

PGAGEM

Programa Nacional de Geoquímica Ambiental e Geologia Médica

BASE TEÓRICA PARA A GEOLOGIA MÉDICA (Theoretical Basis For Medical Geology)

Harwant Singh

University Malaysia Sarawak
94300 Kota Samarahan, Sarawak, Malaysia
terratee@frst.unimas.my

Tradução

Carlos Alberto Cavalcanti Lins

CPRM - Serviço Geológico do Brasil
SUREG – Recife

lins@re.cprm.gov.br

Superintendência
Regional de Recife



Secretaria de
Minas e Metalurgia

Ministério de
Minas e Energia



BASE TEÓRICA PARA A GEOLOGIA MÉDICA

Abstract

Medical Geology is fast becoming a discipline in its own right by filling the vacuum between the evidently critical intersection between the earth system and health problems in man and other biota. Scientists have begun to assess the long acknowledged but under-explored impact of natural and anthropogenic earth science factors on health in an effort that has also pulled in other disciplines that is establishing the link between man and his habitat the Earth. With the progress made there are calls that the time has come to move towards laying a theoretical base for the discipline, as all individual disciplines require. This paper proposes the concept of stewardship as the underpinning of Medical Geology and suggests a scientific framework for its operational theme and focus.

INTRODUÇÃO

O início de tudo que evoluiu para a Geologia Médica pode ser localizado no passado quando da identificação do fator ambiental como um dos fatores que afetam a saúde, embora, de acordo com Finkelman *et al.* (2001), os impactos de materiais geológicos na saúde humana têm sido reconhecidos desde milhares de anos. Este desenvolvimento veio em resposta ao temor crescente da degradação ambiental surgida dos impactos antropogênicos resultantes da tecnologia industrial. *Silent Spring* (Carson, 1962) é a expressão mais antiga deste temor, definida pelo binômio causa-efeito saúde e ambiente mostrada na Fig. 1 (WHO, World Health Organization – Organização Mundial de Saúde, 2000).

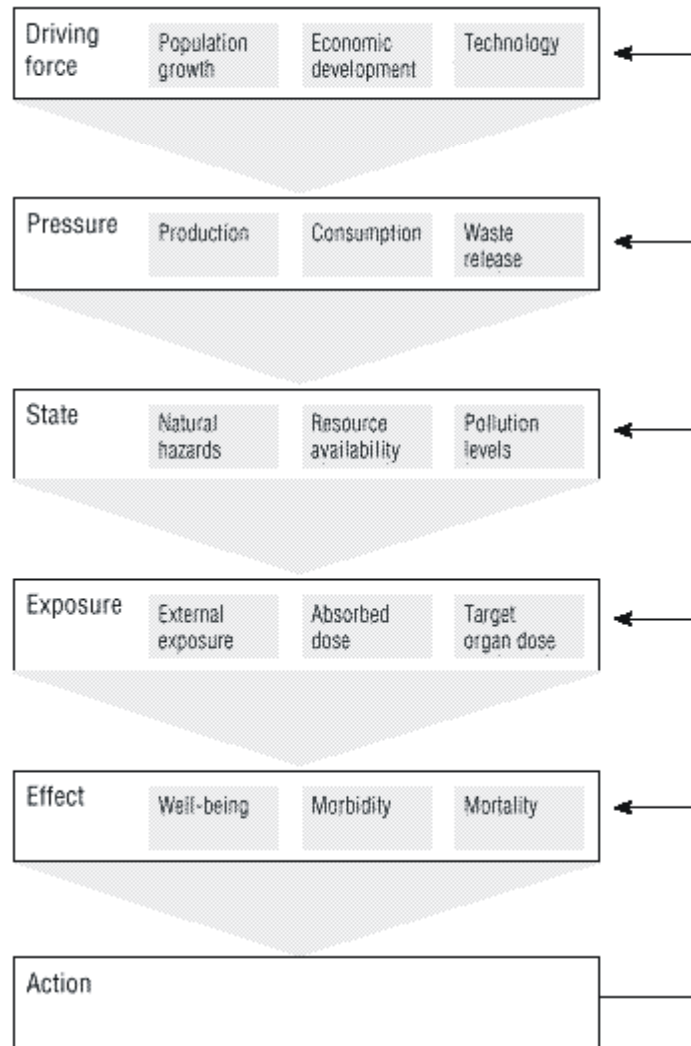


Fig. 1 - Estrutura causa-efeito saúde e ambiente (WHO, 2000)

Estes efeitos adversos ou tóxicos do ambiente na saúde surgem da baixa qualidade do ar, da água e do solo como um resultado da contaminação. De fato, o surgimento da toxicologia como uma disciplina científica independente é o resultado dos efeitos do ambiente na saúde. Os materiais naturais também formam a base da civilização moderna e são cruciais para quase todos os aspectos da vida moderna. Esta interação com os materiais naturais é freqüentemente vista como inofensiva (Finkelman *et al.*, 2001). Entretanto, alguns materiais geológicos apresentam riscos significantes à saúde e ameaçam indivíduos, comunidades e até populações inteiras (Geotimes Staff, 2001).

Portanto, efeitos na saúde, indicadas por mudanças na longevidade e na sua funcionalidade, surgindo do ambiente exige, de forma imperativa, um gerenciamento ambiental através do estudo dos processos e dos materiais terrestres. De fato, a revista *Time* apresentou um texto em janeiro de 1989 informando que os humanos eram ameaçadores ao ambiente na Terra e manifestaram isto mostrando um planeta em perigo e tornando-o mais exigente em geologia médica para prover soluções para o tratamento da saúde. De acordo com Centeno *et al.* (2003), assim começou a avaliação da influência de fatores científicos naturais e antropogênicos da Terra na distribuição geográfica de uma grande variedade de doenças humanas e animais.

GEOLOGIA MÉDICA COMO GERENCIAMENTO AMBIENTAL

Na prática médica tradicional, de acordo com Moeller (1997), médicos relacionam-se com os pacientes de acordo com o modelo da Fig. 2. Neste modelo de intervenção clínica a intersecção ocorre no diagnóstico e tratamento de uma doença para curar o paciente. Isto providencia intervenção mas não controla a doença de forma a eliminar suas origens ou causas antes da infecção.

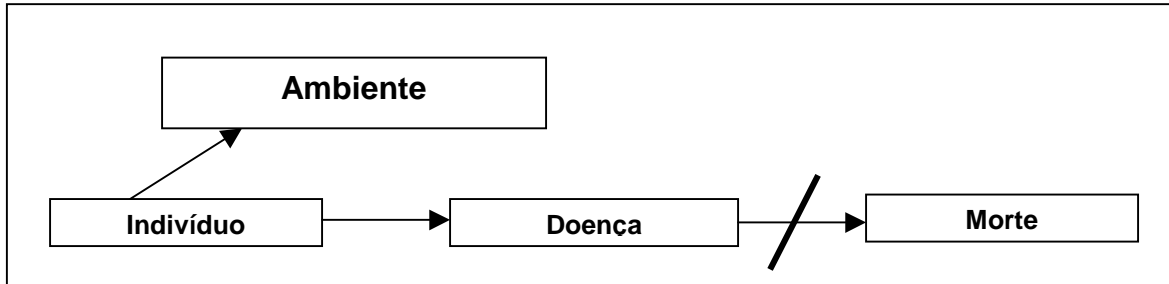


Fig. 2 - O modelo de intervenção clínica (Moeller, 1997)

Os impactos do ambiente na saúde precisam ser controlados de forma a permitir uma avaliação das doenças que surgem de fatores ambientais. Tradicionalmente estas medidas são tomadas em saúde pública [ramo da medicina que lida com a proteção e o aperfeiçoamento da saúde da comunidade através de esforço da comunidade organizada envolvendo prevenção de doenças, controle da comunicação da doença e educação em saúde (branch of medicine dealing with safeguarding and improving community health through organized community effort involving prevention of disease, control of communicable disease and health education - Academic Press Dictionary of Science technology)] incluindo epidemiologia. Moeller (1997) descreve esta prática de acordo com o modelo dado na Fig. 3.

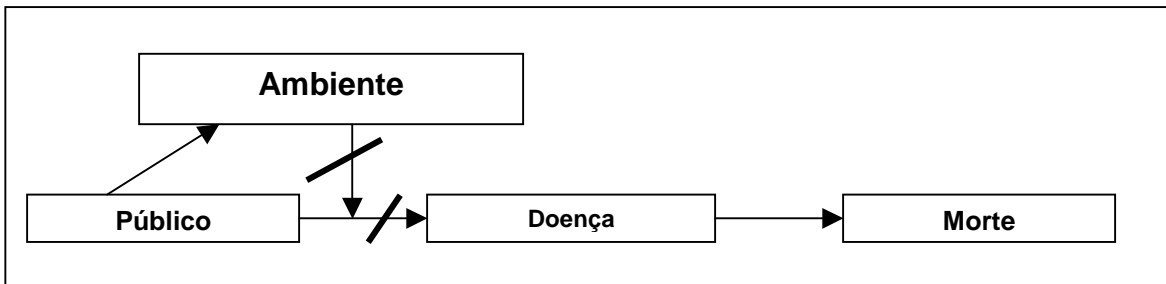


Fig. 3 - O modelo de intervenção da saúde pública (Moeller, 1997)¹

A intervenção da saúde pública busca estabelecer algum grau de controle sobre as fontes de riscos para a saúde e o bem-estar humano. Contudo, esta não dispõe de controle suficiente como o conhecimento da localização das causas e das fontes. A habilidade em exercer um controle maior reside no campo da saúde ambiental que, na definição de Pew Environmental Health Commission (2001), inclui aqueles aspectos de saúde humana, como qualidade da vida, que são determinados por interações entre os diversos fatores físicos, químicos, biológicos e sociais dentro do ambiente. Ele também refere-se a teoria e a prática de avaliação, correção, controle e prevenção daqueles fatores no ambiente que podem afetar adversamente a saúde de gerações presentes e futuras. Este controle, segundo Moeller (1997), é visto na Fig. 4.

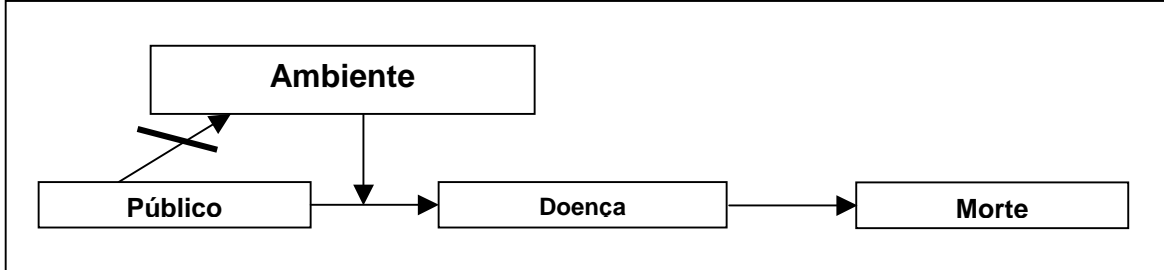


Fig. 4 - O modelo de gerenciamento ambiental (Moeller, 1997)

O gerenciamento ambiental previne a degradação ambiental e suas conseqüências para a saúde humana. As vantagens são óbvias, como a redução dos fatores de risco no ambiente. A Geologia Médica está preocupada com os materiais que afetam a saúde pública e os processos responsáveis pelo seu comportamento e distribuição, incluindo o gerenciamento ambiental.

Gerenciamento representa o suporte da Geologia Médica que também precisa participar de uma estrutura científica e acadêmica. Um esboço disto é proposto a seguir.

A PREOCUPAÇÃO DA GEOLOGIA MÉDICA É TORNAR OS SISTEMAS TERRESTRES COMPREENSIVOS PARA O GERENCIAMENTO

O Sistema Terra

Um sistema é definido como um conjunto de objetos com relacionamentos entre eles e seus atributos ou também como um conjunto de elementos interdependentes formando uma entidade coletiva. A Terra pode ser considerada como um sistema e os seus componentes e suas interconexões são mostradas na Fig. 5.

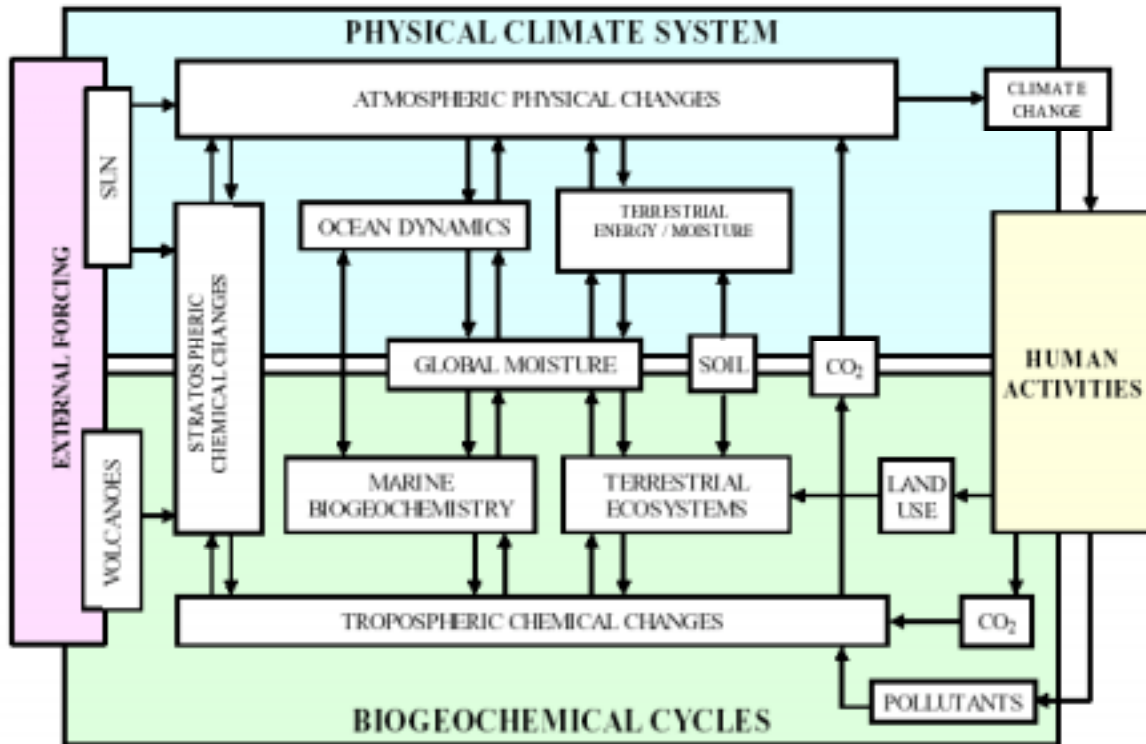


Fig. 5 - O Sistema Terra

Fonte: <http://www.schools.ash.org.au/paa/EBpdfs/EB.IM1.IL.pdf>

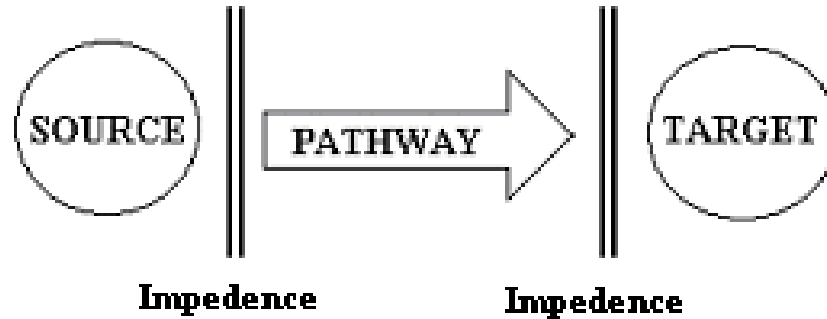
A compreensão e o controle do Sistema Terra tem por finalidade a prevenção ou intervenção no sentido de deter qualquer ameaça para a saúde pública. Esta compreensão envolve a caracterização e o conhecimento pleno dos componentes e dos processos obtidos através das ciências da terra utilizadas em função do gerenciamento ambiental. A geologia médica está preocupada com a compreensão de como os processos geológicos, físicos e biológicos do Sistema Terra são funcionalmente inter-relacionados, incluindo as interações geológicas-físicas-biológicas.

O Conceito Fonte-Padrão-Alvo

A prática efetiva do gerenciamento ambiental usando o conceito Fonte-Padrão-Alvo (Holdgate, 1979), como mostrado na Fig. 6, exige que se erga uma impedância entre Fonte, Padrão e Alvo para intervenção e controle como mostrado na Fig. 7.



Fig. 6 - Modelo Analítico Fonte-Padrão-Alvo (Source-Pathway-Target)



**Fig. 7 - Impedância entre Fonte - Padrão – Alvo
(impedância – resistência efetiva)**

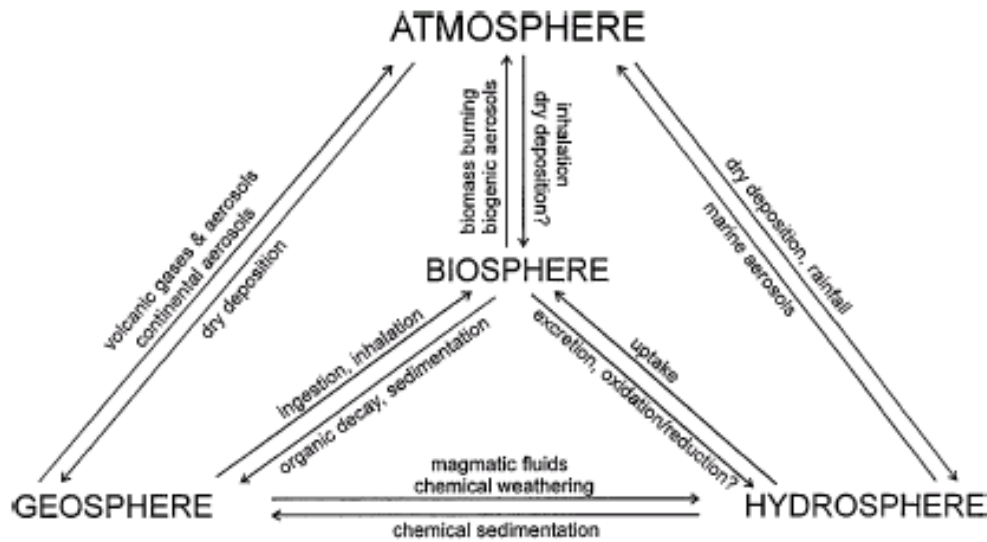
A Geologia Médica objetiva provar este gerenciamento assegurando que a fonte de materiais prejudiciais está bloqueada. Parece paradoxal ter intervenção na saúde pública ou clínica, como mencionado acima, quando a fonte não estiver controlada. Isto permite intervenção e controle ótimos que reside em assegurar que a fonte, em primeiro lugar, não emana materiais prejudiciais e, secundariamente, os padrões disponíveis são conferidos.

A ABORDAGEM DA GEOLOGIA MÉDICA EM DIREÇÃO AO GERENCIAMENTO

A existência humana está incluída, através de sua composição e suas ações, no Sistema da Terra. A vasta quantidade de processos e transformações que ocorre entre as fases sólidas, aquosas e gasosas do Sistema Terra que tem a participação de organismos vivos forma o meio para a interação humana com o sistema. A abordagem da Geologia Médica envolve o estudo dos materiais e suas reações, transportes, efeitos e destinos. Isto requer uma abordagem bipolar em entender os componentes respectivos e os processos constituindo as interações entre estes.

Aspecto um: Componentes do Ambiente

O primeiro aspecto envolve entender os componentes do Sistema Terra, isto é as rochas, solos, águas e a atmosfera. Isto envolve a Terra sólida ou *geosfera/litosfera*, a camada aquosa ou *hidrosfera*, a camada gasosa ou *atmosfera* e a *biosfera*, esta última consistindo de todos os organismos vivos sobre a Terra como destacado na Fig. 8. A biosfera junto com as outras três esferas forma o ecossistema.



**Fig. 8 - Componentes do Sistema Terra
(Diagrama de Laroque and Rasmussen, 1998)**

A geosfera é a fonte original de toda a matéria exceto àquela oriunda do espaço na forma de meteoritos e poeira cósmica, porém entradas e saídas de elementos posteriormente a esta assembléia tem sido relativamente sem importância. O mapeamento geológico e a identificação de tipos de rochas e minerais, investigações hidrogeológicas e as interações dos fluidos de rochas são áreas críticas no estudo dos componentes do Sistema Terra.

Aspecto dois: Processos no Sistema Terra

O estágio seguinte envolve o entendimento dos processos dentro e entre os diferentes ambientes. Existe uma troca contínua de matéria e energia através das interações e processos ocorridos na geosfera, hidrosfera e atmosfera, como mostrado na Fig. 9.

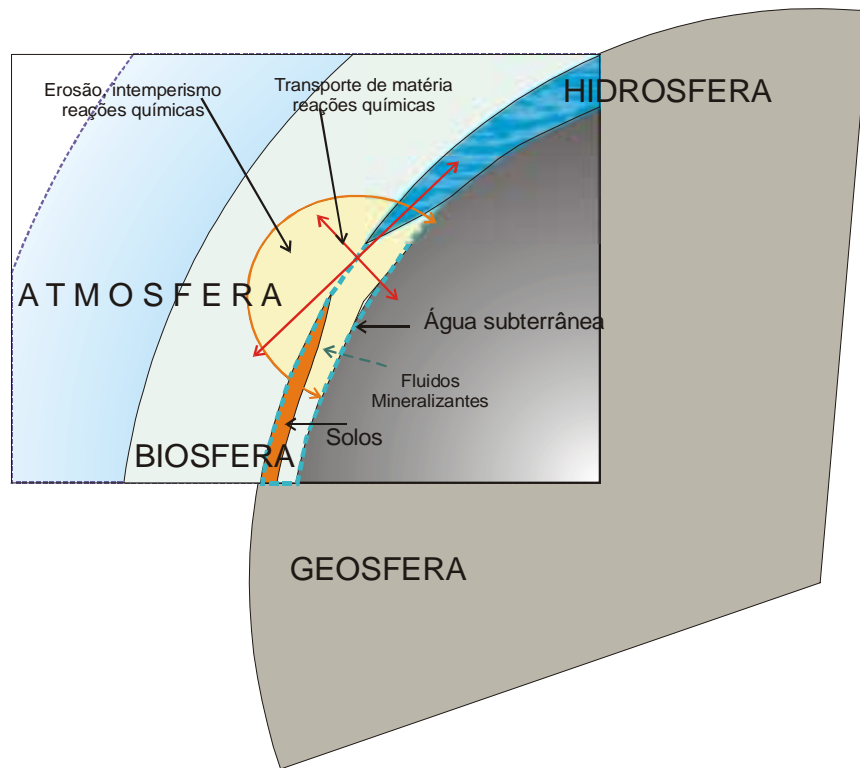


Fig. 9 - Esboço esquemático das interações no ambiente

Isto resulta em numerosos processos. Os processos, comportamentos e mobilizações de materiais, incluindo elementos e compostos químicos, são dependentes das condições físico-químicas existentes no ambiente, assim como também de suas respectivas naturezas. Como mostrado na Fig. 9, existem processos que ocorrem dentro dos componentes individuais, e através das interfaces dos componentes quando envolvem dois ou mais componentes.

A investigação dos componentes, rochas, solos, águas subterrâneas e atmosfera, bem como das interações do ambiente envolve o estudo em vários níveis de escala, desde megascópica até microscópica (uma nova área de pesquisa chamada geoquímica ambiental molecular). Isto também envolve o estudo de sistemas naturais e sistemas perturbados comparando-se o mais recente ao mais antigo.

A. Processo no Nível Macro

Existem diversos processos em ação e entre eles, para mencionar apenas dois, estão o ciclo da rocha e o ciclo hidrológico. Cada um dos processos, por sua vez, é formado por numerosos outros processos. Estes processos naturais envolvem a criação, modificação e destruição dos diferentes estados da matéria. Matérias são também trocadas entre a atmosfera, hidrosfera, geosfera e biosfera. Um exemplo é o ciclo geoquímico, isto é, padrões refletindo o armazenamento e a troca de elementos químicos entre a atmosfera, hidrosfera, geosfera e biosfera. O ciclo do carbono na Fig. 10 ilustra a deposição e os processos envolvendo os mecanismos de transporte e transformação de matéria nos sistemas naturais.

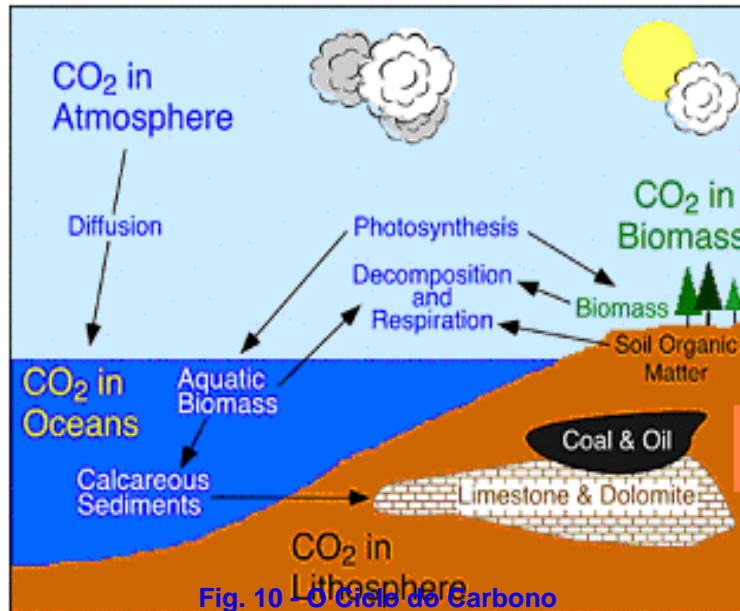


Fig. 10 - O Ciclo do Carbono

Adaptado de http://www.geog.ouc.bc.ca/conted/onlinecourses/geog_210/210_2_7.html

A.2 Processos em Sistemas Perturbados

A revista TIME (janeiro de 1989) destaca o fato de que a biosfera, atmosfera, hidrosfera e geosfera estão sendo alteradas atualmente em taxas que ultrapassam de longe os processos naturais. Sistemas perturbados são conseqüências destas alterações e personificam as conseqüências da influência humana nos sistemas naturais. Isto tem resultado no aquecimento global, nas chuvas ácidas e nas drenagens ácidas de minas, além de amplo transporte de matéria, entre outros.

Aquecimento Global: Um exemplo das atividades humanas é a liberação de gases como CO₂ no ambiente, ilustrado na Fig. 11 usando o Ciclo do Carbono, causando uma mudança no ciclo deste elemento.

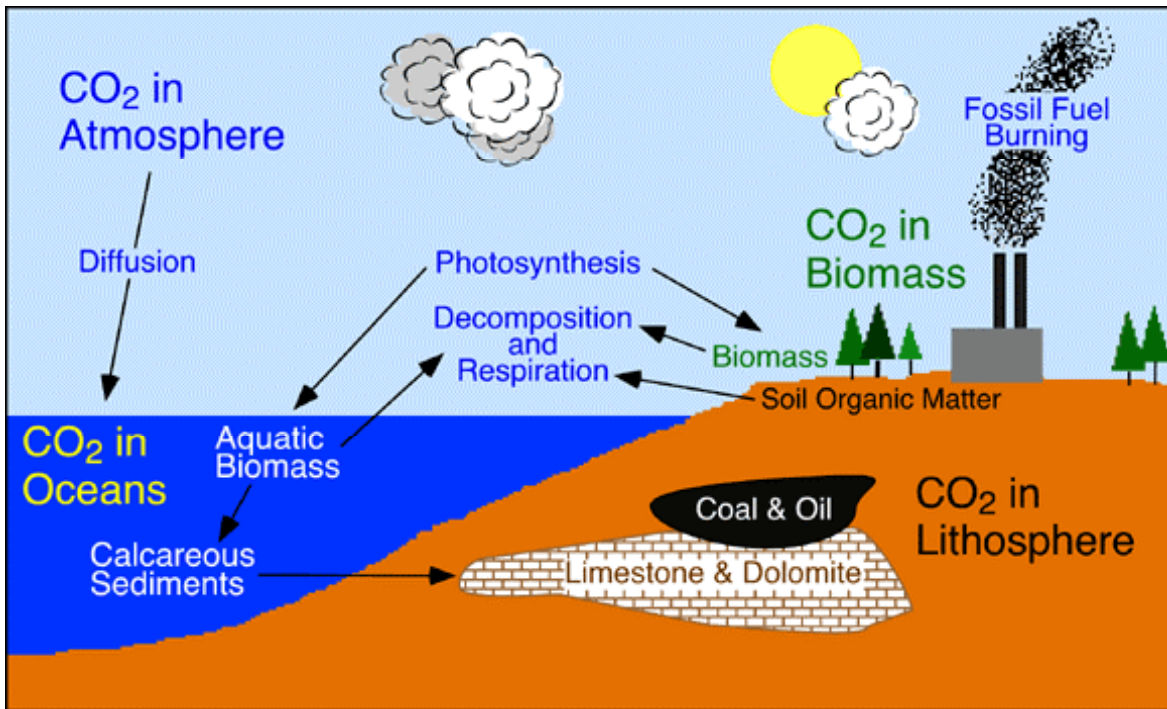


Fig. 11 - O Ciclo do Carbono Perturbado

Fonte: http://www.geog.ouc.bc.ca/conted/onlinecourses/geog_210/210_2_7.html

O CO₂ e certos outros gases como H₂O na atmosfera são chamados de gases estufa e interagem com a energia oriunda do espaço por absorção e a emitem de volta mantendo a temperatura atmosférica como uma estufa. Um aumento na quantidade de gases estufa aumenta a energia retida, como também absorvida, causando um incremento na temperatura atmosférica, como mostrado na Fig. 12.

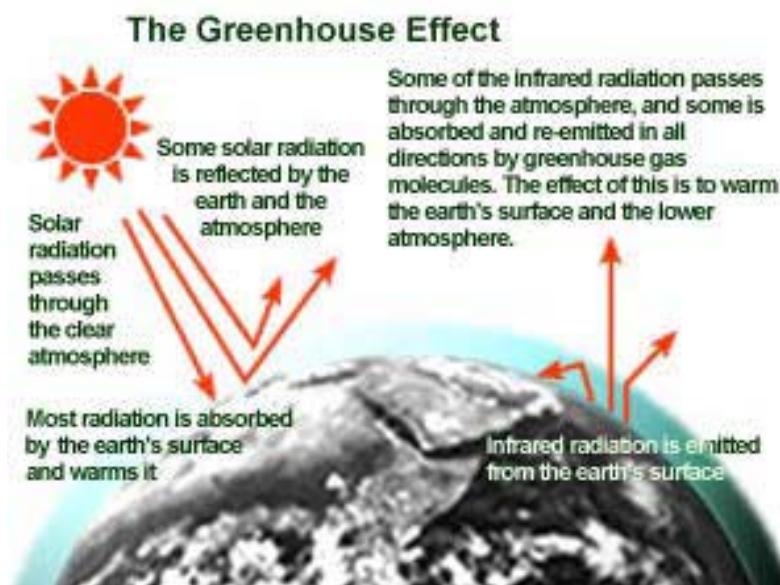


Fig. 12 - O Efeito Estufa

Fonte: <http://www.epa.gov/globalwarming/climate/index.html>

O aumento da temperatura causa mudanças ambientais que afetam padrões globais do tempo e causam mudanças nos sistemas climáticos.

Chuva Ácida: Chuva ácida consiste de ácidos da atmosfera que caem dissolvidos na água das chuvas como mostrado na Fig. 13. Gases como SO_2 e o NO_x , liberados na atmosfera, reagem com H_2O , O_2 e outros resultando em soluções ácidas que precipitam como chuva, afetando plantas e animais.

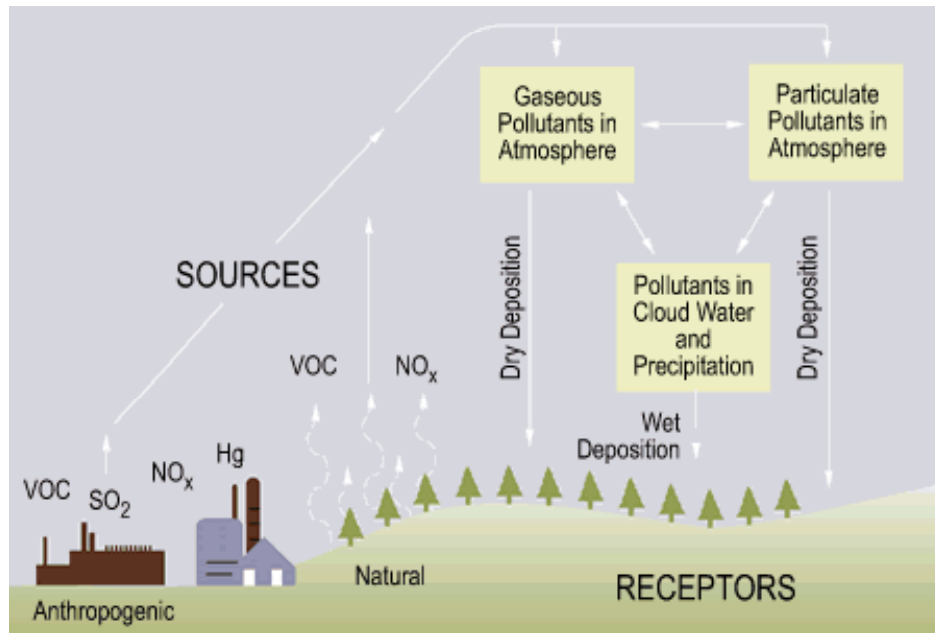


Fig. 13 - Chuva Ácida

Fonte: <http://www.epa.gov/airmarkets/acidrain/index.html>

Drenagem Ácida de Mina: Drenagem altamente ácida que flui de minas ou de pilhas de rejeitos com altas concentrações de metais dissolvidos, formados por reações geoquímicas que ocorrem devido à exposição do mineral pirita ao ar. Os metais ficam dissolvidos em solução até que o pH se eleve a um nível tal que eles precipitam como um material de cor laranja brilhante como visto na Fig. 14.



Fig. 14 - Drenagem Ácida de Mina

Fonte: Dept. of Environmental Protection, Commonwealth of Pennsylvania, U.S.A. (http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/minres/bamr/amd/science_of_amd.htm)

O entendimento da geologia dos depósitos minerais e dos processos geoquímicos responsáveis pela mobilidade dos elementos é necessário para o desenvolvimento dos recursos minerais e para superar os impactos na saúde.

Transporte Aéreo de Longo Alcance: A atmosfera é um condutor de matéria e tornou-se assim um condutor de poeira, elementos tóxicos e micro-organismos. Griffin *et al.* (2002) fornece um relato sobre o transporte global de poeira, elementos tóxicos e micro-organismos na atmosfera.

B. Processos no Nível Micro

Isto envolve observar materiais ou processos específicos que dizem respeito a materiais peculiares da terra ou padrões específicos. Ambientes como águas superficiais e subterrâneas, em razão da dissolução de rochas e solos por contato (Gough, 1993), são padrões para mobilidade geoquímica dos elementos. São investigados os processos de transporte de massa como *advecção*¹, dispersão e difusão que deslocam matéria através do ar, água superficial ou no ambiente de subsuperfície. Esta vasta relação de processos químicos e transformações entre fases sólidas, aquosas e gasosas (com a participação de organismos vivos) são controladas por reações em escala microscópica ocorrendo primeiramente nas superfícies dos sólidos e suas interfaces com soluções aquosas ou com o ar. As interações e interfaces são importantes, porque envolvem dissolução ou não de espécies químicas liberadas dentro da solução. Um importante fenômeno de superfície, de imensa importância ambiental, é a adsorção, que é a acumulação de átomos e moléculas sobre as superfícies.

A investigação das fontes, padrões e alvos de metais pesados específicos, de elementos traços essenciais ou de elementos traços em geral (assim chamados de acordo com a divisão geoquímica convencional de elementos, como elementos maiores, menores e traços, em função da sua abundância relativa) é o domínio dos processos no nível micro.

C. Componentes e Processos do Sistema Terra e Geologia Médica

Um dos principais tratamentos dos processos e componentes do sistema terra é a poluição e a ecotoxicidade.

Clima. Poluição, definida pelo Academic Press Dictionary of Science and Technology, é qualquer alteração do ambiente natural que produza uma condição que seja prejudicial aos organismos vivos. Poluição é consequência da contaminação, isto é, da adição de qualquer substância indesejável dentro de qualquer componente do Sistema Terra. Os poluentes podem ser gasosos, líquidos ou sólidos e podem vir de fontes naturais ou antropogênicas. Poluição atmosférica ocorre quando as concentrações de certas substâncias aumentam a um nível que torne o ar tóxico. Poluição da água (superficial ou subterrânea) ocorre pela degradação da qualidade da água quantificada por critérios biológicos, químicos e físicos. A qualidade desejada da água depende da intenção do seu uso ou do seu impacto assim a qualidade é especificada de acordo com padrões necessários para cada uso e seus efeitos na saúde pública ou impactos no ambiente.

Investigações sobre determinados minerais como asbestos ilustram os efeitos destes na saúde humana. Inalar asbestos pode causar efeitos danosos na saúde como asbestose (uma fibrose dos pulmões), câncer de pulmão e *mesotelioma maligno (malignant mesothelioma)* (Finkelman *et al.*, 2001). Os asbestos incluem diversos minerais como crisotila (serpentina), o mais comumente usado, e as variedades asbestiformes de diversos anfibólios, incluindo grunerita, conhecido comercialmente como amosita, riebeckita, conhecida como crocidolita ou asbesto azul, antofilita, tremolita, e actinolita. O asbesto crisotila, por exemplo, é comumente considerado como menos carcinogênico do que os asbestos de anfibólio. Outros estudos incluem os efeitos da combustão

¹*advection – ato de carregar – movimento horizontal de massa de ar que causa mudanças na temperatura ou em outra propriedade física – Webster's Seventh New Collegiate Dictionary – Merriam-Webster, 1971*

do carvão (Finkelman *et al.*, 2003), material fibroso ambiental (Hillerdal, 2003), a relação entre geoquímica e ossos de vertebrados (Skinner, 2003).

O uso de metais pesados ocorre desde muito tempo. Eaton & Robertson (1994) e Silver & Rothman (1995) citam os primeiros usos do chumbo em encanamentos e para melhorar o gosto do vinho, arseniatos de chumbo como pesticida e mercúrio como uma pomada para aliviar dor de dentes em crianças. As contribuições antropogênicas de metais pesados dentro dos sistemas naturais têm aumentado fenomenalmente desde a Revolução Industrial. Nriagu (1996) demonstrou o aumento exponencial na produção de metais pesados como chumbo, cobre e zinco entre 1850 e 1990. O destino de metais pesados como As, Cd, Hg, Pb e outros, no ambiente natural é de grande preocupação devido aos seus efeitos potencialmente prejudiciais (Adriano, 1986 e Alloway, 1995).

As deficiências, excessos ou desequilíbrios de elementos químicos também têm um significado importante na saúde. Exemplos de materiais terrestres incluem os elementos essenciais e tóxicos mostrados na Figura 15.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	P	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



ESSENTIAL	
TOXIC	

Fig. 15 - A tabela periódica mostrando os elementos essenciais e tóxicos

Alguns elementos são tanto essenciais como tóxicos. Elementos que são possivelmente essenciais são indicados com uma aba cinza clara a esquerda acima. (Fonte: British Geological Survey, UK).

Concentrações típicas de elementos essenciais e tóxicos em águas subterrâneas estão assinalados na Fig. 16.

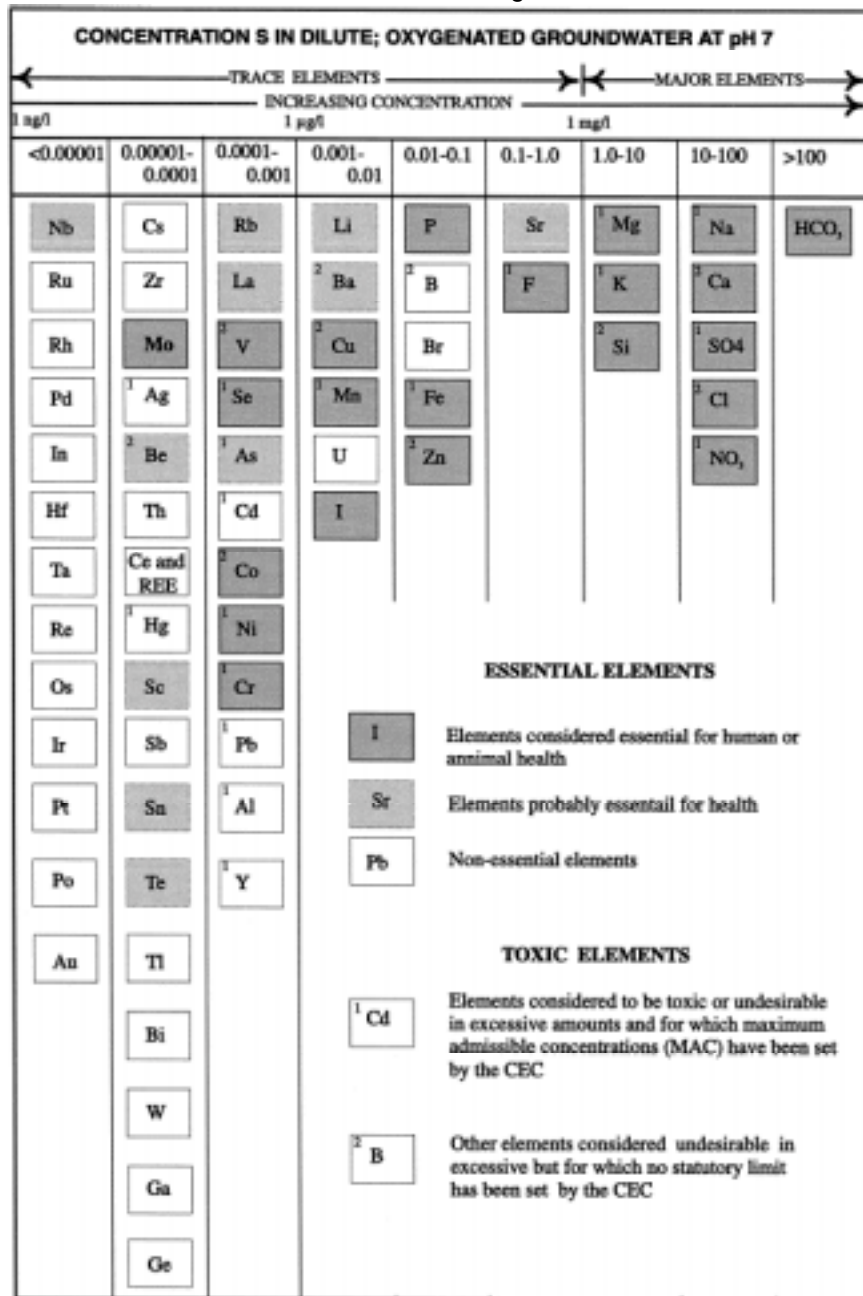


Fig.16 - Elementos em água subterrânea e sua significância para a saúde [segundo Dissanayake & Chandrajith (1999), e Edmunds & Smedley (1996)].

De acordo com Edmunds & Smedley (1996) a geoquímica natural de águas subterrâneas ou de superfície na sua interação com as rochas, também cria problemas de saúde e aceitabilidade, amplamente difundidos em muitas partes do mundo, numa escala regional. O caso do problema de arsênio em Bangladesh é bem conhecido (Smith *et al.*, 2000)

Os processos que operam em sistemas naturais ou perturbados têm um impacto na saúde, especialmente aqueles envolvidos no transporte e na dispersão dos componentes mencionados acima. Alguns dos incidentes são citados a seguir. Processos que ocorrem naturalmente, como por

exemplo, erupção de um vulcão emitindo dióxido de enxofre, tem um efeito na saúde. Sutton *et al.* (2003) fornecem um relato sobre os perigos para a saúde causados por poluição vulcânica no ar no estado americano do Haváí. Derbyshire (2003) relata sobre poeira natural e *Pneumoconiosis* na Alta Ásia enquanto Grattan *et Al* (2003) reportam sobre doenças humanas e taxas de mortalidade em relação à distância de erupções de gases vulcânicos. Outros exemplos de fontes naturais são incêndios florestais, poeira e pólen.

Sistemas perturbados normalmente resultam de efeitos negativos de atividades antrópicas, por exemplo, emissões de exaustores, derramamentos de óleos, deposição de resíduos nas águas, super uso de pesticidas e fertilizantes químicos, deposição imprópria de resíduos e assim por diante. As fontes antropogênicas de poluentes são emissões da indústria, do transporte, da geração de força e de queimadas. A variedade de materiais que podem poluir a água é muito vasta. A poluição dos solos ocorre quando eles se tornam depositários de substâncias poluentes. Processos de absorção determinam a retenção dos contaminantes no solo. O aparecimento de terra contaminada é um resultado da poluição do solo e torna-se ameaça à saúde humana, animal e vegetal e ao ecossistema. Como um exemplo dos efeitos de uma poluição integrada Naidu & Nadebaum (2003) relatam sobre o arsênio natural de rochas (geogenic - geogênico) e os problemas de toxicidade relacionados ao sistema contínuo água subterrânea-planta-solo-homem-animal.

A sociedade consumista e industrializada gera uma grande quantidade e variedade de resíduos sólidos. A composição do resíduo é muito heterogênea e inclui plásticos, papel, vidro, madeira metais e têxteis. Resumindo, qualquer coisa é descartada. As fontes dos resíduos também são amplas e variadas tais como indústria, empresas comerciais, agricultura, mineração e residências. Estes resíduos são perigosos porque têm a propensão de liberar poluentes no ambiente. Resíduos perigosos são aqueles que possuam qualquer uma das quatro características seguintes – seja reativo, corrosivo, ignífero ou tóxico (ou é cancerígeno/que provoca mutação/teratológico). Resíduos dispostos sobre a terra, um dos mais antigos métodos de colocar o lixo, permitem que materiais tóxicos sejam lixiviados em direção à subsuperfície, liberando odores para a atmosfera além de atrair pestes e incubar doenças. A incineração do lixo libera para a atmosfera poluentes como metais, óxidos gasosos (óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre) e outros materiais. Atualmente os “lixões” têm sido substituídos por aterros sanitários onde os resíduos são depositados em covas preparadas, enterrados e cobertos.

Como avança a compreensão dos trabalhos ambientais, naturalmente isto também ajuda nos esforços de conter a perturbação. Contudo, tem que ser mencionado que a cruzada contra exemplos de perturbação como a poluição é o principal esforço para o avanço desta disciplina.

Ferramentas formam novas tecnologias e os avanços das técnicas analíticas desempenham um papel crítico na Geologia Médica. Johnson (1997) muito propriamente declara que pouca consciência de impactos ambientais ou desenvolvimento dos conceitos geoquímicos podiam ter acontecido sem avanços importantes nas técnicas analíticas de forma a medir baixas concentrações de metais e de substâncias químicas orgânicas na água. Continua a dizer que o avanço tecnológico em instrumentação ocorreu por um refinamento na espectrofotometria de absorção atômica (Mancy, 1971). Isto teve um grande sucesso por causa de sua grande velocidade, baixo custo, simplicidade e pela pouca interferência da matriz de água ou de solução que estavam sendo analisadas. A análise de compostos orgânicos melhorou bastante desde o início dos anos 70 com os avanços em cromatografia de gás/espectrometria de massa computadorizados (Keith, 1976).

ASPECTO TRÊS: MATERIAIS E ECOTOXICOLOGIA

O terceiro aspecto envolve ecotoxicidade que lida com os efeitos adversos de materiais tóxicos em sistemas naturais e avalia seu impacto potencial. Um background (nível básico) representa concentrações naturais,. Assim valores de background de elementos ou substâncias químicas são aqueles que ocorrem naturalmente no ambiente. Aqueles em concentrações acima do background

são considerados como contaminadores. Quando elementos ou substâncias químicas ocorrem em níveis que são potencialmente prejudiciais eles são considerados como contaminantes ou de risco. Os exemplos de elementos tóxicos mais bem estudados são mercúrio, arsênico etc. As formas ou especiação² destes elementos e combinações são importantes para se determinar a sua biodisponibilidade, isto é, seu método de absorção e incorporação no tecido de animal e planta. Alguns exemplos de efeitos de toxicidade são a acumulação do Hg nos núcleos dos granulócitos (*neutropil granulocytes*) associado com a exposição ao amálgama dental (Lindvall *et al.*, 2003), substâncias minerais em vasos sanguíneos humanos e sua dissolução *in vitro* (Pawlikowski, 2003) e os efeitos do enriquecimento de zinco, na água potável, sobre o cérebro e a memória (Jones *et al.*, 2003)

ASPECTO QUATRO: ANÁLISE COLETIVA DOS FATORES

O quarto aspecto envolve a análise coletiva dos diversos fatores. Os diferentes fatores têm que ser estudados conjuntamente para se obter um entendimento holístico que represente bem uma área. Uma importante ferramenta neste estudo é o GIS (Geographic Information System) para representar espacialmente os dados oriundos das diversas disciplinas permitindo a coleta e a análise simultânea de dados e facilitando a sua manipulação. Estes dados espaciais, por exemplo, podem ser definidos usando uma das abordagens mencionadas por Quiroga *et al.* (1996) isto é cada categoria de informações interrelacionadas formaria uma camada de dados. Com a utilização do GIS a demarcação das zonas espaciais de risco, baseada nos níveis de concentração dos elementos essenciais e tóxicos e nas informações geológicas e epidemiológicas compiladas, representa uma ferramenta muito potente para se determinar à ligação entre a saúde e os elementos químicos.

CONCLUSÃO

A grande força da Geologia Médica é fornecer um gerenciamento para prevenir e, otimizando, eliminar as ameaças à saúde que provêm do Sistema Terra. Isto é dar o suporte ao esforço para descobrir o efeito do Sistema Terra na saúde, especialmente as perturbações ocorridas no sistema pelas interferências antropogênicas. Isto envolve observar os diversos aspectos do Sistema Terra individual ou simultaneamente, nos vários níveis mencionados, de modo a entendê-los e as suas interações e conseguir, assim, uma compreensão integrada, necessária para diagnósticos e prognósticos.

REFERENCES

- Adriano, D.C., 1986, *Trace elements in the terrestrial environments*, Springer Verlag, New York.
- Alloway, B.J., 1995, *Introduction In Heavy Metals in Soils*, B. J. Alloway, Ed., Blackie Academic and Professional, London, 3-10.
- Carson, Rachel. 1962. *Silent Spring*. Houghton Mifflin, Boston.
- Centeno, J.A.; Mullick, F.G. & Ejniak, J.W., 2003, *Medical Geology: An Emerging Discipline in Support of Environmental and Military Medicine*, Natural Science and Public Health: Prescription for a Better Environment, U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior. Open-File Report 03 - 097.
- Derbyshire, E., 2003, Natural Dust and Pneumoconiosis in High Asia, *Geology and Health*, Oxford University Press.
- Dissanayake, C. B. & Chandrajith, R., 1999, Medical geochemistry of tropical environments, *Earth-Science Reviews*, 47, 219-258.

² forma de apresentação na substância (exs. como sais, óxidos etc).

Eaton, D. L. & Robertson, W.O., 1994, *Toxicology* In *Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine*, L. Rosenstick & M. R. Cullen, Eds. WB Saunders Company, Philadelphia, 116 -117.

Edmunds WM, Smedley PL., 1996, *Groundwater geochemistry and health: an overview* In *Environmental Geochemistry and Health*, J. D. Appleton, R. Fuge, G. J. H. McCall, Eds., Geological Society London, Special Publication No. 113, 91-95.

Finkelman, R. B., Skinner, H. C. W, Plumlee, G. S. & Bunnell, J. E., 2001, *Medical Geology*, *Geotimes*, November.

Finkelman, R.B. *et al.*, 2003, *Geological Epidemiology: Coal Combustion in China*, *Geology and Health*, Oxford University Press.

Geotimes Staff, 2001, *Earth Materials and Public Health*, *Geotimes*, November.

Gough LP (comp)., 1993, *Understanding Our Fragile Environment*, U.S. Geological Survey Denver, Colorado, Circular 1105.

Grattan, J. *et al.*, 2003, *Human Sickness and Mortality Rates in Relation to the Distant Eruption of Volcanic Gases: Rural England and the 1783 Eruption of the Laki Fissure, Iceland*, *Geology and Health*, Oxford University Press.

Griffin, D.W.; Kellogg, C.H., Garrison, V.H. & Shinn, E.A., 2002, *The Global Transport of Dust*, *American Scientist*, May-June.

Hillerdal, G., 2003, *Health Problems Related to Environmental Fibrous Minerals*, *Geology and Health*, Oxford University Press.

Holdgate, M. W., 1979, *A Perspective of Environmental Pollution*, Cambridge University Press, Cambridge.

Johnson K. O., 1997, *Advancement of Environmental Geochemistry*, 213th American Chemical Society National Meeting, San Francisco CA, 13-17 April.

Jones, B.F., Conko, K.M., Flinn, J.M., Linkous, D.H., Lanzirrotti, A., Frederickson, C.J., Bertsch, P.M., Friedlich, A. & Bush, A.I., 2003, *Effects of Enhanced Zinc in Drinking Water on Brain and Memory*, Natural Science and Public Health: Prescription for a Better Environment, U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior. Open-File Report 03 - 097.

Keith, L. H. 1976. *Identification and Analysis of Organic Pollutants in Water*. Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, U.S.A.

Larocque, A. C. L. & Rasmussen, P. E., 1998, *Environmental Geology* 33 (2/3) February, Springer-Verlag.

Lindvall, A. *et al.*, 2003, *Nuclear Accumulation of Mercury in Neutrophil Granulocytes Associated with Exposure from Dental Amalgam*, *Geology and Health*, Oxford University Press.

Mancy, K. H. 1971. *Instrumental Analysis for Water Pollution Control*. Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, U.S.A.

Moeller, D.W., 1997, *Environmental Health*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., U.S.A.

Naidu, R. & Nadebaum, P.R., 2003, Geogenic Arsenic and Associated Toxicity Problems in the Groundwater-Soil-Plant-Animal- Human Continuum, *Geology and Health*, Oxford University Press.

Nriagu, J.O., 1996, History of Global Metal Pollution, *Science*, 272(5259), 223-224.

Pawlikowski, M., 2003, Minerals in Human Blood Vessels and their Dissolution *in vitro*, *Geology and Health*, Oxford University Press.

Pew Environmental Health Commission, 2001,
<http://pewenvirohealth.jhsph.edu/html/home/home.html>

Quiroga, C.A.; Singh, V.P. & Iyenger, S.S. 1996. Spatial Data Characteristics. In *Geographical Information Systems in Hydrology*, VP Singh & M. Fiorentino, Eds., Kluwer Academic Publishers, p 65 e 89.

Silver C. S. & Rothman D.S., 1995, *Toxics and Health: The Potential Long-Term Effects of Industrial Activity*, World Resources Institute, Washington, D.C.

Skinner, H.C.W., 2003, Geochemistry and Vertebrate Bones, *Geology and Health*, Oxford University Press.

Smith A.H., Lingas, E.O. & Rahman, M., 2000, *Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency*. Bull World Health Organization, 78 (9): 1093-1103.

Sutton, A.J.; Elias, T.; Tam, E.K.; Kunimoto, J.; Avol, E.L.; Dockery, D.W. & Ray, J.D., 2003, *Working toward a better understanding of health hazards caused by volcanic air pollution on the Island of Hawaii*, Natural Science and Public Health: Prescription for a Better Environment, U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior. Open-File Report 03 - 097.

WHO, 2000, *Environmental Health Indicators: Development of a Methodology for the WHO European Region*, Interim Report, WHO Euro Publication EUR/00/5026344.