

A GEOQUÍMICA COMO MÉTODO DE PROSPECÇÃO PARA URÂNIO NA NUCLEBRÁS

Newton Müller Pereira

Nuclebrás – Rio de Janeiro

A geoquímica tem participado intensamente na prospecção de urânio realizada pela Nuclebrás. Tem sido aplicada, principalmente, para selecionar áreas de extensões regionais potencialmente favoráveis à presença de concentrações econômicas desse elemento. Foi analisado um total de 40.661 amostras, das quais nada menos de 70% originaram-se desses levantamentos regionais.

A experiência resultante da realização de 28 projetos permite apontar a fluorimetria como sendo a técnica mais específica à análise geoquímica do urânio, e a fração granulométrica menor que 150 mesh como a que apresenta contrastes mais expressivos. Os trabalhos realizados têm demonstrado a importância da complementação dos serviços geoquímicos pelos geofísicos e vice-versa, além de terem propiciado a sistematização dos serviços estatísticos e computacionais dos dados coligidos.

No período de 1975-1979, foi investigada uma área de 648.920 km², a custos da ordem de Cr\$ 40,00/km², que levaram a indicações de áreas prioritárias na Amazônia, no centro-oeste e no nordeste do país.

INTRODUÇÃO

Em 1962, com a assinatura de um acordo de cooperação técnica entre os governos do Brasil e da França, foi iniciada, efetivamente, a formação de uma equipe de geólogos para se ocupar da prospecção de minerais radioativos no país. A orientação francesa foi abrangente, cobrindo todos os campos de atuação do geólogo na prospecção de radioativos. Ênfase foi dada, entretanto, aos métodos convencionais de prospecção e aos cintilométricos, dos quais os aero-transportados eram aplicados mundialmente a partir de 1956. Preocuparam-se também, os franceses, da introdução de técnicas geoquímicas laboratoriais para auxílio da prospecção, o que não logrou êxito, face às dificuldades na aquisição e manutenção de equipamentos. Entretanto, dessas tentativas nasceu o embrião, junto à Comissão Nacional de Energia Nuclear, da utilização da geoquímica na prospecção de minerais radioativos no Brasil.

Quando em 1970 substanciais recursos financeiros foram destinados a prospecção de minerais radioativos no país, os antecedentes históricos e a qualificação laboratorial e técnica para a aplica-

ção da geoquímica na prospecção de urânio eram reduzidos. Apesar disso, havia sido realizadas, no período 65/69, prospecções em Minas Gerais (Poços de Caldas), na Bahia (Rua Nova) e no Rio Grande do Sul (Caçapava, Lavras, Encruzilhada e Cerro Partido). Mais que 95% desses trabalhos constaram da amostragem de solos, o que caracteriza a aplicação da geoquímica em fase já de detalhamento.

Ao ser criada a Nuclebrás, em 1974, os trabalhos com a participação da geoquímica eram relativamente poucos. Não se pode, entretanto, culpar os franceses por não terem deixado uma tradição na aplicação da prospecção geoquímica no país. Ao tempo deles, pouco se fazia no campo da prospecção geoquímica no mundo, e muito menos referente aos minerais radioativos. Na década de 70, a necessidade de serem descobertos novos depósitos uraníferos, face à demanda crescente do combustível nuclear, fez com que a geoquímica fosse chamada a compartilhar da busca desse elemento. É nessa década que os Estados Unidos da América do Norte iniciam o programa NURE (National Uranium Resources Evaluation), que, entre outros serviços geológicos, consiste na avaliação sistemática dos potenciais uraníferos de todo o seu território, através da amostragem de águas e sedimentos de corrente. Dessa época datam os primeiros resultados da aplicação da prospecção geoquímica para urânio em Saskatchewan, no Canadá. Como não poderia deixar de acontecer, é nesse período que a geoquímica começa a participar mais ativamente na prospecção de urânio no Brasil. Entre os trabalhos realizados já nesse período, podem até ser apontados aspectos que demonstram certo pioneirismo, tais como a indicação da fração granulométrica inferior a 150 mesh, em geral, como a mais adequada para análise por realçar os contrastes geoquímicos do urânio (Pereira, 1976).

Salienta-se que, até então, a relação entre urânio e a matéria orgânica sugeria sempre a análise do material mais grosso que 60 mesh (Dyck, 1974).

Todo esse incremento na utilização

da geoquímica, tanto pela Nuclebrás, quanto pelo Brasil, quanto por outros organismos, no exterior, é devido mais aos progressos científicos obtidos no campo da geologia do que a outros fatores externos quaisquer. É do fim da década de 60 que as pesquisas teóricas do comportamento do urânio no ciclo geoquímico começam a ser constatadas na prática da prospecção. Desempenha a geoquímica de superfície, daí por diante, papel relevante para os estudos das mineralizações de urânio e passa a constituir terminologia diária dos geólogos que deles se ocupam.

O presente trabalho relaciona os serviços geoquímicos que tiveram uma rubrica específica dentro da empresa, principalmente aqueles relacionados com a geoquímica de exploração. Deixa-se claro, porém, que a participação da geoquímica na Nuclebrás, em qualquer das atividades geológicas relacionadas com a prospecção e pesquisa de urânio, é muito maior do que aquela que será abordada aqui. Ela se reflete nos sólidos conhecimentos da geoquímica básica e fundamental do urânio que são possuidores os geólogos da empresa,

SISTEMÁTICA DE APLICAÇÃO

A sistemática de aplicação dos trabalhos geoquímicos na pesquisa de urânio adotada pela Nuclebrás é orientada, basicamente, pelos objetivos a serem alcançados em cada levantamento realizado. Tem sido a geoquímica mais aplicada para:

- . selecionar domínios geológicos prospectáveis;
- . descobrir corpos mineralizados;
- . delimitar corpos mineralizados;
- . estabelecer modelos mineralizantes e tipos genéticos de mineralização..

Os variados campos de atuação da geoquímica na prospecção de urânio

comprovam a sua aplicação. São utilizáveis desde as escalas mais amplas dos levantamentos de reconhecimento para a seleção de áreas favoráveis à prospecção, até aquelas de maior detalhe para o estabelecimento da gênese dos processos mineralizantes.

Na Nuclebrás, a geoquímica, obedecendo a critérios de classificação dos levantamentos em função da escala e objetivos, tem sido aplicada da seguinte maneira:

NOS LEVANTAMENTOS REGIONAIS

Os levantamentos geoquímicos ditos regionais, porém com fins específicos de prospectar urânio, enquadram-se naqueles cuja representatividade da amostra situa-se entre 2 e 10 km². Levantamentos cuja representatividade da amostra é inferior a 2 km² constituem, em princípio, maior detalhe que o necessário para essa fase, ao passo que aqueles que excedem 10 km² não auxiliam de maneira eficaz e objetiva à seleção de áreas prospectáveis. Esses são os parâmetros gerais que orientam a utilização da prospecção geoquímica regional da Nuclebrás, aos quais hoje se chegou, partindo-se de conhecimentos adquiridos na prática do uso da metodologia.

Os resultados que a geoquímica como metodologia de prospecção vem obtendo, principalmente na seleção de novas áreas para maior detalhe, é que justificam a sua crescente requisição para a prospecção de urânio. Comprova-se essa grande aplicação quando é verificado que de um total de 40.661 amostras analisadas, 29.938 são provenientes de levantamentos regionais (73%). Merecem ainda serem mencionadas as facilidades logísticas que as técnicas de amostragem geoquímicas proporcionam para a conjugação de outras técnicas de prospecção. Nos levantamentos regionais são complementadas, com proveito, pela cintilometria autoportada. Facilidades são encontradas, também, nas fases de interpretação, nas quais a combinação com a magnetometria e aerocintilometria tem se mostrado o procedimento acertado para a indicação das potencialidades uraníferas regionais.

Os custos globais da prospecção geoquímica na empresa foram mínimos, o que mais uma vez favorece a aplicação da metodologia, encontrando-se na ordem de Cr\$40,00 cada km² levantando. Observe-se, porém, que cerca de 50% da área prospectada não corresponde a amostras coletadas pela Empresa.

Elas foram obtidas através de entendimentos e convênios com outras empresas do Ministério das Minas e Energia, que se engajaram no programa de cooperação proposto pela Nuclebrás.

Os levantamentos geoquímicos regionais são precedidos, sempre que existam ocorrências de urânio conhecidas na área, por estudos orientativos. Esses têm muito bem demonstrado a importância de serem realizados, otimizando parâmetros de sistematização regional, de análise e de interpretação. Como resultados desses estudos, alguns parâmetros geoquímicos já são rotineiramente aplicados pela empresa, ou, pelo menos, melhor entendidos. Dentre eles, são salientados:

- que as amostras mais representativas em escala regional são os sedimentos das drenagens, coletados de forma a permitir sempre a máxima representatividade areal e o mínimo de influências locais;
- que a fração granulométrica que apresenta contrastes geoquímicos mais expressivos é a inferior a 150 mesh.
- que nas águas de drenagens superficiais, tanto em terrenos do cristalino como nos sedimentares, o urânio apresenta teores mais elevados e contrastes mais claros no resíduo do papel filtro. Essa constatação pode ser interpretada como um predomínio do elemento em suspensão no meio aquoso, caracterizando uma dispersão mecânica. A filtração das águas torna-se, então, um imperativo para uma correta interpretação dos resultados analíticos.
- que é pouco útil analisar elementos adicionais – *pathfinders* – na prospecção geoquímica do urânio;
- que é necessário controlar as concentrações de Fe e Mn nos sedimentos e águas das drenagens, e nos solos. Os precipitados limoníticos possuem alta capacidade de retenção do urânio em solução, ocasionando falsas anomalias;
- que os precipitados de ferro, por outro lado, são excelentes materiais para serem coletados em trabalhos geoquímicos de detalhamento de drenagens anômalas. Concentram altos teores de urânio nas proximidades dos corpos mineralizadores nesse elemento.

Outro aspecto relevante na sistemática de aplicação da geoquímica na Nuclebrás são as técnicas analíticas empregadas para a dosagem de urânio. Fundamentalmente são empregadas técnicas fluorimétricas e de ativação neutrônica (Delayed Neutron Counting). Embora Garrett e Lynch (1976) indiquem a técnica neutrônica como de melhor desem-

penho para a prospecção geoquímica, os resultados obtidos pela Nuclebrás não o confirmam de todo. São considerados aspectos positivos para a utilização dessa técnica não requerer preparação prévia da amostra, a rapidez analítica, a reprodutibilidade dos resultados e a economia de custos operacionais. Em contraposição, não dispensa ela o acompanhamento sistemático de análises mineralógicas, na tentativa de verificar se o urânio analisado provém de minerais refratários, pois é técnica total. Apresenta limite de detecção inferior nem sempre compatível com os teores dos materiais de que se utiliza a geoquímica, bem como a sua precisão diminui sensivelmente quando são dosados teores inferiores a 100 ppm. Requer pessoal altamente qualificado para operação e manutenção, além de um investimento inicial elevado. Essas características fazem com que, na Nuclebrás, as análises geoquímicas por neutrons retardados sejam utilizadas muito mais por fatores outros que não os exclusivamente técnicos. Entre eles quando há urgência de obtenção de informações geoquímicas em áreas de interesse, quando há necessidade de contenção de despesas ou quando os serviços laboratoriais estão se avolumando. Observe-se que, apesar do exposto, após iniciado um projeto por uma das técnicas analíticas mencionadas, ela é mantida até a conclusão dos serviços analíticos do projeto. São as técnicas fluorimétricas, entretanto, as mais específicas para a análise do urânio em prospecção geoquímica. Apresentam limites de detecção que podem ir a décimos do ppm, podem utilizar ataques ácidos parciais e serem realizadas nas bases de campo. Correlacionam-se muito bem com as neutrônicas, quando os teores dosados são da ordem de 10 a 50 ppm e os ataques ácidos são rígidos. Diminuem essa correlação, à medida que os ataques ácidos utilizados são mais fracos e os teores se afastam dos limites mencionados.

Hoje, na Nuclebrás, é observada uma nítida tendência ao emprego das técnicas fluorimétricas na prospecção geoquímica, que já perfazem 50% das análises requeridas.

A fixação de parâmetros interpretativos é feita através da estatística com auxílio da computação eletrônica. Para tanto, é utilizado o Sistema de Estatística de Amostragem Geoquímica – SEAG, desenvolvido por equipe da CPRM e atualizado por técnicos da Nuclebrás.

NOS LEVANTAMENTOS DE DETALHE

Os levantamentos geoquímicos de detalhe, com vistas à prospecção de urânio, têm sido empregados como auxiliares para a delimitação exata, em planta, de ocorrências uraníferas de subsuperfície, aumentando as probabilidades de acertos das sondagens.

Amostras de solos são normalmente utilizadas nessa escala de trabalho, para sistematização dos quais, estudos de orientação são sempre desejáveis. Outros tipos de amostra têm sido coletado, embora, de maneira não-sistêmática, tais como amostras de zonas de exudação do lençol freático, de ocorrência de lageritas, vegetais e de rochas.

Se as técnicas fluorimétricas são de utilização crescente nos levantamentos regionais executados pela Nuclebrás, elas são as únicas até agora empregadas para trabalhos sistemáticos de detalhe. As vantagens que apresentam, quer pela possibilidade de utilização de extrações parciais quer pela maior adequação às concentrações médias dosadas ou pela possibilidade de serem levadas à base de campo, tornam a fluorimetria a técnica analítica mais adequada e promissora aos trabalhos em solos.

Apesar da Nuclebrás ter coletado 8.551 amostras de solo desde a sua criação, os resultados obtidos não têm proporcionado, com suficiente rapidez, as informações desejáveis para a orientação dos serviços de sondagens programados. Entretanto, a resposta da metodologia tem sido clara, coincidindo com os alvos prioritários de trabalho. O aspecto rapidez, no qual muito pesa a obtenção do resultado analítico, é, hoje, preocupação principal da equipe de geoquímica da Nuclebrás. Procura ela sensibilizar os demais órgãos da empresa para que seja montado, em cada escritório regional, um laboratório químico para análises fluorimétricas.

A quantidade de informações que necessitam ser trabalhadas nos levantamentos de detalhe requer a utilização de computação eletrônica, principalmente para agilizar os parâmetros de interpretação: *background*, desvios, *threshold*, ordens de importância de anomalias, correlações, dependência de variáveis, sem citar técnicas mais sofisticadas. São esses parâmetros muito mais trabalhados e testados nesses levantamentos do que o são nos levantamentos regionais, o que pode ser explicado pela própria diferença entre as escalas de trabalho.

NOS ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS

Quando se fez referência, anteriormente, à importância da formulação de modelos geoquímicos ou modelos genéticos de mineralização, poderia logo ser estimado o papel relevante da geoquímica para esse fim. Assim, de uma diretriz eminentemente prática e sistemática, passa a geoquímica a estudar as causas e efeitos da existência de mineralização em um domínio geológico. O conhecimento delas traz, sem dúvida, uma maior objetividade na prospecção.

Nesse campo de aplicação da geoquímica, ela é responsável pela definição de associações de elementos químicos, caracterizando e prevendo o comportamento deles nos diversos ambientes do domínio geológico (solos, sedimentos das drenagens, rochas, águas, etc.). É de sua responsabilidade sistematizar a aplicação de métodos, muitas vezes ainda em desenvolvimento, como é o caso da fitogegeoquímica, da hidrogeoquímica, com a utilização de resinas, de equipamento analítico laser, entre outros. Compete a ela, para finalizar, estudar os distúrbios ambientais ocasionados pela dispersão de elementos radioativos e associados, desde as fases iniciais de sondagem e lavra até o estudo da viabilidade dos sítios de armazenagem de rejeitos radioativos. Esses dois últimos aspectos, embora tenha a equipe de geoquímica participado em pareceres e análises de proposições e projetos, ainda não ocupam o destaque que merecem.

TRABALHOS EXECUTADOS E RESULTADOS OBTIDOS

Desde a criação das Empresas Nucleares Brasileiras S.A., 40.661 amostras geoquímicas foram trabalhadas, das quais, mais de 95% com fins específicos de prospectar urânio. Representam, essas amostras, um recobrimento de 648.920 km², correspondentes a 28 áreas prospectadas (figuras 1, 2, e 3).

Os custos operacionais, excluindo os de laboratório, que até 1978 não eram computados por projeto, foram de Cr\$ 26.372.000,00. Significam aplicações de Cr\$ 40,00 por km² e perfazem menos que 2,5% das aplicações totais em prospecção e pesquisa mineral pela empresa.

Os resultados obtidos com a aplicação sistemática da prospecção geoquímica se encontram ainda em fase de avaliação. Algumas áreas, entretanto, têm-se mostrado de interesse prioritário, em virtude da importância das ocorrências localizadas. Entre elas, podem ser citadas as regiões de Rio Preto, Sul de Amorinópolis, leste do Maciço de Niquelândia, em Goiás, as regiões de Monte Alegre e sul do Pará, na Amazônia, e prováveis ambientes geológicos semelhantes aos existentes em Lagoa Real, no sul da Bahia e norte de Minas Gerais.

CONCLUSÕES

O incremento da utilização das técnicas geoquímicas na prospecção do urâ-



Figura 1

DADOS FÍSICOS DE ACOMPANHAMENTO DE PROJETOS

GEOQUÍMICA : 1975/79

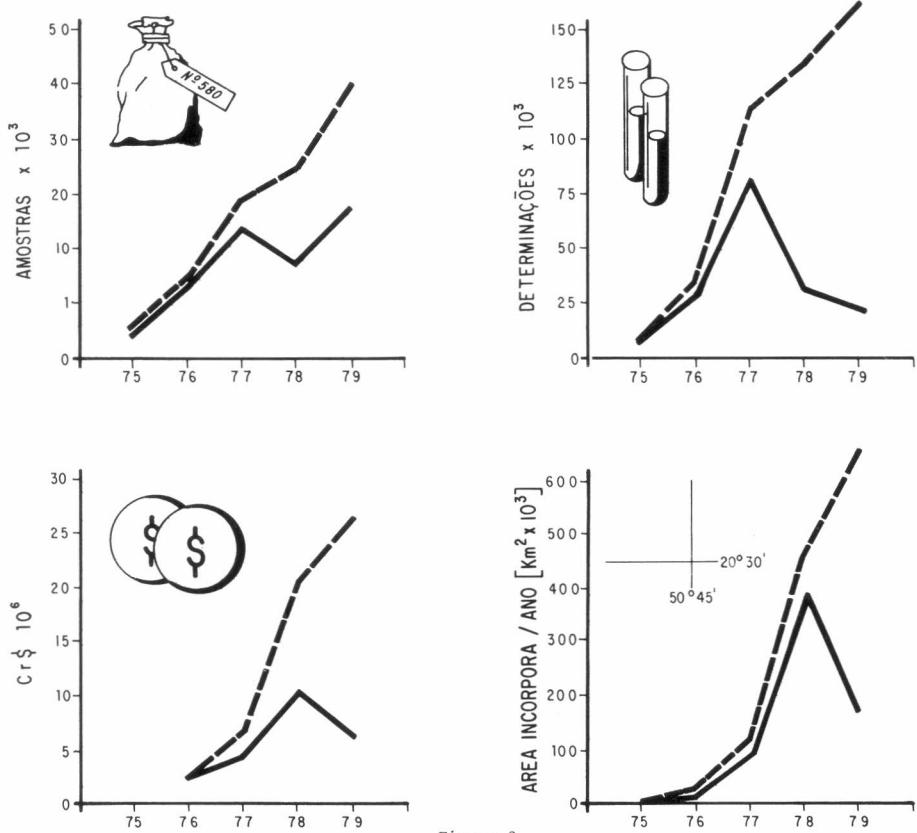
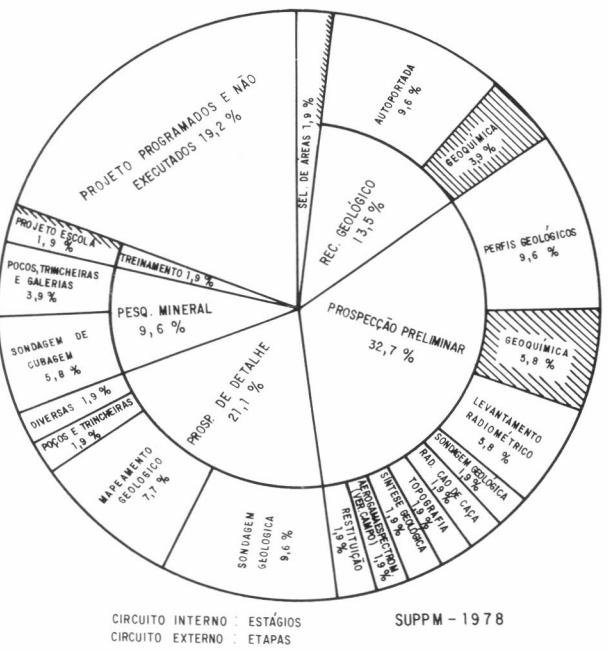


Figura 2

PROJETOS EXECUTADOS

GRÁFICOS SETORIAIS



SUPPM - 1978

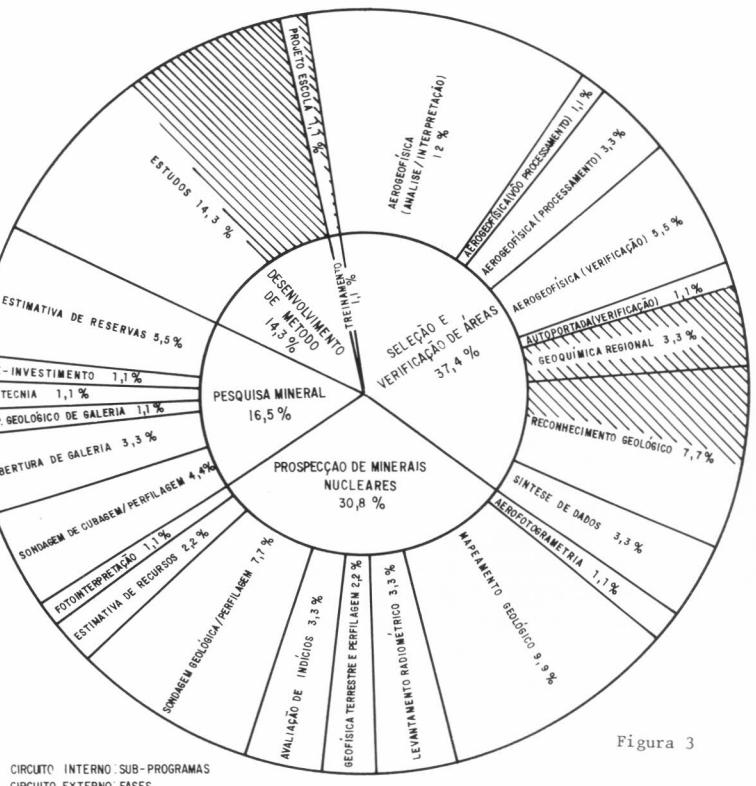


Figura 3

SUPPM - 1979

nio demonstra a importância com que ela vem sendo encarada no âmbito da empresa.

É no campo dos levantamentos regionais, com o objetivo de selecionar domínios geológicos de interesse à prospecção uranífera, que a geoquímica tem apresentado melhores resultados. Conseqüentemente, é nessa escala de levantamentos que a empresa tem mais requisitado o concurso da geoquímica como técnica de prospecção.

Os resultados obtidos, ou sejam, as primeiras áreas selecionadas pela geoquímica para detalhamento, ainda estão sendo avaliados detalhadamente, não podendo ser ela responsabilizada pelo descobrimento de nenhuma das jazidas da Nuclebrás.

Tem-se verificado a conveniência da complementação dos serviços geofísicos, através dos geoquímicos e vice-versa, no âmbito regional.

As técnicas fluorimétricas são mais específicas para a prospecção geoquímica, razão por que vem sendo ampliada a sua aplicação na Nuclebrás.

Técnicas estatísticas e computacionais são aplicadas em todos os tipos de serviço geoquímico. São consideradas

auxiliares ao tratamento de um grande número de informações, estabelecendo parâmetros básicos para a interpretação dos resultados.

Os trabalhos desenvolvidos pela equipe de geoquímica da empresa demonstram a experiência adquirida nos erros e acertos da prática dos 28 projetos até hoje executados.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE RAMOS, J. R. e MACIEL, A. C. (1974) – *Atividades de prospecções de urânio no Brasil: 1966-1970*. CNEN/MME.
- DALL'AGLIO, M. (1973) – *Geochemical exploration for uranium*. In: *uranium exploration methods*. Proceedings of a panel, Viena, 1972, IAEA – PL-490/10.
- DARNLEY, A. G., CAMERON, E. M., RICHARDSON, K. A. (1975) – *The Federal Provincial Uranium Reconnaissance Program*. *Geol. Surv. Can., Paper 75-26*.
- DA VINHA C. A. G. (1978) – *Métodos indiretos aplicados na prospecção de urânio na Nuclebrás*. In: *Reunião do grupo assessor sobre geologia de urânio na América Latina*, IAEA, Lima, Peru.
- DYCK, W (1974) – *Geochemical studies in The surficial environment of the Beaverlodge Area, Saskatchewan*. *Geol. Surv. Can., Paper 74-32*.
- GARRET, R. G. and LYNCH, J. J. (1976) – *A comparison of neutron activation delayed neutron counting versus fluorimetric analysis*. In: *Exploration for uranium ore deposits. Proceedings of a Symposium*, Vienna, 1976. IAEA – SM 208/30.
- GRESTNER, A. (1974) – *Missão Brasil 1961-1966: relatório geral de síntese*. CNEN/MME.
- NUCLEBRÁS – *Relatórios Anuais da Superintendência Geral de Prospecção e Pesquisa Mineral: 1975-1979*.
- PEREIRA, N. (1978) – *Estudos orientativos na área de Amorinópolis – GO*. Tese de Mestrado UFBA.
- PEREIRA, N. (1979) – *A geoquímica na Nuclebrás*. Nuclebrás, relat. int.

PESQUISA EM GEOCIÊNCIAS NO BRASIL FONTES DE FINANCIAMENTO

Aldo Antonietto Junior
Onildo João Marini

Recentes pesquisas realizadas pela SBG junto às fontes de financiamento à ciência e tecnologia, revelaram que o número de pedidos de apoio e financiamento de projetos de pesquisa tem sido baixo, principalmente na área de Geologia e Tecnologia Mineral.

Entende a atual diretoria que esse fato decorre, principalmente, da falta de informações básicas aos pesquisadores e entidades que atuam na área, quanto a essas fontes.

Assim sendo, apresentamos um painel de dados que permite aos interessados o conhecimento de que fontes lhe são convenientes ou adequadas. Esse painel é baseado em informações obtidas junto ao CNPq, o qual publicou um guia para obtenção de recursos nas principais fontes de financiamento à ciência e tecnologia. Informações complementares que se fizerem necessárias poderão ser obtidas diretamente nas fontes cujos endereços são fornecidos.

Para facilitar a consulta, as entidades financeiradoras estão organizadas de acordo com seu âmbito de atuação em Fontes de Âmbito Nacional, Fontes de Âmbito Regional, Fontes de Âmbito Estadual, e Fontes de Âmbito Internacional.

FONTES DE ÂMBITO NACIONAL

Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT)

Entidade administrada pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), tem por objetivo dar apoio financeiro aos programas e projetos prioritários de desenvolvimento científico e tecnológico, para a implantação do Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PBDCT). Destina-se, pois, a amparar os programas e projetos específicos de pesquisa e de desenvolvimento do potencial científico e/ou tecnológico.

É o principal instrumento financeiro do PBDCT, atuando em todo o espectro de atividades de Pesquisa Científica e Desenvolvimento Tecnológico, da Formação de Recursos Humanos à Pesquisa Básica, Aplicada e de Desenvolvimento.

São beneficiários da entidade as universidades, institutos ou centros de pesquisa científica ou tecnológica, empresas privadas, públicas ou mistas, entidades governamentais federais, estaduais e municipais. Os recursos do FNDCT podem ser aplicados em operações de colaboração financeira, com ou sem retorno, conforme as características da instituição proponente e a natureza do projeto.

Para efeito de seleção, são analisados aspectos referentes à compatibilização com as metas e diretrizes dos PNDs e PBDCTs, às vocações setoriais e regionais da instituição proponente; a possibilidade de intercâmbio de experiências entre instituições que coordenem atividades semelhantes; preparar pessoal qualificado necessário ao processo de transferência do conhecimento técnico-científico gerado, dentre outros.

FNDCT – Projetos a fundo perdido Finaciadora de Estudos e Projetos (FINEP). Av. Rio Branco, 124, 13º andar 20.040 – Rio de Janeiro-RJ. Telefone: (021) 291-3993. Telex: 021-23468 – FINEPBR.

Finaciadora de Estudos e Projetos (FINEP)

Agência de fomento vinculada à Secretaria de Planejamento da Presidência da República – SEPLAN – tem por objetivo ampliar a capacidade do país em gerar, absorver e realizar novos conhecimentos que contribuam para aumentar o potencial de crescimento da economia brasileira. Atua no financiamento de todas as fases do processo de criação e incorporação de conhecimentos, desde a pesquisa básica em instituições acadêmicas ao desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias ao nível das empresas, incluindo a formação de recursos humanos.

A ação da FINEP se dirige especificamente para a capacitação científica e tecnológica das universidades e institutos de pesquisa das empresas nacionais privadas, públicas ou mistas e das firmas de engenharia e/ou consultoria, entidades governamentais federais, estaduais e municipais, apoiando projetos em todos os setores prioritários do PBDCT.

As atividades passíveis de apoio são agrupadas em três categorias básicas:

- Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento: projetos que apresentam objetivos e linhas bem definidas, cujos resultados