

Definição dos valores orientadores de metais pesados em solos

Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni
Daniel Vidal Perez
José Marques Júnior
Jaime Wilson Vargas de Mello

A Geologia Médica, ou Geomedicina, trata de estudos relacionados a problemas de saúde ou benefícios às comunidades animal ou vegetal, decorrentes de variações regionais do ambiente geoquímico. É um ramo da geologia em franco desenvolvimento no Brasil e no exterior. Estuda, entre outros temas, a distribuição de elementos-traço, principalmente os metálicos, e seu comportamento biogeoquímico em diferentes ambientes. Neste sentido, as concentrações naturais de elementos-traço em águas, solos, rochas e sedimentos são aspectos de particular interesse. Exemplo clássico é a relação entre a fluorose - doença que atinge ossos e dentes das comunidades que consomem águas ricas em flúor - e as concentrações desse elemento nas rochas da região. O problema já é bastante conhecido, inclusive no Brasil; o aspecto inédito é seu estudo, de forma integrada, com abordagem interdisciplinar, no âmbito da Geomedicina. Outras anomalias naturais encontradas no país também têm sido recentemente relacionadas a problemas endêmicos, como é o caso da baixa estatura de pessoas, atribuída a altos teores de zinco na região.

A presença de elementos-traço nos solos, particularmente os considerados tóxicos, como os metais pesados, é uma preocupação da Geomedicina. A maioria desses elementos ocorre naturalmente nos solos, em baixas concentrações, o que não afeta de maneira significativa a biosfera. No entanto, podem ocorrer anomalias decorrentes do ambiente geoquímico natural e/ou de causas antrópicas, com consequências deletérias aos organismos e até mesmo à saúde humana e animal. Informações sobre as concentrações naturais, ou

background geoquímico, desses elementos nos solos são de grande importância e um desafio para os pesquisadores da Ciência do Solo em todo o país.

Embora as informações e estudos ainda sejam insuficientes, os resultados existentes no Brasil já permitem vislumbrar que as concentrações naturais de elementos-traço nos solos devem estar, até certo ponto, relacionadas com os fatores de formação. Considerando que as classes de solo refletem a atuação conjunta dos fatores de formação, seria de se esperar que as concentrações dos metais guardassem estreita relação com as classes de solo. No entanto, os resultados até agora obtidos não corroboram essa hipótese, o que sugere que os atributos do solo utilizados para fins de classificação pedológica não refletem o conjunto de elementos-traço. Isso revela a necessidade de estudos individuais, com abordagem "caso a caso", vislumbrando amplas perspectivas para os pesquisadores da Ciência do Solo.

Parâmetros do solo e modelos

Dentre os fatores de formação do solo (Jenny, 1941), o material de origem merece destaque, para estudos de caráter regional, em pequena escala, de concentrações naturais dos elementos pouco móveis. É de se supor que eles permaneçam no solo, a despeito do intemperismo, com tendência à concentração, à medida que os processos intempéricos se intensificam, particularmente em regiões de clima tropical úmido. Nessas condições, é razoável esperar que a concentração desses elementos reflita a composição química do material de origem.

É de se esperar que as concentra-

Teores de metais pesados numa Topolitossequência do Triângulo Mineiro

| Material de origem | Profund. (cm) | Cd | Cu | Zn | Pb |
|--------------------|---------------|---------------------|-----|-----|----|
| | | mg kg ⁻¹ | | | |
| Gnaíse | 0 - 10 | 0,21 | 11 | 28 | 15 |
| | 50 - 60 | 0,48 | 21 | 42 | 23 |
| Gnaíse | 0 - 10 | 0,31 | 15 | 39 | 20 |
| | 50 - 60 | 0,40 | 16 | 41 | 20 |
| Basalto | 0 - 10 | 0,49 | 250 | 124 | 14 |
| | 50 - 60 | 0,57 | 254 | 126 | 15 |
| Basalto | 0 - 10 | 1,14 | 254 | 98 | 12 |
| | 50 - 60 | 1,13 | 287 | 107 | 14 |
| Sed. (Aren.) | 0 - 10 | 0,53 | 18 | 14 | 9 |
| | 50 - 60 | 0,36 | 18 | 11 | 15 |
| Sed. (Aren.) | 0 - 10 | 0,54 | 21 | 16 | 8 |
| | 50 - 60 | 0,52 | 18 | 13 | 14 |

Oliveira & Costa, 2004

ções dos elementos mais móveis nos solos tenham pouca relação com o material de origem. Esses elementos são retirados do solo, por lixiviação, à medida que o intemperismo se acentua. Nesses casos, a quantidade dos metais deve refletir mais as condições climáticas e de drenagem dos solos. Um exemplo de como as condições ambientais, particularmente o clima e o relevo, interagem para influenciar no *background* geoquímico em estudos regionais, de pequena escala, é ilustrado na Figura 1. Para a sua confecção, foi utilizada uma poderosa ferramenta, a Geoestatística, para delimitação de limites de valores de metais, levando em conta as características físicas, químicas e mineralógicas dos solos. Alguns autores ressaltam ainda a interferência de outros atributos do solo no conteúdo de metais pesados e elementos-traço, como pH, teor de argila, CTC e conteúdo de matéria orgânica e de óxidos de ferro.

Um dos parâmetros do solo utilizados em modelos matemáticos é o

ID. 18013

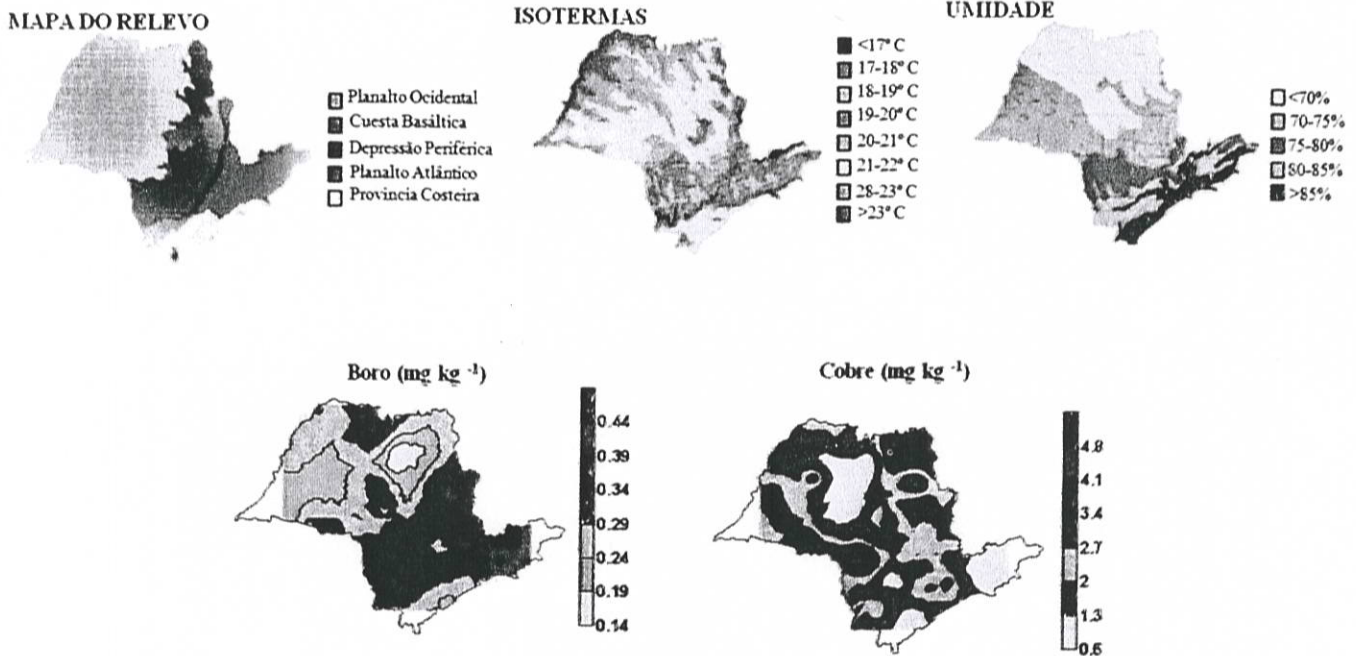


Figura 1 - Relação entre a distribuição espacial dos teores de boro e cobre no solo e condições ambientais no estado de São Paulo Marques Jr. et al., 2007

coeficiente de distribuição (Kd). Definido como a relação entre as concentrações adsorvida e em solução, o Kd permite a comparação do comportamento de elementos em diferentes sistemas, mediante informações acerca da magnitude da retenção de elementos potencialmente tóxicos, sobretudo com relação às reações que envolvem mecanismos de adsorção. Devido à adsorção de metais ser dependente de muitas propriedades do solo, a modelagem do destino desses elementos no ambiente requer determinações experimentais do coeficiente.

O Kd é introduzido em vários modelos químicos e permite estimativas da quantidade de metal dissolvida na solução do solo e previsão de sua mobilidade, assim como o potencial de perda por lixiviação e absorção pelas plantas. O uso do Kd é conveniente porque, além de ser facilmente medido, conceitualmente direto e matematicamente simples, fornece uma avaliação das propriedades de adsorção que permite comparar diferentes solos e/ou elementos, o que o torna imprescindível em modelos de previsão de risco ambiental. Baixos valores de Kd indicam que a maior parte do metal presente no sistema permanece em solução e, portanto, disponível para o transporte, ou para outros processos químicos, ou ainda para absorção pelas raízes das

plantas. Por outro lado, altos valores de Kd refletem grande afinidade dos componentes sólidos do solo pelo elemento.

A capacidade máxima de adsorção (CMA), de modo geral, reflete a interação de várias características dos solos, especialmente aquelas relacionadas com a mineralogia e, eventualmente, com o conteúdo de matéria orgânica. Por isso, os valores de *background* geoquímico para alguns metais pesados, sugeridos pela Agência Ambiental Holandesa (VROM), são estimados a partir dos teores de matéria orgânica e argila dos solos. Isso é importante porque a CMA pode ser considerada na derivação dos valores de alerta ou equivalente, tendo em vista a proteção de aquíferos.

Legislação

A legislação nacional que aborda o tema solo é marginal a outros temas, ou seja, não há especificamente uma lei visando à proteção do recurso solo. No entanto, existem diversos exemplos de legislações internacionais que expressam a preocupação no bem não renovável solo. Entre eles, cita-se a Comunidade Europeia (http://europa.eu/legislation_summaries/environment/oil_protection/index_pt.htm). As ações voltadas ao meio ambiente, em 2002, estabelecem um plano com vista ao

desenvolvimento de uma estratégia comunitária de proteção ao solo, que considerou as seguintes ameaças: a erosão, a diminuição da matéria orgânica, a contaminação local e difusa por contaminantes orgânicos (a exemplo de pesticidas, óleos lubrificantes, tintas) e inorgânicos (metais pesados, por exemplo), a impermeabilização causada pela urbanização massiva (o asfaltamento e ocupação do solo por prédios diminui a área de infiltração da água, que escorrerá em maior volume por superfície), a compactação, a diminuição da biodiversidade e a salinização.

Detalhes podem ser obtidos no site http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=pt&type_doc=COMfinal&an_doc=2002&nu_doc=179. A partir desse princípio, a discussão foi levada às sociedades científica e civil. Por fim, os legisladores propuseram uma nova diretiva ao Parlamento Europeu a respeito da estratégia temática de proteção do solo (http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=pt&type_doc=COMfinal&an_doc=2006&nu_doc=231).

No Brasil, tal discussão iniciou-se também em 2002, quando o Ministério de Meio Ambiente (MMA), em conjunto com demais ministérios, instituições federais e órgãos ambientais estaduais,

discutiu sobre a questão de contaminação do solo. Na época, um dos desafios apontados foi a formação de um banco de dados baseado numa imensa diversidade de métodos analíticos, obtidos de diferentes formas de amostragem, com resultados armazenados em vários formatos (banco de dados, arquivos-texto, planilhas, etc.) e com vocabulários heterogêneos.

Entre 2002 e 2006, foram realizadas várias reuniões que culminaram com a Proposta de Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) que trata do "estabelecimento de critérios e valores referentes à presença de substâncias químicas e à proteção da qualidade do solo e estabelecimento de diretrizes e procedimentos para o gerenciamento de áreas contaminadas". Ela foi protocolada em março de 2006, por meio da Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos (processo 02000.000917/2006-33). Com isso, montou-se um grupo de trabalho (GT), dentro da Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental, que iniciou o processo de discussão pública da minuta de resolução.

Desde o começo, a base do texto era a norma da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), que trata de "Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo" (http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/aguas_final.zip e http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf).

A norma Cetesb, no que diz respeito aos metais pesados, utiliza três parâmetros para a avaliação da possível contaminação. O Valor de Referência de Qualidade, relacionado aos valores de *background* ou *baseline* dos solos do estado de São Paulo. O Valor de Prevenção derivado de princípio de ecotoxicologia representa um alerta, numericamente, intermediário entre o valor de referência de qualidade e o de

intervenção, a ser descrito a seguir.

Valor de Intervenção

O Valor de Intervenção foi derivado de um programa de avaliação de risco chamado C-Soil, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Saúde Pública e Meio Ambiente (RIVM) da Holanda, para verificar a exposição humana a todo tipo de contaminante em áreas contaminadas. Na Holanda, há cerca de 30 mil áreas contaminadas e não há opção da retirada das pessoas do local, devido às restrições de espaço físico. Com isso, houve necessidade de se conhecer os limites que representam risco aos humanos e remediar as áreas contaminadas. Para tanto, parâmetros, como contato dérmico, ingestão de solo (por adultos e crianças), inalação de vapores, consumo de alimentos produzidos em áreas contaminadas afetam com maior intensidade o modelo do que os atributos do solo.

O Coeficiente de Distribuição é um atributo do solo utilizado no modelo C-Soil. No entanto, a variação desses valores é ampla, devido a razões já discutidas anteriormente. Portanto, são utilizados valores genéricos de Kd e isso pode provocar erros no cálculo do risco de uma área diagnosticada como contaminada e que precisa ser remediada. Dessa forma, é muito importante determinar o valor do Kd do metal em solo de uma área que necessita de remediação.

O Kd também pode ser utilizado para calcular a concentração na fase gasosa e na solução do solo e água intersticial, a partir da concentração do contaminante na fase sólida do solo, assumindo-se que há um equilíbrio entre as três fases (Cetesb, 2001). Na Holanda, esse coeficiente é empregado no modelo C-Soil para calcular a concentração do contaminante na água subterrânea, utilizando-se um fator 10, que correlaciona a concentração na solução do solo com a concentração no

aquífero (Cetesb, 2001).

Uma das principais dúvidas que persistem até hoje no âmbito das discussões para a definição e implementação de normas com valores orientadores de metais pesados em solos no Brasil diz respeito à validade de tornar nacional uma resolução cuja base seja a norma de um estado. Numa oficina realizada em 2007 (http://www.mma.gov.br/port/conama/ctgt/gt.cfm?cod_gt=134), que contou com vários especialistas nacionais e internacionais, ficou demonstrada a grande variabilidade de atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos brasileiros, mas pouco se caminhou no contexto técnico da proposta - a não ser o fato de que os estados deveriam gerar seus dados a respeito do Valor de Referência de Qualidade.

Apesar de algumas indefinições, o texto da minuta foi enviado à Câmara Técnica, na qual a discussão foi polarizada pelos conselheiros que representam instituições públicas e privadas com direito de representação. Na 95ª Reunião Ordinária do Conama, ocorrida entre 2 e 3 de março deste ano (<http://www.mma.gov.br/port/conama/processo.cfm?processo=02000.000917/2006-33>), a proposta de resolução foi apresentada pelo MMA, seguida por pedidos de vistas ao processo. A discussão continua, mas fica a sugestão de que a SBCS se mobilize a fim de ser ouvida nas questões que dizem respeito à nossa área de atuação.

Em síntese, tendo em vista a influência dos fatores de formação do solo nos valores de referência para elementos-traço, especialmente o material de origem e clima, parece lícito supor que esses valores tenham caráter regional. Portanto, sugere-se considerar as classes de solos mais representativas dentro de cada formação geológica e/ou bacia hidrográfica como unidades amostrais para obtenção dos Valores de Referência de Qualidade.

Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni é Professor do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP - alleoni@esalq.usp.br | Daniel Vidal Perez é Pesquisador da Embrapa Solos - daniel@cnps.embrapa.br | José Marques Júnior é Professor do Departamento de Solos e Adubos da UNESP Jaboticabal - marques@fca.unesp.br | Jaime Wilson Vargas de Mello é Professor do Departamento de Solos da UFV - jwvmello@ufv.br