

**GEOQUÍMICA AMBIENTAL — CONCEITOS, MÉTODOS
E APLICAÇÕES**

C.N. Carvalho

ABSTRACT

A conceptual discussion about Environmental Geochemistry is now pertinent, owing to modern relationship between man and nature, and the artificial divisions of natural sciences. Based upon philological meanings and historical definitions we try to define the epistemological structure of the discussion. Emphasizing the anthropocentric meaning of the word "environment" we begin the discussion by stressing the close relationship between Environmental Geochemistry and Human Sciences, and by using these concepts to differentiate it from the other related disciplines.

RESUMO

As relações atuais do homem com a natureza e as inúmeras ramificações artificiais em que se tem dividido o conhecimento humano tornam oportuna a abertura de uma discussão conceitual sobre a Geoquímica Ambiental. Com base na origem filológica dos termos e em definições históricas, buscou-se montar um arcabouço epistemológico sobre o tema. Dentre os significados possíveis, enfatiza-se o caráter antropocêntrico do termo "ambiente", de modo a definir Geoquímica Ambiental em função de suas interrelações com as ciências humanas, diferenciando-a, assim, de suas congêneres.

INTRODUÇÃO

A crescente complexidade do conhecimento humano vem causando subdivisões artificiais de áreas afins do conhecimento. A natureza não tem fronteiras, e nem a curiosidade de quem pesquisa seus processos se esgota, de repente, ao encontro de uma barreira. No entanto, a necessidade de compartimentar, de organizar e ordenar é uma postura intrínseca à ciência, e não deve estranhar a quem busque melhor entendimento de qualquer matéria. Este comportamento é histórico. Não raro, quando se procura entender uma definição, no contexto da época em que foi criada, ela sobressai como uma antítese a um pressuposto. Assim, os termos em que Vernadsky definiu "geoquímica" em 1924 (Rankama & Sahama, 1950), parecem mais apropriados, quando se percebe a contraposição à mineralogia, um ramo maduro de saber, àquele tempo, e que já podia ser diferenciado de áreas afins. Do mesmo modo, é oportuno agora situar a geoquímica ambiental entre as ciências naturais que se preocupam especialmente com a qualidade de vida do homem e o equilíbrio natural antropocêntrico.

As relações do homem ocidental com a natureza através do tempo modificaram-se de forma muito complexa, obedecendo sempre, no entanto, a uma filosofia de dominação e de exploração dos bens e dos recursos naturais. A visão antropocêntrica hebraica propiciou ao homem as delícias do paraíso, o único ser criado à imagem de Deus, a quem a natureza devia se submeter. A ela se contrapõe uma visão de mundo de povos hoje dizimados e minoritários. Dentre eles, o Chefe Seattle há cem anos, ensinava ao presidente americano: "O homem não teceu a teia da vida: ele é apenas um fio dessa teia. O que quer que ele cause à teia, causa a si mesmo" (UATI, 1985). A atitude de conquista frente às barreiras naturais, e de exploração econômica de produtos da natureza, tem sido, através da história, um privilégio da cultura e da sociedade humana, que já viveu épocas negras de doença e miséria, a todas sobrevivendo, sempre com o auxílio dos recursos naturais. Ao findar o atual milênio, a perspectiva de esgotamento dos com-

bustíveis fósseis e as conseqüências da superpopulação levam a humanidade a uma crise de escassez de recursos naturais, que, mais uma vez, impulsionará o homem no sentido do desafio das alternativas. Este período, que já começou, necessita embasar-se em conhecimentos aplicáveis a uma convivência mais harmoniosa do homem com o seu meio ambiente. Este é o papel da Geoquímica Ambiental e das ciências suas irmãs.

Este espaço visa, portanto, a discutir os princípios e fundamentos lógicos da Geoquímica Ambiental, o alcance objetivo e a validade de seus resultados e os limites de seus referenciais, buscando definir seu campo de aplicação e suas perspectivas. Para executar esta proposta, usa-se como base o desenvolvimento histórico das ciências que lhe deram origem e das que lhe são afins, enfatizando a definição filológica dos termos empregados. O objetivo final é a montagem de um arcabouço capaz de definir, de forma objetiva, as interrelações da Geoquímica Ambiental com outras ciências naturais, e seus limites em relação a elas.

CONCEITOS

A geoquímica geral tem seu embrião na alquimia, ou quem sabe, antes (Ronan, 1987) quando o homem já fazia observação e experimentação na busca de transformar em abundância o ouro escasso dos minérios. Até o início do século atual, antes de o homem bombardear o núcleo dos átomos ou criar isótopos, a química somente estudava materiais geológicos naturais terrestres, fazendo, portanto, "geo-química". As primeiras alusões à geoquímica surgiram no fim do século passado, mas na primeira vintena deste é que foram criadas suas bases filosóficas, por químicos como Clarke, nos EUA, Goldschmidt, na Europa, e Fersman e Vernadsky, na Rússia. O importante aqui é notar o advento e a compartimentação de um novo conceito, que amadureceu a partir do desenvolvimento e da especialização de um setor da química. Fazer geoquímica não era precisamente fazer química de

materiais geológicos, mas ter uma postura, um objetivo, um enfoque de estudar as leis que governam as relações de abundância, de dispersão e de concentração dos elementos e isótopos nas diversas esferas geoquímicas da Terra (Rankama & Sahama, 1950). A unidade fundamental da geoquímica é o elemento químico desde a definição clássica de Goldschmidt, e não a substância ou o mineral. Seu campo de ação é o planeta Terra, particularmente sua crosta observável, mas não exclusivamente, já que usa análise de meteoritos, dados astrofísicos de composição de outros corpos cósmicos, e dados geofísicos para inferir sobre a natureza do interior do planeta (Goldschmidt, 1954). Note-se, no entanto, que, pela observação indireta desses materiais, ela continua interessada em explicar os processos terrestres. É aí que se diferencia da cosmoquímica, com quem, em muitos aspectos, partilha o campo e o objetivo. Definir os limites entre essas e outras ciências afins torna-se um exercício estimulante, que interessou, por exemplo, a Rankama & Sahama (1950): ao polemizar sobre a diferença entre o geólogo químico e o geoquímico mostram que, embora os materiais de ambos sejam os mesmos e seus métodos de obtenção de dados sejam basicamente iguais, seus objetivos diferem fundamentalmente — enquanto o petrólogo, p.e., usa os resultados químicos para definir a suite mineralógica característica de um processo geológico específico, o geoquímico busca entender propriedades dos elementos e íons, seu comportamento sob as condições termodinâmicas e físico-químicas responsáveis por, digamos, um processo de migração observado.

Com a expansão do interesse nesta área de conhecimento começaram a surgir especializações. A Sociedade Brasileira de Geoquímica (SBGq), criada em 1986, reconhece a geoquímica ambiental, a hidrogeoquímica, a geoquímica orgânica, a exploração geoquímica, a geoquímica de superfície, a geoquímica fundamental e litogeoquímica, a geoquímica analítica e a geoquímica de isótopos. Nesta classificação abrangente e eclética identificam-se as principais tendências da geoquímica no país e no mundo.

O que é a Geoquímica Ambiental? A palavra "ambiente" em seu sentido original significa "aquilo que cerca ou envolve os seres vivos ou as coisas por todos os lados" (Ferreira, 1975). Com esta conotação tem sido usado em informática (ambiente DOS, ambiente CP/M). O dicionário Webster detalha mais, definindo como "as condições, influências, ou forças circundantes que influenciam ou modificam: a) o complexo total de fatores climáticos, edáficos e bióticos que atuam sobre um organismo ou uma comunidade ecológica e determinam sua forma e sobrevivência; b) o conjunto das condições culturais e sociais (tais como costumes, leis, linguagem, religião, organização política e econômica) que influenciam a vida de um indivíduo ou comunidade" (Webster's, 1966). Não há muita diferença

entre os dois itens dessa definição; enquanto o primeiro enfatiza o ambiente do ponto de vista "natural", o segundo parece tender a uma abordagem "social-antrópica". Não necessariamente antrópica, entretanto, já que existem comunidades não-humanas, p.e., os mamíferos mais evoluídos e algumas aves, com características sociais identificáveis em suas comunidades. É útil, no entanto, para os fins a que nos propomos a ênfase sobre a expressão "meio ambiente" com... "um significado antropocêntrico, com o resultado de que as ciências ambientais enfocam (...) os processos envolvidos na interação entre o homem e todos os sistemas: ar, terra, água, a energia e a vida que o envolve" (Nigru, 1976). Aceitando esse arrazoado, aceita-se também a influência das ciências sócio-políticas. É sob este aspecto que a Geoquímica Ambiental ocupa seu espaço no seio da geologia ambiental e da química ambiental, ao mesmo tempo que se diferencia de suas irmãs. Destas, a que mais lhe guarda afinidade é a Biogeoquímica, pela sua relação intrínseca com o meio ambiente. No entanto, os limites de seus referenciais definem-se logo aqui: uma graduação de ênfase entre o biótico e o abiótico. Enquanto a Geoquímica Ambiental assume o estudo dos processos geoquímicos na atmosfera, a biogeoquímica prescinde de trabalhar este campo, enfatizando o estudo da geoquímica na biosfera, sem incluir necessariamente o homem na sua visão de ambiente.

A Figura 1 busca mostrar as interrelações da Geoquímica Ambiental no quadro das ciências naturais. Está estruturada em cinco níveis, em que a Física ocupa o nível zero, o mais fundamental de todos. O primeiro pertence à Química, considerada a ciência hierarquicamente superior, influenciando necessariamente a Geologia e a Biologia, no segundo nível. A Geoquímica Geral, no terceiro nível, é uma ciência influenciada fundamental e sistematicamente pela Química e a Geologia e eventualmente pela Biologia. Finalmente, no nível quatro da hierarquia, junto com os demais ramos da Geoquímica que não foram representados, estão a Geoquímica Ambiental e a Biogeoquímica. Mantendo coerência com a conotação "antropocêntrica" da palavra "ambiental", representa-se sobre ela a influência das ciências humanas. Assim, na figura, enquanto a Biogeoquímica sofre influência fundamental e sistemática da Biologia, a Geoquímica Ambiental interage com as Ciências Humanas.

O CAMPO E OS MÉTODOS DA GEOQUÍMICA AMBIENTAL

A existência da humanidade e de todas as formas de vida na Terra sempre dependeu de um delicado equilíbrio entre o mundo orgânico e o inorgânico. Durante a maioria do tempo histórico o homem adaptou-se passivamente ao ambiente geoquímico. As sociedades pré-industriais foram pouco destrutivas, pelo pequeno número de indivíduos e a limitação da força muscular,

fazendo com que as agressões ao meio ambiente permanecessem limitadas espacialmente, e, em geral, passíveis de recuperação pelos processos naturais. Já havia, no entanto, danos irreversíveis: antes do advento da revolução industrial as florestas nativas da Inglaterra já estavam reduzidas a 3% do original (Thomas, 1988), o que bem demonstra o padrão da atitude humana frente à natureza como fonte de recursos. No entanto, a partir dos últimos cem anos, o crescimento exponencial da população do planeta criou, como "bola de neve", o aumento da necessidade de energia, da produção de alimentos, da industrialização e da urbanização, problemas que o homem vem solucionando a curto e médio prazos, com o aumento de pressão sobre os demais compartimentos da ecosfera. Assim, a demanda sobre os combustíveis fósseis, sobre o solo agricultável, e as matérias primas minerais e vegetais são causa de poluição do solo, da água, do ar. A ocupação desorganizada dos espaços causa desmatamento, erosão, extinção de espécies. Os grandes aglomerados urbanos que viabilizaram as relações econômicas da sociedade industrial são grandes consumidores de energia e recursos em geral, dificultando a reciclagem de seus resíduos, causando também poluição (Odum, 1985). Dentro deste ciclo antropocêntrico, alimentado pela superpopulação, sobressaem, como sinal da baixa eficiência do sistema, o aumento da pobreza e a perda da qualidade de vida do homem.

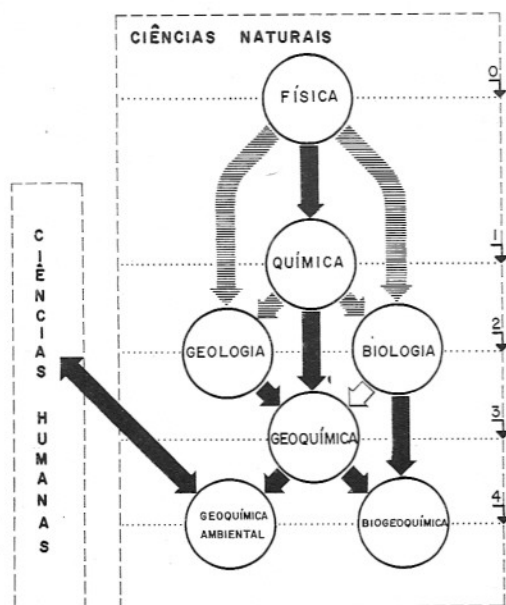


Figura 1 — Situação da Geoquímica Ambiental entre as Ciências Naturais e Humanas. Níveis de hierarquia (↓). Tipos de influência: (→) fundamental é sistemática; (⇔) necessária; (⇨) eventual)

As origens desses desequilíbrios são de duas naturezas:

1. A expansão de atividades humanas historicamente aceitas como "naturais". Como exem-

plo, a queima de combustíveis fósseis em quantidades que criam atmosfera localmente tóxica e globalmente aumentam o efeito estufa. A agricultura intensiva, que se viabiliza pelo uso de agrotóxicos mal reciclados pelo ambiente, e acelera as taxas de erosão e de intemperismo. As atividades de mineração em geral. A ciclagem dos resíduos domésticos e industriais.

2. A outra fonte de desequilíbrio é inédita e não-natural, representada pela introdução na água, no solo, na atmosfera, de novos compostos químicos, tais como os pesticidas, os fluorcarbonetos, os isótopos radioativos — sintetizados para usos específicos e dificilmente reciclados pelos ecossistemas essenciais.

O estudo desses processos geoquímicos atuantes na antroposfera é o campo da Geoquímica Ambiental. Para reconhecer e explicar esses processos, e prever seus efeitos o método é necessariamente holístico e interdisciplinar. Basicamente, e de modo geral, usam-se os métodos da geoquímica analítica, fazem-se análises de variâncias temporais e espaciais, a exemplo da geoquímica de exploração. Importa-se, necessariamente, a abordagem e a postura da ecologia (Southwick, 1976, in Fortescue, 1980).

APLICAÇÕES DA GEOQUÍMICA AMBIENTAL — ATUALIDADE E PERSPECTIVAS

A Geoquímica Ambiental é nova porque reflete a preocupação geoquímica com as fontes atuais de desequilíbrio da natureza, originado basicamente nos problemas sócio-políticos de superpopulação, urbanização e industrialização.

Sua perspectiva é, junto às demais ciências naturais e ambientais, a continuação da busca milenar do entendimento de como funciona a natureza nas suas relações com o homem. Seu objetivo final abrange o aconselhamento para uma nova Ética de bem-estar e racionalismo no uso dos recursos naturais. Essa nova ética pressupõe uma postura social do cientista, um movimento na direção da busca de mais conhecimento e de outras alternativas, que unam os povos no sentido do bem comum (CMMAD, 1988).

AGRADECIMENTOS

A Robert Greenwood, Helio Penha e Foster Brown, pelas discussões em torno do tema e a revisão do texto, a autora agradece.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CMMAD — COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (1988) Nosso futuro comum. Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas.
- FERREIRA, A.B.F. (1975) Novo dicionário da língua portuguesa. Nova Fronteira.
- FORTESCUE, J.A.C. (1980) Environmental geochemistry. A holistic approach. Springer Verlag.
- GOLDSCHMIDT, V.M. (1954) Geochemistry. Clarendon Press.

- NIGRU, J.O. (1976) Environmental biogeochemistry, v. 2. Ann Arbor, Publ. Inc.
- ODUM, E.P. (1985) Ecologia. Interamericana.
- RANKAMA, K. & SAHAMA, TH.G. (1950) Geochemistry. The University of Chicago Press.
- RONAN, C.A. (1987) História ilustrada da ciência da Universidade de Cambridge, v. 2. Jorge Zahar Editor.
- THOMAS, K. (1988) O homem e o mundo natural. Companhia das Letras.
- UATI — UNION DES ASSOCIATIONS TECHNIQUES INTERNATIONALES (1985) Bol. 1.
- WEBSTER'S THIRD NEW INTERNATIONAL DICTIONARY (1966) Encyclopaedia Britanica Inc.