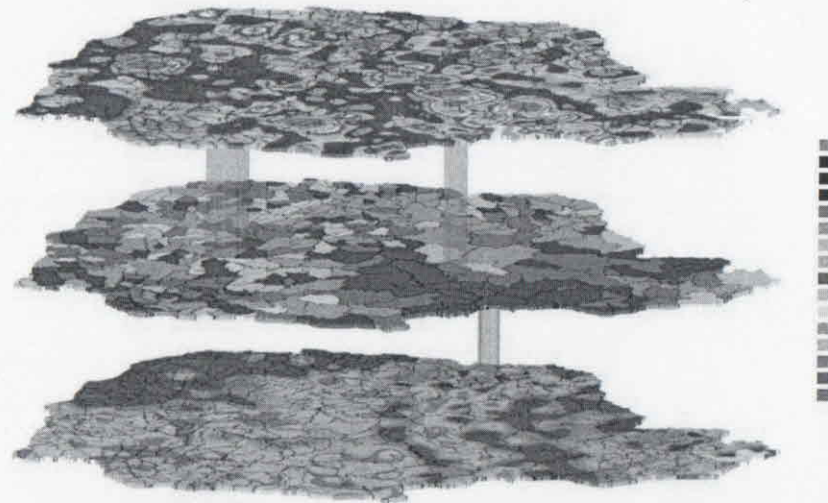


# GEO MEDICINA NO PARANÁ



**Bonald C. Figueiredo**

**Humberto C. Ibañez**

Organizadores

junho 2009

## SUMÁRIO

Apresentação..... 2

**1** Geoquímica ..... 4

**2** Geomedicina e Agronegócio..... 29

**3** Sistema de *Web Mapping*..... 41

**4** Agrotóxicos e Câncer..... 72

Referências ..... 89

ISBN 978-85-61874-02-5



## GEOMEDICINA E AGRONEGÓCIO

### Paulo César de Camargo

UFPR - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia -  
Departamento de Física

RIPA - Rede de Inovação e Prospecção Tecnológica para o  
Agronegócio

SETI - Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Ensino  
Superior

### Paulo Estevão Cruvinel

EMBRAPA - Instrumentação Agropecuária (CNPDIA)

USP - Instituto de Estudos Avançados (IEA - São Carlos)

RIPA - Rede de Inovação e Prospecção Tecnológica para o  
Agronegócio

### Sergio Mascarenhas de Oliveira

USP - Instituto de Estudos Avançados (IEA - São Carlos)

RIPA - Rede de Inovação e Prospecção Tecnológica para o  
Agronegócio

### Bonald Cavalcante de Figueiredo

IPPPP - Instituto de Pesquisa Pelé Pequeno Príncipe

FPP - Faculdades Pequeno Príncipe

UFPR - Centro de Genética e Pesquisa do Câncer em Crianças

Este capítulo apresenta reflexões para a organização de um programa cooperativo no âmbito da GeoMedicina, com ênfase nos assuntos relacionados com o uso do solo e da água em processos agropecuários, florestais e da agroenergia, de interesse para a saúde no meio rural e urbano. Problemas desta natureza têm encontrado até o presente momento soluções pontuais, em que pesem os significativos esforços já realizados. Assim, a preocupação com uma abordagem sistêmica que envolva análise de risco e a organização de um arcabouço de gestão estratégica, que trabalhe a diversidade regional e que melhore a acessibilidade ao conhecimento, o manejo sustentável dos recursos naturais, em particular, do solo e das águas, bem como a educação para o consumo de alimentos seguros, passa a ser uma prioridade para a saúde humana e dos demais animais no planeta. Por outro lado, este novo paradigma se estabelece à medida que uma melhor articulação institucional ocorre na sociedade, de forma que seus setores possam juntos definir a visão de futuro desejado. Neste contexto, no Brasil, um modelo auxiliar desta construção e que contempla interesses do setor produtivo, da academia, do terceiro setor e de governo, vem sendo estabelecido pela Rede de Inovação e Prospecção Tecnológica para o Agronegócio (RIPA). Esta rede, concebida no âmbito do Comitê Gestor do Fundo Setorial de Agronegócio, decorre do convênio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) com o Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo (IEA-São Carlos), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a Associação Brasileira de Agribusiness (ABAG), o Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) e a Local Information System (LISTEN).



A produção agropecuária, florestal e de agroenergia intensiva e as mudanças nos padrões de produção *in natura* e industrializados, vêm causando impacto e forte pressão para as cadeias produtivas, tornando-se desafios a serem vencidos em curto e médio prazo, onde a sanidade, a presença de contaminantes, o processamento e a industrialização interferem na segurança do produto para o consumo.

As incertezas imprimem, geram e implicam riscos (CONWAY, 1982). Riscos são definidos como a probabilidade ou possibilidade da ocorrência de valores para determinados eventos e fenômenos, indesejáveis e/ou adversos. Processos importantes relacionados ao agronegócio como: medições, observações, avaliações e tomadas de decisão, podem ser influenciados por várias fontes de incertezas. Isto leva a estabelecer a convivência contínua e inevitável com inúmeros tipos de risco. Riscos podem possuir diferentes conotações, como as de ordens físicas, estruturais, econômicas, sociais, ambientais e para a saúde.

O entendimento das questões sanitárias e fitossanitárias do agronegócio internacional levam à especificação das questões da avaliação do risco e determinação do nível adequado de proteção sanitária ou fitossanitária com base em prova científica disponível, processos pertinentes e métodos de produção, inspeção, amostragem, detecção, prevalência de pragas e doenças específicas, existência de áreas livres de pragas ou resíduos, condições ecológicas e ambientais pertinentes, entre outros.

Neste novo paradigma global, para a conquista e manutenção de novos mercados, os governos devem estar abertos e participar cada vez mais ativamente dos fóruns internacionais, analisando as normas e regulamentos que estão sendo elaborados e sugeridos para

disciplinar tais mercados, bem como buscar o aperfeiçoamento e desenvolvimento de tecnologias que melhorem as condições sanitárias e fitossanitárias dos produtos agrícolas. Para que isto seja cumprido, a efetividade e o sucesso dos sistemas de proteção de plantas devem se basear na integração entre os conhecimentos e mecanismos estruturais que auxiliem o controle da produção, o que envolve qualidade de solo e da água e a logística implementada para a pós-colheita e fase de consumo. Qualquer falha em uma destas etapas poderá acarretar danos irreparáveis para o País, podendo deixar vulnerável a sua segurança e soberania, com comprometimento da saúde de seus habitantes.

A proteção vegetal em termos mundiais, também, está sob a égide da Convenção Internacional de Proteção Vegetal, a qual iniciou suas atividades em 1952, revisando todos os acordos internacionais existentes de proteção de plantas. Sua principal atribuição é a de assegurar que ações comuns e efetivas sejam tomadas para prevenir a dispersão e introdução de pragas de plantas e de produtos de plantas, e para promover medidas apropriadas para o controle.

Atualmente, há certa preocupação com a velocidade em que essas mudanças estão ocorrendo nos países em desenvolvimento, forçando e sinalizando a necessidade de se apoiar de maneira eficiente a busca de maior competitividade com efetivas parcerias ou a reconversão das atividades produtivas mais afetadas por essa transição. Os países que demonstram maior sucesso nessa travessia são os que adotaram políticas adequadas à nova realidade, tais como investimento em ciência e tecnologia, educação e treinamento, infraestrutura rural, difusão de informações e melhoria da qualidade de vida.



Adicionalmente, as mudanças nos cenários nacionais e internacionais têm exigido um forte ajuste nas políticas tecnocientíficas do País, em razão da necessidade de se incorporarem inovações às atividades produtivas. Com isso, o agronegócio ganhou destaque especial pelo seu caráter estratégico para o desenvolvimento sustentável.

O desafio decorrente deste novo paradigma é a inserção do sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I) nas atividades produtivas, que vêm passando, pelo menos em parte, por um processo onde a capacitação tecnológica é essencial. Essa inserção processa-se diferentemente na ciência – orientada para o conhecimento e a excelência – e na tecnologia/inovação – orientada para o mercado e para o atendimento das necessidades da sociedade, sendo a saúde uma das principais necessidades recorrentes. Embora seguindo processos diferentes, a distância entre a pesquisa básica e as inovações voltadas ao mercado é cada vez menor, assim processos de nanotecnologia já encontram aplicações, especialmente em sensores que monitoram o ambiente e a saúde animal (SCOTT, 2005).

No campo da cooperação internacional, a política de C,T&I se vê diante da imperiosa necessidade de iniciativas transformadoras no atual modelo, face ao dinamismo dos avanços tecnológicos mundiais. Os novos focos de cooperação internacional demandam atualização e ampliação de conceitos, reprogramação de atividades, criação de instrumentos e aperfeiçoamento institucional.

No que diz respeito ao potencial do agronegócio brasileiro, basta citar que o País ainda dispõe de áreas agricultáveis em torno de 180 milhões de hectares, do total de 880 milhões de hectares de seu território. Atualmente, no Brasil, são utilizados em torno de

40 milhões de hectares nas atividades agrícolas e em torno de 60 milhões de hectares nas atividades da pecuária. Em curto prazo, mais 80 milhões de hectares de cerrados também podem se tornar um celeiro para a produção nacional, inclusive com o uso de áreas já degradadas. Soma-se a isto a significativa reserva de água doce existente. Particularmente, deve-se ressaltar que o Brasil poderá se favorecer desses recursos naturais, os quais são escassos na grande maioria dos países, bem como pelo crescimento mundial da demanda por alimentos, fibras e energia.

### **A Rede de Inovação e Prospecção Tecnológica para o Agronegócio (RIPA)**

---

Os Fundos Setoriais de C&T foram criados para incentivar o desenvolvimento científico e tecnológico em áreas estratégicas e construir uma nova forma de financiamento de investimentos em C&T. Neste contexto, o Fundo Setorial de Agronegócio (CT-Agro) foi criado pela Lei 10.332, de 19/12/2001, e regulamentado pelo Decreto 4.157, de 12/03/2002. O CT-Agro tem por objetivo ampliar investimentos nas pesquisas de sistemas, técnicas, métodos e processos que propiciem qualidade e aumento de competitividade dos produtos agropecuários do Brasil, tanto no mercado interno como para exportação, inclusive frente a um novo paradigma da agricultura tropical, a qual não só se relaciona a uma agricultura para alimentos, como também para fibras e energia.

Em meados de março de 2004, o Comitê Gestor do CT-Agro, de forma a buscar subsídios para o processo de articulação de suas prioridades, implementou a Rede de Inovação e Prospecção Tecnológica para o Agronegócio (RIPA).



Dentre seus macro-objetivos, esta rede busca: organizar um observatório para prospecção tecnológica para o agronegócio, para monitorar o panorama regional da inovação tecnológica; fomentar a inovação tecnológica no agronegócio e identificar nichos diferenciais frente ao cenário nacional e mundial; organizar base de dados e conhecimento do agronegócio da região para suporte à tomada de decisão; promover e realizar atividades de avaliação de estratégias e de impactos econômicos e sociais das políticas, programas e projetos científicos e tecnológicos; bem como promover a interlocução, articulação e interação dos segmentos de Governo, Ciência e Tecnologia, Setor Produtivo e Terceiro Setor. A *Figura 13* ilustra a estrutura esquemática da RIPA.



*Figura 13* - Estrutura esquemática da RIPA

A elaboração de suas bases vem sendo desenvolvida considerando a análise do ambiente externo, avaliação das oportunidades, ameaças e demandas futuras do agronegócio do Brasil. Neste contexto, o desenvolvimento da RIPA, desde a sua implementação, já proporcionou os seguintes resultados (RIPA/FINEP, 2006):

- Realização de “workshops” nas cinco regiões brasileiras, reunindo representantes de Governo, Academia, Empresas e Terceiro Setor. Nestes “workshops” produziu-se um mapeamento inicial de competências e de Grandes Plataformas de Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I), bem as Grandes Plataformas de Gestão e Administração (G&A); como subsídios para políticas públicas no agronegócio, em cada uma das regiões brasileiras;
- O Portal Ripa, [www.ripa.com.br](http://www.ripa.com.br), propicia notícias e recursos de interação virtual. Os Núcleos regionais são as bases para a formação de um sistema de Inteligência Competitiva no agronegócio brasileiro, alimentado diretamente pelas bases políticas, científicas e empresarias de cada região do País.

Atualmente a RIPA busca estabelecer um mecanismo descentralizado e sistêmico que possa subsidiar o Comitê Gestor do CT-Agro, agências de fomento, outros Ministérios afins, instituições de pesquisa, setor produtivo, terceiro setor e tomadores de decisão, no estabelecimento de prioridades e na promoção de estudos, projetos e iniciativas que pressuponham decisões de natureza estratégica baseadas na inovação tecnológica, tendo por fim o desenvolvimento do agronegócio e da sociedade brasileira.



## A Geomedicina

Embora utilizado desde 1931, Zeiss (1931, *apud* LÅG, 1990) somente agora o termo geomedicina passou a ser utilizado como sinônimo de medicina geográfica, identificado como um ramo da medicina onde os métodos geográficos e cartográficos são utilizados para a apresentação de resultados da pesquisa médica, enfatizando a necessidade da colaboração entre geólogos, médicos, bioquímicos, epidemiologistas, veterinários e botânicos com geógrafos, meteorologistas, cientistas do solo, entomologistas e outros profissionais.

Não constituem o interesse primário da GeoMedicina os aspectos tratados na medicina do trabalho e na saúde ocupacional, nem as intoxicações agudas e catastróficas provocadas por desastres ambientais. Esse fato é importante na caracterização geral da Geomedicina pois ela tem como objeto de estudo os distúrbios da saúde provocadas por alterações mínimas nas concentrações de elementos químicos e outras substâncias tóxicas em regiões bem delimitadas, que provocam moléstias de natureza endêmica e cujos efeitos serão sentidos em médio e longo prazo.

Os perfis do solo e a sua composição química e das águas são controlados fundamentalmente pela mineralogia das rochas originais, submetidas à ação dos processos de intemperismo físico e químico e de mobilização, dispersão e concentração dos elementos. Esses processos naturais dão origem a um conjunto de materiais, que podem ser divididos em três grandes categorias: (a) minerais resistentes, *resistatos*, e que são preservados; (b) minerais neoformados nas novas condições de equilíbrio físico-químico; e (c) carga iônica livre nas águas ou sorvida à superfície de argilominerais, matéria orgânica, óxidos hidratados de Fe, Mn. As

possibilidades e a intensidade de captura de elementos químicos, sejam nutrientes sejam tóxicos, na cadeia trófica, está associada às formas iônicas e livres e controladas pela sua biodisponibilidade (O'NEIL, 1985; LICHT, 2001).

Em processos agropecuários, florestais e de agroenergia, há uma relação importante a ser observada, a qual trata dos aspectos dos elementos químicos. Com relação aos macro e micronutrientes essenciais, bem como outros elementos de importância secundária ou ainda desconhecida, pode ser observado que a concentração adequada e sua disponibilidade para a saúde das plantas têm caráter fundamental. Por outro lado, a ingestão de doses equivocadas por humanos ou animais, por meio de plantas, água ou ar podem levar a danos de grande monta. A investigação desses processos e das relações de causa-efeito dos elementos químicos, sejam originados de fontes naturais ou então da ação antrópica, com a saúde humana, é objeto da Geomedicina.

Entre os fatores exteriores encontram-se os climáticos, que influenciam fortemente a qualidade ambiental, que condiciona as composições mineralógicas e químicas dos solos e das águas. Acompanhando os fenômenos de mobilidade social e de ocupação dos espaços rurais, uma enorme quantidade de processos e de produtos é responsável pela alteração do quimismo da natureza. Desse conjunto, é importante enumerar os insumos da atividade agropecuária como o calcário para neutralização da acidez do solo, o sal para suplementação alimentar do gado, os fertilizantes fosfatados para aumento da produtividade agrícola e, principalmente, as centenas de produtos químicos conhecidos genericamente como pesticidas. Os últimos, compreendem princípios ativos de elevada persistência ambiental como os organoclorados e bromados, atualmente proibidos, mas



amplamente utilizados no passado, que compõem estoques/passivos ambientais de elevada toxidez e de comprovada ação carcinogênica. A lenta degradação desses estoques/passivos provoca efeitos de longo prazo na saúde da população, especialmente a rural, sem acesso a fontes de água tratada.

A Geomedicina é, assim, uma área de contato de diversos ramos da ciência e que se baseia em ações de natureza sistêmica ou holística na investigação dessas relações de causa-efeito entre o quimismo ambiental e a saúde. O geólogo e o geoquímico contribuem com informações sobre as fontes naturais de elementos químicos, o agrônomo com as fontes agrícolas, o toxicologista com as possibilidades de agravos à saúde e as intoxicações agudas e crônicas, o geneticista com as possibilidades de alterações no quadro genético, o geógrafo com as relações espaciais entre os tipos e formas da ocupação do espaço e a distribuição de moléstias, o sociólogo com a caracterização dos grupamentos humanos, o estatístico com o tratamento dos dados multivariados e de diversas origens e o analista de geoprocessamento na representação cartográfica dos resultados na forma de mapas. Somente com essa multiplicidade e complexidade de pontos de vista é viável identificar a ocorrência de moléstias endêmicas.

A modelagem do geoprocessamento, com representação cartográfica de elementos químicos (ou substâncias tóxicas) e da morbi-mortalidade para doenças, pode de imediato mostrar uma possível relação de causa (agente químico) e efeito (incidência da doença).

Muito embora seja este o objetivo pretendido, alertamos para o fato de que este tipo de correlação pode ser apenas uma coincidência e por isto exige estudos posteriores mais específicos

como coorte. Da mesma forma, coorte não tem condições de definir causalidade, mas é capaz de abordar hipóteses etiológicas e reunião de evidências sobre a associação entre o agente químico e a consequência (doença), geralmente em estudo prospectivo, mas também de forma retrospectiva. Neste tipo de estudo, a longitudinalidade ou seguimento comparam a experiência, ao longo do tempo, de um grupo exposto e outro não exposto ao agente químico e o evento (doença). Considerando que o resultado do estudo de coorte também sugere uma relação de causa e efeito, seria ainda preciso experimentar *in vitro* e/ou *in vivo* com animais de laboratório para definir a causalidade. Assim, é preciso que as informações e conclusões não sejam precipitadas. Para se avaliar um grande número de dados distribuídos por região, o profissional em ciência da computação poderá facilitar o trabalho de triagem, permitindo, por exemplo, a implementação de sistema de busca pela correlação entre agente e evento. A geomedicina poderia se estender também ao estudo dos fatores físicos e biológicos, e até mesmo considerar que a parte genética ou biológica da população exposta pode facilitar ou dificultar o aparecimento de doença. Com isso, alguns indivíduos ou subpopulações, de diferentes etnias, podem apresentar risco significativamente maior de desenvolver câncer quimicamente induzido do que a média populacional, devido às diferenças expressivas nos processos de ativação e detoxificação (IDLE, 1991; GILLILAND, 1997; CAPORASO, 1999). Grande parte dos pró-carcinógenos químicos presentes no meio ambiente são quimicamente inertes. Para tornarem-se metabólitos altamente reativos, capazes de ligarem-se ao DNA e exibirem atividade carcinogênica, necessitam da ativação metabólica pelas enzimas oxidativas (de ativação) da fase I, que são principalmente enzimas da superfamília Citocromo P450. Dessa forma, através da introdução de um ou mais átomos de oxigênio ou grupamentos hidroxila no



substrato, um pró-carcinógeno pode tornar-se carcinógeno, como o benzo[a]pireno que é convertido em epóxido de benzo[a]pireno, uma substância altamente carcinogênica (NEBERT et al., 1991; PERERA, 1996; SHIMADA e FUJI-KURIYAMA, 2005). Assim, cada indivíduo, dependendo do grupo racial e da sua condição biológica normal ou modificada (herdada de um dos pais ou adquirida após o nascimento), pode apresentar alguma suscetibilidade a um determinado agente químico. Esta característica é geralmente estimada por meio de um ou mais marcadores biológicos (biomarcadores). Biomarcador pode ser definido como método, estrutura ou processo que se encontra na via causal, ou intimamente ligado a esta, entre o momento da exposição e a doença (por exemplo, em qualquer etapa do processo carcinogênico) (BARTSCH, 2000).

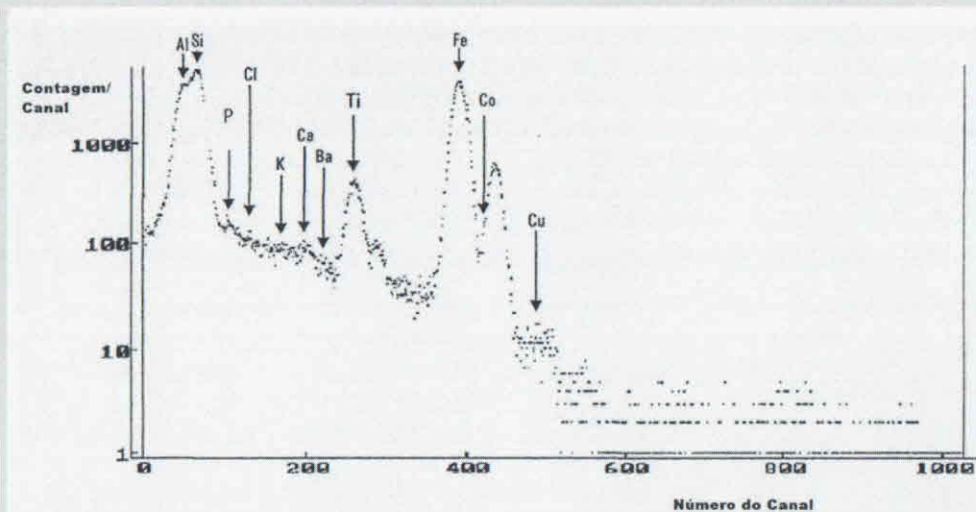


Figura 14 - Espectro de linhas características de Raios X de uma amostra de solo erodido. O espectro foi obtido com uso da técnica de indução de Raios X por partículas (PIXE) com um feixe de prótons de 2,4 MeV de energia incidente, corrente típica de 15nA e carga de 81C (CRUVINEL et al, 1993)

## A Produção e os Elementos Minerais

Dentro de um ecossistema, o solo é o elemento que desempenha a importante atividade de sustentar e alimentar os vegetais, além de funcionar como reservatório de água deste ecossistema. O que o solo contém, em si, é uma imensa quantidade de formas de vida como vírus, bactérias, fungos, algas, protozoários, nematóides, anelídeos, artrópodes (WIKIPÉDIA, 2006) e elementos minerais.

A Figura 14 apresenta um espectro de linhas características de Raios X, que ilustra a presença de elementos em uma amostra de solo erodido. O espectro foi obtido com uso da técnica de indução de Raios X por partículas (PIXE), com um feixe de prótons de 2,4 MeV de energia incidente, corrente típica de 15nA e carga de 81C.

O estudo do crescimento vegetal envolve a caracterização de elementos minerais essenciais. Um nutriente essencial é aquele sem o qual a planta não cresce normalmente, nem completa o seu ciclo de vida, a menos que uma quantidade mínima desse nutriente lhe seja suprida.

As culturas em meio arenoso propiciam às plantas um meio físico de sustentação ao qual são adicionados os nutrientes. Os nutrientes essenciais são requeridos pelas plantas em determinadas quantidades, variáveis conforme a espécie e o estado de desenvolvimento. Esses elementos encontram-se nos solos em diferentes combinações químicas, sendo só alguns desses passíveis de serem absorvidos pelas plantas.



Além do Hidrogênio (H), Oxigênio (O) e Carbono (C), as plantas também necessitam de elevadas quantidades de nitrogênio, (N) Fósforo (P), Potássio (K), Enxofre (S), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), que por isso se designam macronutrientes. No entanto, também necessitam de pequenas quantidades de Boro (B), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Molibdênio (Mo), Ferro (Fe) (que pode ser macro) e Cloro (Cl), pelo que se designam, estes, micronutrientes ou oligoelementos.

Além dos nutrientes essenciais, existem nutrientes benéficos que, apesar de não serem essenciais, são favoráveis ao crescimento vegetal (Al, Co) e nutrientes intercambiáveis, que são aqueles que desempenham as mesmas funções, podendo ser substituídos por outros (Sr, Ca).

O Nitrogênio (N) entra principalmente na constituição de compostos orgânicos (ácidos nucleicos, proteínas, enzimas, clorofila), sendo um nutriente móvel. Em excesso provoca um crescimento vegetal acelerado, originando folhas de cor verde-escura. A vegetação passa a ser mais suculenta, ocorre uma diminuição da resistência a doenças, um retardamento da floração e o ciclo de vida é encurtado. A carência de nitrogênio reduz o crescimento foliar e provoca a clorose foliar. Os ramos caulinares ficam púrpuros ou vermelhos, localizando-se inicialmente os sintomas em partes velhas da planta.

O Fósforo (P) também intervém na formação de compostos orgânicos, especialmente ATP e fosfolipídios, sendo um nutriente móvel. Não se conhece sintomatologia para o seu excesso. A carência de fósforo reduz o crescimento caulinar e radicular e provoca o aparecimento de áreas necróticas nas folhas e pecíolos, células que deixaram de conseguir fazer o seu metabolismo e morreram. As folhas jovens têm tendência para escurecer ou ficar verde-azuladas,

enquanto que as mais velhas ficam vermelhas. Numa fase inicial, os sintomas acentuam-se nas partes mais velhas da planta.

O Enxofre (S) intervém na síntese de compostos orgânicos, em especial vitaminas e enzimas, sendo um nutriente imóvel. Não se conhece os sintomas para o seu excesso. A carência de enxofre reduz o crescimento vegetal, provocando a clorose foliar. Inicialmente, os sintomas acentuam-se nas zonas mais jovens da planta.

O Cálcio (Ca) é um componente da parede celular vegetal, sendo necessário à manutenção da estrutura, à ativação da amilase e à vitalidade das zonas meristemáticas, sendo um nutriente imóvel. Em excesso, altera o ritmo da divisão celular. A carência de cálcio origina malformações nas folhas jovens, curvamento dos ápices, clorose marginal que progride para necrose, redução do crescimento radicular e mudança da coloração das raízes.

O Magnésio (Mg) é um constituinte da clorofila e das proteínas, bem como de cofatores enzimáticos, sendo essencial ao funcionamento dos ribossomos. É um nutriente móvel que, em excesso, provoca interferências na absorção de cálcio e potássio. A carência de magnésio provoca cloroses intervenais, necrose foliar, encurtamento de entrenós, redução do crescimento vegetal, inibição da floração, morte prematura das folhas e degeneração dos frutos. Inicialmente, os sintomas acentuam-se nas zonas mais velhas das plantas.

O Potássio (K) é um regulador osmótico necessário à atividade enzimática e à síntese protéica, sendo um nutriente móvel. A carência de potássio provoca um crescimento vegetal reduzido, clorose matizada da folha, manchas necróticas, folhas recurvadas e enroladas sobre a face superior e encurtamento de entrenós.



Por outro lado, o Ferro (Fe) é um constituinte do grupo prostético de proteínas, necessário à síntese de clorofila e à divisão celular, sendo um nutriente imóvel. A carência de ferro provoca uma extensa clorose foliar em que as nervuras permanecem verdes, uma redução do crescimento vegetal e inibição do desenvolvimento de primórdios foliares. Inicialmente, os sintomas acentuam-se nas zonas mais jovens das plantas.

O Cobre (Cu) é um componente de metalo-enzimas, sendo um nutriente imóvel. Não se conhece sintomatologia para o seu excesso. A carência de cobre altera a tonalidade das folhas, tornando-as verde-azuladas e enroladas onde aparecem cloroses intervenais e necroses.

O Manganês (Mn) é um ativador enzimático, que controla reações de oxi-redução essenciais à fotossíntese e à síntese de clorofila, sendo um nutriente imóvel. Não se conhece sintomatologia para o seu excesso. A carência de manganês provoca clorose intervenal nas zonas mais jovens, enrolamento e queda de folhas, afetação do embrião e aparecimento de pontos necróticos espalhados nas folhas. Inicialmente, os sintomas acentuam-se nas zonas mais velhas das plantas.

O Zinco (Zn) é um ativador enzimático, sendo um nutriente móvel. Não se conhece sintomatologia para o seu excesso. A carência de zinco provoca uma redução do crescimento vegetal, impedindo o alongamento dos caules e a expansão foliar e interfere com a frutificação. Inicialmente, os sintomas acentuam-se nas zonas mais jovens das plantas.

O Molibdênio (Mo) é essencial para a fixação de nitrogênio e assimilação de nitratos, sendo um nutriente imóvel. Não se conhece sintomatologia para o seu excesso. A carência de Mo origina manchas cloróticas intervenais seguidas de necrose marginal e

enrolamento foliar, interferindo com a frutificação. Inicialmente, os sintomas acentuam-se nas zonas mais jovens das plantas.

O Boro (B) é um regulador de metabolismo necessário à translocação de açúcares, sendo um nutriente imóvel. Não se conhece sintomatologia para o seu excesso.

O Cloro (Cl) é necessário à fotossíntese, sendo um nutriente móvel. Em excesso provoca clorose e necrose foliar. A carência de cloro reduz o crescimento vegetal em mais de 50% e provoca o aparecimento de folhas murchas por clorose e necrose, bem como o atrofiamento das raízes.

O monitoramento e quantificação de elementos químicos nos solos, água e ar em níveis adequados que podem ser medidos em  $\eta\text{g}/\text{mg}$  (ppb) ou  $\rho\text{g}/\text{g}$  (ppt), de forma contínua, é um dos aspectos de grande relevância em programas que garantam condições adequadas para a saúde vegetal, animal e humana.

## Biodisponibilidade e Efeitos Tóxicos

Efeitos tóxicos que prejudicam a saúde humana (BORJA & MORAES, 2003) por parte de elementos químicos, comprovados em estudos epidemiológicos e em experiências de laboratório com mamíferos, incluindo humanos, são correlacionados diretamente à biodisponibilidade dos elementos e indiretamente a fatores geoquímicos, químicos e biológicos que os influenciam (APPLETON et. al, 1996; DISSANAYAKE & CHANDRAJITH, 1999; BELL, 2001). A *Figura 15* ilustra a especiação química dos elementos no ambiente superficial em função do potencial iônico (razão carga/raio), suas formas móveis e sua influência na biodisponibilidade.



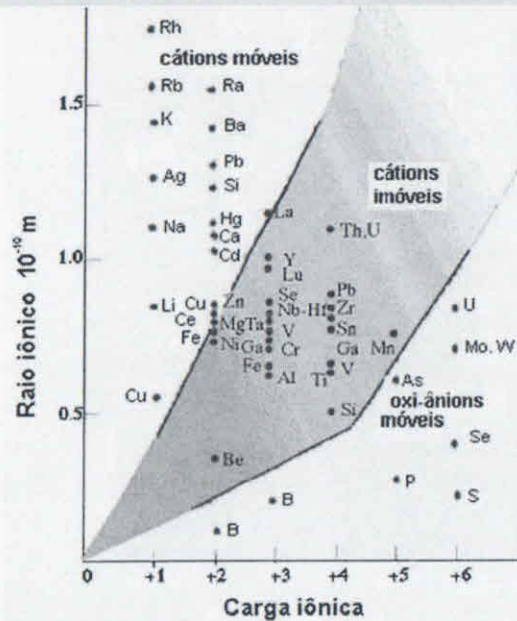


Figura 15 - Espécies químicas dos elementos no ambiente superficial em função da carga e do raio iônico (BELL, 2001)

Nos organismos humano e animal, a absorção e a reação a metais podem ser influenciadas pela interação com outros elementos. Por exemplo, a assimilação de Chumbo (Pb) é maior em pessoas que têm uma dieta pobre em Cálcio (Ca), Ferro (Fe) ou fosfatos. Por outro lado, a assimilação de Zinco (Zn) reduz a assimilação de Cobre (Cu) e protege contra a toxicidade do Cádmio (Cd) e do Chumbo (Pb).

Para o conjunto de elementos disponíveis na natureza (incluindo os fabricados em laboratório) e retratados na tabela periódica, pode-se dizer que ainda não existe conhecimento pleno sobre seus efeitos para a saúde humana e dos animais.

Entretanto, para outros este conhecimento já se encontra publicado, como é o caso dos elementos:

Alumínio (Al), não é um elemento essencial para a vida humana. Sua ingestão pode levar a desmineralização de ossos. A doença de Alzheimer tem sido correlacionada com o acúmulo de Al em regiões críticas do cérebro, embora ainda não esteja clara a relação de causa-efeito, se a moléstia seria responsável pelo acúmulo do alumínio no cérebro, ou se a absorção e fixação do metal no cérebro seria o fator causador da moléstia;

Cálcio (Ca), dose diária recomendada de 800 a 1200 mg, sendo necessário para o fortalecimento de ossos e dentes e empregado nos mecanismos de contração e relaxamento muscular, na coagulação do sangue, na regulação da permeabilidade celular e na transmissão de impulsos nervosos;

Chumbo (Pb), não é um elemento essencial para a vida humana, sendo, sobretudo tóxico. É em geral ingerido com os alimentos e a água, podendo, entretanto ser também inalado ou adsorvido através da pele. Pode levar a danos irreversíveis no sistema nervoso central;

Cloro (Cl), com doses diárias recomendadas de 750 a 3600 mg, sendo necessário para o balanço hídrico e controle da pressão osmótica, também participando da digestão e assimilação de alimentos;

Cobre (Cu), com doses diárias recomendadas de 1,55 a 3 mg, sendo essencial para o metabolismo energético, sendo componente de enzimas oxidantes. Necessário para a síntese da hemoglobina, para funções neuro-cerebrais e para a pigmentação da pele e do cabelo. Sua falta leva à osteoporose, deficiência de glóbulos brancos e redução de defesa imunológica;

Cromo (Cr), com doses diárias recomendadas de 50 a 200 µg, sendo importante para o metabolismo dos açúcares e sua falta leva à intolerância à glicose, resistência à insulina, crescimento lento e redução da fertilidade dos espermatozoides;



Ferro (Fe), com dose diária recomendada de 10 a 15 mg, sendo constituinte da hemoglobina e da mioglobina e de complexos enzimáticos. Também é necessário para geração de energia em nível celular e para a integridade do sistema imunológico;

Flúor (F), com doses diárias recomendadas de 1,5 a 4 mg, é importante para evitar cáries dentárias e osteoporose, entretanto em doses continuadas e maiores que 1 mg/L pode provocar a fluorose dentária e deformidades do esqueleto;

Fósforo (P), com dose recomendada de 800 a 1200 mg diários, sendo essencial para a boa saúde dos ossos e produção de energia. Participa de quase todas as reações químicas que ocorrem no organismo;

Iodo (I), com dose diária recomendada de 150 µg, presente sobretudo na tireóide como constituinte do hormônio tireoidiano, sendo necessário para o controle da temperatura corpórea, metabolismo, reprodução e crescimento;

Nitrogênio (N), onde muito embora os íons nitrato sejam pouco tóxicos para humanos, eles podem ser reduzidos no próprio organismo para os íons nitritos. Estes por sua vez causam efeito negativo à saúde, como é o caso de metemoglobinemia em crianças (hipo-oxigenação do sangue). Também o íon NO<sub>2</sub> pode reagir com as aminas, resultando em nitrosoaminas, reconhecidas como agente cancerígeno potencial;

Potássio (K), com doses diárias de 2000 a 3500mg, regula o balanço dos fluídos corpóreos e atua nas contrações musculares e na transmissão de impulsos nervosos; e

Zinco (Zn), com doses de 12 a 15mg, ocorre em todos os tecidos corpóreos, em particular em ossos, músculos e pele. Protege o fígado de danos químicos e é necessário para integridade do sistema imunológico. Também regula o crescimento.

## Reflexões para Articulação de um Programa Estruturante

---

Doenças causadas por alimentos e produtos do segmento (CDC, 2000) têm sido objeto de atenção em todo o planeta. Entretanto, cada vez mais a solução aos problemas decorrentes requer ações integradas que envolvam todos os elos das cadeias existentes entre a produção e o consumidor. Geralmente, grandes problemas começam pequenos, o que indica que uma ação de sociedade deve considerar não somente a correção de efeitos secundários, mas também o entendimento e, se possível, a eliminação das causas geradoras.

As questões que envolvem o lento afloramento de doenças devido aos elementos minerais tóxicos, dada a sua natureza complexa, indicam a necessidade da articulação de um programa estruturante com visão de futuro para o atendimento ao coletivo e desenvolvimento sustentável. Neste contexto é possível enunciar um conjunto de pontos que podem merecer destaque para uma ação eficiente:

- Organizar ação envolvendo representação institucional dos Ministérios de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ciência e Tecnologia, Minas e Energia, bem como da Saúde, para um programa comum de investimentos públicos em pesquisa a ser desenvolvida no âmbito das instituições de C,T&I, do setor do agronegócio, das minas e energia, bem como da saúde, alinhado às questões da geomedicina com foco nas principais cadeias alimentares do Brasil e redes mobilizadoras de competências nacionais;



- Organizar ação para a composição de um vetor de decisão que vise à construção de observatórios para alimentos seguros e sustentabilidade da vida no território, para uma população de indivíduos nutridos, alimentados e com saúde, modelo este que poderá se constituir em um plano piloto para uma série de outros países emergentes ou em desenvolvimento;
- Organizar ação para o estabelecimento e sistematização de uma rede de discussão sobre o tema agropecuária, floresta, agroenergia e geomedicina, com apoio da articulação já estabelecida pela RIPA, visando à construção de um Programa Nacional de Sociedade com o envolvimento do setor produtivo, terceiro setor, academia e Governo, e de outras redes com caráter restrito, focadas por áreas do conhecimento relativo ao tema;
- Organizar ação para a construção de um sistema de indicadores regionais que possibilitem a avaliação de impactos na saúde, devido ao consumo de alimentos ou produtos derivados de processos agropecuários, florestais ou agroenergéticos. A proposta visa tomar como base o estudo de modelos internacionais de indicadores, destacando-se o modelo da Organização Mundial de Saúde (OMS) e da Food and Agriculture Organization (FAO);
- Organizar ação em Boas Práticas e articular um sistema metrológico que garanta certificação para o consumo; e
- Organizar ação para o estabelecimento de um programa de formação de recursos humanos que viabilize maior interatividade entre profissionais oriundos de diferentes áreas do conhecimento.

## Conclusões

---

O uso do conhecimento e da inovação pode levar à solução de problemas e desafios trazidos pelo processo produtivo agropecuário, florestal e de agroenergia. A saúde humana e animal, que é relacionada a esses processos e ao meio ambiente de maneira geral, transforma-se em uma preocupação cada vez mais acentuada. Este trabalho, em face da complexidade da questão, buscou apontar a importância da participação dos diversos setores da sociedade brasileira no estabelecimento de um modelo de decisão em rede que considere a segurança do alimento, cuja componente tem início nos processos de tomada de elementos minerais dos solos pelas plantas, como base para o estabelecimento de um programa estruturante para o Brasil. A expectativa com relação a este trabalho é que o mesmo possa ser elemento motivador para que as instituições brasileiras possam construir um programa que leve a bom termo a qualidade de vida e o alimento seguro com base em práticas do desenvolvimento sustentável.