8=Virmond, 9=Campina do Simão, 10=Cantagalo, 11=Goioxim, 12=Boa V. São Roque. ⁽²⁾Classes de teores de Ca^{2+} $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. ⁽³⁾Classes de valores de Ca% (CTC pH 7,0) em %.

Depreende-se que, em grande parte das amostras, a disponibilidade de Ca^{2+} para as plantas pode ser satisfatória. Entretanto, observa-se que o valor médio para Ca % foi de 33,5 %, sendo que 49,4 % dos laudos têm valores inferiores a 35,0%, e outros 45,8 % foram distribuídos na faixa de 35,1 a 50,0%. Estes resultados mostram que, apesar do teor indicar boa disponibilidade, a saturação indica possível desequilíbrio entre as bases na maioria das amostras, considerando resultados de Silva (1980) para o milho, que produziu mais matéria seca em solos com 60-70 % de Ca %, e recomendações de Sfredo et al.,(1999) para a cultura da soja, de relação Ca % = 50 % como limite para interpretação entre os níveis médio e alto.

Na tabela 7 encontram-se os teores de magnésio (Mg^{2+}) no solo e suas saturações na $CTC_{pH7,0}$ (Mg %). Verifica-se que o teor médio geral foi de $2,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, bem superior ao teor de $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ que dá início à classe de teores elevados, na qual foram distribuídas 98,3% das amostras. Resultado muito similar a este foi encontrado no levantamento de fontoura (2004), que registrou média de $Mg^{2+} = 2,47 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e 97 % das amostras na classe acima de $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o ano de 2003.

TABELA 7: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (mín. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de teores de Mg^{2+} e saturação da $CTC_{pH7,0}$ por Mg (Mg%) para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).

	Mun. ⁽¹⁾	\bar{x}	mín.	máx.	n	CV	----- $cmol_c dm^{-3}$ -----		
							$\leq 0,4$ ⁽²⁾	0,5 - 0,8	> 0,8
							-----%-----		
Mg²⁺	1	2,6	2,6	2,7	1207	36,9	0,1	1,6	98,3
	2	2,6	2,5	2,6	774	38,3	0,5	2,9	96,6
	3	2,5	2,4	2,6	283	34,7	0,3	1,7	98,0
	4	2,5	2,4	2,6	525	38,0	0,4	1,7	98,0
	5	2,5	2,5	2,6	604	33,9	0,5	1,1	98,4
	6	2,6	2,5	2,7	239	28,8	0,4	0,8	98,8
	7	2,8	2,8	2,9	428	29,1	0,0	0,9	99,1
	8	2,9	2,8	2,9	445	31,3	0,0	0,7	99,4
	9	2,7	2,6	2,8	432	40,1	0,2	1,4	98,4
	10	2,8	2,7	2,9	662	36,6	0,6	1,0	98,4
	11	2,6	2,6	2,7	392	34,5	0,0	2,2	97,8
	12	2,8	2,7	2,8	394	33,1	0,3	0,8	98,9
	Média		2,7	2,6	2,7	532	34,6	0,3	1,4
							-----%-----		
	Mun. ⁽¹⁾	\bar{x}	mín.	máx.	n	CV	-----%-----		
							$\leq 13,0$ ⁽³⁾	13,1-20,0	> 20,0
Mg%	1	20,8	20,4	21,1	1220	30,9	12,1	34,8	53,2
	2	20,0	19,5	20,5	781	35,1	16,5	32,7	50,8
	3	20,2	19,4	20,9	290	31,9	13,2	35,5	51,4
	4	19,4	18,8	19,9	531	33,0	18,0	36,6	45,4
	5	20,1	19,6	20,6	604	29,0	10,4	39,7	49,8
	6	21,5	20,8	22,1	239	25,0	6,3	36,0	57,7
	7	22,6	21,5	22,6	428	25,8	5,2	30,9	63,9
	8	22,4	21,9	22,9	445	26,2	4,8	31,7	63,5
	9	20,0	19,4	20,6	434	31,9	12,4	39,1	48,5
	10	21,4	20,9	21,9	674	30,7	9,4	31,7	58,9
	11	21,1	20,5	21,7	402	30,1	11,3	30,5	54,1
	12	22,3	21,7	22,9	397	26,5	5,5	26,6	67,8
	Média		21,0	20,4	21,5	537	29,7	10,4	33,8

⁽¹⁾Municípios: 1=Guarapuava, 2=Pinhão, 3=Reserva do Iguaçu, 4=Turvo, 5=Candói, 6=Foz do Jordão, 7=Laranjeiras do Sul, 8=Virmond, 9=Campina do Simão, 10=Cantagalo, 11=Goioxim, 12=Boa V. São Roque. ⁽²⁾Classes de teores de Mg^{2+} em $cmol_c \text{ dm}^{-3}$. ⁽³⁾Classes de valores de Mg% ($CTC_{pH7,0}$) em %.

Esta tendência se manteve nos dados de Mg %, com 55,4 % de amostras na classe > 20,0% e 33,8 % entre 13,1 e 20%, confirmando excesso de Mg²⁺ no complexo de trocas na maioria das amostras, certamente em função da calagem, conforme já discutido, que se dá com calcário dolomítico normalmente, o qual possui mais de 5 % de MgO e menor proporção Ca/Mg que o calcítico (Brasil, 2004).

Embora Ceretta (2006) defenda que para a região de Guarapuava “o calcário dolomítico é indiscutivelmente a melhor opção e que as relações Ca/Mg em situações como esta onde a grande maioria dos solos tem altos teores de Ca e Mg, não representa qualquer problema negativo à nutrição das plantas”, o estudo de Maschietto (2009) em Guarapuava, sobre gesso agrícola e produção de milho e soja em solo sob SPD de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície, demonstrou ter havido correlação negativa entre a produtividade do milho e os teores de Mg²⁺ no perfil do solo, bem como correlação positiva entre produtividade do milho e o aumento da relação Ca²⁺/Mg²⁺ no solo, em resposta às doses de gesso agrícola.

Na tabela 8 estão os resultados para teor de potássio (K⁺) no solo e a saturação do nutriente na CTC_{pH7,0} (K %). Observa-se que o teor médio para a região, de 0,32 cmol_c dm⁻³, ficou acima do limite de 0,30 cmol_c dm⁻³, que inicia a faixa de teores em que foram distribuídas 46,5% das amostras. Estes resultados foram muito similares à média de 0,31 cmol_c dm⁻³ e 45% de amostras na faixa acima de 0,30 cmol_c dm⁻³, encontrados por Fontoura (2004).

A exemplo do Ca²⁺, encontrou-se indicativo de que na maioria dos solos estudados haveria boa disponibilidade de K⁺. No entanto, a média de K % foi de 2,5 %, e 69,5 % das amostras apresentaram valor de K % na faixa ≤ 3,0 %, mostrando novamente que, apesar do teor absoluto indicar boa disponibilidade, a saturação dá indícios de possível desequilíbrio entre as bases na maior parte das amostras, considerando o valor de K = 5% (Bear et al., 1945) e a faixa de 2,5 a 5 % (Graham, 1959), indicadas pela filosofia da razão de saturação dos cátions básicos em solos equilibrados, bem como a recomendação de Sfredo et al.,(1999) para a cultura da soja, de K = 5% como limite para interpretação entre os níveis médio e alto.

Estudar as saturações de cada cátion básico é um segundo passo na avaliação geral da fertilidade do solo pela saturação por bases (V), já que para a expressão da fertilidade do solo, em termos de produção agrícola, é necessário haver equilíbrio no fornecimento dos nutrientes: segundo Malavolta (1980), a absorção de um elemento é influenciada pela presença de outro(s), através de processos de sinergismo, antagonismo e/ou inibição.

TABELA 8: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (min. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de teores de K^+ e saturação da $CTC_{pH7,0}$ por K (K%) para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).

Mun. ⁽¹⁾	\bar{x}	Mín.	Máx.	n	CV	$\leq 0,10$ ⁽²⁾	0,11-0,20	0,21-0,30	$> 0,30$
	----- $cmol_c dm^{-3}$ -----			-		-----%			
1	0,29	0,28	0,30	1204	60,8	5,5	27,8	26,2	40,6
2	0,26	0,25	0,27	779	66,4	13,3	31,3	18,6	36,8
3	0,26	0,24	0,28	286	64,5	11,2	30,4	27,4	31,0
4	0,30	0,27	0,30	524	79,9	8,2	28,8	24,7	38,3
5	0,35	0,34	0,37	607	54,7	5,2	17,1	22,6	55,1
6	0,38	0,36	0,40	247	47,5	4,7	11,1	23,7	60,5
7	0,31	0,29	0,33	437	70,5	6,5	25,1	24,4	44,0
8	0,35	0,33	0,37	448	55,6	4,1	23,9	17,0	55,0
9	0,36	0,34	0,38	428	55,4	5,9	19,2	20,8	54,0
10	0,38	0,35	0,38	671	82,0	5,5	20,8	17,4	56,3
11	0,32	0,30	0,33	395	57,7	7,4	19,5	24,6	48,5
12	0,28	0,26	0,29	391	62,4	11,3	28,6	21,9	38,2
Média	0,32	0,30	0,33	535	63,1	7,4	23,7	22,4	46,5

Mun.	\bar{x}	Mín.	Máx.	n	CV	$\leq 3,0$ ⁽³⁾	3,1-5,0	$> 5,0$
	-----%			-		-----%		
1	2,4	2,2	2,4	1210	55,8	74,8	20,1	5,1
2	2,1	2,0	2,2	778	62,9	79,5	15,0	5,5
3	2,0	1,9	2,2	285	60,2	79,1	15,5	5,4
4	2,2	2,1	2,3	527	61,4	76,4	17,3	6,3
5	2,8	2,6	2,9	607	51,3	61,9	30,9	7,2
6	3,1	2,9	3,2	247	44,9	54,9	33,6	11,5
7	2,4	2,2	2,5	428	53,1	72,0	22,4	5,6
8	2,8	2,6	2,9	444	52,2	64,1	26,7	9,1
9	2,7	2,5	2,8	430	52,9	64,1	29,1	6,9
10	2,7	2,6	2,8	672	56,6	63,7	26,7	9,6
11	2,5	2,4	2,6	393	51,7	68,0	24,6	7,4
12	2,2	2,1	2,3	393	59,5	75,9	19,1	5,0
Média	2,5	2,3	2,6	535	55,2	69,5	23,5	7,0

⁽¹⁾Municípios: 1=Guarapuava, 2=Pinhão, 3=Reserva do Iguaçu, 4=Turvo, 5=Candói, 6=Foz do Jordão, 7=Laranjeiras do Sul, 8=Virmond, 9=Campina do Simão, 10=Cantagalo, 11=Goioxim, 12=Boa V. São Roque. ⁽²⁾Classes de teores de K^+ em $cmol_c dm^{-3}$. ⁽³⁾Classes de valores de K% ($CTC_{pH7,0}$) em %.

Ainda sobre os dados das tabelas 6 a 8, chama a atenção a magnitude dos coeficientes de variação (CV) para os diferentes indicadores: 39,9 % para Ca^{2+} , 34,6 % para Mg^{2+} e 63,1 % para K^+ , contrastando com pH e MOS, que apresentaram 9,1 e 14,6 %, respectivamente. Este fato certamente se deve à distribuição uniforme da palhada na superfície do solo, principalmente sem o revolvimento, condição do SPD, influenciando os teores de MOS e também, por conta do seu poder tampão (Mello et al., 1983), os valores de pH.

Quanto à diferença de magnitude da variabilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} em comparação a K^+ , certamente o fato se deve à distribuição à lanço do calcário, fonte de Ca^{2+} e Mg^{2+} , enquanto K^+ é adicionado em linha, normalmente abaixo e ao lado do sulco de semeadura.

Estudando a variabilidade de atributos de fertilidade e amostragem do solo em SPD, Schilindwein e Anghinoni (2000) encontraram variabilidade baixa para MOS e pH e elevada para P e K, alcançando, no caso dos últimos, valores de coeficiente de variação de até 48 %.

Na tabela 9 são apresentados os resultados para as relações Ca/Mg e Ca/K.

TABELA 9: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (mín. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de valores de relação Ca/Mg e Ca/K para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).

	Mun. ⁽¹⁾	\bar{x}	mín.	máx.	n	CV	%		
							$\leq 1,5$ ⁽²⁾	1,5-3,5	> 3,5
Ca/Mg	1	1,6	1,6	1,7	1217	43,2	48,8	48,7	2,6
	2	1,5	1,5	1,6	771	41,7	48,7	49,8	1,5
	3	1,6	1,6	1,7	287	42,6	47,6	49,7	2,7
	4	1,6	1,5	1,6	532	50,1	50,7	45,5	3,7
	5	1,7	1,7	1,8	608	43,2	39,9	56,4	3,8
	6	1,7	1,6	1,7	241	32,8	37,7	57,7	3,6
	7	1,7	1,7	1,8	436	35,8	37,5	59,1	3,4
	8	1,7	1,7	1,8	450	37,8	38,7	57,8	3,5
	9	1,7	1,7	1,8	429	43,6	42,3	52,9	4,8
	10	1,7	1,6	1,7	660	41,7	42,6	52,8	4,6
	11	1,6	1,5	1,6	404	45,5	51,2	45,8	3,0
	12	1,6	1,6	1,7	396	36,9	45,0	53,0	2,0
	Média	1,6	1,6	1,7	536	41,2	44,2	52,4	3,3
	Mun.	\bar{x}	mín.	máx.	n	CV	%		
Ca/K	1	17,8	17,1	18,5	1214	71,3	19,8	36,6	43,6
	2	20,9	19,6	22,2	781	87,4	23,8	29,2	47,0
	3	20,0	18,5	21,5	292	65,7	14,5	29,4	56,1
	4	15,8	14,9	16,8	526	69,2	23,6	37,4	39,0
	5	14,7	14,0	15,5	606	64,3	20,7	45,4	33,9
	6	13,7	12,7	14,6	246	57,5	24,1	47,0	28,9
	7	20,0	18,8	21,2	430	63,1	9,3	37,9	52,8
	8	17,8	16,8	18,9	452	65,1	15,4	40,4	44,1
	9	15,6	14,7	16,5	432	63,9	17,2	45,5	37,3
	10	16,4	15,6	17,3	669	66,9	20,2	41,4	38,4
	11	15,0	14,1	15,9	394	60,7	21,2	40,2	38,7
	12	21,8	20,3	23,2	394	68,3	10,6	32,7	56,8
	Média	17,5	16,4	18,5	536	67,0	18,4	38,6	43,1

⁽¹⁾Municípios: 1=Guarapuava, 2=Pinhão, 3=Reserva do Iguazu, 4=Turvo, 5=Candói, 6=Foz do Jordão, 7=Laranjeiras do Sul, 8=Virmond, 9=Campina do Simão, 10=Cantagalo, 11=Goioxim, 12=Boa V. São Roque. ⁽²⁾Classes de valores de relação Ca/Mg. ⁽³⁾Classes de valores de relação Ca/K.

O valor médio da relação Ca/Mg para a região foi de 1,6:1, na faixa de valores intermediários, entre 1,5:1 e 3,5:1, sendo que 52,4 % das amostras tiveram esta mesma interpretação. Entretanto, 44,2 % das amostras apresentaram valores na faixa $\leq 1,5:1$,

significando que uma parte significativa das áreas possui Mg^{2+} em excesso no solo em relação a Ca^{2+} , fato provavelmente associado a uso contínuo do calcário dolomítico. Por outro lado, a relação Ca/K apresentou média geral 17,5:1, pouco acima do limite inferior da classe $\geq 16,0:1$, em que foram distribuídas a maior parte das amostras, 43,1% do total. Estes resultados demonstram que, apesar do uso de K^+ em doses razoáveis nas implantações das culturas de verão ($70 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ – milho) e inverno na região ($60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ – trigo e cevada), como exemplifica o trabalho de Eltz et al. (1989), uma porcentagem significativa das áreas apresenta nível baixo de K^+ em relação aos níveis de Ca^{2+} .

Quanto à relação Mg/K, os dados encontram-se na tabela 10. O valor médio regional da relação Mg/K foi de 11,6:1, bem acima do limite mínimo da classe $> 6,0:1$, em que foram distribuídas 73,5 % das amostras. Isto evidencia excesso de Mg^{2+} também em relação a K^+ , e juntando-se os resultados das três relações (Ca/Mg, Ca/K e Mg/K), é possível dizer que há excesso de Mg^{2+} em relação aos demais cátions básicos nos solos da região, o que pode estar causando a diminuição da absorção de Ca^{2+} e K^+ por algumas culturas, já que os três competem pelos mesmos sítios de absorção na raiz e aqueles em maior concentração na solução do solo têm absorção preferencial em detrimento dos outros (Malavolta et al., 1997). Estes dados vão ao encontro daqueles de Maschietto (2009), que observou efeito positivo do aumento da relação Ca^{2+}/Mg^{2+} no solo sobre a produtividade do milho em Guarapuava.

TABELA 10: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (Min. e Máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) para relação Mg/K e distribuição percentual das amostras nas classes de teores para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).

	Mun. ⁽¹⁾	\bar{x}	mín.	máx.	n	CV	%		
							$\leq 3,0^{(2)}$	3,1–6,0	$> 6,0$
Mg/K	1	12,0	11,6	12,5	1216,0	70,5	4,0	19,3	76,7
	2	14,3	13,5	15,1	780	52,4	4,3	17,9	77,8
	3	13,6	12,4	14,7	292	72,4	5,7	16,9	77,4
	4	11,8	11,1	12,5	528	71,4	4,8	18,0	77,1
	5	9,6	9,1	11,1	609	70,1	5,7	27,2	67,1
	6	8,4	7,7	9,0	242	59,3	7,5	30,8	61,7
	7	12,8	11,9	13,6	431	69,8	3,6	18,5	77,9
	8	11,4	10,7	12,2	455	72,3	5,0	22,8	72,2
	9	9,8	9,2	10,4	430	65,2	5,3	28,2	66,6
	10	10,4	9,9	11,0	665	68,1	4,0	25,4	70,7
	11	10,5	9,8	11,1	391	62,5	4,4	21,9	73,7
	12	14,7	13,6	15,7	394	72,2	2,8	13,8	83,4
Média		11,6	10,9	12,3	536	67,2	4,8	21,7	73,5

⁽¹⁾Municípios: 1=Guarapuava, 2=Pinhão, 3=Reserva do Iguazu, 4=Turvo, 5=Candói, 6=Foz do Jordão, 7=Laranjeiras do Sul, 8=Virmond, 9=Campina do Simão, 10=Cantagalo, 11=Goioxim, 12=Boa V. São Roque. ⁽²⁾Classes para a relação Mg/K.

Embora haja dúvidas sobre o uso destas relações entre cátions básicos para interpretar análises químicas de solo, pois em alguns estudos os resultados não comprovam sua validade, elas advêm do conceito de equilíbrio entre estes cátions na ocupação do complexo de cargas do solo, favorecendo a absorção pelas plantas e garantindo níveis adequados para o crescimento e produtividade das culturas, podendo ser generalizadas nas seguintes faixas de saturação: 65 a 85% de Ca^{2+} , 6 a 12% de Mg^{2+} e 2 a 5% de K^+ (Kelling e Peters, 2004).

Talvez, parte desta controvérsia se deve ao fato dos experimentos serem realizados com distintos teores ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nos solos, com espécies de diferentes eficiências na absorção de cátions mono e divalentes, com períodos distintos de avaliação no campo e sob condições de precipitação variável. Estudando os efeitos da gessagem na produtividade de milho e soja em solo com altos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , Maschietto (2009) encontrou efeito positivo do aumento da relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ no perfil e da redução do Mg^{2+} na camada superficial do solo, em resposta ao gesso, na produtividade do milho (monocotiledônea), no entanto, as lavouras de soja (dicotiledônea) cultivadas nas duas safras de verão seguintes não sofreram esta influência.

Na tabela 11 estão os resultados para fósforo (P) extraível. A média regional de $3,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, portanto na classe de $3,1$ a $6,0 \text{ mg dm}^{-3}$, classe em que foram distribuídas 25,7 % das amostras. A maior distribuição, no entanto, ficou na classe de teores $\leq 3,0 \text{ mg dm}^{-3}$, com 57,2 %, enquanto apenas 17,1 % das amostras ficaram na classe $> 6,0 \text{ mg dm}^{-3}$. Diferentemente dos demais indicadores, houve discrepância destes resultados em relação aos dados levantados por Fontoura (2004), que encontrou média de $7,85 \text{ mg dm}^{-3}$ para o ano de 2003, mais do que o dobro do teor encontrado no presente estudo, o que provavelmente se deve à participação de amostras da camada de $0,0$ - $0,1 \text{ m}$ naquele levantamento, e, em especial, à característica peculiar do P de mobilidade muito baixa em solos argilosos e ricos em óxidos e hidróxidos de Fe e Al e sob SPD (Tisdale et al., 1993; Sá, 1999; 2004).

Os dados demonstram claramente que a maior parte das amostras apresentou baixa disponibilidade de P e que, portanto, mesmo após muitos anos de cultivo, correção da acidez e uso de fertilizantes, os solos permanecem deficientes nesse nutriente, uma vez que, conforme Embrapa (1984), sob condições naturais, os solos da região são insuficientes em fósforo, sendo imprescindível uso de corretivos e fertilizantes para obtenção de boa produtividade.

Estes resultados são concordantes com as afirmações de Ceretta (2006), de que o P ainda é um elemento prioritário a ser aplicado às culturas na região de Guarapuava, sendo preciso utilizar mais eficientemente o P existente e o aplicado via fertilizantes, através dos resíduos culturais.

TABELA 11: Média (\bar{x}), intervalo de confiança de 95 % (min. e máx.), número de amostras (n), coeficiente de variação (CV) e distribuição percentual das amostras nas classes de teores de fósforo (P) extraível (Mehlich I) para os Municípios da Região de Guarapuava-PR (camada de 0,0-0,20 m).

Mun. ⁽¹⁾	\bar{x}	mín.	máx.	n	CV	$\leq 3,0$ ⁽²⁾	3,1–6,0	$> 6,0$
	-----mg dm ⁻³ -----					-----%-----		
1	4,8	4,6	5,1	1181	91,2	41,9	30,3	27,8
2	4,2	4,0	4,5	761	79,3	46,7	28,3	25,0
3	3,4	3,2	3,7	287	70,0	56,1	29,4	14,5
4	3,5	3,3	3,8	523	85,2	61,0	21,6	17,5
5	3,1	2,9	3,3	602	80,1	61,7	27,4	10,9
6	3,0	2,7	3,3	243	78,4	68,8	15,8	15,4
7	3,6	3,3	3,9	435	86,1	57,3	25,3	17,4
8	3,5	3,3	3,7	446	71,9	53,3	30,9	15,9
9	3,1	2,9	3,3	419	67,8	59,9	26,6	13,5
10	3,8	3,6	4,1	675	84,0	53,4	26,4	20,2
11	2,8	2,6	3,0	382	73,2	67,0	20,4	12,6
12	3,4	3,1	3,6	391	80,2	60,3	25,6	14,1
Média	3,5	3,3	3,8	529	78,9	57,2	25,7	17,1

⁽¹⁾Municípios: 1=Guarapuava, 2=Pinhão, 3=Reserva do Iguazu, 4=Turvo, 5=Candói, 6=Foz do Jordão, 7=Laranjeiras do Sul, 8=Virmond, 9=Campina do Simão, 10=Cantagalo, 11=Goioxim, 12=Boa V. São Roque. ⁽²⁾Classes de teores de P em mg dm⁻³.

O fato dos solos da região ainda apresentarem teores baixos de P, mesmo após muitos anos de cultivo e adubação, provavelmente se deve, entre outros fatores a textura muito argilosa e à alta capacidade de adsorção de P nestes solos, uma vez que a mineralogia dos solos da região, além de rica em gibsitita, possui teores elevados de goetita (Silva, 2006), e solos com predomínio de goetita geralmente fixam mais P do que solos hematíticos (Torrente et al., 1994; Borggaard, 1983).

Fatores como estes são responsáveis para que a eficiência da adubação fosfatada no Brasil e, sobretudo, na região seja tão baixa, mantendo os teores de P baixos mesmo com adubações fosfatadas frequentes. Segundo Lopes e Guilherme (2000), embora a fixação não possa ser considerada como perda total do fósforo para as culturas, pois o processo é, até certo ponto, reversível, estima-se que apenas 5 a 20% do fósforo solúvel adicionado ao solo sejam aproveitados de imediato pelas culturas.

Ainda com base na tabela 11, é possível observar que a variabilidade dos teores de P, como no caso do K⁺, foi alta em comparação aos demais parâmetros avaliados, atingindo CV = 78,9 %. Este fato se deve, certamente, à forma predominante de distribuição das fontes de P no solo, de forma localizada no sulco de adubação abaixo e ao lado do sulco de semeadura durante a implantação das culturas.

Num panorama geral, vê-se que, na camada de 0,0 - 0,2 m de profundidade, os solos da região apresentaram limitações químicas quanto à baixa disponibilidade de P e que, considerando os índices de saturação na $CTC_{pH7,0}$ e relações Ca/K e Mg/K, há disponibilidade limitada de K^+ , em função dos teores de Ca^{2+} e, principalmente, pelo excesso de Mg^{2+} .

Neste sentido, há necessidade de estudos na área de fertilidade do solo que foquem no controle das adições de Mg^{2+} aos solos, evitando aumentos adicionais que signifiquem desequilíbrios, e/ou que tratem da diminuição dos teores de Mg^{2+} nesta camada de solo, o que suscita apreciação do gesso agrícola como ferramenta de manejo químico, uma vez que, além de adicionar Ca^{2+} e enxofre (S), provoca lixiviação de Mg^{2+} com o sulfato. Também há que se estudar formas de melhorar a disponibilidade de P dos solos e aumentar a eficiência do uso das fontes deste elemento, sendo fundamental associar fontes de P a espécies eficientes na utilização e ciclagem do elemento em SPD, como o milho (Ceretta, 2006).

Ainda sobre os teores de Mg^{2+} e de P nos solos, os agricultores e técnicos devem alertar-se quanto ao uso de algumas fontes para adubações, pois os termofosfatos, produzidos com o tratamento térmico de rochas fosfáticas, podem receber outras matérias primas durante a fusão da rocha, normalmente silicatos de magnésio, como no caso do termofosfato magnésiano Yoorim, que possui de 6 a 7% de Mg^{2+} em sua composição (Mitsui Fertilizantes, 2009). Cabe aqui citar, também, que além do calcário dolomítico há, alternativamente, o calcário calcítico, que adiciona menos Mg ao solo (Brasil, 2004).

Quanto ao gesso agrícola, este possui teor residual de P, o que deve ser considerado como fator adicional, além das adições importantes de Ca^{2+} e S e do aumento da relação Ca/Mg do solo (Maschietto, 2009). Por outro lado, como o sulfato do gesso também lixivia Mg^{2+} e K^+ , deve-se avaliar os efeitos do gesso a longo prazo, estudando doses e parcelamentos, bem como a combinação gesso-calcário dolomítico ou, daí corretamente, gesso-Yoorim, o que traz a possibilidade de manter teores de Mg^{2+} nas camadas de solo mais próximas à superfície, principalmente no caso dos cultivos notoriamente exigentes neste elemento, como as pastagens (Tisdale et al., 1993). Quanto ao K^+ , deve-se monitorar os teores no solo e nas folhas das culturas, principalmente após a gessagem, adubando com K^+ , conforme a necessidade, sendo recomendável a rotação de culturas com espécies eficientes na ciclagem de potássio, como o milho, o triticale, a aveia preta e o tremoço (Ceretta, 2006; Pott et al., 2004; Rosolem, et al., 2003), logo após a aplicação do gesso ou a adubação com K^+ .

5.2. Caracterização da correlação linear entre os indicadores das análises de solo

Com o objetivo de examinar a força de associação entre os indicadores químicos dos laudos, para estabelecer a importância de cada indicador como determinante do comportamento de outros indicadores (Mendes, 2004), na tabela 12 é apresentada a matriz de correlação linear de Pearson com todos os indicadores estudados.

Vê-se que os teores de argila e MOS, apesar de apresentarem interações significativas com outros parâmetros, apresentaram coeficientes de correlação muito baixos. Este fato está relacionado à pequena intensidade da variação dos valores destes atributos em proporção aos demais nos solos estudados, mostrando a homogeneidade em termos de granulometria e conteúdo de carbono e indicando pequena influência dos diferentes usos do solo sobre os teores de argila e de MOS, sob influência, neste último, da adoção do SPD na maioria das áreas e do clima úmido e frio em toda a região estudada.

Dentre todos os indicadores, destacaram-se as correlações entre apenas alguns deles com interesse agrônomo prático. Houve correlação positiva de $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ com V (0,868**), muito conhecida e que serve de base para estimar a necessidade de calagem pela elevação da saturação por bases (Catani e Gallo, 1955; Malavolta, 1987; Lima et al., 2003), método oficial em São Paulo e no Paraná (Lopes et al., 1991; Nicolodi et al., 2008; Rossa, 2006).

Houve correlação positiva de pH com Ca% (0,825**) e com Mg% (0,522**), e em menor grau com K% (0,230**). Estes resultados comprovam que os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} nos solos estão muito associados ao uso de corretivos de acidez, comprovando a participação do calcário na construção dos teores atuais destes elementos, enquanto que a correlação significativa com K%, embora com coeficiente baixo, indica que os teores do elemento se associam positivamente aos valores de pH, pois em solos corrigidos com calcário há maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , sendo, portanto, mais fácil armazenar o K^+ proveniente das adubações, cuja força de adsorção na série liotrópica se aproxima mais destes cátions do que de H^+ e Al^{3+} , presentes em maiores teores em solos mais ácidos (Tisdale et al., 1993).

O melhor coeficiente de correlação envolvendo P foi com K^+ (0,334**), indicando que ambos estão associados no campo, certamente devido à adubação NPK de implantação das culturas, sendo esta associação com K^+ mais forte que com o pH (0,139**), embora o pH tenha efeito preponderante sobre a disponibilidade de P em solos de regiões subtropicais (Tisdale et al., 1993), como a de Guarapuava. Isto indica que mesmo após a correção da acidez, em maior ou menor grau, o teor de P continua sendo baixo em muitas áreas.

TABELA 12. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre indicadores químicos de solos da região de Guarapuava-PR (0,0-0,20 m).

	ARG	MOS	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	V	m	Ca%	Mg%	K%	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
ARG	1	-,066*	,081**	-,021 ^{ns}	,052 ^{ns}	,027 ^{ns}	-,024 ^{ns}	-,082**	-,140**	,015 ^{ns}	-,095**	,107**	-,086**	,103**	,026 ^{ns}	,098**	,059*	-,088*	-,106**
MOS		1	-,019 ^{ns}	,074**	,026*	,004 ^{ns}	,010 ^{ns}	,018 ^{ns}	,098**	,009 ^{ns}	,106**	-,037**	-,006 ^{ns}	-,027*	-,037**	-,008 ^{ns}	-,006 ^{ns}	-,022 ^{ns}	-,030*
pH			1	,139**	,239**	,731**	,488**	-,675**	-,803**	,726**	,119**	,868**	-,664**	,825**	,522**	,230**	,339**	,274**	,065**
P				1	,334**	,129**	,047**	-,032**	-,088**	,142**	,090**	,120**	-,026**	,103**	,012 ^{ns}	,316**	,079**	-,052**	-,075**
K⁺					1	,314**	,151**	-,155**	-,186**	,380**	,288**	,296**	-,164**	,231**	,026*	,950**	,168**	-,418**	-,470**
Ca²⁺						1	,534**	-,573**	-,614**	,940**	,565**	,859**	-,589**	,916**	,341**	,203**	,521**	,288**	-,014 ^{ns}
Mg²⁺							1	-,359**	-,408**	,778**	,563**	,656**	-,381**	,374**	,894**	,025 ^{ns}	-,280**	,196**	,337**
Al³⁺								1	,682**	-,557**	-,027*	-,698**	,971**	-,674**	-,409**	-,161**	-,331**	-,252**	-,057**
H+Al									1	-,608**	,216**	-,870**	,602**	-,795**	-,579**	-,239**	-,301**	-,245**	-,067**
SB										1	,644**	,887**	-,578**	,811**	,589**	,247**	,273**	,236**	,073**
CTC											1	,252**	-,130**	,231**	,166**	,074*	,046**	,054**	,026*
V												1	-,696**	,918**	,662**	,263**	,328**	,282**	,083**
m													1	-,677**	-,401**	-,154**	-,329**	-,255**	-,058**
Ca%														1	,331**	,202**	,611**	,332**	-,026*
Mg%															1	-,012 ^{ns}	-,376**	,208**	,398**
K%																1	,180**	-,485**	-,538**
Ca/Mg																	1	,144**	-,264**
Ca/K																		1	,819**
Mg/K																			1

* e **: significância a 5% e 1%, respectivamente; (n.s) não significativo. ¹ARG: argila, MOS: matéria orgânica, pH: CaCl₂, P: fósforo, K⁺: potássio, Ca²⁺: cálcio, Mg²⁺: magnésio, Al³⁺: alumínio, H+Al: acidez potencial, S: soma de bases, CTC: capacidade de troca de cátions, V: saturação por bases, m: saturação por alumínio, Ca%: saturação por cálcio, Mg%: saturação por magnésio, K%: saturação por potássio, Ca/Mg: relação cálcio/magnésio, Ca/K: relação cálcio/potássio, Mg/K: relação magnésio/potássio.

5.3. Caracterização da dependência entre $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ e V%

Com base nos resultados de correlação, procedeu-se análise de regressão linear simples para os dados de $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ e V%. A tabela 13 mostra a análise de variância para a regressão.

TABELA 13. Análise de variância para a regressão linear simples entre pH e V%.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	p	R ² ajust. ⁽¹⁾
Regressão	1	1.367,574	1.367,574	19.928,595**	0,0001	0,754
Resíduo	6517	447,221	0,069	-	-	-
Total	6518	1.814,794	-	-	-	-

⁽¹⁾ Ajust. = Ajustado.

** significância a 0,01.

Vê-se que o modelo ajustado (Equação 1), com base em 6.518 análises de solos da região, explica mais de 75% (R^2 ajustado = 0,754**) da variabilidade do pH em função de V%:

$$\text{pH} = 3,491 + 0,029 \text{ V\%} \quad (\text{Eq. 1})$$

Os coeficientes linear e angular do modelo ajustado no presente estudo aproximam-se daqueles ajustados por Quaggio (1981) com solos do Estado de São Paulo, $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 3,66 + 0,0271 \text{ V\%}$, diferindo um pouco daqueles obtidos no ajuste feito por Pavan et al. (1985) com 200 amostras de solos do Estado do Paraná, $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 2,5348 + 0,0447 \text{ V\%}$.

Como uma importante aplicação de modelos como estes é prever o valor de pH do solo após a calagem, quando determinada pelo método da saturação por bases, vários autores recomendam a regionalização e obtenção de calibrações específicas, em virtude da variação do poder-tampão entre solos diferentes (Pavan et al., 1996; Raji et al., 2001; Escosteguy e Bissani, 1999). Aplicando-se o valor de $V = 70\%$ da recomendação oficial para soja (Embrapa, 2006) e milho (Iapar, 2003) no Paraná ao modelo da equação 1, obtêm-se estimativa de $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 5,52$, semelhante mas um pouco abaixo do que seria previsto pela equação ajustada por Pavan et al. (1985) para o Estado, $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 5,66$, refletindo um maior poder tampão dos solos da Região de Guarapuava em relação à média dos solos do Estado no todo, em concordância com os teores predominantemente elevados de MOS na região (tabela 3).

Entretanto, ambos os valores podem ser associados a uma menor precipitação de P no solo e a um melhor ambiente de crescimento radicular das plantas, já que significam $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$

próximo a 6,0 (Almeida e Ernani, 1996; Lima et al., 2003) e acima de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 5,5 espera-se que todo o Al^{3+} esteja hidrolisado, não havendo teores tóxicos do elemento (Souza Junior et al., 2007; Pavan e Miyazawa, 1997), o que traz vantagens na absorção de água e nutrientes e na produtividade das culturas.

Esta estimativa de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ próximo a 6,0 com $V = 70\%$ nos solos da região de Guarapuava serve para comprovar o bom desempenho do método da saturação por bases, oficial no Estado do Paraná (Lopes et al., 1991; Nicolodi et al., 2008; Rossa, 2006), para estimar a necessidade de calagem nos solos da região, uma vez que o que se deseja com a calagem é atingir um pH adequado para ao desenvolvimento das culturas, e conforme Comissão... (2004), a maioria das culturas de grãos enquadra-se na classe de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,0$, dentre elas o milho e a soja.

6. CONCLUSÕES

Com base na avaliação de 6.534 laudos de análise química referentes ao período 2007-2009, é possível concluir que os solos da Região de Guarapuava apresentam, atualmente, teores de MOS elevados e alta $CTC_{pH\ 7,0}$, bem como baixa acidez, carência em P e teores muito elevados de Mg em relação a Ca e, principalmente, em relação a K.

Práticas de manejo com a finalidade de aumentar os teores de P e K e controlar as adições de Mg aos solos podem contribuir para melhorar a nutrição das plantas e maximizar a produtividade das culturas. Sugere-se, como foco para pesquisas futuras, estudar as interações no solo entre o calcário e o gesso, que pode ser fonte de Ca e S, além de fontes de P e de K, buscando melhorar o balanço entre os cátions básicos do solo e a disponibilidade de P, enfatizando a importância da rotação de culturas em SPD com espécies recicladoras destes dois nutrientes.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABREU, A.T.G. de. **A posse e o uso da terra: modernização agropecuária de Guarapuava**. Curitiba: Imprensa Oficial, 1986. p.228.

ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L.; FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C.; PASSOS, J.F.M. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno Alumínico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.963-975, 2005.

ALMEIDA, J.A.; ERNANI, P. R. Influência do solvente, da relação solo/solvente e da incubação das amostras úmidas na variação do pH de solos catarinenses. **Ciência Rural**, v.26, n.1, p.81-85, 1996.

AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. Potassium-argon dates of basaltic rocks from southern Brazil. **Geochimica Cosmochimica Acta**, v.30, p.159-189, 1966.

ANGHINONI, I. Amostragem do solo , dinâmica da acidez e calagem em plantio direto. In: FONTOURA, S. M. V; BAYER, C. **Manejo da fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: FAPA, 2006. p.40-51.

ANGHINONI, I. SALET, R.L. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J. (Coord). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Nucleo Regional Sul, 2000. P. 41-59. (Boletim Técnico, 4)

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

BALHANA, A. P.; MACHADO, B. P.; WESTPHALEN, M. C. **História do Paraná**. vol. 1. 2.Ed. Curitiba: Grafipar, 1969. 277p.

BAYER, C.; BISSANI, C.A.; ZANATTA, J. A. Química de solos em plantio direto. In: FONTOURA, S. M. V; BAYER, C. **Manejo da fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: FAPA, 2006. p.7-26.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A., CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.9-26.

BEAR, F.E.; PRINCE, A.L.; MALCOLM, J.L. **Potassium needs of New Jersey soils**. New Brunswick: New Jersey Agric. Exp. Stn, 1945. (Bulletin 721)

BELLIENI, G.; COMIN, C. P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PAPTRECHAS, C.; PICCIRILLO, E. M.; ROISENBERG, A.; STOLFA, D. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná Plateau (Brazil): Geological, Mineralogical and Petrochemical relationships. **Journal of Petrology**, v.27, p.915-944, 1986.

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. dos; BOGNOLA, I.A.; CURCIO, G.R.; MANZATTO, C.V.; CARVALHO JÚNIOR, W. de; CHAGAS, C. da S.; ÁGLIO, L.D.; SOUZA, J.S. de. **Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Florestas: Embrapa Solos: Instituto Agrônômico do Paraná, 2008. 74p.

BORGGGAARD, O.K. The influence of iron oxides on phosphate adsorption by soil. **European Journal of Soil Science**. v.34, p.333-341, 1983.

BRASIL. Instrução Normativa nº 004 de 02/08/2004. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. (Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos corretivos de acidez, corretivos de alcalinidade, corretivos de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura). **Diário Oficial da União. Brasília, 2004**.

CAIRES, E.F. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiências no Estado do Paraná. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. FERTIBIO 2000. **Anais**. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ Universidade Federal de Santa Maria, 2000. (CD-ROM)

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A. MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e respostas ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v.60, p.213-223, 2001.

CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A.; GUERRA, J.G.M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.27-39.

CATANI, R.A.; GALLO, J.R. Avaliação da exigência de calcário dos solos do Estado de São Paulo mediante a correlação entre pH e saturação de bases. **Revista da Agricultura**. Piracicaba. v.30, p.49-60, 1955.

CERETTA, C.A. Ciclagem de nutrientes como estratégia à maior eficiência no uso dos nutrientes. In: FONTOURA, S. M. V; BAYER, C. **Manejo da fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: FAPA, 2006. p.105-116.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.33, n.6, p.1161-1164, 2003.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.317-326, 2004.

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

CORDANI, U.G.P.; SARTORI, L.P.; KAWASHITA, K. Geoquímica dos isótopos de estrôncio e a evolução da atividade vulcânica na Bacia do Paraná (sul do Brasil) durante o período Cretáceo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.52, p.811-818, 1980.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.1-6.

ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno Álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.259-267, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Tecnologias de produção de soja – Paraná 2007**. Londrina: Embrapa Soja, 2006. 217p. (Sistema de Produção, 10).

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. Tomo I. Londrina: EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. 414p. (EMBRAPA-SNLCS, Boletim Técnico, 57).

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: EDUSP, 1975. 341p.

ESCOSTEGUY, P.A.; BISSANI, C.A. Estimativa de H + Al pelo método pH SMP em solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.1, p.175-179, 1999.

FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.29, n.17, p.2675-2682, 1998.

FEBRAPDP – Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. **Área de plantio direto no mundo e no Brasil. Safra 2005**. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/>>. Acesso em: 15/9/2009.

COSTA, A. **Paraná tem um dos solos mais conservados do país**. Disponível em: http://www.bonde.com.br/folha/folha.php?id_folha=2-1--14115-20071115. Acesso em 20 de janeiro de 2010.

FONTOURA, S.M.V. **Adubação nitrogenada na cultura do milho em Entre Rios, Guarapuava, Paraná**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2005. 94p.

FONTOURA, S.M.V.; BACK, S.P.; ZIMMER, C.H.; MORAES, R.P. Evolução e fertilidade atual do solo da Região Centro-Sul do Estado do Paraná, sob plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. FERTIBIO 2004. **Anais**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade do Estado de Santa Catarina, 2004. (CD-ROM)

FOX, R.H.; PIEKIELEK, W.P. Soil magnesium level, corn (*Zea mays* L.) yield, and magnesium uptake. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.15, p.109-123, 1984.

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYZAWA, M; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.533-542, 1999.

GRAHAM, E.R. **An explanation of theory and methods of soil testing**. Columbia: Missouri Agric. Exp. Stn., 1959. (Bulletin 734)

GUIMARÃES, E. **Caracterização de solos basálticos através de análises químicas e espectroscópica em laboratório e por satélite**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010. 197p. Tese (Doutorado em Química).

HARGROOVE, W. L.; THOMAS, G. W. Extraction of aluminum from aluminum-organic matter complexes. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, p.151-153, 1981.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná**. Versão 1.0.2000. (formato digital) 1 CD, 2000.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná**. Londrina: Iapar, 2003. 30p. (Circular Técnico, 128).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: <ftp://ibge.gov.br/censos/censo_agropecuário_2006/brasil_2006/>. Acesso em: 10/05/2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo, Relatório de Informação de Estação, Estação Guarapuava – PRGU**. Disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/RBMC/relatorio/Descritivo_PRGU.pdf. Acesso em 10/05/2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Sistema IBGE de Recuperação automática. **Produção agrícola municipal, 2010**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp>>. Acesso em: 08/02/2010.

INDA JUNIOR, A.V.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. Composição da fase sólida mineral do solo. In: MEURER, E.J., ed. **Fundamentos de química do solo**. 2.ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. 290p.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Mesorregiões Geográficas – Paraná**. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/pdf/mapas/base_fisica/mesorregioes_geograficas_PR.pdf>. Acesso em: 30/11/2009.

KAWAKAMI, J.; MÜLLER, M. M. L. Efeito de diferentes adubações no crescimento e na produtividade de plantas de batata em Guarapuava. In: **47º Congresso Brasileiro de Olericultura e IV Simpósio Brasileiro de Cucurbitáceas**, 2007, Porto Seguro - BA. Horticultura Brasileira. Brasília - DF: Associação Brasileira de Horticultura, 2007. v.25.

KELLING, K.A.; PETERS, J.B. The advisability of using cation balance as a basis for fertilizer recommendations. **2004 Wisconsin Fertilizer, Aglime, & Pest Management Conference Proceedings**. Disponível em: <<http://www.soils.wisc.edu/extension/FAPM/2004proceedings/Kelling1.pdf>>. Acesso em: 10/6/2007.

KER, J.C.; RESENDE, M. Caracterização química e mineralógica de solos brunos subtropicais do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.215-225, 1990.

LACHESKI, E. **Guarapuava no Paraná: discurso, memória e identidade (1950-2000)**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009. 162p. Dissertação (Mestrado em História).

LAWTON, K. Composición química de los suelos. In: BEAR, F.E. **Química del Suelo**. Madrid: Ediciones Interciencia, 1963. p.63-100.

LEVINE, D.M.; BERENSON, M.L.; STEFHAN, D. **Estatística: teoria e aplicações, usando Microsoft Excel em português**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1998. 759p.

LIMA, M.R.; SIRTOLI, A.E.; SERRAT, B.M.; WISNIEWSKI, C.; ALMEIDA, L.; MACHADO, M.A.M.; MARQUES, R.; MOTTA, A.C.V.; KRIEGER, K.I.; OLIVEIRA, A.C.; FERREIRA, F.V. **Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas**. 2.ed. ver. Ampl. Curitiba: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. 2003. 143 p.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.1-64.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agrônômicos**. 3.ed. São Paulo: ANDA, 2000. 72p. (ANDA, Boletim Técnico, 4).

LOPES, A.S.; SILVA, M.C.; GUILHERME, L.R.G. **Acidez do solo e calagem**. 3.ed. São Paulo: ANDA, 1991. 22p. (ANDA, Boletim Técnico, 1).

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 3.ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002. 438 p.

MACHADO, B. P. Esboço de uma sinopse da história regional do Paraná. **Revista história: questões e debates**, n.14, p.177-205, 1987.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. 496p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARCONDES, G.G. **Guarapuava: história de luta e trabalho**. Guarapuava: UNICENTRO, 1998. 61p.

MASCHIETTO, E.H.G. **Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto**. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2009. 56p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

MELLO, F. A. F. de; BRASIL SOBRINHO, M. de O. C; ARZOLA, S; SILVEIRA, R. I; COBRA NETTO, A; KIEHL, J. de C. **Fertilidade de Solos**. São Paulo: Nobel, 1983. 400p.

MELO, V. F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; NOVAIS, R. F.; FONTES, M. P. F. Chemical and Mineralogical Properties of Kaolinite – rich Brazilian soils. **Soil Science Society America Journal Madison**, v.65, p.19-32, 2001.

MENDES, L.M.S. **Construção e interpretação de uma base de nacional de dados edafoclimáticos e sua relação com dados sócio-econômicos**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2004. 226p. Tese (Doutorado em Agronomia).

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.65-90.

MEURER, E. J.; RHEINHEIMER, D.; BISSANI, C.A. Fenômenos de sorção em solos. In: MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. 3.ed. Porto Alegre: UFRGS, 2008. p.117-162.

MEURER, E.J.; ANGHINONI, I. A solução do solo. In: MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. 3.ed. Porto Alegre: UFRGS, 2008. p. 92-113.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo do solo e de culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio no solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.H., eds. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.209-278.

MITSUI FERTILIZANTES S/A. **Yoorin - Manual Científico Yoorin**. Disponível em: <http://www.fertmitsui.com.br/template.php?page=produtos/produtos_yoorin>. Acesso em: 05/04/2010.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.411-416, 1993.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C. **Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais**. Piracicaba, POTAFÓS, 2000. (Informações Agronômicas – Encarte Técnico).

MUCHOVEJ, R.M.C.; BORGES, A.C.; NOVAIS, R.F.; THIEBAUT, T.J.L. Effect of liming levels and Ca:Mg ratios on yields, nitrogen content and nodulation of soybeans grown in acid cerrado soil. **Journal of Soil Science**, v.37, p.235-240, 1986

NARDY, A.J.R.; BETANCOURT, R.H.; VERDUGO, D.R.H. **Mapa geológico das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná. 2003**. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/petrologia/nardy/bacia.html>>. Acesso em: 20/11/2008.

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**, v.32, p.237-247, 2008.

OLIVEIRA, E.L. Rendimento de matéria seca e absorção de cálcio e magnésio pelo milho em função da relação cálcio/magnésio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p. 383-388, 1993.

OLIVEIRA, E.F.; PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D. Respostas de mudas de cafeeiro ao equilíbrio entre cátions trocáveis em solos com cargas variáveis. **Arq. Biol. Tecnol.**, v.37, p.973-979, 1994.

OLIVEIRA, J. B. de; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the State of Paraná, Brasil. **Turrialba**, v.35, n.2, p.131-39. 1985.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina, Instituto Agronômico do Paraná, 1992. 40p. (Circular, 76).

PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. **Lições de fertilidade de solo: pH**. Londrina: IAPAR, 1997. 47p. (IAPAR. Circular, 93).

PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L. **Manejo da acidez do solo**. Londrina: IAPAR, 1997. 86p.

PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L.; MIYAZAWA, M. Determinação indireta da acidez extraível do solo (H + Al) por potenciométrica com a solução-tampão SMP. **Arq. Biol. Tecnol.**, v.39, p.307-312, 1996.

PETRI, S.; FÚLFARO, V.J. **Geologia do Brasil**. 1. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1988. 631p.

PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A. J.; COMIN_CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; ERNESTO, M.; MARQUES, L.S.; NARDY, A.J.R.; PACCA, I.G.; ROISENBERG, A.; STOLFA, D. Continental flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil). In: MACDOUGALL, J.D. (Ed.). **Continental Flood Basalts**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. p.195-238.

POTT, C.A.; MÜLLER, M.M.L.; BOTELHO, R.V.; FOLONI, J.S.S. Adubação verde em sistemas produtivos agrícolas: ciclagem de nitrogênio, fósforo e potássio. In: II SEMANA DE ESTUDOS AGRONÔMICOS DA UNICENTRO. **Anais**. Guarapuava: Universidade Estadual do Centro Oeste. nº1, p.155-167, 2004.

PÖTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.675-684, 1998.

QUAGGIO, J.A. **Crêterios para calagem em solos do Estado de São Paulo**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1983. 76p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

RAIJ, B. V. Indicadores da fertilidade do subsolo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. FERTIBIO 2008. **Anais**. Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Estadual de Londrina/Iapar, 2008. (CD-ROM)

RAIJ, B. V. **Simpósio Avançado de Química e Fertilidade do Solo: Propriedades Eletroquímicas de Solos**. Campinas: Fundação Cargill. 1986. p.9-39.

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

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Recomendação de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.27, p.355-362, 2003.

ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.K.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.12, p.1443-1448, 1984.

ROSSA, U.B. **Estimativa de calagem pelo método SMP para alguns solos do Paraná**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006. 150p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. FAQUIM, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. **Interrelações fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Lavras, 1999. p.267-319.

SÁ, J.C.M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S., **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, POTAFÓS, 2004. p.201-222.

SALET, R.L. **Dinâmica de íons na solução de um solo submetido a diferentes sistemas de manejo**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 110p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

SALET, R.L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R.A. Atividade do alumínio na solução do solo do sistema plantio direto. **Revista Científica Unicruz**, v.1, p.9-13, 1999

SAMBATTI, J. A. **Mineralogia e adsorção de fósforo da fração argila de latossolos provenientes do intemperismo de rochas vulcânicas do terceiro planalto paranaense**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2004. 211p. Tese (Doutorado em Agronomia).

SANTOS, C. R. A. dos. **Vida Material e Econômica**. Curitiba: SEED, 2001. 96 p. (Coleção história do Paraná; textos introdutórios).

SANTOS, H.P.; WOBETO, C.; PEREIRA, L.R. Rotação de Culturas em Guarapuava: Efeitos das culturas de inverno em plantio direto sobre características agrônômicas da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.29, n.9, p.1551-61, 1991.

SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.85-91, 2000.

SCHWERTMANN, U; TAYLOR, R. M. **Minerals in Soil Environments: Iron Oxides**. Wisconsin: Soil Science Society of America. 1989. 231p.

SEAB/DERAL. Núcleo Regional de Agricultura de Guarapuava e Núcleo Regional de Laranjeiras do Sul. **Relatório interno safra 2007/2008**. 2008

SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; OLIVEIRA, M.C.N. de; WOBETO, C.; ALMEIDA, J. Determinação da relação ótima entre Ca, Mg e K para a cultura da soja em solos do Paraná. In: EMBRAPA SOJA. **Resultados de pesquisa de soja 1991/1992**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. p.298. (Embrapa Soja. Documentos 138).

SILVA, I.R. da; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SILVA, J.E. Balanço de cálcio e magnésio e desenvolvimento de milho em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.15, p.329- 333, 1980.

SILVA, V. da. **Variáveis de acidez em função da mineralogia do solo**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006. 84p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

SIQUEIRA, O.J.F., BORKERT, C.M., KOCHANN, R.A., BARTZ, H.R., RAMOS, M. Resposta do trigo à calagem, cultivado em sucessão com soja, em solos ácidos com diferentes teores de alumínio trocável em altos níveis de fertilidade. In: REUNIÃO ANUAL DE PESQUISA DE TRIGO, 7., Passo Fundo, 1975. **Anais**. Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, p.18-50, 1975.

SOUZA, C.M. **Uso de escória siderúrgica no cultivo de cana**. Disponível em: <[http://www.jornalcana.com.br/conteúdo/noticia.asp? area=Tecnologia + Agrícola & seção...](http://www.jornalcana.com.br/conteúdo/noticia.asp?area=Tecnologia+Agrícola+%26+seção...)> Acesso em: 21/01/2009.

SOUZA JUNIOR, I. G. de; COSTA, A. C. S. da; PETERNELE, W. S.; TORMENA, C. A.; MONTES, C. R.; CLEMENTE, C. A. Contribuição dos constituintes da fração argila de solos subtropicais à área superficial específica e à capacidade de troca catiônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, n.31, p.1355-1365, 2007.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University, 1989. 277p.

TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; BARRÓN, V. Phosphate sorption by natural hematites. **European Journal of Soil Science**, v.45, p.41-45, 1994.

TISDALE, S. L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizers**. 5.ed. New York: MacMillan Publishing Company, 1993. p.14-44.

WIKLANDER, L. Fenómenos de cambio de cationes y aniones. In: BEAR, F.E. **Química del Suelo**. Madrid: Ediciones Interciencia, 1963. p.128-178.