

**AUTORES****Umberto G.  
Cordani\***[ucordani@usp.br](mailto:ucordani@usp.br)**Caetano Juliani\*\***[cjuliani@usp.br](mailto:cjuliani@usp.br)\* Professor emérito do  
Instituto de Geociências  
da USP\*\* Professor titular do  
Instituto de Geociências  
da USP

# Potencial mineral da Amazônia: problemas e desafios

Potencial mineral de la Amazonia: problemas y desafíos

*Mineral potential of the Amazon: problems and challenges*

**RESUMO:**

Bens minerais são imprescindíveis à humanidade desde os primórdios da civilização e recursos minerais serão sempre necessários, e em proporção crescente. A Amazônia, cerca da metade do território brasileiro, representa a última fronteira mineral importante do planeta. A região possui um potencial mineiro enorme, pouco aproveitado. Novos modelos para formação de depósitos minerais estão sendo testados, havendo possibilidades de no futuro vir a ser caracterizada uma nova província mineral produtora de cobre, molibdênio e ouro. Os principais recursos minerais que estão sendo explorados, especialmente na região da Serra dos Carajás, incluem ouro, cobre, níquel, manganês e, principalmente ferro. Por outro lado, apesar de abrigar menos de 10% das minas brasileiras, a Amazônia é responsável por cerca 30% do valor global da produção mineral do país. Atividades predatórias prejudicam os rios amazônicos e a floresta tropical, pela ação de milhares de garimpeiros, dispersos em áreas enormes, pouco povoadas. Por outro lado, a mineração organizada, que opera em grande escala, propicia grandes receitas, mesmo ocupando um reduzido espaço de terreno. O caso da Floresta de Carajás (FLONA) é emblemático em que a mineração organizada e sustentável protegeu do desmatamento toda a área, que permaneceu inteiramente preservada, enquanto que em seu entorno a floresta da região foi devastada pela agropecuária e pela ocupação humana.

**RESUMEN:**

Los bienes minerales son imprescindibles para la humanidad desde los inicios de la civilización, y los recursos minerales serán siempre necesarios, y en una proporción cada vez mayor. La Amazonia, cerca de la mitad del territorio brasileño, representa la última frontera mineral importante del planeta. La región posee un potencial minero enorme, poco aprovechado. Se están probando nuevos modelos para la formación de depósitos minerales, existiendo la posibilidad de que en un futuro la Amazonia se caracterice como una provincia mineral productora de cobre, molibdeno y oro. Los principales recursos minerales que están siendo explotados, especialmente en la región de la Sierra de los Carajás, incluyen oro, cobre, níquel, manganeso y, principalmente, hierro. Por otro lado, a pesar de albergar menos del 10% de las minas brasileñas, la Amazonia es responsable de cerca del 30% del valor global de la producción mineral del país. Las actividades depredadoras de miles de *garimpeiros*, dispersos en áreas enormes y poco pobladas, perjudican a los ríos amazónicos y a la floresta tropical. Por otro lado, la minería organizada, que opera a gran escala, propicia grandes ingresos, aunque ocupe un reducido espacio de terreno. El caso de la Floresta de Carajás (FLONA) es emblemático donde la minería organizada y sostenible ha protegido de la deforestación a toda el área, que permanece íntegramente preservada, mientras que el entorno de la región ha sido devastado por la agricultura y la ocupación humana.

**ABSTRACT:**

Mineral goods are indispensable to mankind since the beginnings of civilization and mineral resources will always be needed, and in increasing proportion. The Amazon, about half the Brazilian territory, represents the last important mineral border of the planet. The region has a huge mining potential, little used. New models for the formation of mineral deposits are being tested, with the possibility of a new mineral province producing copper, molybdenum and gold in the future. The main mineral resources being explored, especially in the Serra dos Carajás region, include gold, copper, nickel, manganese and,

---

mainly, iron. On the other hand, although it holds less than 10% of the Brazilian mines, the Amazon is responsible for about 30% of the total value of the country's mineral production. Predatory activities damage the Amazonian rivers and the tropical forest, by the action of thousands of *garimpeiros*, dispersed in huge, sparsely populated areas. On the other hand, organized mining, which operates on a large scale, provides large revenues, even if it occupies a small area of land. The case of Carajás Forest (FLONA) is an emblematic case in which organized and sustainable mining protected the whole area from deforestation, which remained entirely preserved, while in its surroundings the region was devastated by agriculture and human occupation.

## 1. Introdução

Tudo que é produzido e utilizado pelo ser humano é derivado da atividade de mineração ou tem um ou mais insumos minerais na sua produção, desde a construção civil e a produção de alimentos até equipamentos tecnológicos, medicamentos, roupas, bem como qualquer outro objeto que faça parte do nosso dia-a-dia. Minerais são constituintes essenciais de todas as rochas, como parte integrante do material sólido da camada externa da Terra. Aqueles considerados para serem utilizados ou transformados em material útil à sociedade são chamados minérios e fazem parte dos depósitos minerais.

A produção e consumo de insumos minerais têm aumentado continuamente, acompanhando o crescimento da população do planeta. Segundo as estimativas apresentadas por Skinner (1989), há cerca de três décadas a humanidade mobilizava material na superfície da Terra em quantidades anuais *per capita* da ordem de 12-15 toneladas, o que corresponderia globalmente a cerca de 50 bilhões de toneladas. Dessa forma, o fluxo de material movimentado pela ação antrópica na superfície da Terra já era da mesma ordem de grandeza daquele resultante da somatória de processos naturais da dinâmica do planeta. Com o aumento da população mundial, que atualmente é de aproximadamente 7,5 milhões de pessoas, e que segundo projeções feitas por organismos da Organização das Nações Unidas (ONU) deverá atingir perto de 10 bilhões de pessoas por volta de 2050 (Demeny, 1984), os recursos minerais serão sempre necessários, e em proporção crescente.

Atualmente, a Amazônia é responsável por um terço da produção mineral brasileira. O patrimônio já conhecido de suas jazidas minerais assegura ao Brasil um excelente potencial, semelhante ao de países de dimensões similares, como o Canadá ou a Austrália. Entretanto, a vulnerabilidade ambiental da grande região com seus rios enormes e a vastidão da floresta tropical a colocam sujeita a muitos possíveis impactos na retirada de recursos minerais, devidos principalmente à garimpagem.

Os objetivos desse trabalho são três: 1) apresentar o que se conhece a respeito dos depósitos minerais ativos e das principais ocorrências minerais da Amazônia; 2) discutir os aspectos relativos aos impactos ambientais das operações de extração de recursos minerais, fazendo o contraponto entre as operações de extrativismo mineral (garimpos) e de mineração organizada (empresas); 3) comentar a respeito do potencial mineral da região e apresentar algumas possibilidades para a sua realização.

## 2. Os bens minerais e sua importância para a civilização

Os bens minerais, excluídos os hidrocarbonetos, compõem uma enorme gama de materiais de uso comum, como a brita, cascalho, areia e agregados (denominados minerais industriais), minérios de elementos metálicos (e.g. Fe, Cu, Pb, Zn, Co, Au, Ag, Hg, etc) e não metálicos (e.g. fluorita, apatita, barita, halita, calcários, pedras de revestimento, etc.) e minérios para produtos eletrônicos (e.g. terras raras, Ta, Nb, In, etc.), de usos muito variados, incluindo a construção civil, agricultura, siderurgia, metalurgia, indústria química, indústria eletrônica, etc. Os bens minerais são imprescindíveis à humanidade desde os primórdios de sua evolução, e têm sido ainda mais importantes para o desenvolvimento da civilização. Desde a Pré-história até os dias de hoje, a produção e consumo dos bens minerais têm aumentado continuamente, acompanhando o crescimento da população e, sobretudo, a melhoria do bem estar social, com intensificação da urbanização, do uso de meios de transporte individuais e coletivos, de eletrodomésticos e de equipamentos eletrônicos. A importância da produção mineral no

### PALAVRAS-CHAVE

Recursos minerais; Amazônia; potencial mineiro; garimpo; mineração organizada.

### PALABRAS CLAVE

Recursos minerales, Amazonia, potencial minero, excavación, minería organizada.

### KEY WORDS

Mineral resources; Amazônia; mining potential; garimpo; organized mining.

Recibido:  
26/08/2018

Aceptado:  
13/01/2019

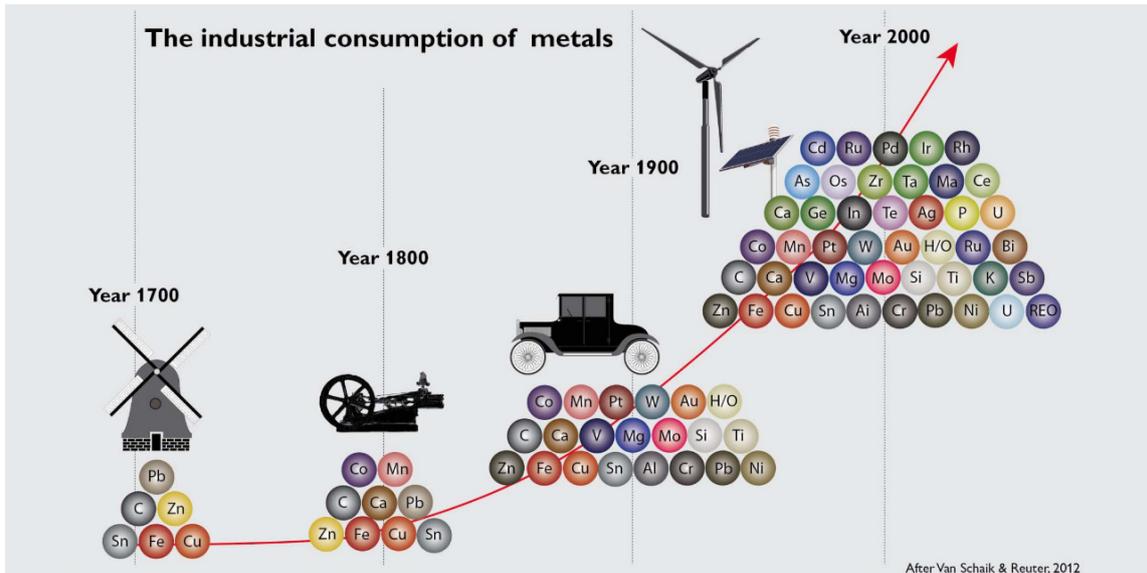


Imagem 1. Representação da evolução tecnológica e da diversificação dos bens minerais necessários (Kalvig, 2013).

desenvolvimento socioeconômico de uma nação pode, por isto, ser estimado pelo o consumo *per capita* de bens minerais.

O desenvolvimento tecnológico tem exigido um número crescente de insumos minerais, muitos dos quais necessários para a “Economia verde” (Imagem 1), e a disseminação do uso e consumo dos novos produtos tem se acelerado continuamente, como pode ser visto na Imagem 2. Este aspecto, juntamente com o aumento da população mundial, da taxa de urbanização e da melhoria do bem estar social, fazem com que a demanda pelos minérios comuns e os de uso mais tecnológico aumentem significativa e continuamente, com demandas maiores ou menores de acordo com os ciclos econômicos.

Os depósitos minerais são concentrações anômalas de elementos químicos sob a forma de minerais na crosta terrestre, geradas por processos geológicos diversos, como as atividades vulcânicas, a circulação de fluidos aquosos aquecidos e até mesmo o intemperismo, a erosão e a redeposição dos materiais em rios e praias. A sua formação depende fundamentalmente de processos geológicos diversos, muitas vezes superpostos. Por outro lado, a concentração de minerais de minério em níveis suficientes ao aproveitamento econômico, gerando lucro ou benefícios para a nação, depende de muitos outros fatores, tais como a disponibilidade de infraestrutura para o transporte, de energia, dos tipos de minerais de minério, de tecnologias para extração, concentração e refino e da demanda do mercado.

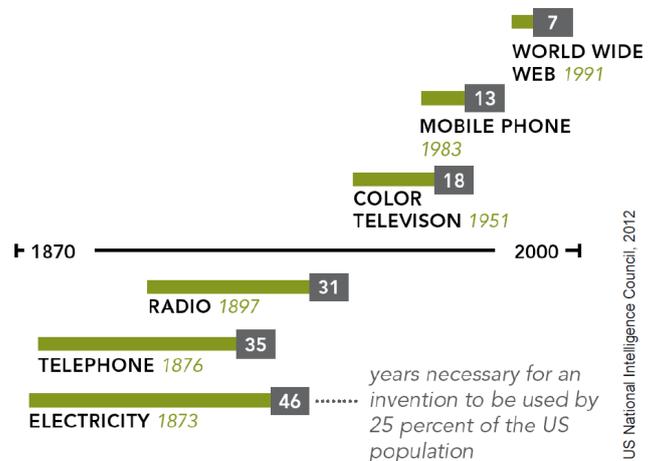


Imagem 2. Anos necessários para 25% da população dos EUA ter acesso a novos produtos tecnológicos, promovendo maior demanda de produtos minerais (Kalvig, 2013).

Conceitualmente, um recurso mineral qualquer passa a ser um minério lavrável apenas quando ele pode ser economicamente aproveitado. Somente a partir da instalação de uma mina ativa haverá retorno econômico e social para a nação.

Uma vez que os depósitos minerais são anomalias na crosta, a busca por eles tem que ser feita em ambientes geológicos específicos para cada tipo de minério ou conjuntos de minérios. Por exemplo, poucos ambientes geológicos podem formar depósitos de cobre, de estanho, ou de terras raras. Consequentemente, os bens minerais se distribuem assimetricamente entre os países, conferindo aos depósitos minerais importância geopolítica. Ademais, as distribuições dos volumes e dos teores dos elementos úteis nesses depósitos são estatisticamente muito assimétricas. São raríssimos os depósitos com reservas minerais de teores muito altos, e especialmente os de grande porte (também denominados de Classe Mundial). Por outro lado, há um grande número de depósitos de pequeno porte, de teores mais baixos ou marginais. A isto se soma um número expressivo de recursos minerais subeconômicos ou não econômicos, que poderão ser talvez aproveitados no futuro em função de demanda, preço e eventualmente do desenvolvimento de novas tecnologias. Por isso, a busca de depósitos minerais é uma atividade de risco pois, em média, de cada 1000 indícios de mineralização, apenas um resulta em uma mina. Desde a fase inicial da exploração mineral até a abertura da mina, comumente são necessários de 8 a 15 anos com gastos de pesquisa e investimento, que se tornam ainda maiores no desenvolvimento da mina, adicionando mais riscos ao projeto.

Nós últimos anos observa-se uma tendência geral de esgotamento de jazidas minerais e também que as descobertas de novos depósitos têm ocorrido em número muito menor que o necessário para manutenção do suprimento das *commodities* minerais. Na atualidade, no mundo, há necessidade de volumes crescentes de recursos minerais, entretanto os corpos mineralizados economicamente exploráveis, descobertos nos últimos anos, são de modo geral de porte relativamente pequeno, e os de maior porte têm sido cada vez mais raros. Com isto ocorre um aumento significativo nos gastos da exploração mineral, visto que nas novas descobertas os teores dos elementos úteis são menores e aparecem elementos deletérios ou contaminantes em conteúdo cada vez maiores.

Para manutenção do suprimento das *commodities* minerais em níveis que possam atender adequadamente as demandas nas próximas décadas, é imprescindível o desenvolvimento de tecnologias inovativas para a exploração profunda da crosta e também para o aproveitamento econômico de recursos minerais com volumes ou teores marginais de elementos úteis. Além disso, novas ideias e conceitos têm que ser desenvolvidos para descoberta de novos depósitos em províncias minerais conhecidas e maduras e, sobretudo, em províncias geológicas pouco conhecidas. Nestas, a exploração deverá incorporar novas ideias e mudanças de paradigmas. A região Amazônica é, certamente, uma destas regiões, com conhecimento geológico ainda em escala insuficiente para o norteamento dos trabalhos de exploração mineral.

### 3. Recursos minerais da Amazônia

A região amazônica, que compreende toda a parte norte-noroeste da América do Sul, é enorme, com dimensão comparável à da Europa ocidental inteira. A parte brasileira possui cerca de 4.500.000 km<sup>2</sup> e inclui a maior bacia hidrográfica do mundo, que corresponde aos percursos dos rios Solimões e Amazonas e de seus afluentes. Esta área, cujas dimensões atingem cerca de 2.000 km de comprimento ao longo do rio Amazonas, e cuja largura pode atingir dezenas de quilômetros, recebe os sedimentos modernos que resultam da erosão das elevadas montanhas dos Andes do Norte. O conjunto sedimentar corresponde a um primeiro grande domínio geoambiental, com altitudes sempre inferiores a 500 metros, que recebe a denominação regional de “terras baixas da Amazônia”. Por sua vez, o segundo grande domínio geoambiental é formado por extensos planaltos, que recebem a denominação regional de “terras altas da Amazônia”. Eles se situam ao norte e ao sul da região central e apresentam altitudes variáveis, normalmente de dezenas a

centenas de metros, mas que podem chegar a três mil metros, como é do caso do Pico da Neblina, a maior altitude do território brasileiro, nos limites com a Venezuela.

Na região das terras baixas, os sedimentos modernos oriundos dos Andes recobrem uma bacia sedimentar mais antiga, denominada apropriadamente “Bacia Sedimentar Amazônica”, que se formou durante todo o período Paleozóico, a partir de cerca 540 milhões de anos. Sua espessura, em seu eixo central, pode chegar a 3-4 km. Os sedimentos modernos recobrem grandes áreas de aluviões na superfície, e as rochas sedimentares da Bacia Amazônica se apresentam em camadas praticamente horizontais com sedimentologia homogênea. Por sua vez, os planaltos que caracterizam as terras altas são formados por rochas cristalinas diversas, predominando granitos e rochas relacionadas, em estruturas geológicas complexas e idades mais antigas, as quais podem superar os três bilhões de anos de idade, como ocorre na parte sudeste da Amazônia, nos arredores da Serra de Carajás.

A Imagem 3 mostra o mapa tectônico do Brasil com a indicação dos seus distritos e províncias metalogênicas, bem como a distribuição dos principais depósitos e ocorrências de minerais metálicos (Klein *et al.*, 2018). A produção mineral do país tem como origem 3.354 minas, a maioria de pequeno porte (produção entre 10 mil e 100 mil ton/ano de material), de acordo com o Anuário Mineral Brasileiro. Apenas 159 minas são de grande porte (produção acima de 1 milhão de ton/ano). Como se vê na Imagem 4, a região Amazônica corresponde a cerca de metade do território brasileiro, entretanto somente cerca de 300 minas, menos de 10% do total das minas brasileiras, estão situadas na Amazônia. Boa parte delas faz parte da Província Mineral de Carajás (número 10 na Imagem 3), cuja geologia está indicada na Imagem 5.

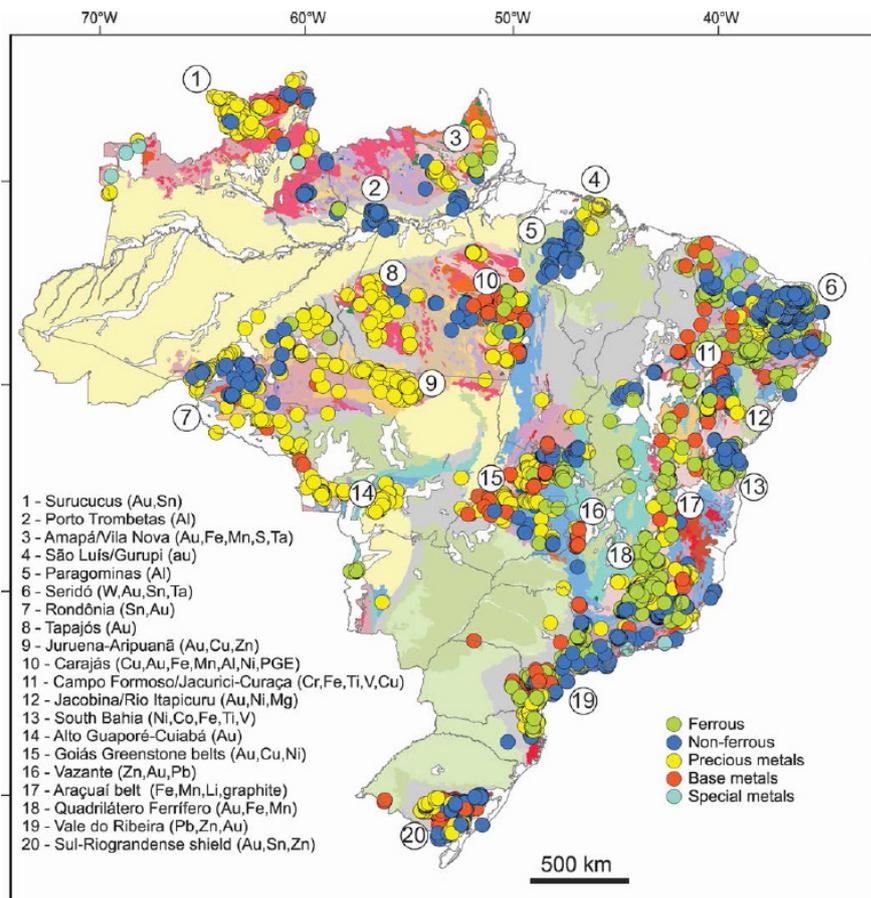


Imagem 3. Principais depósitos e ocorrências minerais do Brasil (Klein *et al.*, 2018).

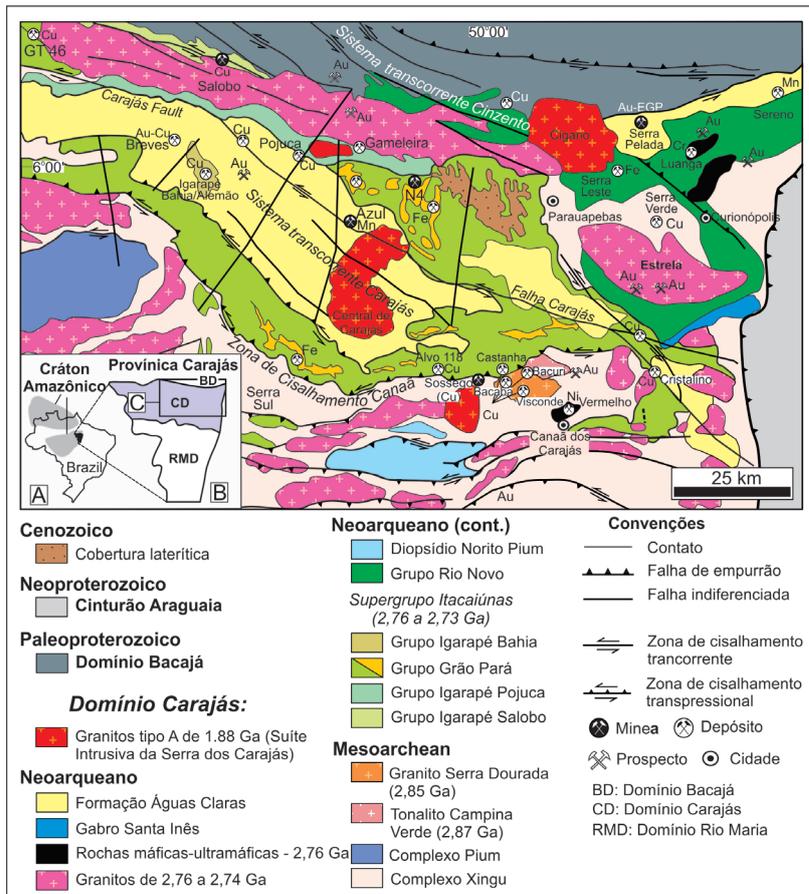


Imagem 4. Geologia e depósitos minerais da região de Carajás (adaptada de Vasquez et al., 2008).

A Imagem 4, adaptada de Vasquez et al. (2008), mostra a localização dos principais recursos minerais da Amazônia, situados nas proximidades da Serra de Carajás. Na figura, os únicos três sítios urbanos identificados são Parauapebas, Curionópolis e Canaã dos Carajás, originadas há não mais do que algumas dezenas de anos. Próximo das minas de ferro da Serra Norte está concentrado o núcleo administrativo da empresa VALE, proprietária da maioria das jazidas, e em Curionópolis vivem descendentes dos garimpeiros de Serra Pelada, cujo sítio se encontra mais ao norte, na mesma figura. Os depósitos minerais indicados, de ouro, cobre, níquel, manganês e, principalmente de ferro, são importantes e variados. Alguns são de classe mundial, fazendo de Carajás uma das mais prolíficas províncias minerais do mundo.

O ferro de Carajás foi descoberto na década de 1960, como resultado de um projeto de exploração mineral muito bem concebido e executado pela Companhia Meridional de Mineração, subsidiária da US Steel. A coordenação desse projeto foi do geólogo americano Gene Tolbert, que pouco antes havia sido docente de geologia na Universidade de São Paulo (USP), e contratou dois de seus estudantes, Breno Augusto dos Santos e Erasto Boretti de Almeida, que levaram a bom termo a operação na floresta Amazônica. O segundo deles foi o primeiro geólogo a descer de helicóptero na Serra dos Carajás, em agosto de 1967, no mesmo local onde hoje está situada a maior das minas de ferro da VALE. Ele descreveu em seu livro “Carajás: a descoberta” toda a jornada que levou à maior descoberta brasileira de todos os tempos (Almeida, 2017). Dez anos após a descoberta, em 1977, o governo brasileiro, com a visão nacionalista da época, fez com que a empresa Vale do Rio Doce (hoje simplesmente VALE) assumisse o controle das jazidas de ferro (Monteiro, 2005). Atualmente a VALE é proprietária da maioria das jazidas indicadas na Imagem 4, incluindo todas as que estão localizadas na Floresta Nacional de Carajás (FLONA).

Por outro lado, a Amazônia também contém outros bens minerais, como pode ser observado na Imagem 5, adaptada de Salomão & Veiga (2016). Em Rondônia, destaca-se internacionalmente a importantíssima

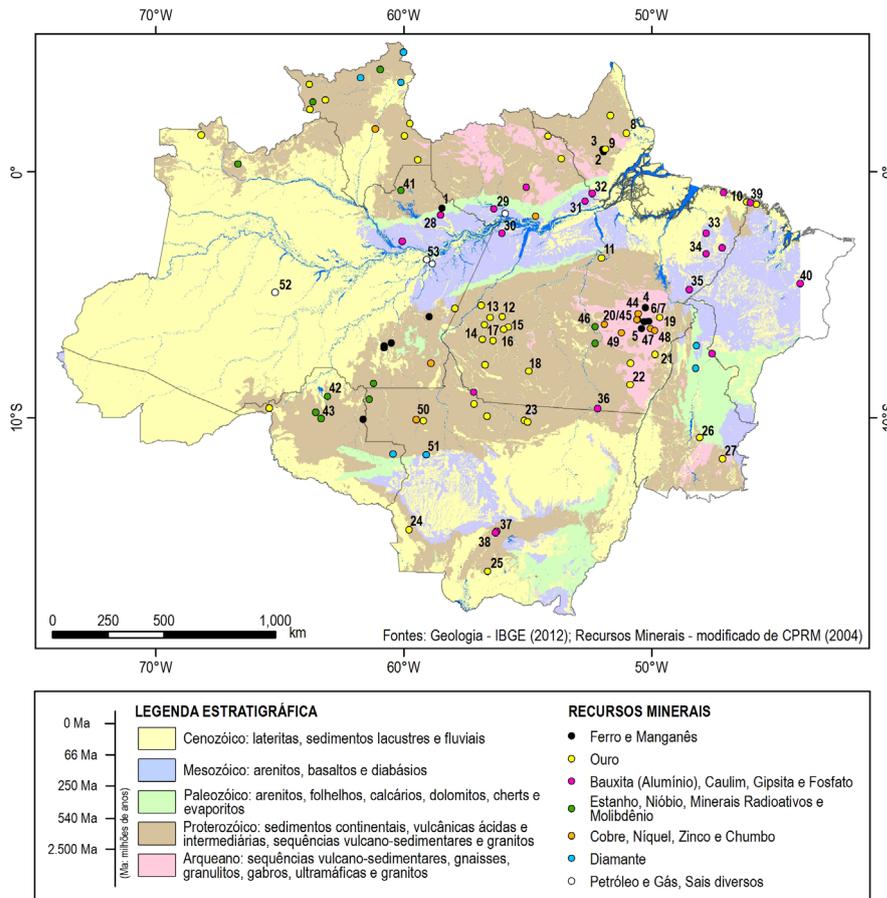


Imagem 5. Principais recursos minerais da Amazônia (Salomão & Veiga, 2016).

produção de estanho em aluviões superficiais e em rocha alterada. Esta atividade extrativa é essencialmente garimpeira até os dias de hoje. Importantes depósitos de caulim e sais de potássio (utilizados para produção de fertilizantes) ocorrem na parte norte da Bacia Sedimentar do Amazonas, enquanto que mineralizações significativas são encontradas nas rochas cristalinas das terras altas, que fazem parte do assim chamado embasamento, formado há mais de 2.000 milhões de anos. É o caso do manganês, ferro, cromo, ouro e estanho em Vila Nova (Amapá), do estanho, nióbio, zircônio, tântalo, ítrio e terras raras em Pitinga (Amazonas), do estanho e ouro em Surucucus (Roraima) e de fósforo, nióbio, titânio, bário e tório em Seis Lagos (Amazonas). Em Aripuanã (Mato Grosso), ocorre um depósito significativo de chumbo, zinco, cobre e ouro, formado por atividades vulcânicas ocorridas há cerca de 1.800 milhões de anos, que se encontra em fase inicial de exploração e deverá ser um novo marco na Amazônia, pelo seu caráter técnico-científico e pela sua atuação racional com relação ao meio ambiente. Finalmente, ao sul da Bacia Sedimentar do Amazonas ocorre a Província Mineral do Tapajós, um garimpo mecanizado que evoluiu rapidamente e passou a lavar os filões primários, expondo mineralizações de cobre, zinco, chumbo e molibdênio. Esta situação será comentada mais adiante, em vista da grande degradação ambiental que produziu e continua produzindo.

A Imagem 6 traz a evolução da produção mineral do Brasil e da Amazônia entre 1996-2013, medida em bilhões de dólares (DNPM, 2014). Verifica-se que já neste século, entre 2001 e 2011, houve um acréscimo importante de pelo menos uma ordem de grandeza, acompanhando a época do ciclo das commodities. Verifica-se também que, apesar de o número de minas ativas na Amazônia esteja abaixo de 10% em relação ao número total brasileiro, a Amazônia é responsável de cerca 30% do valor global da produção mineral brasileira, por causa de suas minas de grande porte pertencentes à VALE.

No plano internacional, se a produção mineral brasileira for comparada com a de outros países com grandes territórios, onde a atividade mineral tem grande importância econômica, como o Canadá, Austrália, África

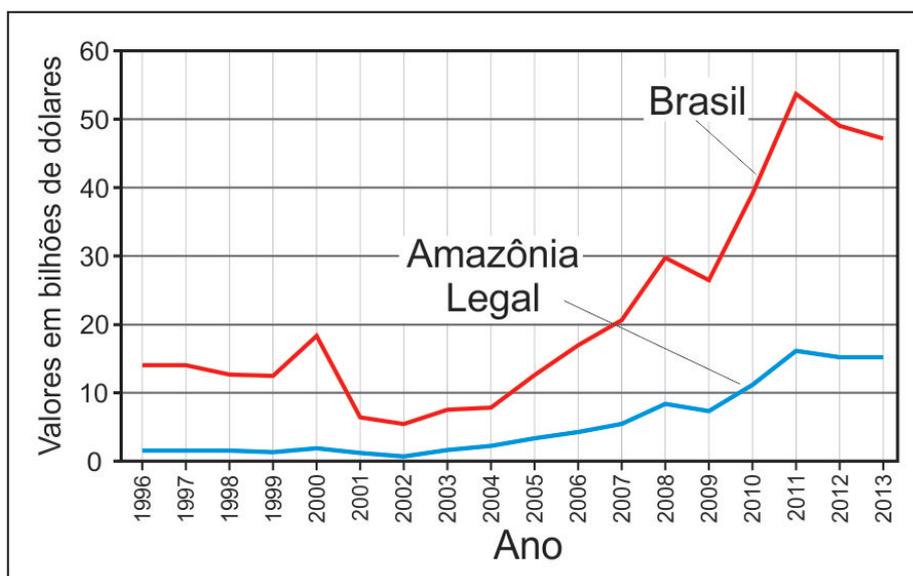


Imagem 6. Evolução da produção mineral brasileira entre 1996 e 2013 (Salomão e Veiga, 2016).

do Sul e China, embora estejam presentes no território brasileiro unidades geológicas com idade, litologia e evolução tectônica similar, não há, no Brasil, um número de minas correspondente e nem uma variedade de *commodities* compatível. A nosso ver, estas características da baixa produção mineral brasileira parecem ser devidas ao reduzido nível de investimentos públicos para a melhoria do conhecimento geológico regional, ao longo de décadas. Políticas pouco sensíveis aos aspectos do setor mineral podem provavelmente ser atribuídas à compreensão insuficiente dos benefícios e do significado econômico e social para a nação que poderiam resultar da exploração racional e sustentável de seus recursos minerais. No caso da Amazônia, independentemente de eventuais singularidades específicas, como a cobertura florestal e o difícil acesso, a sua produção mineral se encontra em franco crescimento. Seguramente, isso é de grande interesse para o país, não só para suprir o consumo interno de bens minerais, mas também para proporcionar emprego à população regional das áreas de extração.

#### 4. Impacto ambiental da mineração na Amazônia

De início, cabe assinalar que a floresta amazônica é o último grande bioma mundial com floresta em pé, que inclui biodiversidade única que requer ações de conservação. O Brasil já se dispôs a isso, criando áreas protegidas por leis específicas, como reservas indígenas, unidades de conservação de proteção integral e unidades de uso sustentável. A Imagem 7 traz a localização dessas áreas, conforme relatórios da Fundação Nacional do Índio (FUNAI) e do Ministério do Meio Ambiente (MMA) (Salomão & Veiga, 2016). Ainda de acordo com esses autores, na Amazônia coexistem três estágios tecnológicos na utilização de recursos minerais: coleta mineral (povos indígenas), extrativismo mineral (garimpos) e mineração organizada (empresas). O primeiro estágio, relacionado com o uso de objetos e substâncias minerais disponibilizados pela natureza, a exemplo dos instrumentos de pedra, adornos e pigmentos minerais utilizados por povos indígenas, não traz danos ambientais. Por outro lado, o extrativismo mineral e a mineração organizada possuem características muito diferenciadas quanto aos impactos que provocam, especificamente no caso de desmatamento e de degradação ambiental.

Extrativismo mineral, conhecido informalmente como “garimpo”, opera com medidas simples, nas quais predominam trabalhos manuais, para remoção e separação de bens minerais em depósitos secundários superficiais (aluviões, colúvios). Um exemplo clássico pode ser a garimpagem de ouro praticada na região do Tapajós, desde meados do século passado, com equipamentos de pequeno porte, concentração gravítica em “bateias” e amalgamação do ouro com mercúrio. Por outro lado, a mineração organizada,

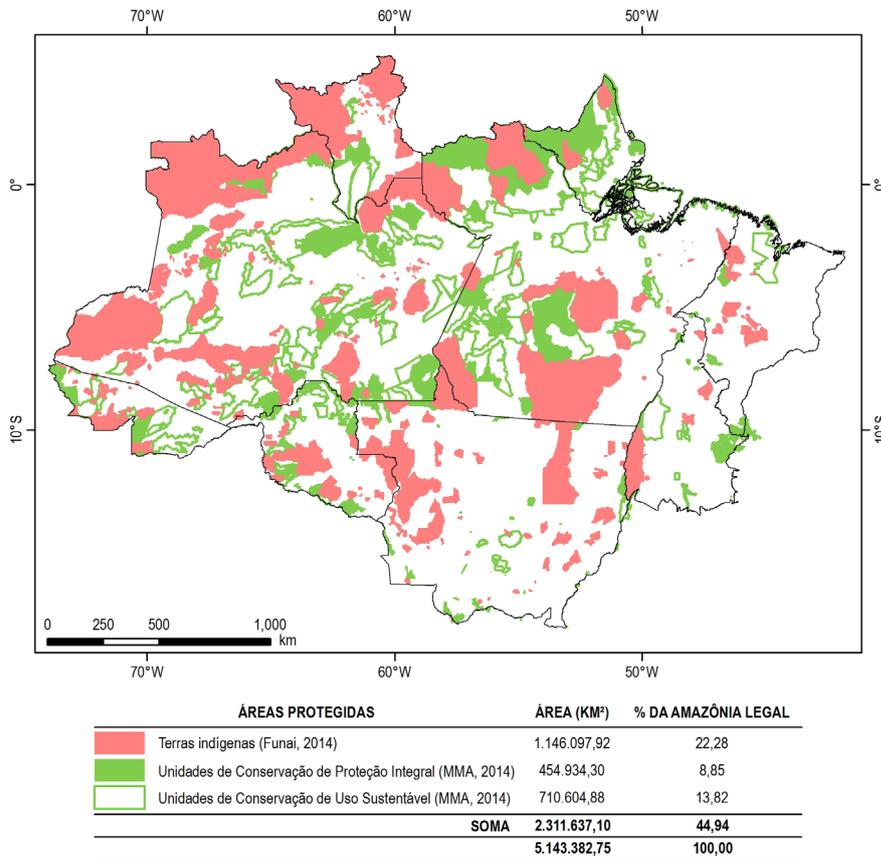


Imagem 7. Áreas protegidas da Amazônia, segundo Funai (2014) e MMA (2014) (Salomão & Veiga, 2016).

embora as minas sejam localizadas pontualmente, opera em grande escala, em operações ordenadas e tecnicamente conduzidas de lavra e beneficiamento de minérios diversos, precedidas de planejamento e de pesquisa mineral. Os exemplos mais explícitos são as minas operadas pela VALE, estabelecidas a partir da década de 1960 nas proximidades da Serra de Carajás, das quais são extraídos vários bens minerais, tais como minérios de ferro, manganês, cobre, ouro, níquel, entre outros.

Não há dúvida que as ações garimpeiras são as que trazem maiores impactos sobre os rios Amazônicos e a floresta tropical. Exemplos de malefícios causados pela extração mineral desordenada são inúmeros. Entendemos que, em grande parte, o que consta do artigo XX da lei máxima que governa o Brasil, a Constituição de 1988, é responsável por muitos dos problemas correntes. Dizem os parágrafos 3o e 4o desse artigo que:

§ 3.º - O Estado favorecerá a organização da atividade garimpeira em cooperativas, levando em conta a proteção do meio ambiente e a promoção econômico-social dos garimpeiros.

§ 4.º As cooperativas a que se refere o parágrafo anterior terão prioridade na autorização ou concessão para pesquisa e lavra dos recursos e jazidas de minerais garimpáveis, nas áreas onde estejam atuando, e naquelas fixadas de acordo com o art. 21, XXV, na forma da lei.

Ocorre que não é possível haver controle pelo Estado sobre a ação de milhares de garimpeiros, dispersos em áreas enormes com mínima densidade demográfica. Nem o meio-ambiente e nem o estado econômico-social dos garimpeiros estão protegidos. É de domínio público a degradação ambiental provocada pela ação garimpeira, causando por exemplo a contaminação de muitos rios amazônicos com mercúrio. A Imagem 8, que mostra as “formigas humanas” da cooperativa garimpeira em Serra Pelada, retratadas pela objetiva dramática de Sebastião Salgado, nos anos 1980 e a Imagem 9, que mostra o desastre ambiental sofrido pelo garimpo de Bom Futuro, são apenas dois exemplos extremos da atuação garimpeira.



Imagem 8. Extração garimpeira em Serra Pelada (foto de Sebastião Salgado, recuperada de [<https://rarehistoricalphotos.com/hell-serra-pelada-1980s/>]; consultado [05-11-2018]).

A atividade extrativista relacionada aos bens minerais na Amazônia é relativamente recente. Como dizem Salomão & Veiga (2016), garimpos são operações sem planejamento, efetuadas de modo desordenado e sem compromisso com o aproveitamento eficaz das jazidas e com a proteção ambiental. A produção é informal, realizada à margem da legislação minerária, ambiental, trabalhista e tributária. Ademais, os garimpos não trazem benefícios duradouros às comunidades onde atuam. Citações históricas sugerem que ouro foi descoberto por João de Souza Azevedo em um afluente do rio Tapajós por volta de 1747, mas somente em 1950, Nilson Barroso Pinheiro deu início a uma intensa atividade garimpeira para ouro, no rio das Tropas, que continuou até os anos 1990, e que está sendo retomada nos dias de hoje. No Tapajós, as atividades garimpeiras, inicialmente manuais, individuais, ou exercidas por pequenos grupos, rapidamente foram mecanizadas, utilizando-se principalmente da lavra por desmonte hidráulico, o que gerou enorme impacto ambiental nas drenagens pela dispersão da lama em suspensão e por contaminação por mercúrio, utilizado na apuração final do ouro. No auge desta atividade, no final dos anos 1980, havia mais de 400 pistas de pouso de aviões monomotores, e se estima ter havido mais de 400.000 garimpeiros na região do rio Tapajós. Em 1993, pelo relatório feito pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (Salomão & Veiga, 2016) havia cerca de 300.000 garimpeiros na Amazônia, distribuídos em cerca de 1.000 frentes de trabalho. Nos anos 1980, houve ainda a descoberta de ouro em Serra Pelada, com enorme atividade garimpeira (Imagem 5).

A mineração organizada, pelo seu impacto pontual e observância à legislação ambiental, permite o desenvolvimento sustentável da Amazônia com a ocupação pioneira de regiões de difícil acesso, gerando um mínimo de ônus para o Governo. As minas maiores resultam de investimentos de muitos anos de pesquisa mineral. São operações industriais de larga escala e destinadas, essencialmente, à exportação de concentrados minerais. Segundo Veiga (1999), seus benefícios são evidentes, visto que elas geram riquezas, permitem qualificar expressivo contingente de trabalhadores, e têm grande potencial multiplicador na economia local, ao alavancar as indústrias de transformação regional e nacional. Na região amazônica,



Imagem 9. Exemplo da degradação ambiental causada pela atividade extrativista de cassiterita (minério de estanho) no Garimpo de Bom Futuro em Rondônia. Recuperada de [http://almyrcarlos.blogspot.com/2010/11/garimpo-bom-futuro.html]; consultado [05-11-2018].

inteiramente coberta por solos lateríticos tropicais, as minas são geralmente a céu aberto, adequadas à extração de minérios superficiais, mecanizadas, com circuitos de beneficiamento convencionais. Em geral, elas ocupam pequenos espaços, porém relevantes para a salvaguarda dos demais recursos da região. Seus impactos ambientais diretos geralmente afetam áreas restritas, são controlados e, muitas vezes, reversíveis (Salomão & Veiga, 2016). Além disso, as empresas proprietárias têm a obrigação constitucional de recuperar a área após a lavra.

A maior mina da VALE na Serra Norte de Carajás, quase não aparece na Imagem 10, visto que não chega a ocupar 2% da superfície da FLONA, uma enorme área preservada de floresta tropical, com mais de

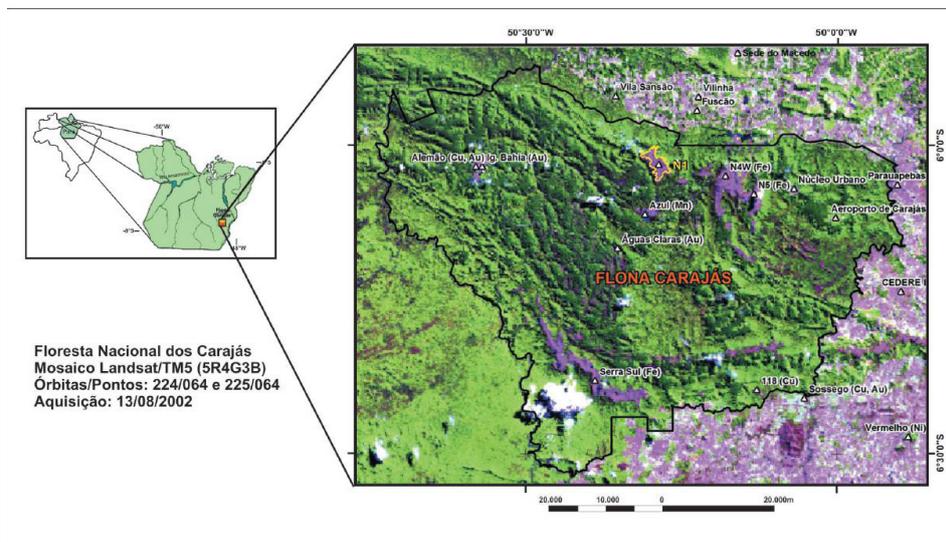


Imagem 10. Ocupação da região de Carajás e a Floresta Nacional de Carajás (imagem de 13 de agosto de 2012; Moraes et al., 2009).

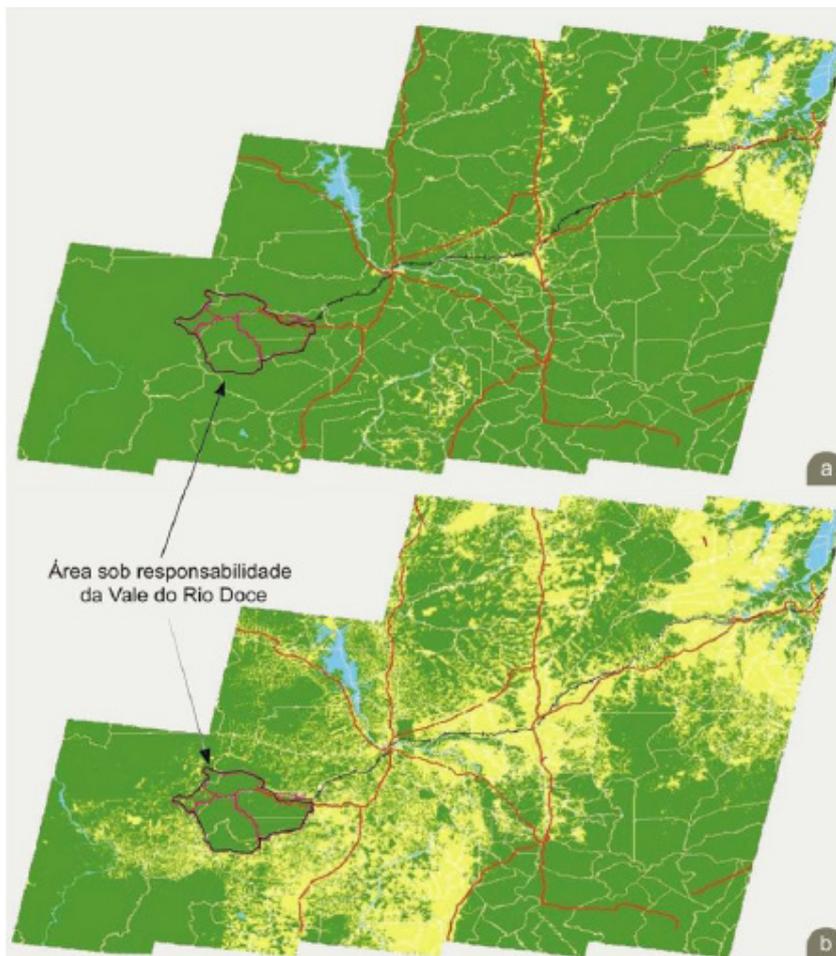


Imagem 11. Evolução do desmatamento na região de Carajás, entre 1975 e 2000 (Marini, 2007).

8.000 km<sup>2</sup>, controlada pela empresa em colaboração com o IBAMA. A Imagem 11, ao trazer imagens de sensoriamento remoto da mesma região em tempos diferentes, é impressionante ao caracterizar a rápida evolução do desmatamento da região entre 1975, quando apenas se iniciava a lavra das minas da VALE, e apenas 25 anos mais tarde. Verifica-se que a FLONA permaneceu inteiramente preservada, enquanto que em seu entorno a floresta foi afetada por intenso desflorestamento, e grande parte da região foi totalmente devastada pela agropecuária e pela ocupação humana. Fica muito claro que o maior impacto ambiental na região de Carajás não é o da mineração, mas se deu pela ocupação rápida e progressiva da terra, com o avanço da fronteira agrícola no leste da Amazônia e o desenvolvimento da agroindústria. Trata-se de um caso emblemático em que a mineração organizada e sustentável protegeu do desmatamento toda a área da FLONA de Carajás e das reservas indígenas vizinhas. Por outro lado, preservação similar das áreas florestais originais ocorre também em outras áreas da Amazônia com mineração organizada, como Belém-Barcarena, Urucu e Pitinga.

Com o importante crescimento da sua produção mineral durante o ciclo das *commodities*, indicado na Imagem 6, a Amazônia, apesar de possuir apenas cerca de 10% das minas brasileiras, já é responsável por mais de 30% da produção mineral total do Brasil. Cabe lembrar, outrossim, que a mineração gera renda por hectare muito maior do que agricultura e pecuária. As características diferenciadas da região, no sentido de manter a floresta em pé, e ao mesmo tempo integrar as comunidades locais e trazer progresso social com sustentabilidade, impõem condicionantes para os programas de desenvolvimento socioeconômico. A nosso ver, a mineração organizada seria uma das atividades econômicas mais adequadas, por ser especialmente localizada e gerar recursos suficientes para uma boa gestão territorial e também para a compensação ambiental que for necessária.

## 5. Potencial mineral da Amazônia

As dimensões da Amazônia brasileira, bem como o seu patrimônio já conhecido de jazidas minerais, asseguram-lhe um grande potencial mineral, comparável ao que existe em partes do Canadá ou da Austrália. Por outro lado, pela baixa densidade populacional, pela extensa cobertura vegetal, e pelo acesso em muitas partes difícil, seu subsolo é pouco conhecido, o que faz da Amazônia a última fronteira mineral importante na Terra.

As maiores dificuldades enfrentadas pela exploração mineral na Amazônia advém da cobertura por floresta tropical primária, composta de inúmeros ecossistemas, normalmente muito vulneráveis, que contém uma biodiversidade única, que tem que ser preservada. Ademais, a Imagem 7 indica que em boa parte do seu espaço não há possibilidade de operações minerais, como é o caso de unidades de conservação de proteção integral. Por outro lado, há minas ativas em muitos lugares da Amazônia, algumas delas de Classe Mundial, como as de ferro que pertencem à VALE na Serra de Carajás (Imagem 4). É de se esperar que as operações de exploração mineral em seu entorno, pelas minerações interessadas, possam ser bem sucedidas, tanto no desenvolvimento de áreas contíguas às minas ativas como no encontro de depósitos novos.

Quanto ao conhecimento acadêmico da evolução geológica e da metalogênese da região Amazônica, o seu entendimento teve início apenas na década de 1970, com os levantamentos feitos pelo Projeto RadamBRASIL. Naquele período, se destacaram as proposições conflitantes de dois modelos geológicos evolutivos distintos. O primeiro, ligado com o verticalismo que dominava a geologia antes da revolução científica da Tectônica de Placas, considerava a região formada totalmente em período muito antigo, acima de 2.500 milhões de anos, e reativada tectonicamente mais tarde, há cerca de 1.800 milhões de anos, quando teriam sido gerados expressivos depósitos de rochas vulcânicas, conhecidos como Grupo Uatumã (Pessoa *et al.*, 1977). Ao aplicar as ideias então emergentes da tectônica mobilista, um inovador conceito

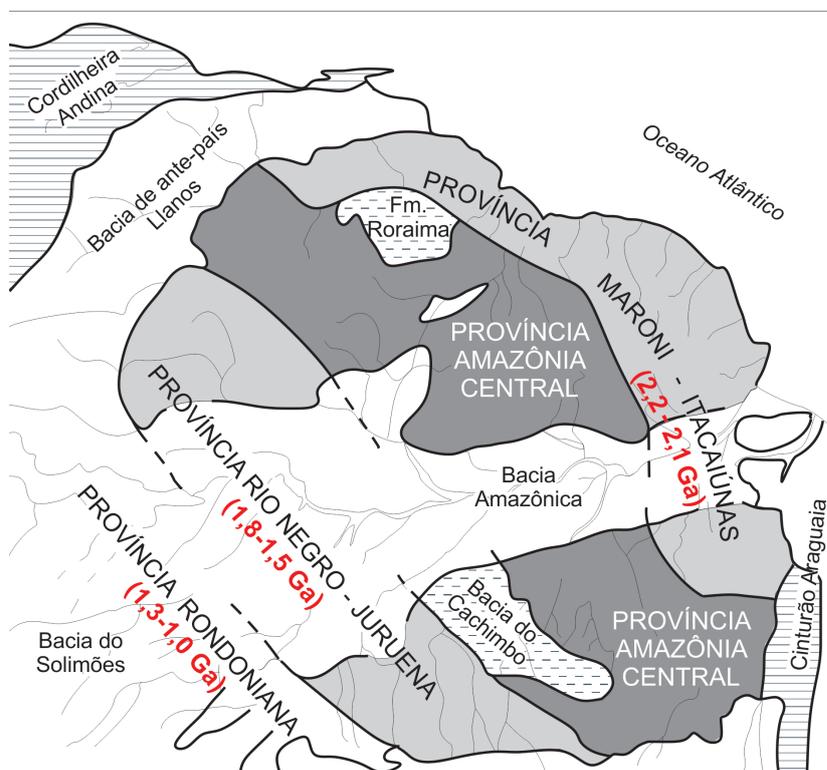


Imagem 12. Proposta pioneira do modelo mobilista da tectônica de placas para evolução geológica do Cráton Amazônico de Cordani *et al.* (1979), baseada em cerca de 800 datações K-Ar e Rb-Sr que estabeleceu os fundamentos para entendimento moderno da geologia e para descoberta de novos depósitos minerais na Amazônia.

evolutivo foi proposto por pesquisadores do Instituto de Geociências da USP (Cordani *et al.*, 1979). Segundo esta proposta (Imagem 12) haveria um núcleo antigo (Província Amazônia Central) formado por rochas graníticas com idades superiores a 2.500 milhões de anos, ao qual seriam acrescentados cinturões de rochas variadas sucessivamente mais novas, com idades próximas de 2.200, 2.000, 1.750 e 1.500 milhões de anos. O resultado desta acreção seria atualmente um extenso domínio de crosta continental, denominado “Cráton Amazônico” formado em sistemas de arcos magmáticos produzidos pela subducção de litosfera oceânica. Segundo os conceitos inerentes à tectônica de placas, o processo de subducção é o grande motor da dinâmica interna do planeta (Teixeira *et al.*, 2009). Dessa forma, desde os anos 1970, o novo modelo tectônico mobilista descrito acima abriu novos potenciais exploratórios para formação de depósitos minerais, seguidos até hoje, que resultaram em descobertas importantes.

Em qualquer campo da ciência e da tecnologia, inovações científicas que venham a modificar paradigmas são pródigas para despertar modelos mentais novos e revitalizar as atividades do setor. Foi o caso da exploração mineral da Amazônia. No início dos anos 2000, pesquisadores do Instituto de Geociências da USP descreveram a existência de uma mineralização aurífera associada a sistemas hidrotermais numa cratera de um vulcão de cerca de 1.880 milhões de anos (Juliani *et al.*, 2002; 2005). Foi uma surpresa, visto que o tipo de mineralização encontrado forma-se apenas em profundidades muito rasas, e por isto ocorre normalmente em sistemas vulcânicos jovens, pouco erodidos, com menos de 120 milhões de anos. Dois aspectos resultaram em maiores interesses nesta pesquisa: 1) o excepcional nível de preservação das rochas vulcânicas muito antigas (Imagens 13 e 14) e 2), a possibilidade de existirem na Amazônia depósitos de cobre-molibdênio-ouro (Cu-Mo-Au) do tipo pórfiro (Imagem 15), que tipicamente ao redor do mundo tem idade jovem, como no caso das montanhas Rochosas ou dos Andes. A interpretação dos pesquisadores foi justamente esta última, que no Cráton Amazônico poderiam ocorrer situações similares a dos Andes ou das Rochosas, mesmo que os sistemas de subducção sejam muito mais antigos. Caso positivo, poderiam ser encontrados na Amazônia depósitos do tipo cobre pórfiro (Cu-pórfiro), os quais se caracterizam por

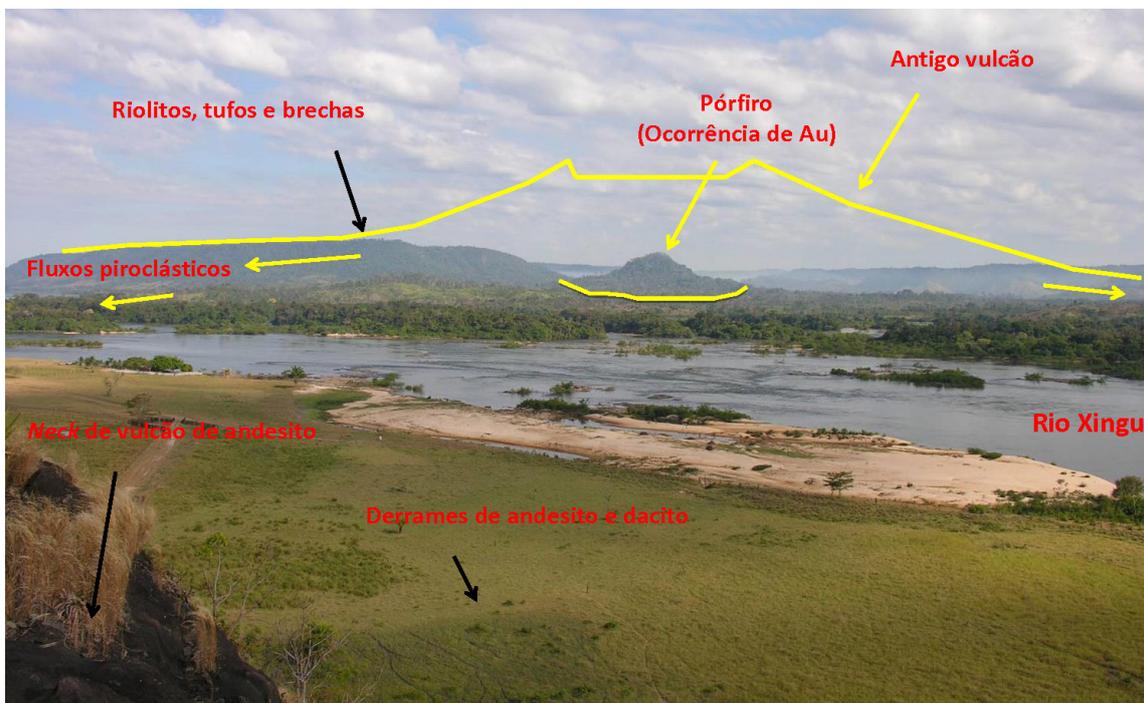




Imagem 14. Vista dos restos de um vulcão de ca. 1880 milhões de anos identificado na Província Mineral do Tapajós, com mineralização de ouro em sua cratera, que indica o potencial geológico para existência de mineralizações de Cu-Mo-Au de grande porte na Amazônia (Foto C. Juliani).

baixos teores, geralmente cerca de 1% de cobre, mas que usualmente possuem grandes volumes, que ultrapassam comumente 500 milhões de toneladas.

Na busca de recursos minerais de acordo com os modelos inovadores ligados com zonas de subducção antigas, após atividades de diversos anos desenvolvidas pelos mesmos pesquisadores do Instituto de Geociências da USP, foi descoberta uma mineralização que poderá vir a ser de extrema relevância na região de Alta Floresta, Mato Grosso. Este tipo de depósito mineral parece evidenciar algumas características geológicas próprias da região Amazônica, dada a surpreendente preservação dessas rochas em relação a intemperismo, erosão e metamorfismo.

A descoberta de Alta Floresta pode ser descrita como uma ocorrência de Cu-Mo-Au do tipo pórfiro. Ela é um exemplo emblemático de descoberta efetuada como consequência da aplicação de um modelo evolutivo inovativo em termos de exploração mineral, o que é auspicioso, visto que poderá se desenvolver

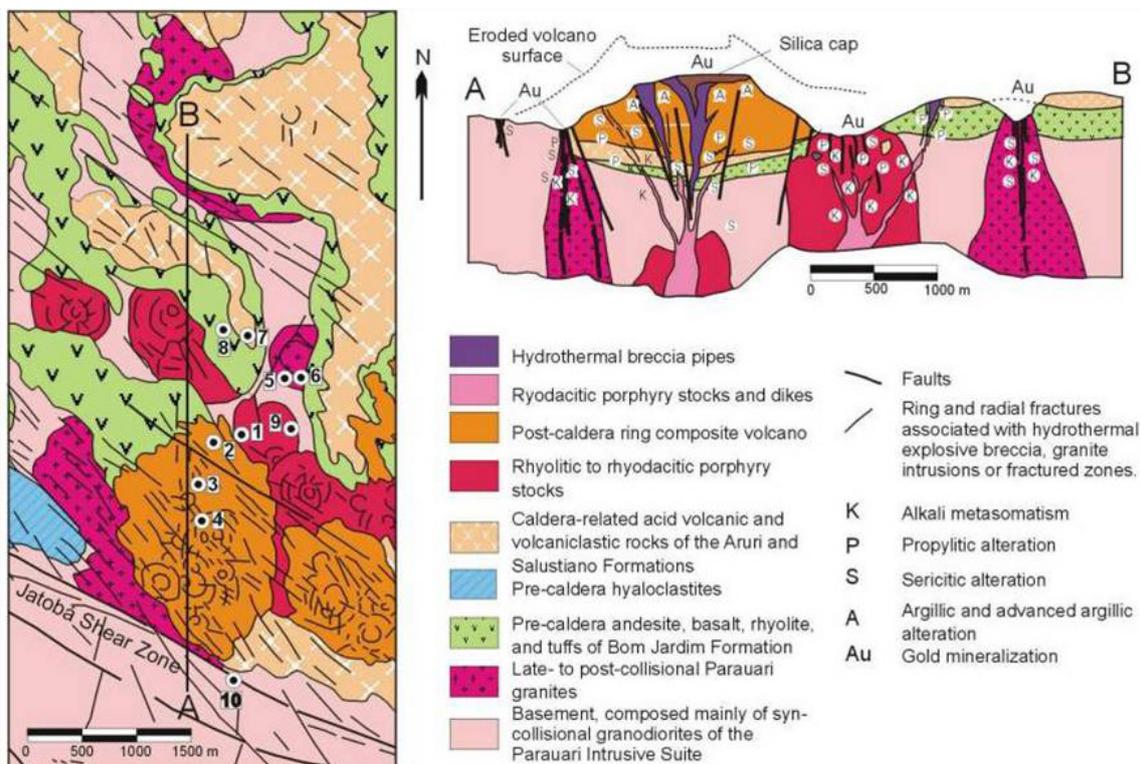


Imagem 15. Mapa geológico à esquerda e perfil geológico do vulcão da Figura 14, com mineralizações de ouro indicando o potencial geológico para existência de depósitos minerais de Cu-Mo do tipo pórfiro (Juliani et al., 2005).

na Amazônia uma nova província produtora de cobre no Brasil, com características específicas quanto ao conteúdo do elemento estratégico molibdênio e por apresentar teores de ouro, zinco e chumbo. Desta forma, além dos depósitos já conhecidos de ferro, ouro, cobre, estanho, manganês, níquel, cobalto e alumínio, a composição geológica do Cráton Amazônico adicionaria um potencial mineral relevante para depósitos de Cu-Mo-Au associados a unidades magmáticas de cerca 1.900 milhões de anos.

Esta descoberta já atraiu a atenção de todas as grandes empresas produtoras de cobre no mundo, além de outras de médio e pequeno porte, que atualmente buscam oportunidades para investimentos, já que as possibilidades de grandes descobertas com consequências econômicas em províncias minerais maduras têm sido muito raras. Presentemente estão sendo efetuadas as pesquisas necessárias na ocorrência de Alta Floresta, incluindo operações de geoquímica, geofísica, sondagens, entre outras. Caso se confirme que poderia haver no local um depósito mineral do tipo Cu-pórfiro, em alguns anos poderia ser implantada no local uma mina. Por outro lado, essa descoberta poderia dar origem a algo muito mais importante para o Brasil. Poderia ser caracterizada na região Amazônica uma nova província mineral produtora de cobre, molibdênio e ouro, comparável com a Província Mineral de Carajás em termos de recursos, resultando em benefícios sociais à população, pela geração de um grande número de empregos diretos e indiretos, elevados investimentos e grande impacto econômico.

## 6. Conclusões

Como já foi mencionado, a Amazônia representa a última fronteira mineral importante do planeta. Certamente, ela ainda não possui conhecimento geológico em grau e escala suficiente para o norteamento dos trabalhos de exploração mineral. Entretanto, ela possui diversos tipos de ocorrências minerais e um enorme potencial geológico. Por estes motivos, sempre que as ações de exploração mineral sejam baseadas em normas de sustentabilidade e de minimização do impacto ambiental, têm atraído a atenção e investimentos da indústria mineral, tanto brasileira como estrangeira. Como dizem Salomão & Veiga (2016), a produção formal de bens minerais da Amazônia, embora relativamente recente, já alcança grande destaque internacional e tende a se prolongar por um longo futuro. As atividades de mineração propiciam grandes receitas em reduzido espaço do terreno, e nenhum empreendimento econômico sequer se aproxima dessa escala de geração de riquezas. Se for conduzida com responsabilidade e em bases técnicas adequadas, ela poderá se harmonizar ao uso dos demais recursos naturais e configurar uma alternativa viável para o desenvolvimento sustentável de uma grande porção da Amazônia, propiciando a geração de benefícios amplos e duradouros.

Quanto a uma Amazônia sustentável, a busca, fornecimento e gerenciamento de recursos minerais sempre fizeram parte do papel dos profissionais e pesquisadores das ciências da Terra (Cordani, 1998). Como foi descrito nos itens anteriores, é de extrema importância que as operações mineiras sejam destinadas apenas a minerações organizadas, e que sejam evitados ou controlados os possíveis excessos de garimpos ou de operações de empresas garimpeiras ilegais, extremamente danosas para o ambiente. Como indica Monteiro (2005), o desenvolvimento da Amazônia parece ficar sempre aquém da expectativa e do discurso oficial, a despeito da geração de renda e da inegável melhoria dos indicadores socioeconômicos das localidades próximas às minas.

Sabemos que o gerenciamento da terra em regiões de grandes dimensões, contendo ecossistemas complexos e vulneráveis, é de grande dificuldade. Em muitos casos de regiões enormes e complexas, como a Amazônia, há poucos dados factuais, e os dados existentes podem ser imprecisos e são por vezes apenas estimados. Bom senso e conhecimento técnico para as decisões a serem tomadas são essenciais. O enfoque necessário tem que ser interdisciplinar e holístico, e aqueles que detêm o poder de conduzir políticas públicas têm que ser sensíveis às necessidades da sociedade e do ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, E. B. (2017). *Carajás: a descoberta*. São Paulo: Editora Oficina de Textos.
- Constituição Brasileira (1988). Recuperado de [<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/consti/1988/constituicao-1988-5-outubro-1988-322142-publicacaooriginal-1-pl.html>]. Consultado [09-2018].
- Cordani, U. G. (1998). Geosciences and development: the role of the Earth sciences in the developing world. *Ciência e Cultura*, 50(5), 336-341.
- Cordani, U. G., Tassinari, C. C. G., Teixeira, W., Kawashita, K. & Basei, M. A. S. (1979). Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. *Actas II Congreso Chileno*, 4, 137-148.
- Demeny, P. (1984). A perspective on long-term population growth. *Population Development Reviews*, 10, 103-126.
- DNPM. Departamento Nacional da Produção Mineral. (2014). *Anuário Mineral Brasileiro – dados preliminares não publicados*. Brasília: DNPM.
- Juliani, C., Corrêa-Silva, R. H., Monteiro, L. V. S., Bettencourt, J. S. & Nunes, C. M. D. (2002). The Batalha Au-Granite system – Tapajós Gold Province, Amazonian craton, Brazil: hydrothermal alteration and regional implications. *Precambrian Research*, 119, 225-256.
- Juliani, C., Rye, R. O., Nunes C. M. D., Snee, L. W., Corrêa-Silva, R. H., Monteiro, L. V. S., Bettencourt, J. S., Neumann, R. & Neto, A. A. (2005). Paleoproterozoic high-sulfidation mineralization in the Tapajós Gold Province, Amazonian craton, Brazil: geology, mineralogy, alunite argon age, and stable-isotope constraints. *Chemical Geology*, 215(1-4), 95-125.
- Kalvig, P. (2013) Critical minerals -Green technology depends on availability of minerals. *EuroGeoSurveys - Association of the Geological Surveys of Europe* Recuperado de [<https://ec.europa.eu/assets/jrc/events/20130926-eco-industries/20130926-eco-industries-kalvig.pdf>].
- Klein, E. L., Matos, D. R., Santos, P. A. dos, Correa, R. T. & Eyben, H. S. Z. (2018). *Atlas of mineral deposits and selected mineral occurrences of continental Brazil*. Brasília: CPRM.
- Marini, O. J. (2007) Mineração e mapeamento das províncias minerais da Amazônia. *59ª Reunião Anual da SBPC – Amazônia: Desafio Nacional - GT.3 – Mapeamento das Províncias Minerais da Amazônia*. Recuperado de [[https://www.adimb.com.br/site/arquivos/palestra\\_formatada\\_NOVA.pdf](https://www.adimb.com.br/site/arquivos/palestra_formatada_NOVA.pdf)]. Consultado [05-11-2018].
- Monteiro, M. A. (2005). Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional. *Estudos Avançados*, 19(53), 187-207.
- Morais, M. C. de, Pereira Jr., P. M. & Paradella, W. R. (2009). Informações geoambientais derivadas de imagens de radar (R99B/SIPAM) e ópticas (LANDSAT/TM5) em jazimento de minério de ferro em Carajás (Environmental informations derived from radar (R99B/SIPAM) and optical (LANDSAT/TM5) images on iron ore deposit in Carajás). *Revista da Escola de Minas de Ouro Preto*, 62(2), 131-137.
- Pessoa, M. R., Santiago, A. F., Andrade, A., Nascimento, J. O., Santos, J. O., Oliveira, J. R., Lopes, R. C. & Prazeres, W. V. (1977). Projeto Jamaxim. *Relatório Final*, 1(A).
- Salomão, E. P. & Veiga, A. T. C. (2016). Mineração. Presente e futuro da Amazônia. Em Melfi, A. J., Misi, A., Campos, D. A. & Cordani, U.G.C. *Recursos Minerais no Brasil – Problemas e desafios* –, pp. 376-393. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências.
- Serviço Geológico do Brasil. (s/d). Programa Geologia do Brasil. *Integração, atualização e difusão de dados da geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais. CPRM – Serviço Geológico do Brasil*. Superintendência Regional de Belém. Recuperado de [<http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Programa-Geologia-do-Brasil---PGB-79.html>].
- Skinner, B. J. (1989). Resources in the 21<sup>st</sup> century - Can supply meet needs?. *Episodes*, 12, 267-275.
- Teixeira, W., Fairchild, T., Toledo, M. C. M de, Taioli, F. (2009). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Vasquez, M. L., Sousa, C. S. & Carvalho, J. M. A. (Org.). (2008). *Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Pará, escala 1:1.000.000*. Programa Geologia do Brasil.
- Veiga, A. T. C. (1999). A geodiversidade e o uso dos recursos minerais da Amazônia. NEAz/UnB, Brasília. *Terra das Águas*, 1, 88-102.