

A Pedologia e a Agricultura de Precisão

Carlos Alberto Flores*¹, José Maria Filippini Alba*²

¹Pesquisador, Recursos Naturais/Embrapa Clima Temperado

²Pesquisador, Laboratório de Planejamento Ambiental/Embrapa Clima Temperado

*E-mails: carlos.flores@embrapa.br, jose.filippini@embrapa.br

Resumo: A globalização dos mercados relacionados à agricultura e a crescente demanda por produção sustentável provocaram uma busca da sociedade por maior precisão na gestão produtiva. Isso estreita a relação entre pedologia e agricultura de precisão, pois, áreas agrícolas precisam ser detalhadas em relação à variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de solo e planta, de maneira a aprimorar os impactos socioeconômicos e ambientais. Na primeira parte do capítulo se descreve de forma sucinta o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS), sendo abordadas as vantagens e as implicações desta tradicional forma de mapeamento. Na segunda parte do capítulo se discutem quatro propriedades de interesse neste contexto: condutividade elétrica, refletância, relevo e produtividade. A medição dessas e outras propriedades do solo foram aplicadas pela utilização de diversas técnicas, desde o século passado com graus diferenciados de sucesso, sendo que algumas delas foram implantadas rapidamente e outras dependem de inovações tecnológicas para evoluir.

Palavras-chave: Solos, Agricultura de precisão, condutividade elétrica, relevo, sensoriamento remoto, produtividade.

Pedology and Precision Agriculture

Society is looking for greater precision in the productive management due to the globalization of agricultural markets and the growing demand for sustainable production. Pedology and Precision Agriculture must work together in that sense, because the spatial variability of plant and soil attributes need to be detailed in crop areas, improving socioeconomic and environmental impacts. The first part of the chapter describes briefly the Brazilian Classification System of Soils, when the restrictions and advantages of that traditional way of mapping were discussed. The second part of the chapter considered the behavior of four soil properties: electrical conductivity, reflectance, relief and productivity. Several techniques were applied for measuring these and other properties during last century with different degrees of success. Some of them were implanted without problems but the other ones depend on technological innovations for their evolution.

Soils, Precision agriculture, electric conductivity, relief, remote sensing, productivity.

1. Introdução

Em razão da globalização dos fatores para a produção de alimentos, a sociedade está a requerer maior precisão na gestão produtiva. O cenário atual da agricultura brasileira caminha para uma produção eficiente, com proteção ao meio ambiente, onde se insere a agricultura de precisão (AP). A economia em escala global evidenciou o protagonismo do Brasil, especialmente nesta época, quando há um aumento no consumo mundial de alimentos ao mesmo tempo da necessidade de produzir energia renovável. O País possui terras, condições climáticas e tecnologia para ajudar a suprir a si e a outras nações com alimento e energia renovável. Para isso, também necessita melhorar sua competitividade em pecuária, silvicultura e produtos como o trigo, milho, arroz, feijão, soja, cana de açúcar e o algodão, sem perder a perspectiva da sustentabilidade. Assim, a adoção de técnicas e tecnologias com maior precisão para o manejo adequado dos Biomas, ecossistemas e agroecossistemas pode reduzir o impacto ambiental das atividades agrícolas de maneira significativa, com o uso das terras segundo sua aptidão agrícola, com uma aplicação eficiente dos insumos utilizados. A Ciência pode contribuir decisivamente com a atividade agropecuária com medidas de ordenamento territorial pela interação entre a Pedologia e as técnicas de Agricultura de Precisão. O conhecimento dos solos brasileiros, aliado as tecnologias de precisão já disponíveis, pode ser uma ferramenta valiosa de gestão para a inovação agropecuária no Brasil.

O Brasil ocupa uma posição de destaque na realização de estudos de solos tropicais, tendo gerado grande quantidade de dados por meio de levantamentos de solos e outros estudos. Entretanto, a disponibilização destas informações tem-se mostrado pouco eficiente, devido principalmente ao grande volume, complexidade e pouca normatização dos dados, o que tem dificultado e limitado sua utilização pelos usuários (EMBRAPA, 1998).

Os conhecimentos adquiridos através dos levantamentos de solos têm contribuído significativamente para que o Brasil chegasse à condição de agricultura tropical mais competitiva do planeta. Nas próximas décadas, a ciência do solo continuará no centro de discussão para a produção de alimentos e fibras, mas também será

fundamental e estratégica para manter a qualidade da água, o combate à pobreza e a produção de fontes renováveis de energia.

Mermut e Eswaran (2001) revisaram os maiores desenvolvimentos da Ciência do Solo desde a década de 60. Segundo eles, aconteceu uma mudança dramática no pensamento da sociedade em relação à utilização dos recursos naturais na década de 80, aumentando a preocupação com o equilíbrio dos ecossistemas e a conservação da qualidade ambiental, com incremento simultâneo no consumo de recursos, inclusive para os países em desenvolvimento. A Comissão Brundtland estabeleceu o conceito de sustentabilidade que foi ampliado pela Agenda 21 das Nações Unidas. Na década de 90 houve notáveis avanços nos métodos e prioridades de pesquisa na perspectiva pedológica. Enquanto os levantamentos tradicionais perderam intensidade, a necessidade por informação edáfica tornou-se mais significativa, em termos de manejo sustentável, equilíbrio dos ecossistemas e ciclos biogeoquímicos. O monitoramento e a avaliação dos recursos do solo iniciaram uma nova era, em função da qualidade da informação produzida pelas novas tecnologias de caráter inovador, como o SIG e o sensoriamento remoto. Sobre a AP destacam: “Trata-se de uma técnica de manejo do solo por sítio-específico, com amostragem intensiva, combinada com métodos geoestatísticos e de modelagem. A informatização de todos os aspectos do gerenciamento, transformam-na mais avançada abordagem científica desenvolvida pela agricultura”.

Sem dúvidas a pedologia é parte integrante dos conhecimentos necessários para avançar no contexto de AP. Os atributos do solo devem ser considerados conforme sua variabilidade espacial nas respectivas unidades, em escala detalhada, isto é, superior a 1:5.000 (McBRATNEY; MENDONÇA SANTOS; MINASMY, 2003), ou seja, feições de 50 metros no terreno são expressas como um centímetro no mapa. Assim, o presente capítulo inclui na primeira parte uma síntese do Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS) e do processo de mapeamento de solos, sendo avaliadas vantagens e restrições. Na segunda parte discute-se o comportamento de quatro propriedades do solo consideradas de extrema importância no contexto de AP, com base nas referências disponíveis: Relevô, Condutividade elétrica, Reflectância e Produtividade.

2. O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)

Trata-se de uma chave taxonômica de classificação resultante de uma evolução do antigo sistema americano, do qual herdou parte de seus conceitos e fundamentos. Sua criação foi na década de 50 e apresenta uma dinâmica de revisões e aperfeiçoamentos sistemáticos sob a coordenação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. O SiBCS é constituído por seis níveis categóricos, dos quais encontram-se efetivamente implementados os quatro primeiros: *Ordens*, *Subordens*, *Grandes Grupos* e *Subgrupos*. A identificação de um nível categórico inferior depende dos níveis superiores a que pertence. Por exemplo, o nome completo de uma Subordem inicia-se pelo nome da Ordem e assim sucessivamente para os demais níveis categóricos (SANTOS et al., 2006). A classificação de um solo segundo o SiBCS é feita partindo de uma amostragem à campo através de um *Perfil* (LEMOS; SANTOS, 1996). Denomina-se *perfil* de solo (Figura 1) a seção vertical através do solo que engloba a sucessão de horizontes, acrescida do material subjacente pouco ou nada transformado pelos processos pedogenéticos e pelo manto superficial de resíduos orgânicos.

Diferentemente da Classificação Americana, a “Soil Taxonomy” (SOIL..., 1999) que se baseou em milhares de séries de solos já mapeadas e registradas, o SiBCS está sendo elaborado de forma descendente, isto é, considerando primeiro a população de poucas classes de solos, nas categorias mais superiores (ordens e subordens), as quais foram paulatinamente subdivididas e enquadradas nas categorias mais inferiores grandes grupos e subgrupos.

A adequada classificação de um solo permite estabelecer correlações com sua gênese e evolução, assim como com fatores ambientais e econômicos relativos a sua ocupação, manejo, aptidão agrícola, entre outros (OLIVEIRA et al., 1999). As relações solo-paisagem permitem associar atributos topográficos e tipos de solos, tornando-se úteis na predição de ocorrência dos tipos de solos nas paisagens, auxiliando assim no entendimento das variabilidades existentes. A classificação de

um solo é dependente de uma série de fatores químicos, físicos, morfológicos, mineralógicos e topográficos. O entendimento da relação entre estas características auxilia no conhecimento da paisagem e no mapeamento. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi verificar a correlação entre classes de solos com informações de geologia, topografia e atributos do solo. Para tanto, foi montado em banco de dados com as informações de análises de solo, curvas de nível e geologia. Estas informações foram cruzadas para verificar a contribuição de cada uma no mapa de solos. Os dados de relevo foram obtidos a partir de um modelo digital do terreno e os de geologia e solo de mapas já existente da área. Concluiu-se que existe alta correlação entre atributos e classes de solo com a geologia da área. Isto sugere que é possível utilizar dados geológicos para delimitação inicial de classes de solos quando a geologia for o fator de formação com maior importância na diferenciação dos solos numa dada região (GENÚ; DEMATTÊ; NANNI, 2011).

Como forma de ilustrar o SiBCS, se apresentam imagens de dois perfis contrastantes de solos, um Latossolo típico com significativa profundidade e um Neossolo Litólico originado de basalto com diaclase horizontal (Figura 2).



Figura 1. Exemplo de um perfil de solo. Foto: Carlos A. Flores.



Figura 2. Exemplo de dos perfis típicos de solos. Latossolo (esquerda) e Neossolo (direita). Foto: Carlos A. Flores.

3. Sobre o mapeamento de solos

Chagas et al. (2004) destacam que os mapas tradicionais e suas versões digitalizadas, independentemente de suas escalas, não fornecem toda a informação requerida pelos usuários, já que a maioria dos dados coletados durante os levantamentos de solos não pode ser mostrada nos mapas ou não consta nas legendas (VAN ENGELEN, 1999). Assim, para facilitar a disponibilização da informação, são utilizados sistemas automatizados que possibilitam a entrada, armazenamento, processamento e saída destas informações, permitindo aos usuários explorarem, de maneira mais rápida e segura, as informações requeridas para os diversos fins. Os sistemas de informação de solos são relativamente recentes e buscam descrever os solos em seu ambiente natural. Estes podem ser descritivos e apresentar dados quantitativos com dimensões espaciais (unidades de mapas), ou dados pontuais, que descrevem e quantificam propriedades específicas de um perfil de solo em determinado local e tempo na superfície da terra (BAUMGARDNER, 1999). Diante da necessidade de informações para o desenvolvimento de estudos que envolvem a localização, qualidade e quantificação de propriedades de solos, seus processos e suas interações com outros recursos naturais (ERNSTROM; LYTLE, 1993), organismos internacionais e países têm desenvolvido sistemas de informações de solos. Dentre estes, destacam-se: o Mapa Digital de Solos do Mundo (FOOD..., 1996), o SOTER - The World Soils

and Terrain Database (VAN ENGELEN; WEN, 1995), O CANSIS – Canadian Soil Information System (MacDONALD; KLOOSTERMAN, 1984) e o NASIS – National Soil Information System (SOIL..., 1991). O mapa de solos do mundo da FAO (FOOD..., 1996), na escala de 1:5.000.000, é o único banco global de dados de solos existente. Ao longo dos anos 80s e 90s, muitas tentativas foram feitas para digitalizar este mapa, existindo, atualmente, disponíveis para consulta várias versões em diferentes formatos (vetor e raster). Este mapa contém informações sobre a composição das unidades de mapeamento, em termos de tipo de solo, textura da camada superficial e classe de declividade do solo dominante, além da eventual presença de fases, tais como: caráter salino, sódico, petrocálcico, dentre outros (NACHTERGAELE, 1996). O projeto SOTER nasceu da necessidade de atualização e expansão do banco de dados de solos usado pelo Mapa de Solos do mundo da FAO e representa o primeiro esforço para compilar um conjunto de dados globais na escala de 1:1.000.000. O conceito geral do SOTER se baseia no mapeamento de áreas de terra (unidades SOTER), as quais se apresentam distintas quanto aos padrões da paisagem, litologia, forma da superfície, declividade, material de origem e solos. Embora tenha sido inicialmente desenhado para o uso na escala de 1:1.000.000, o método é aplicável a escalas maiores junto com o desenvolvimento de bancos de dados nacionais. Um primeiro teste já foi realizado com os dados do mapa de solos do estado de São Paulo na escala de 1:500.000. Dentre as aplicações do SOTER está à possibilidade de avaliação do risco de erosão, potencial agrícola das terras, condição de salinidade e degradação das terras (VAN ENGELEN, 1999). O Sistema de Informação de Solos do Canadá (CANSIS), desde 1972, tem dado suporte às atividades da agência de pesquisa canadense (Agriculture and Agri-Food Canada - AAFC). O CANSIS foi desenvolvido para manipular dados de solo, clima, uso da terra, rendimento das culturas e dados geográficos, sendo os dados de solos parte integrante do National Soil Database (NSDB), cujo sistema e procedimentos de SIG foram implementados no aplicativo Arc/Info (ESRI, 1994). O NSDB é um conjunto de arquivos que contém dados de solo, paisagem e clima para todas as regiões do Canadá. As informações sobre as características e distribuição dos solos são

apresentadas em três níveis de detalhe: o mapa de solos na escala de 1:5.000.000; as paisagens de solos na escala de 1:1.000.000; e levantamentos de solos detalhados, em escalas que variam de 1:20.000 a 1:250.000 (COOTE; MacDONALD, 1999). O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, pelos levantamentos de solos, tem fornecido, desde 1886, informações de solos para um número variado de usuários. No fim dos anos 60s e início dos anos 70s, os cientistas da National Cooperative Soil Survey (NCSS) reconheceram a necessidade e o potencial de automação da grande quantidade de informações geradas nos levantamentos de solos que estavam sendo executados. Desta maneira, foi desenvolvido o National Soil Information System (NASIS), para facilitar e melhorar a aquisição, manejo e distribuição destas informações. Semelhantemente ao sistema canadense, o NCSS desenvolve e mantém seis conjuntos de dados, que são o registro de caracterização de solos (SCR), registro de unidades de mapeamento (MUR), registro das unidades taxonômicas (TUR), banco de dados geográficos de levantamento de solos (SSURGO), banco de dados geográficos estadual (STASTGO) e banco de dados geográficos nacional (NATSGO). Cada um destes conjuntos foi desenvolvido para uma proposta ou necessidade específica (LYTLE, 1993, 1999). Cabe ressaltar que nenhum dos sistemas mencionados utiliza gerenciadores de banco de dados estendidos, capazes de tratar dados espaciais. Desta forma, todos utilizam um aplicativo de sistema de informação geográfica, predominantemente segundo o modelo vetorial, para o armazenamento dos dados geométricos (localização e extensão de objetos representados por pontos, linhas ou superfícies, e topologia) e para o armazenamento dos dados não espaciais, há um predomínio do emprego de aplicativos de sistemas de gerenciamento de banco relacional de dados comercialmente disponíveis (VAN ENGELLEN; WEN, 1995; MacDONALD; KLOOSTERMAN, 1984; SOIL..., 1991).

4. Influência do relevo nas propriedades do solo

O uso da geomorfologia com as unidades de vertentes e curvatura do terreno são fundamentais para os estudos de gênese, levantamento e

classificação de solos, assim como, para a obtenção de informações de estimativas de erosão, estabelecimento de zonas de manejo, planejamento e uso do solo. O relevo influencia a variabilidade da textura, uma vez que condiciona o tempo de exposição dos materiais à ação do intemperismo e pode ser dividida em topo, meia encosta e encosta inferior (FLORES et al., 2012).

Sua ação está associada ao clima e à dinâmica da água, tanto no contexto superficial como subterrâneo. A ação sobre o clima do solo se dá diretamente, através da incidência diferenciada da radiação solar, segundo a inclinação e a posição das vertentes (Figura 3), e do decréscimo da temperatura com o aumento da altitude, e indiretamente, sobre os seres vivos, especialmente os tipos de vegetação natural, que são dependentes das condições climáticas locais.

O relevo regula os movimentos da água ao longo da vertente, tanto na superfície como no interior do solo, agindo sobre seu regime hídrico e, conseqüentemente, sobre os fenômenos de percolação interna e ações correlatas – lixiviação de solutos, transporte de partículas coloidais em suspensão no meio líquido – e ainda naqueles fenômenos em que a presença da água é imprescindível – hidrólise, hidratação, dissolução.

Quanto mais íngreme for o terreno, menor a possibilidade de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, do fluxo interno dela, e maior a quantidade de água que escoar na superfície (enxurrada) e a energia cinética produzida, potencializando o processo erosivo. Por isso, solos situados em relevo íngreme geralmente são menos profundos e mais secos que aqueles situados em declive menos acentuado.



Figura 3. Exemplo de relevo suave ondulado. Foto: Carlos A. Flores.

A concavidade ou convexidade da vertente modifica o poder erosivo das enxurradas e influencia a direção do movimento da água no interior do solo. Em igualdade de condições climáticas e de cobertura vegetal, os solos nas posições côncavas, devido à convergência dos fluxos de água, são mais úmidos do que os das posições convexas.

Nas partes baixas de áreas com relevo mais suave, além da água de precipitação pluvial que incide sobre ela diretamente, há contribuição tanto da água proveniente das enxurradas das áreas mais altas, como da que se movimenta lateralmente e internamente no solo das vertentes contíguas a elas. Na avaliação da maior ou menor facilidade de infiltração da água no solo de uma vertente é necessário levar em conta, além da forma da vertente, seu comprimento, a rugosidade e a cobertura vegetal do terreno, além dos fatores intrínsecos do solo.

Buol, Hole e McCracken (1973) relacionam à influência do relevo os seguintes atributos do solo: 1) profundidade das camadas de solo; 2) espessura e conteúdo de matéria orgânica do horizonte superficial; 3) umidade relativa do perfil; 4) cor do perfil; 5) grau de diferenciação dos horizontes; 6) reação do solo; 7) conteúdo de sais solúveis; 8) espécie e grau de desenvolvimento de horizontes adensados (“pan”); 9) temperatura e 10) caráter do material inicial. Vários autores constataram a influência do relevo em AP, conforme escala detalhada e com objetivos diferentes, para monitoramento da movimentação de oliveiras em função de erosão (RAMOS et al., 2007), para planejamento regional da produção em pomares de citros (WU et al., 2009) e para agricultura irrigada por pivô central (EL NAHRYA; ALI; EL BAROUDY, 2011).

5. A relação entre a reflectância e as propriedades do solo

Se consideraram aplicações com sensoriamento remoto orbital ou aéreo e também espectrorradiometria (FILIPPINI ALBA et al., 2007), onde a reflectância da radiação eletromagnética é a principal propriedade do solo a ser medida. No entanto, o termo “remoto” refere

à ausência de contato com o objeto medido e não ao grau de afastamento.

Liaghat e Balasundram (2010) indicaram que devido ao seu caráter inovador, a AP deveria incluir três assuntos principais nos seus protocolos: (1) Reunir informações sobre variabilidade espacial; (2) Discutir métodos de processamento de dados de maneira a avaliar o significado da variabilidade; e, (3) Implementar mudanças no gerenciamento dos insumos. Segundo os autores, no século XX houve forte pressão para aplicar manejo uniforme em grandes áreas agrícolas, por isso, as bases de dados em AP incluem informações das culturas, como estágio de crescimento, diagnóstico sanitário e requerimento de nutrientes; propriedades físicas e químicas do solo; dados climáticos diários e sazonais; condições de drenagem superficial e subsuperficial; disponibilidade de água e potencial para irrigação. O sensoriamento remoto é uma técnica que apresenta várias vantagens exclusivas (JENSEN, 1996): (i) coleta de dados não destrutiva; (ii) cobertura de vastas áreas geográficas contrastando com observações isoladas pontuais; (iii) disponibilidade em locais acidentados, de difícil acesso ou virgens; (iv) ajuste de erros por meio da avaliação de séries históricas de imagens; (v) caráter multidisciplinar da informação produzida. Imagens hiperespectrais e multiespectrais tem sido utilizadas como forma de apoio a operações de mapeamento de estresse vegetal, aplicação de fertilizantes e pesticidas, manejo de irrigação e monitoramento do conteúdo de nutrientes para grãos e diversas frutas.

Ge, Thomasson e Sui (2011) consideram ambas técnicas complementares de certa forma, pois o sensoriamento remoto convencional cobre extensas áreas com baixa resolução espectral e a espectrorradiometria, envolve informação espectral detalhada, utilizando em geral, uma malha regular e incluindo erros como consequência do processo de interpolação. A cor foi a primeira propriedade utilizada para diferenciar solos, inclusive tentativas com fotos preto e branco nos anos 30 e retomada depois da II guerra mundial já com fotos coloridas, fase estendida até as décadas de 60 e 70 com as primeiras imagens orbitais com os sensores MSS e TM da série Landsat. Foram compilados 36 trabalhos no período 1986 – 2007 considerando a relação de sensoriamento remoto com diversos atributos do solo (textura, teor de nutrientes, condutividade elétrica e capacidade

de troca catiônica). Sete trabalhos trataram sobre sensoriamento remoto orbital e seis o aéreo, sendo 22 trabalhos sobre espectrorradiometria em laboratório e quatro à campo, com pequena sobreposição de técnicas, como constata os números. O sensor multiespectral foi utilizado em 13 situações e hiperespectral em 23 casos, com domínio de uso do intervalo do infravermelho próximo e em grau algo menor o visível. As técnicas de processamento de dados mais utilizadas incluem componentes principais e regressão.

Os autores acima indicam que os solos possuem diferentes componentes químicos e minerais, com assinatura espectral diferenciada, intensa para alguns componentes, muito fraca para outros. No intervalo 1,4 a 1,9 micrometros há uma sobreposição de picos de diferentes componentes, dificultando a interpretação. Os solos agrícolas são geralmente compactados por equipamentos de aração, colheita ou irrigação, afetando o teor de umidade e a condição de agregação, influenciando assim na resposta espectral do solo. Por outro lado a resolução espectral afeta a qualidade da informação levantada. Assim, sensores multiespectrais são pouco utilizados para caracterizar as propriedades do solo, pois as mudanças se confundem com variações de umidade ou rugosidade. Sensores hiperespectrais tem sido pouco utilizados em AP, possivelmente por considerar métodos matemáticos de aplicação em mineralogia, sendo que os espectros de solos são bem mais complexos.

6. A condutividade elétrica aparente do solo (CE)

McBratney, Mendonça Santos e Minasny (2003) destacam que vários equipamentos de condutividade elétrica tem sido utilizados para mapeamento detalhado do solo em AP, entre eles o EM38 que trabalha com indução eletromagnética, o Veris 3100 que utiliza discos rolantes metálicos ou similares. Essa propriedade está relacionada à mineralogia do solo, ao teor de sais, ao conteúdo de umidade e à textura, existindo numerosos estudos que procuram estabelecer modelos de regressão com a umidade, a espessura do perfil de solo e o teor de argila.

Sudduth et al. (2005) mediram a CE de 12 áreas em seis estados dos USA, com médias de

temperatura de 18 a 22 °C, médias de precipitações de 576 a 1026 mm, área de 14 a 65 hectares, considerando os equipamentos mencionados acima (EM38 e Veris 3100). Os solos estudados possuem diferenças em termos de textura, material de origem e mineralogia. A textura superficial mudou de acordo com o estado variando de barrosa, silte-barrosa, barrosa a argilosa e silte-barrosa a silte-argilosa-barrosa, com maior dispersão no nível subsuperficial, variando de barro-arenosa a argilosa. Encontraram-se diferenças e semelhanças na EC medida com os dois sensores. O coeficiente de correlação da CE do EM38 com a do CE profunda (Veris) variou de 0,74 a 0,95 e no caso da CE profunda versus a CE rasa (ambas no Veris) o coeficiente de correlação foi 0,47 a 0,94. Os piores valores de correlação foram para a CE do EM38 com a CE rasa, oscilando entre 0,27 e 0,92. As maiores diferenças se encontraram nos solos de Missouri por suas características próprias (argilopan). A correlação da CE com os conteúdo de argila e com a capacidade de troca catiônica foi a mais intensa e persistente nas áreas e tipos de CE medidas. As correlações com umidade do solo, teor de silte ou areia e Carbono orgânico foram inferiores e variáveis nas áreas estudadas. No interior de um estado o perfil médio de teor de argila e a capacidade de troca catiônica poderiam ser estimados com certa precisão pela CE do EM38, a última propriedade poderia ser avaliada por uma das CE do Veris. O modelo de regressão desses atributos em função da CE para todas as áreas estudadas foi razoável, com R^2 superior a 0,55.

Inamasu et al. (2011) disponibilizaram 12 aplicações em AP envolvendo CE, sendo uma descritiva de equipamento e as restantes estudos à campo. As áreas estudadas localizaram-se nas regiões Centro-Oeste (Cerrado), que predominou, Sudeste, Sul e Nordeste. Todas as aplicações apresentaram variabilidade espacial da CE mostrando zonas homogêneas alternadas com efeitos locais, sendo que, em ocasiões as primeiras foram consideradas zonas de manejo. As vezes a CE rasa foi superior à CE profunda e vice-versa, dependendo provavelmente da condição do solo no período de medição. Nos diversos estudos foram mencionadas correlações da CE com altitude, pH, teor de Ca e Mg, produtividade e umidade com coeficientes oscilando entre 0,3 e

0,7. No caso da produtividade, em dois casos a correlação foi positiva e em um foi negativa.

7. Produtividade

O mapeamento da produtividade é considerado por muitos pesquisadores como sendo uma parte essencial da agricultura de precisão (MAKEPEACE, 1996). Thylén, Jurschik e Murphy (1997) consideraram que o mapa de produtividade é um dos métodos mais corretos para estimar a heterogeneidade de uma lavoura. Um mapa de produtividade evidencia regiões com alta e baixa produtividade, mas não explica a causa de tal variação, que pode ser devido a doenças, a deficiências, a desequilíbrios químicos ou estresse hídrico e se a causa específica não é determinada, nenhuma resposta ao gerenciamento pode ser obtida (LARK; STAFFORD, 1997).

A demanda por nutrientes pelas culturas depende de vários fatores, dentre eles, da cultura e suas variedades, o potencial de rendimento e qualidade dos grãos, da distribuição de chuvas e do potencial produtivo do solo. Os principais atributos do solo que determinam seu potencial produtivo são aqueles responsáveis por manter a água no solo e fornecer nutrientes. Dentre eles estão, a textura, estrutura, agregação e sua estabilidade, relação macro e microporosidade, grau de compactação do solo e densidade. Os atributos físicos do solo muitas vezes são utilizados de forma reduzida na definição de zonas de manejo. Alguns atributos, como a densidade do solo poderia ser incorporada no plano de manejo, pois impedimentos físicos para o crescimento radicular, mesmo em áreas onde a fertilidade química é alta, fazem com que o potencial produtivo do solo seja reduzido, bem como potencial da cultura. Atributos como: estrutura, consistência, agregação, profundidade efetiva, sequência de horizontes são estudados quando da execução dos levantamentos de solos.

Segundo Zhang, Yamasaki e Kimura (2002), são seis os fatores de variabilidade que afetam a produção agrícola:

- Variabilidade da produção: distribuição histórica e atual da produtividade.
- Variabilidade do campo: altitude, declive, aspecto da paisagem, terraço, proximidade à bordadura e a rios e lagos.

- Variabilidade do solo: fertilidade do solo (N, P, K, Ca, Mg, C, Fe, Mn, Zn e Cu), mudanças nos atributos de fertilidade do solo resultantes da aplicação de adubos orgânicos (ex. adubo verde, esterco etc), propriedades físicas do solo (textura, densidade, teor de umidade e condutividade elétrica), propriedades químicas (pH, carbono orgânico, CTC) e profundidade do solo.
- Variabilidade da cultura: densidade de plantio, altura da planta, estresse nutricional, estresse hídrico, propriedades biofísicas da planta (ex. índice de área foliar e biomassa), conteúdo de clorofila na folha e qualidade do grão.
- Variabilidade de fatores anômalos: infestação de plantas daninhas, ataque de pragas, presença de nematóides, geadas e granizo.
- Variabilidade no manejo: taxa de semeadura, rotação de culturas, aplicação de fertilizantes e pesticidas.

Amado e Santi (2011) analisaram a agricultura do sul do Brasil com ênfase na aplicação de AP na região do planalto (latossolos). A variabilidade e fertilidade do solo, assim como mapas de produtividade em várias lavouras de cultivo de grãos foram discutidas. O conteúdo e a capacidade de tamponamento dos nutrientes do solo, a infiltração da água e sua disponibilidade para as plantas são os fatores limitantes da produtividade. Nas zonas erodidas e marginais houve limitações produtivas pela compactação do solo, perda de matéria orgânica, redução de infiltração da água e capacidade de retenção.

8. Considerações finais

O estudo da variabilidade espacial de propriedades do solo tem grande importância para aumentar a eficiência de uso de fertilizantes e outros insumos nas lavouras. A variabilidade das características do solo está relacionada com suas características intrínsecas, ou seja, com os fatores de formação do solo, e com o efeito do manejo do solo (DOBERMANN; GEORGE, 1994). Diversos estudos sobre características químicas e físicas do solo demonstram a variabilidade ou dependência espacial destas características (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000; OLIVEIRA et al., 1999; SOUZA et al., 1998). A variabilidade de nutrientes

no solo ocorre horizontalmente e em profundidade. Segundo Chitolina et al. (1999), uma das razões para a variabilidade horizontal é a forma de adubação da planta, ao passo que variações no sentido vertical são devidas às características dos elementos, do sistema de manejo e do sistema solo-planta-atmosfera. O sistema de plantio direto ilustra bem esse fenômeno de variabilidade de propriedades em profundidade de solo. Ao avaliar a fertilidade em solos sob plantio direto e convencional, Hikishima et al. (1996) observaram maior estratificação de nutrientes no plantio direto, sendo verificado também que o fósforo variou mais verticalmente do que o potássio, possivelmente devido a menor mobilidade em perfil do primeiro elemento. Esse conceito da variabilidade vertical fica ilustrado com certa clareza ao visualizar perfis como os representados na Figura 4. Note-se a diferença de profundidade de cada perfil, o Argissolo Bruno Acinzentado à esquerda do leitor, com tons marrom escuro e claro, que apresenta boa profundidade e o Neossolo Litólico na borda direita, cor cinza, com transição abrupta e muito escassa espessura.

A prática da agricultura de precisão foi primeiramente iniciada com o propósito de manejo de nutrientes, fundamentada unicamente num esquema de amostragem de solo em malha. Como este era um procedimento que teve muitos resultados de sucesso quando usado em parcelas experimentais, avaliou-se que o mesmo seria muito promissor também quando utilizado em grandes áreas. Acreditava-se que este procedimento seria capaz de identificar todas as causas das variabilidades dos rendimentos



Figura 4. Zona de contato entre Argissolo Bruno Acinzentado (esquerda) e Neossolo Litólico (direita). Foto: Carlos A. Flores.

de um campo cultivado. Uma malha de um hectare por amostra foi definido para a maioria das aplicações e a partir dessas amostragens os mapas de fertilidade e de recomendações eram construídos. Entretanto a maioria dos agricultores ficou desapontada, porque a variabilidade nos rendimentos de seus campos de produção não desapareceu (SCHEPERS; SCHLEMMER; FERGUSON, 2000). Estudos geoestatísticos a esse respeito mostraram que os mapas resultantes apresentavam distorções mais devidas ao local de coleta da amostra (centro ou intersecção da malha) e ao tamanho da malha de amostragem (SCHEPERS; SHANAHAN; LUCHIARI JUNIOR, 2000) do que devido ao método de interpolação empregado, seja ele krigagem, inverso do quadrado da distância ou outro. Adicionalmente, outro problema que emergiu foi referente aos custos envolvidos nos esquemas das amostragens e das análises de solo e que começou a ser questionado pelos agricultores, quanto à sua viabilidade prática e econômica. Destes questionamentos novas direções começaram a ser buscadas. Varvel, Schlemmer e Schepers (1999) mostraram que a imagem aérea de um solo descoberto apresentava um mesmo padrão de distribuição de matéria orgânica e de nutrientes do que os mapas resultantes de um esquema intensivo de amostragem em malha fina. A partir deste estudo um grande número de produtores e provedores de serviço começou a considerar o uso de imagens aéreas para orientar os locais de amostragens e diminuir custos de coletas e análises. Novas abordagens, como zonas homogêneas de manejo, mostraram-se promissoras para indicar os locais nos quais as amostragens deveriam ser feitas. Luchiari et al. (2000), conceituam zonas de manejo como sendo áreas do terreno de iguais produção potencial, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental. Estes últimos autores utilizaram mapas de colheita, mapas de condutividade elétrica do solo, mapas de classificação de solos e imagens aéreas para delinear zonas homogêneas de manejo e para direcionar as amostragens de solo. Shanahan et al. (2000) usaram procedimento similar para analisar o efeito de diferentes densidades de plantio em função das características do terreno e seus efeitos nos rendimentos do milho.

A demanda por nutrientes pelas culturas depende de vários fatores, dentre eles, da cultura e suas variedades, do potencial de rendimento e qualidade dos grãos, da distribuição de chuvas e do potencial produtivo do solo. Os principais atributos do solo que determinam seu potencial produtivo são aqueles responsáveis por manter a água no solo e fornecer nutrientes. Dentre eles estão, a textura, estrutura, agregação e sua estabilidade, relação macro e microporosidade, grau de compactação do solo e densidade.

A Pedologia tem muito a contribuir com a AP, no entanto novos métodos de mapeamento em escala superior a 1:5.000 devem ser sistematizados. Como se apresenta no texto “Sobre o mapeamento dos solos”, os projetos de levantamento são em geral em escala regional ou menor, o que representa escasso detalhamento sob a perspectiva da AP; são caros e com objetivos diversos. O mapeamento digital de solos está em franca evolução (McBRATNEY; MENDONÇA SANTOS; MINASMY, 2003) e disponibiliza procedimentos que permitem aprimorar os mapas existentes ou até criar novos, considerando as limitações de escala improdutiva em termos de AP.

Em relação às quatro propriedades do solo analisadas, a produtividade depende da disponibilidade de água e nutrientes, como também da condição climática (exceto no caso irrigado), que possui variação sazonal e assim, controla a resposta dos solos ano a ano. Trata-se sem dúvidas, de uma das principais propriedades do solo a ser avaliadas em relação a sua variabilidade espacial. Inamasu et al. (2011) destacam: “O mapeamento da CE do solo é uma estratégia que pode ser considerada como a mais utilizada em AP para auxílio na identificação da variabilidade do solo e orientação inteligente para amostragem, devido ao custo e praticidade operacional. A topografia, principalmente as áreas côncavas e convexas, por ser indicadora do tipo de solo, causa de acúmulo ou lixiviação de água e nutrientes, assim como pela capacidade de definir a vulnerabilidade em termos de erosão, é também uma potencial indicadora de variabilidade do solo a baixo custo”. No entanto, os estudos consultados sobre CE demonstram que o método ainda não foi padronizado e há dependência com o tipo de solo e a condição climática regional, que varia em cada estação e ano a ano; o que explicaria as respostas diferenciadas

para solos e regiões distintas (Sudduth et al., 2005; INAMASU et al., 2011). No caso da reflectância do solo, os estudos que consideram a cor foram substituídos pela espectrorradiometria com sensores hiperespectrais, com uso do intervalo infravermelho integrado ao visível, destacando-se a complexidade dos espectros relacionados aos solos pela resposta diferenciada dos diversos componentes (GE; THOMASSON; SUI, 2011). No caso de sensoriamento remoto aéreo ou orbital, o custo ou a dificuldade de sobreposição de condições meteorológicas adequadas, com resolução espacial/espectral detalhada das imagens e tempo de revisita curto para as plataformas satelitais, continuam a restringir a utilização para agricultura.

Referências

- AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Using precision farming to overcome field-limitating factors in southern Brazil oxisols: a case study. In: CLAY, D. E.; SHANAHAN, J. F. (Ed.). **GIS applications in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 2011. p. 31-60.
- BAUMGARDNER, M. F. Soil databases. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 1999. p. h1-h4.
- BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; MCCRAKEN, R. J. **Soil genesis and classification**. Iowa: Iowa State University Press, 1973. 360 p.
- CHAGAS, C. S.; CARVALHO JUNIOR, W.; BHERING, S. B.; TANAKA, A. K.; BACA, J. F. M. Estrutura e organização dos sistemas de informação georreferenciados de solos do Brasil (SIGSOLOS - Versão 1. 0). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 865-876, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000500009>
- CHITOLINA, J. C.; PRATA, F.; SILVA, F. C.; MURAOKA, T.; VITTI, A. C. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de solo para análise de fertilidade. In: SILVA, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p. 13-48.
- COOTE, D. R.; MACDONALD, K. B. The canadian soil database. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 1999. p. h41-h51.
- DOBERMANN, A.; GEORGE, T. Field-scale soil fertility variability in acid tropical soils. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15., 1994, Acapulco. **Transactions...** 1994. p. 610-627. v. 5.

- EL NAHRYA, A. H.; ALI, R. R.; EL BAROUDY, A. A. An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 4, p. 517-531, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.09.012>
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Base de informações georreferenciada de solos: metodologia e guia básico do aplicativo SigSolos. Versão 1.0.** Rio de Janeiro, 1998. (Embrapa CNPS. Boletim de Pesquisa, 11). CD-ROM.
- ERNSTROM, D. J.; LYTLE, D. Enhanced soil information systems from advances in computer technology. **Geoderma**, v. 60, n. 1-4, p. 327-341, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(93\)90034-I](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(93)90034-I)
- FILIPPINI ALBA, J. M.; FLORES, C. A.; GARRASTAZU, M. C.; SANDRINI, W. C. **Os uso da espectrorradiometria no mapeamento de solos: estudo de caso na Estação Experimental Terras Baixas.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 28 p. (Embrapa Clima Temperado. Série Documentos, 209).
- FLORES, C. A.; PÖTTER, R. O.; SARMENTO, E. C.; WEBER, E. J.; HASENACK, H. **Os solos do vale dos vinhedos.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 176 p. 2 mapas. Escala 1:10.000. DVD-ROM.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The digitized soil map of the world including derived soil properties.** Rome, 1996. CD-ROM.
- GE, Y.; THOMASSON, A.; SUI, R. Remote sensing of soil properties in precision agriculture: a review. **Frontiers of Earth Science**, v. 5, n. 3, p. 229-238, 2011.
- GENÚ, A. M.; DEMATTÊ, J. A. M.; NANNI, M. R. Geoprocessamento na avaliação espacial de variáveis do solo da região de Rafard - SP. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 4, n. 1, p. 7-18, 2011.
- HIKISHIMA, M.; PRATA, F.; SANTOS FILHO, A.; MOTTA, A. C. V. Avaliação da fertilidade do solo em plantio direto, convencional e reflorestamento de um Latossolo. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4., 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1996. 196 p.
- INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. **Agricultura de Precisão: um novo olhar.** São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. 334 p.
- JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective.** Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996. 316 p.
- LARK, R. M.; STAFFORD, J. V. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variability of crop yield. **Annals of Applied Biology**, v. 130, n. 1, p. 111-121, 1997. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.1997.tb05787.x>
- LEMO, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1996. 83 p.
- LIAGHAT, S.; BALASUNDRAM, S. K. A review: the role of remote sensing in precision agriculture. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 5, n. 1, p. 50-55, 2010. <http://dx.doi.org/10.3844/ajabssp.2010.50.55>
- LUCHIARI, A.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J.; LIEBIG, M.; SCHEPERS, A.; PAYTON, S. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE-SPECIFIC MANAGEMENT, 5., 2000, Minneapolis. **Proceedings...** Bloomington: ASA, 2000. CD-ROM.
- LYTLE, D. J. Digital soils databases for the United States. In: GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O.; STEYAERT, L. T. (Ed.). **Environmental modeling with GIS.** New York: Oxford University Press, 1993. p. 386-391.
- LYTLE, D. J. United States soil survey database. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science.** Boca Raton: CRC Press, 1999. p. h53-h67.
- MCBRATNEY, A. B.; MENDONÇA SANTOS, M. L.; MINASMY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, n. 1-2, p. 3-52, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4)
- MACDONALD, K. B.; KLOOSTERMAN, B. **The Canada Soil Information System (CanSIS): general user's manual.** Ottawa: Land Resource Research Institute, 1984. 56 p.
- MAKEPEACE, R. J. Benefits and limitations of precision farming. In: BRIGHTON CONFERENCE ON PESTS AND DISEASES, 1996, Brighton. **Proceedings...** 1996. p. 1235-1242. v. 3.
- MERMUT, A. R.; ESWARAN, H. Some major developments in soil science since the mid-1960s. **Geoderma**, v. 100, n. 3-4, p. 403-426, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00030-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00030-1)
- NACHTERGAELE, F. O. **From the soil map of the world to the global soil and terrain database.** Rome: FAO, 1996. (AGLS Working Paper).
- RAMOS, M. I.; GIL, A. J.; FEITO, F. R.; GARCÍA-FERRER, A. Using GPS and GIS tools to monitor olive tree movements. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 57, n. 2, p. 135-148, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2007.03.003>
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida.** Campinas: Embrapa Solos: IAC, 1999. Mapa.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p. Inclui apêndice.
- SCHEPERS, J. S.; SCHLEMMER, M. R.; FERGUSON, R. B. Site-specific considerations for managing phosphorus. **Journal of Environmental Quality**, v. 29, n. 1, p. 125-130, 2000. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900010016x>

- SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; LUCHIARI JUNIOR, A. Precision agriculture as a tool for sustainability. In: GALANTE, E.; SCHEPERS, J. S.; WERNER, D.; WERRY, P. A. T. J. (Ed.). **Biological resource management: connecting science and policy**. Paris: INRA Springer, 2000. p. 129-138. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-04033-1_10
- SHANAHAN, J.; DOERGE, T.; SYNEDER, C.; LUCIARI JUNIOR, A.; JOHNSON, J. Feasibility of variable rate management of com hybrids and seeding rates in the great plains. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 2000.
- 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, p. 85-91, 2000.
- SOIL SURVEY STAFF. **National soil information system (NASIS): soil interpretation and information dissemination sub-system**. Draft requirements statement. Lincoln: USDA: Natural Resources Conservation Service: National Soil Survey Center, 1991. 67 p.
- SOIL SURVEY STAFF. **Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys**. Washington: USDA: Natural Resources Conservation Service, 1999. 870 p. (Agricultural Handbook, 436).
- SOUZA, D. M.; SOUZA, B. M.; OLIVEIRA, A.; TEIXEIRA, G. N. Fauna de formigas (Hymenoptera: Formicidae) do Parque Estadual do Ibitipoca, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 17., 1998, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: SBE, 1998. 866 p.
- SUDDUTH, K. A.; KITCHENA, N. R.; WIEBOLDB, W. J.; BATCHELORC, W. D.; BOLLEROD, G. A.; BULLOCKD, D. G.; CLAYE, D. E.; PALMB, H. L.; PIERCEE, F. J.; SCHULERG, R. T.; THELENH, K. D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 263-283, 2005.
- THYLÉN, L.; JURSCHIK, P.; MURPHY, D. L. P. Improving the quality of yield data. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., 1997, Warwick. **Proceedings...** Oxford: BIOS Scientific, 1997. p. 743-750.
- VAN ENGELEN, V. W. P.; WEN, T. T. **Global and national soils and terrain digital databases (SOTER): procedures manual**. Wageningen: UNEP: ISSS: ISRIC: FAO, 1995. 129 p.
- VAN ENGELEN, V. W. P. SOTER: the world soils and terrain database. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 1999. p. h19- h28.
- VARVEL, G. E.; SCHLEMMER, M. R.; SCHEPERS, J. S. Relationship between spectral data from an aerial image and soil organic matter and phosphorus levels. **Precision Agriculture**, v. 1, n. 3, p. 291-300, 1999. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009973008521>
- WU, W.; LIU, H.; DAI, H.; LI, W.; SUN, P. The management and planning of citrus orchards at a regional scale with GIS. **Precision Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 247-261, 2009.
- ZHANG, F. S.; YAMASAKI, S.; KIMURA, K. Waste ashes for use in agricultural production: I. Liming effect, contents of plant nutrients and chemical characteristics of some metals. **The Science of the Total Environment**, v. 284, n. 1-3, p. 215-225, 2002.