

Iniciativas para o Mapeamento do Potencial de Fertilidade dos Solos Brasileiros

Ana Paula Dias Turetta¹

Jesus Fernando Mansilla Baca²

Rachel Bardy Prado³

Fabiano de Carvalho Balieiro¹

Ronaldo Pereira de Oliveira⁴

José Carlos Polidoro¹

Vinicius de Melo Benites¹

Introdução

A heterogeneidade é uma característica inerente ao solo. Em uma paisagem natural, o solo apresenta ampla variabilidade dos seus atributos, tanto no sentido espacial quanto no sentido volumétrico, resultante da interação dos processos que comandam os fatores de sua formação. A variabilidade espacial das características dos solos pode ocorrer em diferentes níveis, podendo estar relacionada a fatores como variação do material de origem, clima, relevo, organismos e tempo (JENNY, 1941), ou ao efeito de técnicas de manejo dos solos decorrentes do seu uso agrícola (PONTELLI, 2006).

A fertilidade dos solos está relacionada com a disponibilidade de elementos químicos e com a sua capacidade de fornecer nutrientes às plantas, podendo ser natural ou associada à aplicação externa. A fertilidade combina uma série de propriedades dos solos, como as propriedades biológicas, químicas e físicas. Todos esses fatores afetam direta ou indiretamente a dinâmica de nutrientes e sua

disponibilidade. A fertilidade do solo também é uma propriedade “gerenciável” do solo e seu manejo é de extrema importância para a otimização da nutrição de culturas, tanto de curto prazo quanto de longo prazo, a fim de se atingir uma produção agrícola sustentável (BRUINSMA, 2003).

Franzen e Peck (1995) afirmam que a heterogeneidade do solo é um dos mais antigos desafios enfrentados pelos agricultores e pesquisadores agrícolas. Para isso, o SIG é uma importante ferramenta para representar espacialmente as características dos solos. Os mapas são fundamentais porque representam tanto uma condição de uma área de interesse quanto a prescrição dos insumos necessários para gerenciar uma condição particular de determinada área (PIERCE; NOWAK, 1999). No entanto, alguns fatores estão intimamente relacionados à qualidade de um mapa, incluindo a natureza da variabilidade do solo (FLATMAN; YFANTIS, 1996; SADLER et al., 1998), a intensidade de amostragem e método de interpolação.

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

² Engenheiro cartográfico, doutor em Geografia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

³ Bióloga, doutora em Ciências da Engenharia Ambiental, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

⁴ Engenheiro-eletrônico, doutor em Agricultura de Precisão, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

Considerando todas essas características, algumas iniciativas relacionadas ao mapeamento do potencial de fertilidade dos solos brasileiros foram consolidadas no âmbito dos projetos Aduba Brasil, em parceria com o International Potash Institute e Macroprograma 1 da Embrapa – FertBrasil. Nesse documento, serão apresentados alguns resultados referentes a trabalhos em diversas escalas realizados nesse grande projeto, em parceria da Embrapa Solos e outras instituições de pesquisa.

Algumas iniciativas relacionadas ao mapeamento da fertilidade dos solos

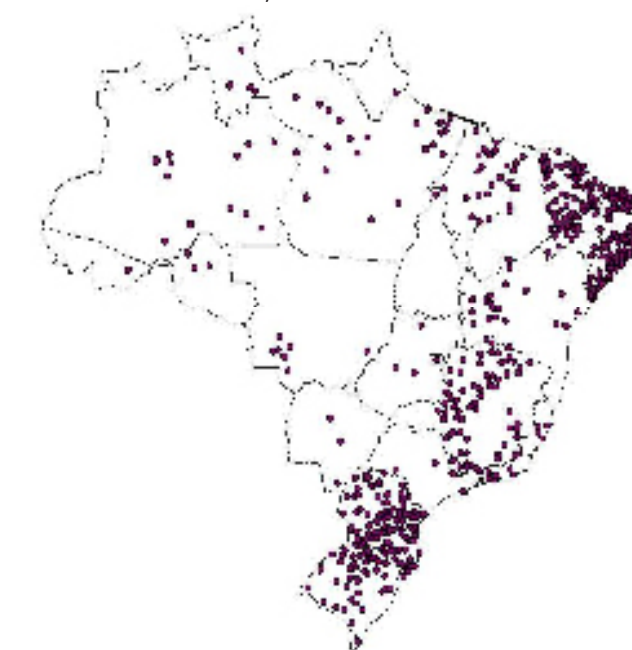
Há alguns anos o banco de dados de solos da Embrapa Solos tem sido utilizado em atividades relacionadas ao mapeamento de características dos solos brasileiros. Trata-se de um acervo riquíssimo, que possui aproximadamente 2.600 perfis de solo, com 8.500 horizontes (Figura 1). No entanto, algumas características desse banco de dados, como a heterogeneidade na distribuição dos dados pelo território brasileiro (p.ex. muitos perfis de solo concentrados no Sul e poucos no Norte do país) e fichas de perfis incompletas e/ou com dados visivelmente errados geram dificuldades para o uso desses dados em trabalhos de espacialização que dependem de quantidade e qualidade de dados para a sua execução. Não só a falta de dado em si como a impossibilidade de classificação do perfil em níveis categóricos mais detalhados, e série temporal muito ampla (desde a década de 50), que não reflete a expansão da agricultura para novas áreas como o Centro-Oeste – pode-se observar, por exemplo, a grande concentração de pontos no Sul do Brasil, uma das áreas mais antigas de cultivo agrícola no país. Outro fator também importante é que o banco de dados é relativo a perfis de solo, geralmente utilizados para mapeamentos pedológicos, com características distintas de um levantamento específico para a fertilidade dos solos.

A primeira etapa do trabalho foi estabelecer alguns critérios para a seleção dos perfis que seriam considerados nos trabalhos.

O primeiro critério foi o estabelecimento da profundidade a ser estudada. Para isso, determinou-se a profundidade máxima de 40 cm, que é a profundidade em que há maior extração de nutrientes pelas culturas perenes e anuais. No caso de um perfil com apenas um horizonte superficial, aceitou-se apenas o

caso daquele cuja profundidade final fosse ≥ 20 cm e ≤ 40 cm. Para os perfis com mais de um horizonte, foram aceitos aqueles cujos horizontes subjacentes ao superficial fossem contínuos e a profundidade final do horizonte não fosse superior a 40 cm. Horizontes que possuíssem a profundidade final entre 35 e 40 cm foram aceitos desde que a profundidade inicial fosse ≤ 25 cm. Quando a profundidade final de um horizonte fosse entre 25 e 30 cm, o valor de sua profundidade fora arredondado para 30 cm, o mesmo sendo feito quando a profundidade final fosse ≥ 30 cm, de forma que a profundidade final dos horizontes foi sempre 30 cm.

Na etapa seguinte, procurou-se agrupar as informações de Fósforo e Potássio para cada perfil, já que estas se encontravam disponíveis por horizonte, e que para associar a informação à unidade de mapeamento é necessário que se tenha um valor único para cada perfil amostrado. Foi utilizada uma fórmula de média ponderada sobre os teores dos perfis onde continham mais de um horizonte, considerando a espessura da camada onde se encontrava o nutriente: $T = ((e1 * N1) + (en * Nn) / 30)$, onde T = Total do nutriente por perfil com mais de um horizonte, e = espessura da camada, N = teor do nutriente na camada, e n = Número de camadas.



Legenda



Figura 1. Distribuição dos perfis de solo do banco de dados da Embrapa Solos.

Após a seleção dos dados, os mesmos foram importados para ambiente SIG e correlacionados entre si, sendo classificados a partir da informação mútua de bioma e classe de solo, considerando o primeiro nível categórico. A partir do mapa de Solos e Biomas do Brasil (IBGE, 2001), foi feito o cruzamento destes mapas, gerando a unidade de mapeamento da interseção entre Bioma e Solo (BiomaXSolo). Tal cruzamento entre Planos de Informação foi realizado para que a representação da informação dos nutrientes possuísse uma melhor caracterização dos perfis. Tal estratégia foi utilizada para distinguir os diferentes ambientes dos perfis que possuem as mesmas classes de solos, uma vez que essa informação só estava disponível para os perfis no primeiro nível categórico. A associação solo X bioma foi uma forma de, por exemplo, distinguir um Latossolo da Amazônia de um da Mata Atlântica, uma vez que são ambientes distintos e, de acordo com Jenny (1941), fatores importantes na formação e, conseqüentemente, na classificação de um solo (PRADO et al., 2008a, 2008b).

Os limites das classes de Fósforo apresentadas na legenda dos mapas foram estabelecidos conforme Alvarez V. et al. (1999) e as classes de Potássio foram as apresentadas por Prado et al. (2008a, 2008b).

Mapas dos elementos P e K para o Brasil

Foram agrupadas as informações de Fósforo e Potássio para cada perfil, já que estas se encontravam disponíveis por horizonte, e que para associar a informação à unidade de mapeamento é necessário que se tenha um valor único para cada perfil amostrado. Foi utilizada uma fórmula de média ponderada sobre os teores dos perfis onde continham mais de um horizonte, considerando a espessura da camada onde se encontrava o nutriente: $T = ((e_1 * N_1) + (e_n * N_n)) / 30$, onde T = Total do nutriente por perfil com mais de um horizonte, e = espessura da camada, N = teor do nutriente na camada, e n = Número de camadas.

Após a seleção dos dados, os mesmos foram importados para o meio SIG (ArcGIS 10 - ESRI, Inc., Redlands, CA) e correlacionados entre si, sendo classificados a partir da informação mútua de bioma e tipo de solo. A partir do mapa de solos e biomas do Brasil, foi feito o cruzamento destes mapas, gerando a unidade de mapeamento da interseção entre bioma e solo (Bioma X Solo). Tal cruzamento entre Planos de Informação foi realizado para que a repre-

sentação da informação dos nutrientes possuísse uma melhor caracterização dos perfis. Tal estratégia foi utilizada para distinguir os diferentes ambientes dos perfis que possuem as mesmas classes de solos, uma vez que essa informação só estava disponível para os perfis no primeiro nível categórico. A Figura 2 apresenta os resultados da espacialização dos elementos Fósforo e Potássio, respectivamente. Observa-se que os resultados acompanham a distribuição dos dados apresentada na Figura 1. Em alguns pontos, como no Pantanal, devido à ausência dos dados, optou-se por excluir da análise ao invés dessas áreas serem representadas por informações espúrias. No Centro-Sul, observa-se uma variabilidade maior das classes dos teores dos elementos, justamente por ser onde está concentrada a maioria das amostras. O contrário é observado no Centro-Norte do país, onde a variabilidade de classes é mínima, sendo quase homogênea, o que não corresponde à realidade local. Portanto, essas características representam as maiores limitações desse tipo de trabalho com a base de dados utilizada. No entanto, esse tipo de iniciativa é de grande importância para o planejamento estratégico e desenvolvimento do país, por representar o potencial de fertilidade dos solos brasileiros. Para melhorar a qualidade dessa atividade, algumas alternativas são apresentadas, tais como: formação de uma rede de laboratórios de análise de solo, aproximação a outras iniciativas de organização da informação e recursos naturais da Embrapa, agregação de profissionais da área de pedologia e fertilidade dos solos para a definição de regras de decisão que possam ser conciliadas aos dados escassos.

Uso de Adubos e Corretivos da Fertilidade dos solos no Brasil

Uma das informações oferecidas pelo Censo Agropecuário disponibilizado pelo IBGE é o uso nas atividades agrícolas de adubos e corretivos minerais e orgânicos, sendo eles: ácido fosfórico utilizado na preparação de adubos e fertilizantes, ácido nítrico; sulfonítrico, ácido sulfúrico, amoníaco (amônia), diidrogeno - ortofosfato de amônio ou fosfatos de diamônio ou monoamônio - inclusive misturas hidrogenadas, sulfato de amônio ou ureia, superfosfatos (simples, duplo ou triplo), adubos ou fertilizantes de origem animal ou vegetal, mesmo misturados entre si, adubos ou fertilizantes com nitrogênio, fósforo e potássio, adubos ou fertilizantes minerais ou químicos, fosfatados e adubos ou fertilizantes minerais ou químicos, potássicos.

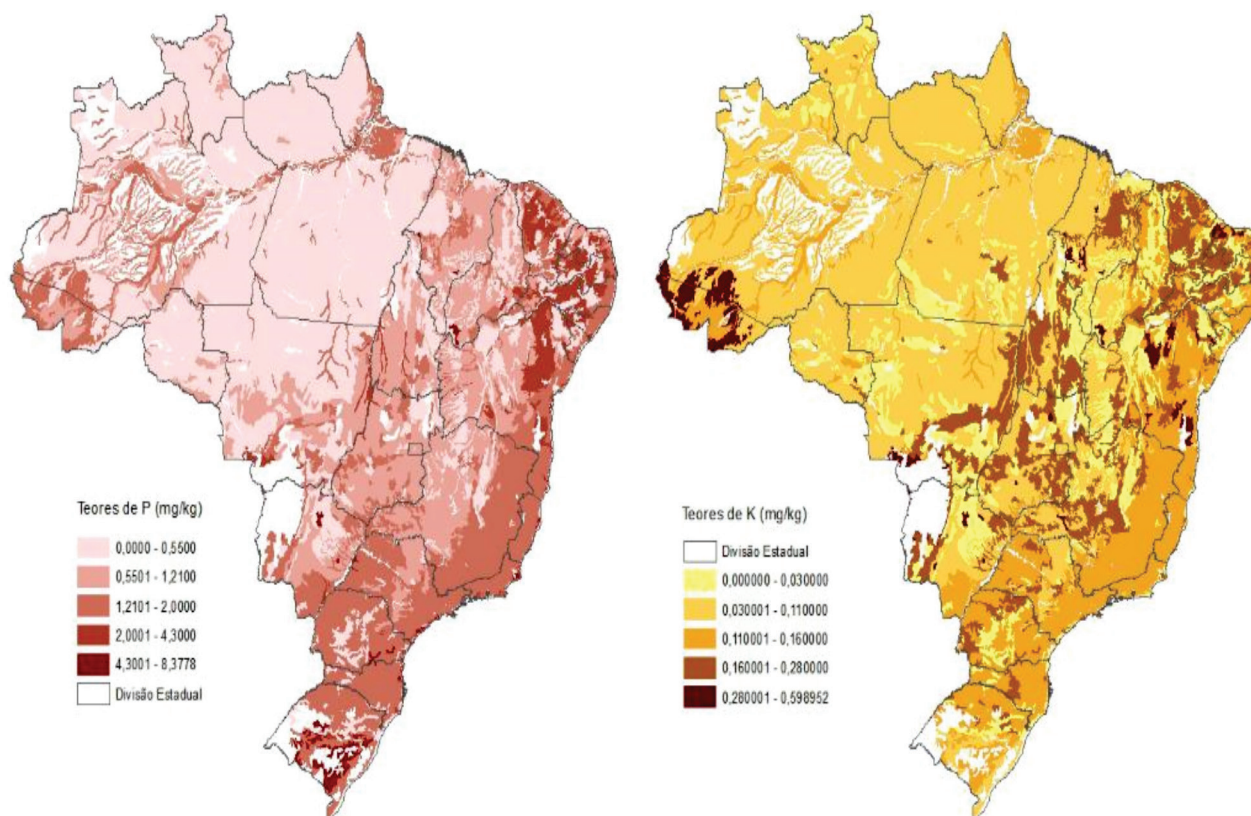


Figura 2. Espacialização dos teores de fósforo e potássio de acordo com os dados disponíveis no banco de dados da Embrapa Solos.

Com os dados do Censo Agropecuário de 1995-1996 disponibilizados pelo IBGE (1996), foram gerados os mapas de uso de corretivos e fertilizantes químicos minerais em níveis municipal e estadual (agregação do municipal), como apresentado na Figura 3. Uma avaliação destes resultados mostra as regiões Sul e Sudeste com maior uso deste tipo de adubos e corretivos.

Ainda que o uso de adubos e corretivos orgânicos apresentados na Figura 4 mostre que em nível estadual exista um uso similar desses produtos, nota-se na Figura 3 que as diferenças ocorrem entre os municípios, o que indica que essa dinâmica deve ser analisada nesse nível hierárquico.

Por enquanto, essas informações ainda não foram disponibilizadas para o Censo Agropecuário de 2006. Considerando que a produtividade agrícola tem relação direta com o uso de fertilizantes, espera-se que o eixo de consumo nessa data mude para a região Centro-Oeste, onde está concentrada a produção agrícola brasileira com maior produtividade nos últimos anos.

Mapeamento da fertilidade dos solos X uso no Sudoeste de Goiás

Na região do Sudoeste de Goiás, iniciativas relacionadas ao mapeamento de potássio estão sendo conduzidas nos últimos anos, em parceria com o International Potash Institute (IPI), conforme demonstrado em Ferreira et al. (2009), Naumov et al. (2012) e Prado et al. (2007, 2008a, 2008b).

Nessa experiência é possível observar maior avanço de correlações espaciais entre o elemento avaliado e características pedológicas e de uso e manejo das terras (FERREIRA et al., 2009; NAUMOV et al., 2012), proporcionado pela maior disponibilidade de dados de fertilidade dos solos graças à parceria com a cooperativa COMIGO (Figura 5). Foi evidenciado que quanto maior a quantidade e representatividade dos dados de solos com informação geográfica, melhor será a precisão dos mapas de fertilidade a serem obtidos. Neste sentido, torna-se mais viável o mapeamento da fertilidade dos solos por regiões em uma escala maior, para realmente servir de subsídio às recomendações para a adubação das terras.

Uso de Adubos e Corretivos Químicos

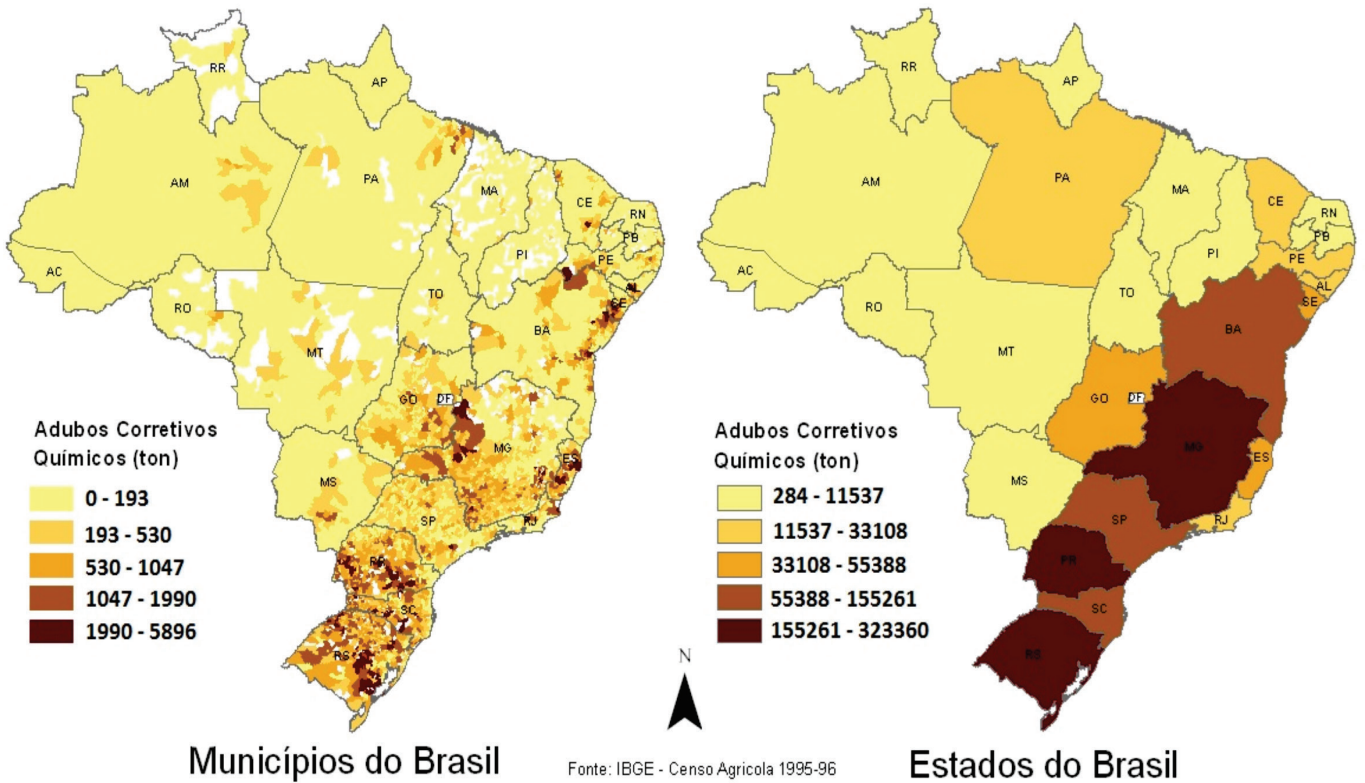


Figura 3. Espacialização do uso de adubos e corretivos químicos minerais em níveis municipal e estadual.

Uso de Adubos e Corretivos Orgânicos

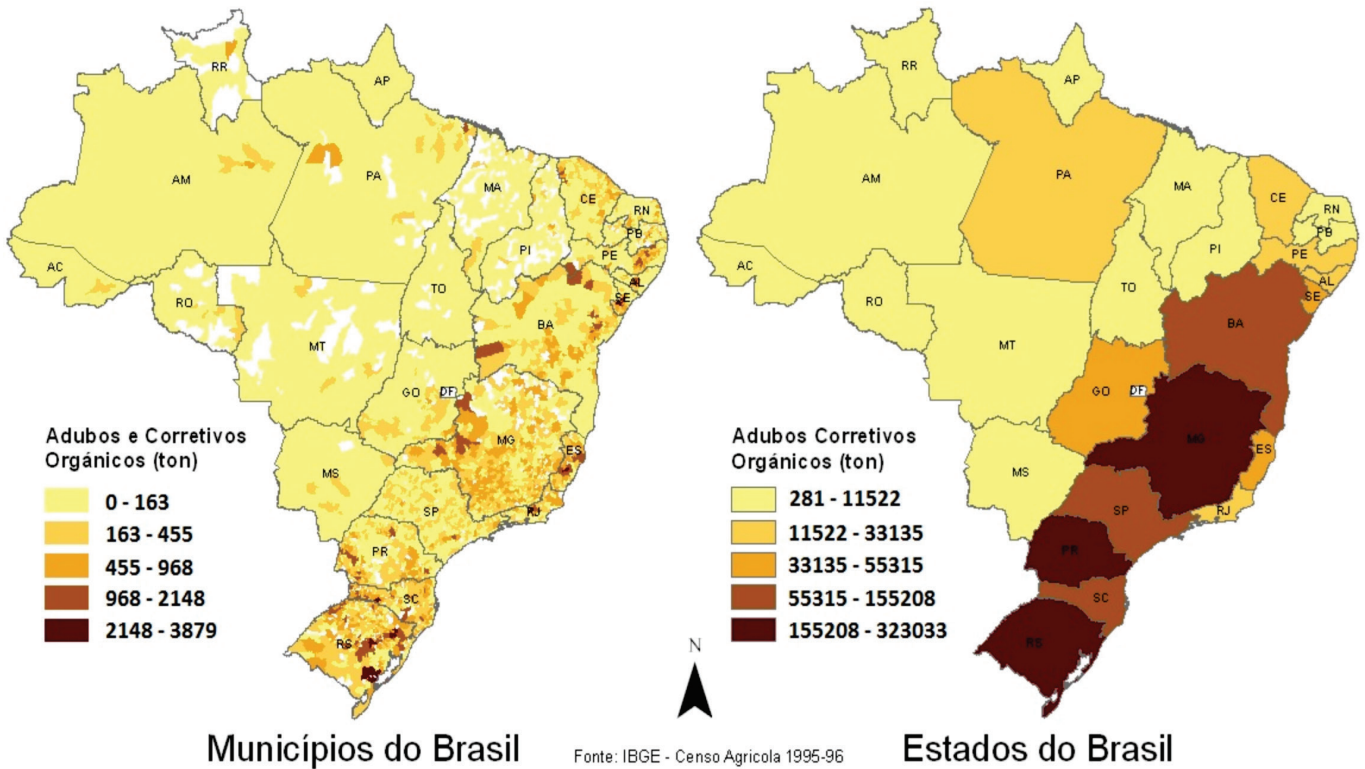


Figura 4. Espacialização do uso de adubos e corretivos orgânicos em níveis municipal e estadual.

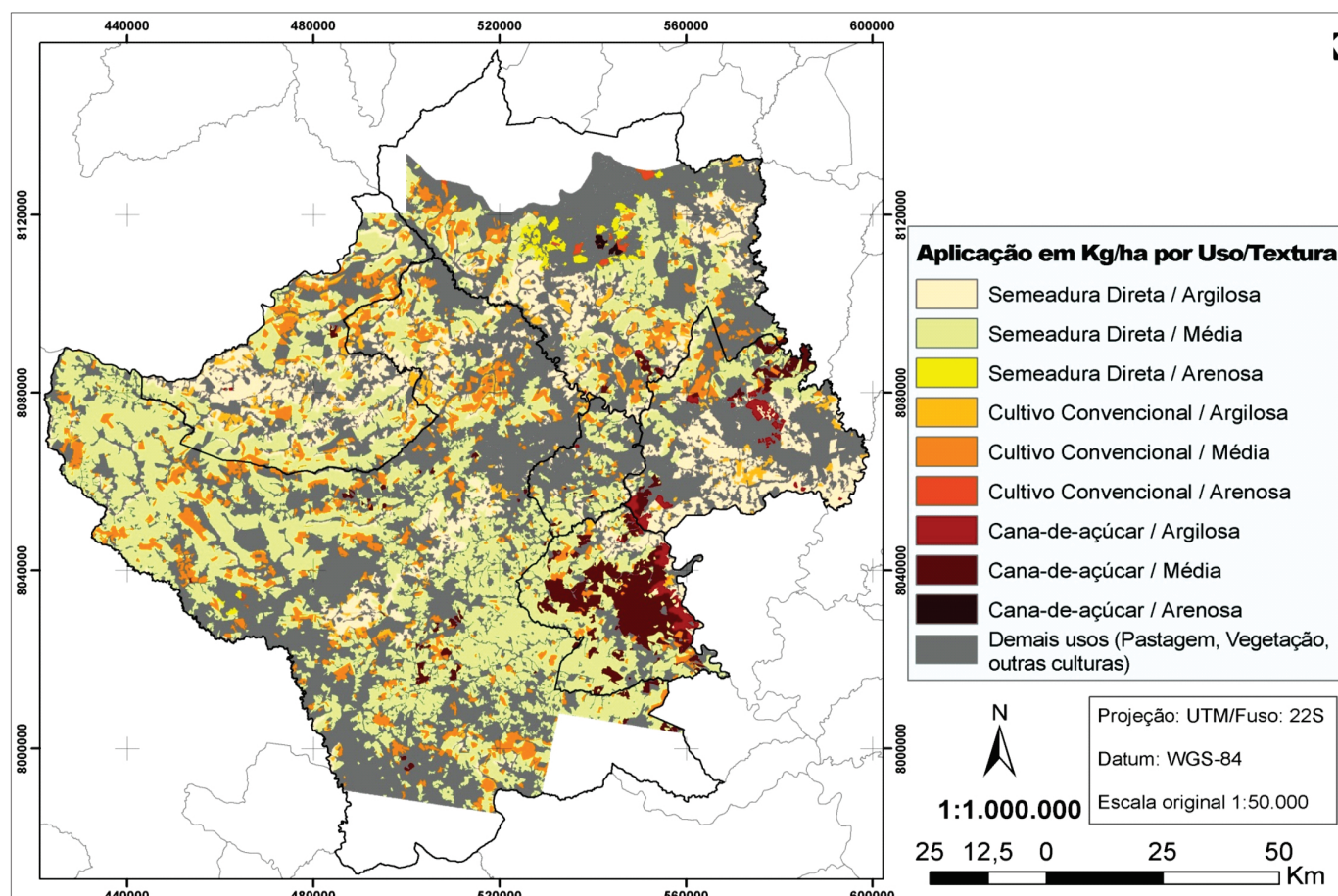


Figura 5. Demanda potencial de potássio em municípios do Sudoeste Goiano (apresentada na legenda de forma qualitativa em ordem crescente, com exceção da classe não mapeada - demais usos).

Fonte: Prado et al. (2011).

Potencialidade da expansão da área agrícola brasileira e localização das fontes naturais de nutriente e/ou minerais para a elaboração de fertilizantes

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) elaborou o Inventário e Cartografia de Recursos Agrominerais Convencionais e Alternativos do Território Brasileiro. Este trabalho, com visão para planejamento futuro da expansão ordenada da indústria de insumos agrícolas do Brasil, apresenta a localização espacial do “Mapa de Ambientes Geológicos Favoráveis para Agrominerais Fontes de P, K, Ca e MG”, assim como o “Mapa de Insumos Alternativos para a Agricultura: Rochas, Minerais e Turfa” (MATOS; MELLO, 2010).

O Projeto PROBIO do Ministério do Meio Ambiente fez o mapeamento em todo o território brasileiro do Uso da Terra com uma caracterização das seguintes classes: agrícola; agrícolas, pastagens e seringueiras; agrícola e seringueiras; agropecuária; agropecuária e seringueiras; pastagens; agrícola, agropecuária e seringueiras e reflorestamento.

Considerando que o Brasil apresenta a maior potencialidade para a expansão da área agrícola segundo dados das Nações Unidas, esta potencial área de expansão estaria nos resultados do Projeto PROBIO com as correspondentes atualizações empregando imagens de satélite. Essa caracterização de áreas potenciais à expansão, em conjunto com o levantamento das fontes minerais do país, conduzido pela CPRM, oferece diretrizes para o delineamento de um melhor planejamento para a expansão da área da indústria de fertilizantes para fins agrícolas.

Uma visualização das fontes de calcários do Brasil na Figura 6, resultado da combinação dos dados da CPRM e do Projeto PROBIO, mostra as potenciais áreas de expansão e as potenciais fontes de calcários. Neste cartograma visualmente se tem áreas de aglomeração de fontes de calcário, assim como outras sem elas. Com a rede de transporte, principalmente a rodoviária, ferroviária e fluvial, ter-se-ia para otimizar as diferentes regiões qual a fonte mais apropriada. No entanto, pode-se dizer que essa fonte tem capilaridade em nível nacional, à exceção

da Amazônia que, por razões de desenvolvimento sustentável do Brasil, não seria considerada como uma potencial área de expansão agrícola.

A Figura 7 apresenta a fonte de fosfatos do Brasil e, ainda que não numerosa como a do calcário, está

também presente em todo Brasil, porém com menos capilaridade.

A Figura 8 mostra as fontes de potássio do Brasil. Percebe-se que esse mineral é o que apresenta a menor quantidade de fontes naturais no território nacional.

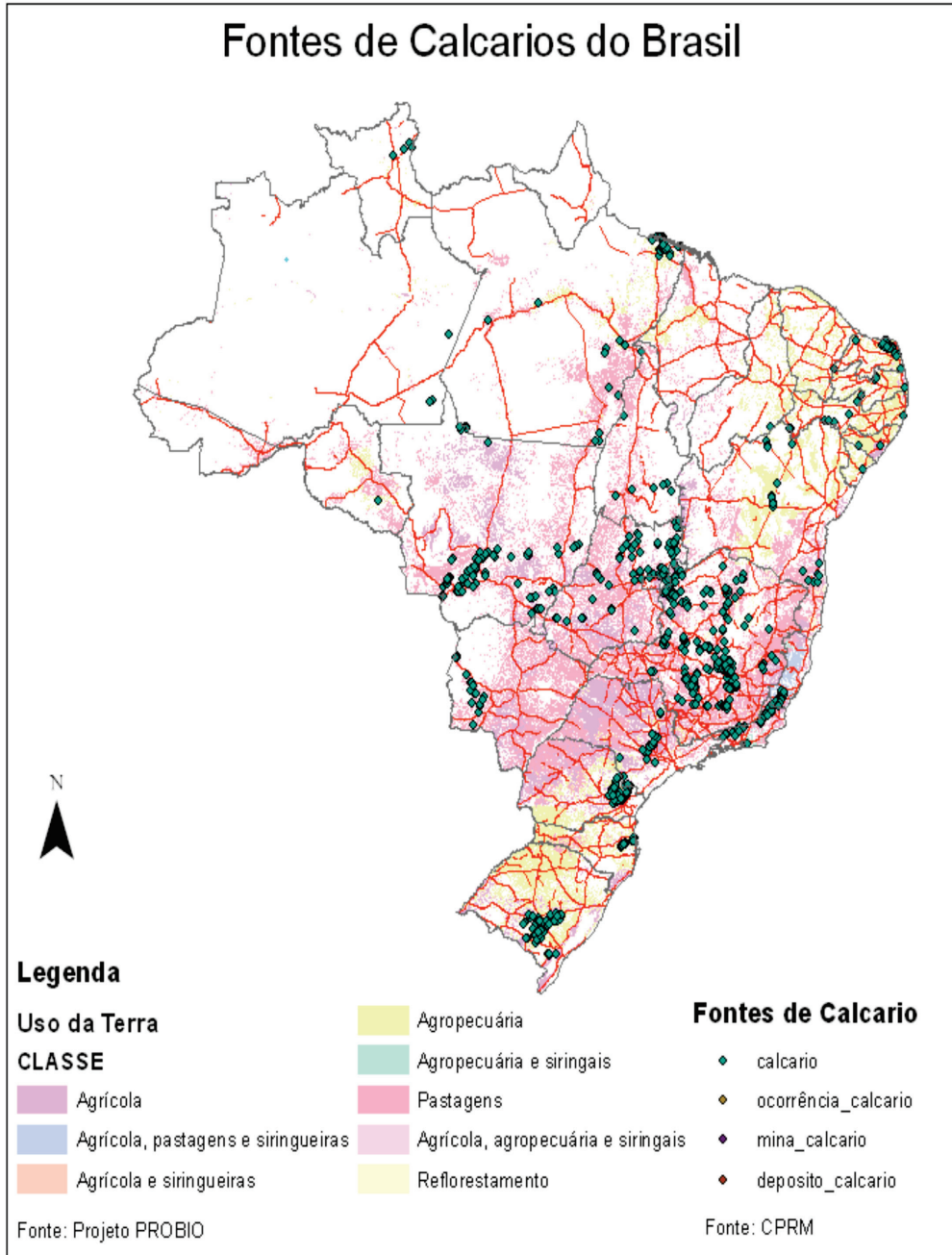


Figura 6. Fontes de calcários do Brasil.

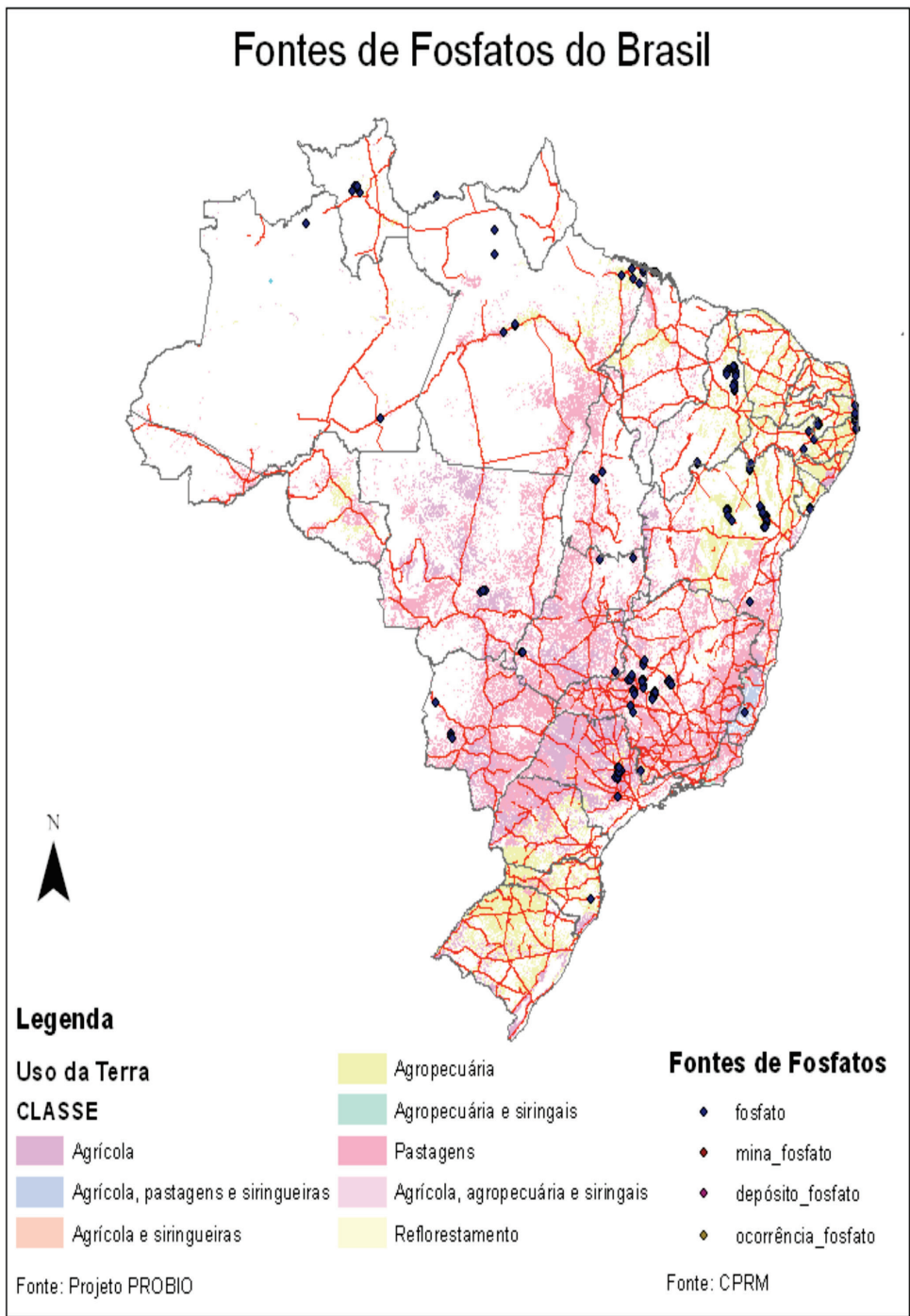


Figura 7. Fontes de Fosfatos do Brasil.

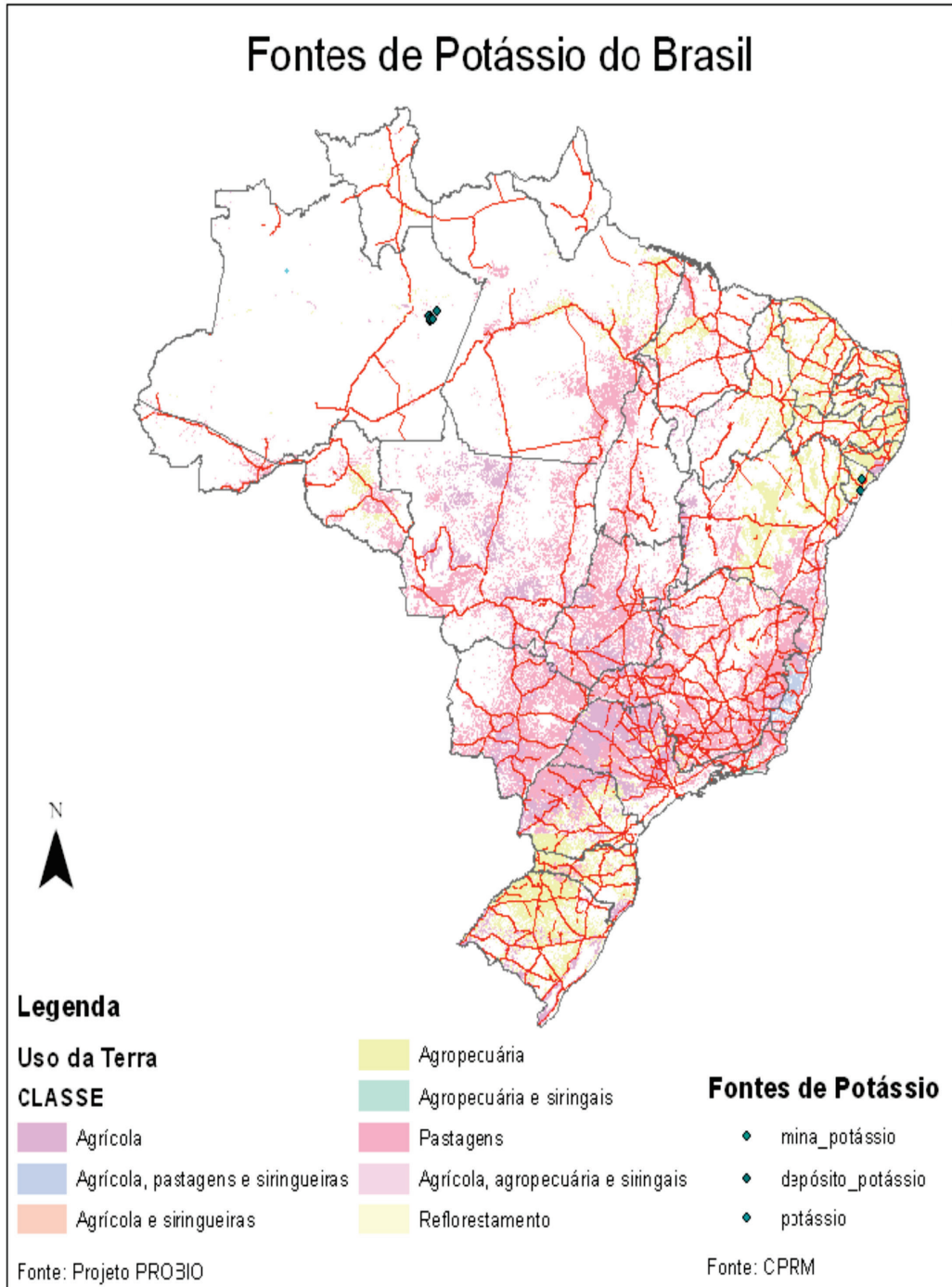


Figura 8. Fontes de Potássio do Brasil.

Considerações finais

As experiências apresentadas nesse documento mostram uma série de esforços para o mapeamento da fertilidade de solos no Brasil em diversas escalas. Percebe-se que quanto melhor a qualidade e quantidade dos dados, melhor será o resultado e credibilidade desses mapeamentos. Ou seja, o dado é o maior limitante desse tipo de iniciativa.

A combinação de informações de fertilidade dos solos, em conjunto com outros temas como produção agrícola, fontes de minerais e infraestrutura, oferecem ótimos e importantes resultados no planejamento da atividade agrícola brasileira.

Referências

- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- BRUINSMA, J. (Ed.). **World agriculture: towards 2015/2030: an FAO perspective**. London: Earthscan Publications, 2003. 432 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-y4252e.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2013.
- FERREIRA, C. E. G.; PRADO, R. B.; BENITES, V. de M.; POLIDORO, J. C. Proposta metodológica para o mapeamento da demanda de potássio para o Sudoeste Goiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios**. Fortaleza: SBCS, 2009.
- FLATMAN, G. T.; YFANTIS, A. A. Geostatistical sampling designs for hazardous waste sites. In: KEITH, L. H. (Ed.). **Principles of environmental sampling**. 2nd ed. Washington, DC: American Chemical Society, 1996. p. 779-801.
- FRANZEN, D. W.; PECK, T. R. Sampling for site-specific application. In: ROBERT, P. C.; RUST, R. H.; LARSON, W. E. (Ed.). **Site-specific management for agricultural systems**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1995. p. 535-551.
- IBGE. **Censo agropecuário 1995-1996**. Rio de Janeiro, 1996. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/1995_1996/default.shtm>. Acesso em: 10 jul. 2013.
- _____. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/solos.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2013.
- JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. New York: McGraw-Hill, 1941. 281 p.
- MATOS, G. M. M. de; MELLO, I. S. de C. **Inventário e cartografia de recursos agrominerais convencionais e alternativos do território brasileiro**. Brasília, DF: CPRM, 2010.
- NAUMOV, A. S.; OLIVEIRA, R. P. de; PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. Balanced fertilization for sustainable development of agriculture in the savannas of South America: towards a geographical approach. **Geography, Environment, Sustainability**, v. 5, n. 4, p. 84-95, 2012.
- PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**, v. 67, p. 1-85, 1999.
- PONTELLI, C. B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da agricultura de precisão**. 2006. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_arquivos/11/TDE-2007-02-09T085813Z-360/Publico/Charles%20Bolson%20Pontelli.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2013.
- PRADO, R. B.; BENITES, V. de M.; MACHADO, P. L. O. de A.; POLIDORO, J. C.; NAUMOV, A. **Aspectos relacionados ao mapeamento da disponibilidade de potássio nos solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008a. 33 p. (Embrapa Solos. Documentos, 104; Embrapa Arroz e Feijão, 237). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAF-2009-09/28478/1/doc104_2008cnps_cnparf_asp_potassio.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2013.
- PRADO, R. B.; BENITES, V. M.; MACHADO, P. L. O. A.; POLIDORO, J. C.; DART, R. O.; NAUMOV, A. Mapping Potassium Availability from Limited Soil Profile Data in Brazil. In: HARTEMINK, A. E.; MCBRATNEY, A.; MENDONÇA-SANTOS, M. de L. (Ed.). **Digital soil mapping with limited data**. Wageningen: Springer, 2008b. p. 91-101.
- PRADO, R. B.; FERREIRA, C. E. G.; BENITES, V. de M. **Proposta metodológica para mapeamento da demanda potencial de potássio para áreas agrícolas do sudoeste goiano, considerando uso, manejo e textura dos solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 32 p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 195). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79152/1/BPD-195-Proposta-map-sudoeste-goiano.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2013.
- PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; POLIDORO, J. C.; BENITES, V. de M.; BALIEIRO, F. C.; FERREIRA, C. E. G. Mapeamento da disponibilidade de cálcio e magnésio em solos do Sudoeste Goiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira**. [Porto Alegre]: UFRGS: SBCS, Núcleo Regional Sul, 2007. 1 CD-ROM.
- SADLER, E. J.; BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; KARLEN, D. L. Spatial scale requirements for precision farming: a case study in the southeastern USA. **Agronomy Journal**, v. 90, n. 2, p. 191-197, 1998.

Comunicado Técnico, 70

Embrapa Solos
Endereço: Rua Jardim Botânico, 1024. Jardim Botânico. CEP: 22460-000, Rio de Janeiro, RJ.
Fone: + 55 (21) 2179-4500
Fax: + 55 (21) 2179-5291
Home Page: www.embrapa.br/solos
E-mail: www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

1ª edição
 On-line (2013)

Comitê de publicações

Presidente: Daniel Vidal Pérez
Secretário-Executivo: Jacqueline S. Rezende Mattos.
Membros: Ademar Barros da Silva, Adriana Vieira de Camargo de Moraes, Alba Leonor da Silva Martins, Cláudia Delaia Machado, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Maria Regina Capdeville Laforet, Maurício Rizzato Coelho, Quitéria Sonia Cordeiro dos Santos

Expediente

Supervisão editorial: Jacqueline Rezende Mattos
Revisão de texto: André Luiz da Silva Lopes
Editoração eletrônica: Jacqueline Rezende Mattos
Normalização bibliográfica: Luciana Sampaio de Araújo