

**A APLICABILIDADE DO PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO NO PROCESSO DE BIOMINERAÇÃO: UMA NOVA VISÃO DE SUSTENTABILIDADE COM A CLIVAGEM TECNOLÓGICA**

**THE APPLICABILITY OF THE PRECAUTIONARY PRINCIPLE IN BIOMINERAÇÃO: A NEW VISION OF SUSTAINABILITY WITH THE TECHNOLOGICAL DIVIDE**

**Adriana Freitas Antunes Camatta<sup>1</sup>**

**Lívia Maria Cruz Gonçalves de Souza<sup>2</sup>**

**RESUMO**

Este artigo objetiva analisar o Princípio da Precaução no processo de biomineração como substituto da extração convencional dos recursos minerais dentro de uma nova visão de sustentabilidade. Assim, novas alternativas precisam ser elaboradas para superarem as técnicas tradicionais da atividade mineradora. Por causarem grandes impactos ambientais, essas atividades necessitam de novos substitutos, dentre eles destaca-se a biomineração. Trata-se de uma tecnologia, mais viável, que contribui de forma mais sustentável para a mineração. Por ser inovadora, seus efeitos devem ser sopesados à luz do Princípio da Precaução, como forma de assegurar às futuras gerações medidas responsáveis diante de incertezas científicas.

**PALAVRAS-CHAVE:**

PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO; BIOMINERAÇÃO; SUSTENTABILIDADE.

**ABSTRACT**

This Article aims to analyze the Precautionary Principle in biomineracao as substitute for conventional extraction of mineral resources within a new vision of sustainability. Thus, new alternatives need to be developed to overcome the traditional techniques of mining activity. By causing major environmental impacts, these activities need of new substitutes, among

---

<sup>1</sup>Advogada. Mestranda em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pela Escola Superior Dom Helder Câmara – ESCHC - (Belo Horizonte). Email: afacamatta@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Advogada. Mestranda em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pela Escola Superior Dom Helder Câmara – ESCHC - (Belo Horizonte). Email: liviamaria\_cg@hotmail.com

them stands out the biomineracao. It is a technology, more viable, which contributes to more sustainable way for mining. By being innovative, its effects should be carefully taken into account when the light of the Precautionary Principle, as a way of ensuring that future generations responsible measures before scientific uncertainties.

#### **KEY-WORDS:**

PRECAUTIONARY PRINCIPLE; BIO-MINING; SUSTAINABILITY.

### **INTRODUÇÃO**

Na estrutura nacional contemporânea, a atividade minerária passou a ter papel de grande relevância para o desenvolvimento econômico e social dos países. Exatamente por este motivo, tal atividade não pode ser prescindida, pois trata-se da base de toda cadeia produtiva industrial. O mercado em questão gera crescimento econômico, desenvolvimento das regiões, centenas de empregos e muita rentabilidade.

Dentro desse contexto, um dos grandes desafios a ser enfrentado pelo Direito Ambiental, mais precisamente, pelo Poder Público, mineradoras e sociedade, é justamente como desempenhar essas atividades de forma eficiente visando à sustentabilidade.

O presente estudo pretende demonstrar por meio da evolução histórica dos recursos minerais, quão lenta é a produção e o ciclo de vida dos minerais não renováveis e como se torna urgente a necessidade da descoberta de novas tecnologias para o suprimento destes.

Nesse contexto, a biomineração surge como um dos novos substitutos para a mineração tradicional. Fruto das pesquisas científicas que buscam novas técnicas menos agressivas de exploração mineral, tende a contribuir para a diminuição da degradação do capital natural com base num planejamento sustentável.

Cada vez mais, percebe-se que o avanço tecnológico é um aliado do crescimento e do desenvolvimento econômico. Contudo, também é a prova clara do quão grande é a degradação ambiental por meio da atividade humana.

Nesse sentido, o Princípio da Precaução deve estar intimamente ligado a esses avanços tecnológicos. Assim, ele desempenhará um papel fundamental, o de diretriz orientadora de toda atividade minerária, garantindo à sociedade que diante de incertezas científicas em relação aos riscos, dever-se-á agir anteriormente aos efeitos a serem suportados.

Sendo assim, a precaução deve ser utilizada em todas as questões que envolvam ameaça ao meio ambiente, regulando e limitando as atividades humanas.

O artigo foi dividido em três principais partes: a primeira delas buscou descrever o Princípio da Precaução como norteador dessa nova tecnologia de mineração, destacando os principais documentos históricos que o originaram e sua efetiva implementação diante das incertezas científicas e dos riscos de danos potenciais.

Em continuidade, o item dois tratou de apresentar o processo geológico em que se deu a formação dos recursos minerais e das rochas, demonstrando toda a gradual evolução desse ciclo.

Posteriormente, no terceiro item, abordou-se a necessidade de substituição dos modelos tradicionais de exploração minerária por novas alternativas como a biomineração, destaque do presente artigo.

A metodologia utilizada na consecução deste artigo consiste basicamente no método analítico-descritivo. Utilizou-se também como fonte de pesquisa informações eletrônicas e artigos científicos em sítios especializados. A visão da aplicabilidade do Princípio da Precaução no processo de biomineração: uma nova visão de sustentabilidade com uma clivagem tecnológica foi embasada na obra de Tyler Miller Jr, portanto, o referencial teórico.

Ao final é apresentada uma conclusão que demonstra ser a nova tecnologia (que possui menos efeitos negativos ao ambiente) a mais apta a substituir a tradicional existente, em prol de um desenvolvimento econômico mais sustentável. Contudo, torna-se imprescindível ressaltar a importância do Princípio da Precaução, pautado na razoabilidade, na utilização de condutas responsáveis que garantam às atuais e às futuras gerações um ambiente próspero e ecologicamente equilibrado.

## **1 O PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO E AS INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS**

Princípio é toda enunciação básica que serve de alicerce e incremento para estruturação das Ciências Jurídicas. Sendo assim é o fundamento que norteará o desenrolar de cada ramo do direito.

No caso em tela, destaca-se o Princípio da Precaução que surgiu no Direito Alemão, por volta de 1970, quando o governo federal lançava uma política de proteção ambiental, a *Vorsorgeprinzi*. Esta tinha como finalidade orientar o desenvolvimento e a aplicação do Direito Ambiental, num momento de reestruturação e modernização do setor industrial. Portanto, cabia ao Estado esse controle.

*Vorsorge* significa também detectar o mais cedo possível os perigos à saúde e ao

meio ambiente, por meio de uma pesquisa ampla e harmônica, em especial no que diz respeito às relações entre causa e efeito, [...], significa ainda agir mesmo se não existe uma interpretação científica conclusiva e aceita. (HECK, 2003).

Assim, diante de uma incerteza científica em relação ao risco, dever-se-ia agir antes de serem suportados os efeitos da omissão. Dessa forma, a precaução deve ser utilizada em todas as questões que envolvam ameaça ao meio ambiente, regulando e limitando as atividades humanas.

Tradicionalmente, os acordos ambientais já previam este princípio, pois os indivíduos ou empresas que exercessem determinada atividade precisavam demonstrar que as ações protetivas ao meio ambiente seriam praticadas com base em pesquisas científicas ou métodos existentes à época. Caso contrário, nada seria feito.

Em 1969, a Convenção de Intervenção já enunciava que medidas proporcionais deveriam ser adotadas no sentido de limitar, minimizar ou exterminar a grave e iminente ameaça ao meio ambiente. Tal preocupação se justificava pelos efeitos causados por meio da poluição de óleo nas regiões litorâneas. Essa convenção foi promulgada no ordenamento jurídico brasileiro por meio do Decreto 6.478 de 2008, que repete em seu art. 1º o convencionado em 1969:

Artigo I. As Partes da presente Convenção podem tomar, em alto mar, as medidas necessárias para prevenir, atenuar ou eliminar os perigos graves e iminentes de poluição ou ameaça de poluição das águas do mar por óleo, para suas costas ou interesses conexos, resultante de um acidente marítimo ou das ações relacionadas a tal acidente, suscetíveis, segundo tudo indique, de ter graves conseqüências prejudiciais. (BRASIL, 2008).

Já na década de 80 (oitenta), as atenções se voltam para a camada de ozônio, uma vez que já se percebia um aumento dos gases de efeito estufa na atmosfera. Isto corroborou para que muitos países começassem a aceitar o Princípio da Precaução, adotando medidas de cautela para que a emissão daqueles gases fosse controlada e diminuída.

Nesse sentido, pode-se citar a Convenção de Viena de 1985 e o Protocolo de Montreal em 1987. A primeira tratava-se de um acordo firmado por mais de 190 países, que tratavam da proteção da camada de ozônio. O segundo impunha aos signatários, medidas que visassem à diminuição dos gases de efeito estufa (GEEs).

A princípio, estabeleceram-se medidas objetivando a diminuição de clorofluorcarbonetos (CFCs), presentes, entre outros, nos refrigeradores e aparelhos de ar condicionado mais antigos.

Este gás é um dos maiores responsáveis pela decomposição da camada de ozônio, além de possuir alto nível de toxicidade. Ele leva mais de 75 anos para se decompor. Segundo

os indicadores ambientais do Ministério do Meio Ambiente, o país já conseguiu diminuir mais de 85% dessas emissões nos anos de 1992 a 2008.

Consecutivamente houve o reconhecimento de outros GEEs como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), perfluorcarbonetos (PFC's), inclusive o vapor de água. Um ano antes da Convenção de Viena, ocorreu a Declaração Ministerial da Conferência Internacional para a Proteção do Mar do Norte, em 1984. Em seu preâmbulo já se buscava a proteção do ambiente marinho, no sentido de que os Estados não precisavam esperar provas conclusivas sobre os efeitos danosos para agirem. (HECK, 2003).

Além disso, esses danos poderiam ser irreversíveis ou mitigados por um custo muito alto e por tempo prolongado, o que não era considerado muito interessante.

Na Declaração de Bergen em 1990 sobre Desenvolvimento Sustentável da Comunidade Européia, reconheceu-se a importância desse princípio como sendo um princípio geral que deveria ser seguido para se alcançar o desenvolvimento sustentável. Talvez seja este o documento mais importante na esfera internacional, não só pelo caráter geral de adoção por todos os signatários para implementação de suas políticas, mas por incluir a proteção ambiental além do ambiente marinho.

A palavra essencial, no parágrafo sétimo do preâmbulo dessa Declaração, que consubstancia o Princípio da Precaução é a antecipação, ou seja, condutas protetivas devem ser concretizadas diante de ameaça de danos graves e irreversíveis ao meio ambiente, mesmo que não se tenha em mãos provas científicas específicas acerca do dano. (SANDS, 2004).

Outro ponto a ser analisado é a viabilidade econômica da medida, pois a Declaração nada dispõe. Ora, sendo uma ação que visa à proteção ambiental, o melhor entendimento é que independente do custo para sua implementação, a medida deve ser tomada em virtude de um bem maior em questão.

Contudo, não se pode ter uma visão tão radical, pois muitas vezes não há como um país ou uma empresa agir sem condições econômicas para tanto. Por isso a atenção deve ser redobrada, afim de não se chegar a esse impasse. Logo, as ações que devem ser tomadas são aquelas economicamente viáveis, ou seja, aquelas que visem mitigar os impactos negativos esperados.

A Convenção de Bamako de 1991, relativa à interdição e importação de lixos perigosos e ao controle da movimentação transfronteiriça desses lixos na África, coloca de forma clara no seu art. 4º, “f”, que as medidas preventivas devem ser adotadas, estejam elas diante de prováveis danos irreversíveis ou perigosos, ou diante de quaisquer danos que possam prejudicar os seres humanos e o meio ambiente.

Além disso, ela também demonstra em sua Resolução nº19 (MOÇAMBIQUE, 1996), uma interligação do Princípio da Precaução com o Princípio da Prevenção:

Cada parte compromete-se a adotar e aplicar medidas preventivas contra a poluição, que incluem, nomeadamente, a interdição do despejo no meio ambiente de substâncias que possam causar perigo à saúde humana e ao meio ambiente, sem esperar para obter a prova científica desses riscos. As partes comprometem-se a cooperar com vista à tomada de medidas de precaução adequadas no sentido da prevenção da poluição através de métodos não poluentes de produção, em vez de observar os limites de emissão autorizada em função de hipóteses relativas à capacidade de estimulação.

Quando se fala em prevenção, as medidas a serem tomadas se referem a um dano conhecido, previsível, diferentemente da precaução em que o dano é provável, mas ainda não se concretizou.

Como já mencionado, este princípio foi reconhecido primeiramente no âmbito internacional e depois adotado no ordenamento jurídico de vários países, implícito ou explicitamente. Assim o fez a Convenção sobre Biodiversidade, de 1992, que embora não tenha expressado a denominação do Princípio da Precaução em seu texto, expõe o seu conceito, reconhecendo a sua importância na proteção da biodiversidade. Assim se refere o Decreto nº 2.519 de 1998, em seu anexo (BRASIL, 1988):

Observando também que quando exista ameaça de sensível redução ou perda de diversidade biológica, a falta de plena certeza científica não deve ser usada como razão para postergar medidas para evitar ou minimizar essa ameaça.

Já o Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança do ano 2000, reafirma este princípio, quando cogita o surgimento de danos causados aos seres vivos. O princípio foi ratificado no Brasil pelo Decreto nº 5.705 de 2006 (BRASIL, 2006), que assim dispõe:

Artigo 1º. Objetivo: De acordo com a abordagem de precaução contida no Princípio 15 da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, o objetivo do presente Protocolo é contribuir para assegurar um nível adequado de proteção no campo da transferência, da manipulação e do uso seguros dos organismos vivos modificados resultantes da biotecnologia moderna que possam ter efeitos adversos na conservação e no uso sustentável da diversidade biológica, levando em conta os riscos para a saúde humana, e enfocando especificamente os movimentos transfronteiriços.

Art. 10- 6. A ausência de certeza científica de vida à insuficiência das informações e dos conhecimentos científicos relevantes sobre a dimensão dos efeitos adversos potenciais de um organismo vivo modifica toda conservação e no uso sustentável da diversidade biológica na Parte importadora, levando também em conta os riscos para a saúde humana, não impedirá esta Parte, a fim de evitar ou minimizar esses efeitos adversos potenciais, de tomar uma decisão, conforme o caso, sobre a importação do organismo vivo modificado em questão como se indica no parágrafo 3º acima.

Logo, qualquer efeito adverso mesmo que em potencial causado por organismo vivo, exige que as partes envolvidas responsáveis pela execução e controle, tomem as medidas necessárias a salvaguardar a integridade do meio ambiente e da saúde dos seres humanos.

A Convenção Quadro, do mesmo ano de 1992, que tratou das Mudanças Climáticas, retoma a premissa que a ameaça em questão deve causar danos “graves e irreversíveis”.

Vários documentos internacionais já mencionados apontam o reconhecimento deste princípio, mas a sua notoriedade se deu com a Declaração do Rio de Janeiro em 1992, que estabeleceu o seu conceito no Princípio 15:

Com o fim de proteger o meio ambiente, o Princípio da Precaução deverá ser amplamente observado pelos Estados, de acordo com suas capacidades. Quando houver ameaça de danos graves ou irreversíveis, a ausência de certeza científica absoluta não será utilizada como razão para o adiamento de medidas economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental. (SANDS, 2004. p. 32).

De um modo ou de outro, percebe-se que com o passar do tempo este princípio em comento foi amplamente difundido e adotado por diversos países na defesa de vários ecossistemas. Assim, mesmo não existindo certeza científica sobre onexo causal de uma atividade com os efeitos nocivos causados, mas havendo a possibilidade de dano, todos os signatários desse princípio concordam que medidas devam ser adotadas para mitigar os efeitos da atividade causadora ou até mesmo a sua proibição.

O Princípio da Precaução, cada vez mais, vem tomando uma proporção maior a despeito de seu conceito e aplicabilidade. Estudos apontam duas concepções que discutem o tema, uma fraca e uma forte.

A primeira concepção, que é a majoritária entre os estudiosos, atenta para os custos financeiros envolvidos juntamente com os riscos e benefícios que envolvem a atividade. Para isto, busca-se uma ética ambiental responsável. Assim, os benefícios devem estar pautados na razoabilidade entre os custos financeiros e imateriais, entre a previsibilidade e a incerteza do risco e por último, entre o risco e o retorno social da atividade. Tudo isto refletirá o Princípio da Precaução. (SAMPAIO, 2003).

Já a concepção forte, também denominada “eco ou biocêntrica”, prega o cancelamento de condutas lesivas e incentiva o *in dubio pro natura*. O meio ambiente tem direitos intrínsecos assim como valores internos que não podem ser contrabalançados com outros proveitos. Logo, para essa corrente, deve se buscar provas que levem a uma certeza de que não existirão danos além dos previstos quando pretende-se autorizar uma determinada atividade. (SAMPAIO, 2003).

Portanto, para se aplicar o Princípio da Precaução deve-se verificar três elementos: incerteza científica, pesquisa do risco de dano e a gravidade desse dano.

Hodiernamente no Direito, quem alega uma situação tem o ônus da prova. Neste caso, quem estivesse contrário a determinada atividade de um Estado poluidor ou de uma

empresa, deveria comprovar sua alegação, demonstrando que a atividade era totalmente maléfica ao meio ambiente.

Entretanto, para dar uma interpretação mais ampla a este princípio, permite-se a inversão do ônus da prova. Isso possibilita que Estado ou a empresa que deseja praticar uma atividade, comprove cientificamente que ela não causará nenhum dano a saúde das pessoas ou ao meio ambiente e que não consiga assegurar os riscos potenciais. Neste caso, as medidas protetivas devem ser tomadas antes da implementação ou para impossibilitá-la.

Tal atitude de pesquisa feita pelo próprio Estado ou empresa poluidora seria muito interessante se não houvesse a possibilidade de vício, pois quem seria responsável pela pesquisa seriam os próprios interessados no seu resultado positivo.

Da mesma forma, para a execução da atividade, seriam os financiadores das próprias pesquisas os aptos a realizá-las logo, a informação ficaria à disposição de seus interesses.

Por outro lado, para se tomar as medidas necessárias referente à ameaça do risco, a decisão deve estar pautada em estudos científicos confiáveis sobre a incerteza a que se refere. Esse mecanismo é chamado de avaliação do risco que verificará a probabilidade dele ocorrer. É um estímulo ao estudo de novas tecnologias para que os prováveis danos sejam diagnosticados.

Quanto à gravidade do dano, impõe-se o acompanhamento dessa ameaça, bem como a aplicação proporcional de medidas relacionada à gravidade em questão. Verificado todos os elementos presentes poderá ser aplicado o Princípio da Precaução.

Segundo José Adércio Leite Sampaio (2003), para se aplicar a precaução deve se utilizar a proporcionalidade como já mencionado, bem como a não discriminação, tratando situações parecidas da mesma forma.

No mesmo sentido observar-se-á a consistência das situações por meio de medidas comparáveis em natureza e finalidade, utilizando informações científicas que estejam à disposição e a análise do custo benefício da atividade. Também será examinado o desempenho científico dessas medidas para se tornarem provisórias se não possuírem informações técnicas seguras. Ou seja, deve-se buscar pesquisa interdisciplinar para conhecer os efeitos daquela atividade, exigindo novos padrões de conduta ou determinando a cessação da atividade.

## **2 OS PROCESSOS GEOLÓGICOS DE UM PLANETA DINÂMICO E A RESILIÊNCIA**



O planeta Terra está em constante e atual transformação geológica. Vários processos dinâmicos ocorrem na sua superfície e no seu interior, promovendo mudanças estruturais significativas.

Por várias eras, de forma lenta e gradativa, os continentes moveram-se num dinamismo de encontro, separação e fusão até se estabilizarem na geografia que hoje se conhece. No interior da Terra, enormes fluxos cíclicos de rochas fundidas quebraram a superfície do planeta em uma série de placas que se movimentam lentamente. São as denominadas placas tectônicas.

Conforme o planeta primitivamente foi se resfriando, seu interior separou-se em três zonas concêntricas principais denominadas núcleo, manto e crosta. Como é sabido, o núcleo é a zona mais interna da Terra. Consiste em um local intensamente quente cuja parte interna sólida é circundada por um núcleo líquido de material fundido ou semi-sólido. Acima, uma zona sólida e densa chamada manto circunda o núcleo e a zona mais externa e mais fina é denominada de crosta terrestre. Esta se subdivide em crosta continental (que fica abaixo dos continentes incluindo as plataformas continentais) e crosta oceânica que cobre 71% da superfície terrestre (localizada sob as bacias oceânicas). (MILLER JR, 2007).

As placas tectônicas são geradas por grandes volumes de rocha aquecida e fundida que fluem no interior da Terra, formando pedaços sólidos maciços que se movimentam vagarosamente em relação ao curto período temporal humano. Esses fluxos de energia e de material aquecido nas células de convecção do manto fazem com que cerca de 15 enormes placas se movam por toda a superfície da Terra.

Essas placas espessas, compostas pela parte rígida mais externa do manto e pelas crostas continental e oceânica, formam uma combinação chamada de litosfera. Nesse sentido, as placas tectônicas são assim comparadas como enormes *icebergs* que flutuam na superfície do oceano. Quando estas se colidem, separam-se ou deslizam umas sobre as outras, fazem surgir montanhas, grandes dorsais e fossas oceânicas, dentre outros acidentes geográficos. Esses fenômenos auxiliam na explicação de determinados padrões biológicos de evolução. (MILLER JR, 2007).

Tais eventos são capazes de explicar a migração de espécies de uma área continental para outra, isolando populações de forma geográfica e reprodutivamente, o que faz com que ocorra um fenômeno denominado especiação, em particular a alopátrica. Essa atividade ocorre quando duas populações de uma espécie são separadas por uma barreira geográfica, por exemplo.

Nesse mesmo sentido, conjuntamente a esse fenômeno, a água e o vento também deslocam grandes quantidades de solo e pedaços de rocha de um lugar para outro. Como consequência, tem-se a ocorrência de transformações geológicas. Essas mudanças geológicas, que são baseadas direta ou indiretamente na energia solar e na gravidade, são chamadas de processos externos. Já os processos internos, em geral, são os que formam a superfície da Terra.

Assim, conforme dispõe Tyler Miller Jr (2007, p.309) “a crosta terrestre é constituída por elementos e componentes inorgânicos sólidos e massas de um ou mais minerais chamados de rochas.” Portanto, a crosta é fonte de quase todos os recursos não renováveis advindos desses processos geológicos, que abastecem as civilizações, como os combustíveis fósseis, os minerais metálicos e os não metálicos.

Os minerais podem ser formados por um único elemento inorgânico ou por várias combinações de elementos. Eles consistem de componentes inorgânicos que surgem na natureza de forma espontânea, de formação sólida e que possuem estrutura interna cristalina e regular.

Já a rocha consiste numa combinação sólida de um ou mais minerais que também pertencem à crosta terrestre. Da mesma forma que os minerais, elas também podem ser formadas de apenas um mineral ou da combinação de dois ou mais deles. Nesse sentido, são classificadas como rochas ígneas, sedimentares ou metamórficas.

As rochas ígneas são aquelas que moldam a maior parte da crosta, além de se tornarem a principal fonte de muitos recursos minerais não combustíveis. Formam-se abaixo ou na superfície da Terra no momento em que o magma (rocha fundida) brota do manto superior chegando à superfície, onde resfria-se e endurece. Têm-se como exemplos dessa formação, a rocha vulcânica e o granito.

Prosseguindo a classificação, as rochas sedimentares como o arenito e o xisto, originam-se de sedimentos que são produzidos por rochas intemperizadas e erodidas, e que se transformam em pequenos pedaços que são levados pela água e pelo vento, transportados para lugares rio abaixo. Esses sedimentos acumulam-se em camadas subjacentes que ao sofrerem pressão e infiltração de minerais dissolvidos, cristalizam-se e aglutinam-se em partículas de sedimento formando a massa rochosa.

Por último, tem-se as rochas metamórficas, que são formadas por rochas pré-existentes sujeitas à combinação de fluidos, altas temperaturas e pressões, ou na junção desses agentes. Essas forças podem transformar uma rocha, alterando a sua aparência, pois

modificam sua estrutura cristalina interna e suas propriedades físicas. São exemplos dessas espécies a ardósia e o mármore.

Importante destacar a classificação e a morfologia das rochas e minerais, para que seja compreendida a formação e a estruturação dos minerais não renováveis. São as interações entre os processos físicos e químicos que modificam as rochas e são eles que vão desencadear um fenômeno vital para a sobrevivência do planeta, o denominado ciclo das rochas.

Sobre essa conceituação, dispõe o autor Tyler Miller Jr (2007, p.310):

O ciclo das rochas é o mais lento processo cíclico. Os materiais da Terra são reciclados ao longo de milhões de anos por meio de fusão, erosão e metamorfismo, processos que produzem rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. Uma rocha de qualquer uma das três classes pode ser convertida em rocha de uma das outras duas classes ou pode ser reciclada dentro da própria classe.

Esse ciclo é responsável pela reciclagem dos três tipos de rochas ao longo de milhões de anos e por isso é um dos processos mais demorados da Terra. É nele que se concentram os recursos minerais não renováveis dos quais a humanidade depende. Assim são denominados, exatamente pelo fato de demorarem tanto tempo para serem produzidos.

Em milhões ou bilhões de anos, os processos geológicos externos e internos produziram numerosos recursos minerais não combustíveis e recursos energéticos combustíveis fósseis. Por essa razão, os recursos minerais não renováveis podem ser extraídos da crosta terrestre para diversas finalidades econômicas.

Assim, esses processos incluem os recursos minerais metálicos, os não metálicos e os energéticos. Nesse sentido, destaca-se o minério que é uma rocha que contém um ou mais minerais metálicos suficientes para serem explorados de forma rentável.

Os recursos minerais não renováveis podem ser classificados, segundo o Serviço Geológico dos Estados Unidos em quatro principais categorias. A primeira delas refere-se aos recursos identificados. Estes possuem existência com base em evidências geológicas, ou seja, seus depósitos possuem localização, quantidade e qualidade determinadas. Já os recursos não descobertos presumem-se fontes potenciais entretanto, não são conhecidas a localização, a quantidade e a qualidade dessas fontes. Já as reservas consistem nos recursos identificados nos quais um mineral não renovável útil pode ser explorado de maneira mais rentável. E por fim, restam os outros recursos, que incluem os recursos não descobertos e os identificados não classificados como reservas. (MILLER JR, 2007).

Baseando-se nessas diferenciações, as companhias mineradoras utilizam tecnologias de ponta para localizar promissores depósitos de minerais. Para tanto, métodos físicos e químicos e instrumentos de alta precisão são utilizados, como imagens por satélites,

magnetômetros, gravímetros, perfuração de poços, avaliações sísmicas e análises químicas das águas. Contudo, a descoberta desses depósitos exige grandes investimentos.

Os depósitos minerais considerados rasos são explorados por mineração de superfície e os mais profundos por mineração subterrânea. A primeira está atrelada a dois fatores: dependência do recurso a ser procurado e limitação da topografia local. Já as minerações subterrâneas removem minerais de camadas mais profundas como o carvão e o metal, para posteriormente serem extraídos na superfície.

As duas formas de exploração estão sujeitas ao Princípio da Rigidez Locacional. Por ele, a mineradora não tem a livre iniciativa de escolher o local de melhor mercado, mas está sujeita a fincar suas instalações num local escolhido pela própria natureza. Logo, ela pode ser estruturada longe dos grandes centros e ajudar a contribuir com o desenvolvimento de pequenas regiões, como as minas na região de Carajás, entre outras.

Conforme dispõe Lilian Mendes Haber (2013), a atividade minerária está sujeita à Rigidez Locacional, ou seja, é uma atividade que não se pode escolher o local para exercê-la, pois condicionada à ocorrência do recurso mineral na natureza.

A mineração subterrânea utiliza uma técnica menos prejudicial do que a de superfície, principalmente no tocante à produção de resíduos. No entanto, são mais perigosas devido aos riscos de desabamentos. São também mais caras, sem contar que deixam uma boa parte dos recursos na terra.

Por outro lado, as minerações de superfície produzem maiores impactos ambientais e são mais comuns, possuindo as seguintes modalidades: as lavras a céu aberto, as lavras em tiras, as lavras de encosta e as explosões de cume de montanha. Todas elas causam danos ambientais consideráveis, além de deixarem na paisagem do local fendas e cicatrizes de difícil reparação.

Fato é que a extração, o processamento e o uso dos recursos minerais advindos da mineração causam grande degradação do capital natural do planeta. A atividade minerária tradicional acarreta danos à terra, provoca a erosão do solo, produz grande quantidade de rejeitos e polui consideravelmente o ar, a água e o solo.

Se atentarmos ao ciclo de vida de um mineral não renovável, proceder-se-á a verificação desta dinâmica. O processo se inicia com a retirada do minério da crosta terrestre, o que por si só gera perturbação da terra e, posteriormente, tem-se todo o seu processamento por instrumentos altamente poluentes.

O mineral geralmente é composto por dois componentes: o metal desejado e o resíduo denominado ganga. A remoção dessa ganga produz o que se convencionou chamar de

pilhas de resíduos, também denominados como rejeitos de minérios. Nessa etapa, partículas tóxicas de metais são carregadas pela água da chuva e pelo vento, contaminando as águas subterrâneas e superficiais.

Na fase seguinte, após a remoção da ganga, ocorre a fusão, procedimento que separa o metal dos outros elementos do minério. Os fornos de fusão emitem consideráveis quantidades de poluentes, sendo a etapa mais ofensiva ao meio ambiente, pois prejudica não só o solo, como a vegetação ao redor, a atmosfera e a saúde humana.

Ademais, produz resíduos líquidos e sólidos perigosos que dependem de um descarte seguro para o devido controle da poluição.

Segundo afirma Tyler Miller Jr (2007, p.315) a respeito do impacto ambiental causado pela atividade mineradora:

Alguns cientistas ambientais e especialistas em recursos não acreditam que a exaustão dos suprimentos seja o maior risco do consumo crescente de recursos minerais não renováveis. Eles alegam que o principal problema é o dano ambiental causado pela extração, pelo processamento e pela conversão em produtos. Os impactos ambientais da extração de um minério são afetados pela porcentagem de conteúdo metálico, ou grau. Os minérios mais acessíveis e do mais alto grau geralmente são explorados primeiro. Quando estão esgotados, consome-se mais dinheiro, energia, água e outros materiais para explorar minérios de grau menos elevado. Isso, em contrapartida, aumenta a perturbação da terra, a quantidade de resíduos da mineração e a poluição.

Na atualidade, os custos ambientais advindos desse processamento dos minerais não estão incluídos no preço dos metais processados e dos produtos destinados ao consumidor final. Ao reverso, são custeados pela sociedade e pelas futuras gerações. Tal comportamento desestimula as mineradoras e os fabricantes a adotarem posturas responsáveis de proteção ambiental, evitando o descarte seguro de resíduos e o aumento da poluição.

De fato, dever-se ia introjetar gradualmente os ônus ambientais no preço de custo total, ou seja, internalizando essas externalidades negativas em toda a cadeia produtiva minerária. Nesse sentido, o governo teria como ferramenta a extrafiscalidade, pois instituiria um tributo visando não aumento do erário, mas um desestímulo a um comportamento, de tal modo que o objetivo final seria alcançado.

Segundo Alfredo Augusto Becker (2010), o intervencionismo estatal planejado seria um instrumento de liberdades de todos, no sentido de reforma social ou educação social.

A verdadeira revolução que gerará o novo ser social deverá ser obra de humanismo cristão e seu principal instrumento um Direito Positivo integralmente rejuvenescido. (BECKER, 2010. p. 626)

[...] O Estado deverá agir e, nesta sua ação de reforma ou educação social, o tributo extrafiscal é excelente instrumento. (BECKER, 2010. p.634).

Como instrumento de educação social, o tributo extrafiscal conscientizaria a importância dos recursos minerais não renováveis pela sociedade como um todo, não do ponto de vista econômico apenas, mas também ambiental. Ter-se-ia um maior tempo de aproveitamento das jazidas e um maior incentivo à tecnologia para se encontrar substitutos renováveis. Além de contribuir com um ambiente muito mais saudável para esta geração e as vindouras.

Conforme dispõe a Declaração do Meio Ambiente (Rio 92) em seus princípios três e quatro, “o direito ao desenvolvimento deve ser exercido de modo a permitir que sejam atendidas equitativamente as necessidades de desenvolvimento e de meio ambiente das gerações presentes e futuras.” Além disso, para que o desenvolvimento sustentável seja alcançado, a proteção ambiental deverá constituir parte integrante do processo de desenvolvimento não podendo ser considerada isoladamente deste.

O suprimento futuro de um mineral não renovável depende da disponibilidade, da produtividade e da velocidade em que é utilizado. Deve-se analisar o suprimento atual e o potencial do recurso, bem com a sua taxa de utilização.

Um mineral pode se tornar economicamente esgotado, quanto mais escassa for a sua localização, a sua extração, o seu transporte e mais caro for o processamento de seu remanescente. Assim, as opções que se apresentam são as de reciclar ou reutilizar os suprimentos já existentes, desperdiçar menos, usá-los em menor escala, localizar um substituto ou ficar sem o recurso. (MILLER JR, 2007).

Nesse sentido, fala-se do tempo de esgotamento que um recurso possui até a sua completa supressão. O tempo de esgotamento consiste no período que se leva para usar certa proporção das reservas de um mineral a uma determinada taxa de utilização (normalmente 80%). Um tempo de esgotamento menor não considera as variáveis de reciclagem ou de reutilização. Já o tempo de esgotamento mais longo, considera essas variáveis em todo o seu potencial, diminuindo o esgotamento do mineral. (MILLER JR, 2007).

Por essa razão, o acréscimo no preço de um recurso mineral pode aumentar seus suprimentos e encorajar a utilização destes de forma mais racional e eficiente. Pela regra clássica de mercado, um recurso mineral abundante vai se tornar barato quando o seu suprimento exceder a demanda. Por outro lado, o preço tende a subir quando um recurso se torna escasso.

Tal fator pode estimular um mercado mais competitivo, em que se busque a exploração de novos depósitos, o estímulo ao desenvolvimento de novas tecnologias de

mineração que, inclusive, propiciem rentabilidade na extração de minérios de grau menos elevado. Isso também pode encorajar de forma bastante expressiva a procura de novos substitutos ou promover a conservação do recurso.

A busca por novos suprimentos de recursos minerais exige grandes investimentos econômicos, o que dificulta ou retarda o seu desenvolvimento. Quando os geólogos identificam possíveis depósitos de um determinado recurso, apenas uma pequena fração deles demonstrará viabilidade econômica de exploração. Outra pequena fração justificará a perfuração ou escavação para, ao final, restar apenas um apto a se tornar mina ou poço produtivo. Trata-se de uma atividade vultosa de extremo risco financeiro.

Portanto, para que o suprimento de um mineral seja aumentado, urgente se torna a extração de minérios de grau menos elevado. Para tanto são necessárias novas tecnologias que possibilitem tal façanha a preços competitivos, mas os efeitos nocivos ao meio ambiente tendem a ser um fator limitador a esse empenho.

Diversos são os fatores que podem impedir ou dificultar a extração dos minérios de grau menos elevado. Dentre eles: o custo de extração como afirmado, o processamento maior de volume de minério, disponibilidade de água doce necessária para processamento de alguns minerais, aumento da ruptura da terra, descarte de resíduos e poluição advinda dessa forma de extração e processamento peculiares.

Por isso, fundamental a necessidade de se buscar novas alternativas emergindo de outras áreas das ciências com a perspectiva de diminuir os impactos causados pela exploração mineral convencional.

Nesse sentido, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento elaborou em 1987 um Relatório denominado Brundtland, que destacou a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo atuais. Este documento ressalta a necessidade de se considerar uma nova relação entre o ser humano e o meio ambiente, ou seja, esse modelo não sugere a estagnação do crescimento econômico, mas sua conciliação com as questões ambientais e sociais.

Ele lançou uma nova perspectiva sobre os rumos do desenvolvimento, definindo-o como um processo que deve “satisfazer as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”.

Assim, dentro desse mesmo raciocínio, podemos incluir o conceito de resiliência, ou seja, a capacidade de auto-regeneração que o planeta possui. Nesse sentido, pode-se inferir que não mais se torna possível admitir que as presentes gerações se utilizem arbitrariamente dos recursos naturais, confiando que o consumo desenfreado seja suplantado pela capacidade

resiliente do planeta. As futuras gerações precisam ter resguardadas suas reservas sob o argumento da finitude dos recursos não renováveis.

Segundo dispõe o relatório Povos Resilientes, Planeta Resiliente: um futuro digno de escolha, é preciso examinar problemas antigos com um olhar renovado e revigorado. Tal fato não se torna diferente na mineração.

As novas possibilidades incluem tecnologias capazes de nos fazer recuar ao abismo planetário que o homem caminha. A globalização criou um clima de inovação favorável ao setor empresarial, possibilitando a utilização de instrumentos valiosos aptos a escolherem as melhores estratégias e combiná-las das formas mais inéditas e inovadoras.

Os próximos anos observarão o surgimento de uma “avalanche de inovação tecnológica”, particularmente nas áreas de biotecnologia e genética, ciência da computação e uso e eficiência de energia e recursos.

Muitas dessas tecnologias podem e devem ter funções altamente positivas, ajudando a impulsionar o desenvolvimento sustentável, melhorando no caso em questão, a produtividade dos recursos e a diminuição da degradação do capital natural.

Assim, o desenvolvimento sustentável não se fará uma meta, mas um processo dinâmico de adaptação, aprendizagem e ação. Trata-se de reconhecer, compreender e atuar nas interconexões, especialmente as que envolvem a economia, a sociedade e o meio ambiente natural.

### **3 A BIOMINERAÇÃO COMO SUBSTITUTO FUNCIONAL NA EXTRAÇÃO CONVENCIONAL DOS RECURSOS MINERAIS**

Na contemporaneidade, o mundo não pode deixar de considerar a mineração como um dos motores propulsores da economia global e como a base da produção de várias indústrias. Para conciliar desenvolvimento econômico e sustentabilidade vários cientistas têm se esforçado no intuito de desenvolver métodos alternativos que substituam os tradicionais da atividade mineradora.

Devido a tantos elementos que poluem o ar, as terras e as águas, o mundo tem percebido a necessidade de voltar os olhos à questão da preservação ambiental, uma vez que a falta dessa proteção gera resultados prejudiciais à própria economia.

Nesse contexto, a biomineração surge como uma técnica alternativa de extração mineral que utiliza o trabalho invisível de micro-organismos, como bactérias e fungos, para a sua execução.



Essa técnica vem sendo utilizada para substituir a extração mineral convencional que, além de ser muito tóxica, coloca em risco a vida dos mineradores que atuam principalmente nas minas subterrâneas, devido aos vários acidentes que se sucedem como o ocorrido no Chile em 2010. (CRISTINO, 2012).

Outro fator impactante da mineração tradicional no meio ambiente é a grande quantidade de rejeitos tóxicos que ficam submetidos à erosão pela ação das águas das chuvas e pelos ventos. Estes contaminam todo o solo, águas superficiais e subterrâneas, além de prejudicar toda a biodiversidade do entorno.

Nesse ponto, a biomineração poderá contribuir significativamente para a minimização destes impactos e atribuirá uma finalidade econômica para os rejeitos que possuem grande quantidade de recursos minerais metálicos de baixo valor.

Por meio de pesquisas, cientistas descobriram que junto às jazidas de cobre, ouro, níquel, terras raras entre outras, existem colônias desses micro-organismos, precisamente bactérias nos três primeiros e fungos neste último. A partir disso, coletam-se amostras desses seres microscópicos para seja identificado qual deles é o mais eficaz na extração do mineral. (CRISTINO, 2012).

Estes estudiosos buscam no processo da biolixiviação uma forma mais econômica e menos agressiva ao meio ambiente. Esta, também chamada de bio-hidrometalurgia, substitui o método tradicional de exploração mineral denominado pirometalurgia.

A pirometalurgia pode ser entendida como uma técnica que utiliza fornos em altas temperaturas, responsáveis pela transformação química e física dos minérios. Estes são fundidos até que se consiga atingir um grau de pureza do metal ou uma melhor qualidade para que sejam submetidos a industrialização de outros produtos.

O grande problema é que essa técnica libera gases muito poluentes, como o monóxido de carbono e o óxido sulfúrico. A formação do monóxido de carbono se justifica pela queima incompleta de combustível fóssil, no caso o carvão, utilizado como fonte de energia desses fornos.

O gás liberado é altamente tóxico ao meio ambiente e à saúde dos seres humanos, pois a sua inalação provoca a formação de carboxihemoglobina, uma combinação do monóxido de carbono com a hemoglobina, o que dificulta o transporte de oxigênio no sangue, podendo levar a óbito.

Do mesmo modo, sua liberação na atmosfera faz com que haja um aumento da probabilidade de sua oxidação transformando-o em dióxido de carbono, um dos maiores responsáveis pelo aumento do efeito estufa.

Os combustíveis fósseis como o carvão possuem em sua composição grandes quantidades de enxofre, o que faz com que ao sofrerem combustão liberem óxido sulfúrico na atmosférica. Este transforma-se em dióxido de enxofre que em contato com a umidade se torna responsável pela chuva ácida.

A Convenção Quadro Sobre Mudanças Climáticas, criada na Conferência do Rio em 1992, de caráter vinculativo (Hard Law), demonstrou preocupações sérias com as alterações do clima no planeta e seus possíveis efeitos.

Conforme dispõe esse documento, a mudança do clima significa uma alteração que “possa ser direta ou indiretamente atribuída à atividade humana que altere a composição da atmosfera mundial e que se some àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis”. Ou seja, tratam-se de mudanças no meio ambiente físico que tenham efeitos deletérios significativos sobre a composição, resiliência ou produtividade de ecossistemas naturais e administrados e sobre o funcionamento de sistemas socioeconômicos.

Nesse contexto, sabe-se que as alterações do clima estão diretamente relacionadas à escassez dos recursos minerais e à alteração do ambiente. Se políticas ambientais progressistas são capazes de gerar vantagens competitivas, não há razão para que elas não sejam utilizadas. Qualquer fator que contribua para ampliar a área de interesses convergentes entre redução da poluição e a melhoria da competitividade será valiosa.

Nesse sentido, a mudança no clima pode afetar diretamente toda uma organização social à medida que põe em risco a escassez de um recurso que se torna a base vital de toda a sua economia. É por isso que meios de exploração alternativos, mais eficientes e menos poluentes, se tornam instrumentos estratégicos cruciais de gestão governamental e reestruturação política.

Assim, os países que buscam desenvolvimento econômico precisam romper com o impasse existente entre este desenvolvimento e a política das mudanças climáticas como alternativas mutuamente excludentes. Deve-se investir na conservação do ambiente como um meio para a manutenção da própria economia.

Para tanto, em contraposição aos efeitos degradantes do meio ambiente surge a biomineração que atua sobre um outro prisma. Os micro-organismos consomem os sulfetos existentes na própria rocha. Estes, ao entrarem em contato com a umidade, transformam-se em ácido sulfúrico que dissolve o minério ali presente. Posteriormente, estes minérios são revertidos em sua forma sólida, mas livre de impurezas. Trata-se de um processo natural (biológico) e sustentável de mineração. (CRISTINO, 2012).

Os sulfetos correspondem a uma classe de minerais, especificamente ao conjunto de minerais metálicos, que podem ter liga metálica ou iônica. Um exemplo de sulfeto é a calcopirita, combinação de cobre, ferro e enxofre, de onde se extrai o cobre por biomineração.

Portanto, o desafio enfrentado pelas mineradoras para separarem os metais que estão presentes numa mesma rocha e nos rejeitos é superado por essa nova técnica. Nela, os seres microscópicos conseguem extrair os minerais metálicos dos rejeitos separando-os dos resíduos, fator importante na contaminação ambiental como já explicitado.

No tocante aos resíduos, espera-se que a biomineração aumente a eficácia do processo extrativo, uma vez que os micróbios mineradores podem ser usados em minerais de menor grau ao invés dos metais de maior interesse. O investimento na extração desses recursos de menor grau, utilizando as tecnologias atuais, não compensa. Isso significa a possibilidade de se poder explorar depósitos que hoje são considerados economicamente inviáveis. (VASCONCELOS, 2012).

Trata-se de uma mão de obra invisível que consegue retirar metais de resíduos e dejetos da indústria mineradora, fazendo ao mesmo tempo a separação do material economicamente viável. Além disso, ainda realiza o tratamento eficaz dos efluentes. (VASCONCELOS, 2012).

Para se alcançar a eficácia desse método, torna-se importante encontrar um meio ótimo para a bactéria se proliferar, não sendo necessária a sua inoculação. Pode ser criado um ambiente próprio para que os micro-organismos já presentes naquele material cresçam e se desenvolvam satisfatoriamente. (CRISTINO, 2012).

Geralmente, o processo utiliza água doce para facilitar a multiplicação desses seres. No entanto, isso se torna uma limitação à sua implementação, uma vez que em vários locais onde as jazidas são encontradas não há acesso a água de forma facilitada. A utilização da água do mar para esse procedimento seria uma opção, mas ainda o seu uso não alcança os resultados otimizados como o da água doce.

Outro meio de aumentar a população desses organismos é a inoculação dessas bactérias nas pilhas de minério, quando não existir um meio ótimo para se reproduzirem.

Outro ponto a ser abordado refere-se aos laboratórios que vem trabalhando cada vez mais para que o potencial de resistência dessas bactérias aumente. Isso significa dizer que estes seres conhecidos como extremófilos suportarão qualquer adversidade.

Se atualmente pelas pesquisas concretizadas já se reconhece que estes seres vivem em condições que outros seres jamais viveriam, devido às altas concentrações de acidez e

metal, parece que ainda se busca uma forma de invencibilidade, à medida que as pesquisas continuam explorando essa condição extrema de sobrevivência.

A eficácia do método da biomineração também necessita de um sistema de drenagem e de pilhas de minério para que se crie esse meio ótimo de proliferação. Embora seja um método mais viável economicamente, ele pode ser tão tóxico quanto o outro tradicionalmente usado, pelo menos no tocante ao vazamento de água desse sistema de drenagem. Tal procedimento também exige séria responsabilidade no seu manuseio. Caso este vazamento ocorra, a toxicidade poderá atingir o solo, cursos de água próximos ao local e toda a biodiversidade presente.

O Chile produz mais de vinte por cento do cobre mundial, sendo que seis por cento advém da biolixiviação. O país está à frente no processo de biomineração, utilizando sulfetos de calcocita, covelita e bornita. (CRISTINO, 2012).

No entanto, não só o Chile como outros países inclusive o Brasil, vem tentando aplicar a técnica nos sulfetos de calcopirita, que é o mais abundante no mundo. Mas até agora não foram satisfatórias as pesquisas, devido à resistência química e microbiana desse mineral.

Não resta dúvida de que como substituto da extração mineral convencional, a biomineração é uma solução viável. Por ela pode-se aproveitar os metais de menor grau (baixo potencial metálico) existentes nas pilhas de rejeitos ou diluídos no meio líquido das barragens de detritos, que para a pirometalurgia não seria interessante, devido ao elevado custo de extração.

No Brasil, os estudos estão sendo feitos por laboratórios da USP e da UNESP em associação com algumas mineradoras. Estão todos empenhados nos benefícios que essa técnica poderá proporcionar principalmente se puder reverter em lucro algo que até pouco tempo era visto como um problema institucional e ambiental, no caso os rejeitos de minério. (VASCONCELOS, 2012).

Ocorre que, mesmo sendo a biomineração uma opção inovadora, ainda sim pode ser tóxica à saúde e ao meio ambiente. Não só pelo fato de ainda ser necessária a modificação da estrutura originária da rocha (precisando às vezes até de explosão, pois os pedaços precisam ser colocados em um meio próprio), as pesquisas ainda estão avançando acerca dos benefícios. Muitas descobertas ainda estão por vir, mas também torna-se importante discutir sobre os malefícios que poderão surgir com o tempo.

#### **4            CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Cada vez mais a tecnologia vem avançando suas conquistas e rompendo várias barreiras no mundo físico e virtual, contribuindo com o crescimento e desenvolvimento de um país.

No entanto, onde há inovação tecnológica provavelmente há riscos. Estes deverão ser avaliados científica e economicamente, com intuito de identificar a probabilidade de efeitos adversos que poderão afetar o meio ambiente e a vida dos seres humanos.

Assim, uma tecnologia que tenha menos efeitos negativos ao ambiente deve ser escolhida para substituir aquela que está sendo utilizada, tanto para o exercício de uma atividade quanto para o uso de alguma substância, surge portanto, como alternativa viável a Biomineração.

Torna-se inegável a discussão de que os recursos disponíveis em nosso *habitat* são finitos e isso precisa ser internalizado. Acreditar que os recursos podem ser consumidos e prontamente renovados é ilusório. A resiliência do planeta possui limites, pois o desequilíbrio ecológico aumenta a cada dia e a forma como interferimos no ambiente é de fundamental relevância.

É preciso associar o crescimento econômico com o desenvolvimento sustentável, observando a qualidade de vida que é oferecida aos indivíduos, se há interdependência entre matérias e energia de forma extrema, em como está sendo feita a renovação dos recursos naturais, se há consideração com a biodiversidade envolvida e qual o papel desempenhado das gerações atuais para garantir uma qualidade de vida razoável para as futuras gerações.

Nesse sentido, o setor minerário vem se desenvolvendo tecnologicamente contribuindo com o aumento de exportações, principalmente do minério de ferro, colocando o país entres os principais produtores do minério.

Contudo, a técnica de extração minerária que hoje se utiliza, a muito vem degradando o meio ambiente, liberando elementos tóxicos no solo, na água e na atmosfera, interferindo em toda biodiversidade ali existente e contribuindo para o aumento dos gases de efeito estufa, interferindo nas alterações climáticas da Terra.

É neste contexto que surgem as novas tecnologias que podem ser utilizadas no setor minerário, substituindo as tradicionalmente usadas para extração do minério. Contudo, o novo pode causar euforia, entusiasmo, mas também estranhamento, medo e dúvida.

Por estes últimos sentimentos é que a precaução deve ser utilizada, pois não se conhece ainda os efeitos deletérios dessa inovação, inclusive o custo que a sociedade pagará com o seu capital natural para conseguir estar à frente nas questões tecnológicas.

Assim, diante da abstração dos efeitos de uma nova tecnologia, devem ser implementadas condutas que deem embasamento racional a um momento de incertezas científicas, a fim de minimizar os prováveis custos que poderão surgir caso essas condutas sejam negligenciadas.

Por isso, costuma-se solicitar a aplicação do Princípio da Precaução frente às questões que envolvam engenharia genética, aquecimento global, organismos geneticamente modificados e, no caso deste artigo, a biomineração.

A biomineração é uma opção viável para a substituição da extração minerária convencional. No entanto, exige-se cautela quanto aos efeitos negativos que ela pode provocar ao meio ambiente.

Por ser uma tecnologia inovadora, recentemente utilizada em alguns países, as pesquisas ainda são incipientes, não podendo exigir todas as respostas de pronto. Justamente por este cenário é que se torna necessária a utilização do Princípio da Precaução por todos os interessados, desde a pesquisa até a implementação da atividade.

Neste quadro, todos os elementos para a aplicação deste princípio estão presentes. O primeiro é a incerteza científica, pois ainda as pesquisas estão avançando a respeito, logo há muito a se conhecer. O segundo elemento é a avaliação do risco, podendo-se dizer que os riscos são menores que os da extração mineral tradicional, mas ainda não se sabe dimensionar o tamanho do dano.

Quanto à gravidade do dano, terceiro elemento, não se pode mensurar uma vez que os riscos são em potencial, como o rompimento dos sistemas de drenagem. Medidas acautelatórias devem ser tomadas visando o impedimento da concretização do dano irreversível para o meio ambiente e para a biodiversidade no entorno.

Por estas e outras razões que o princípio da Precaução deve estar cada vez mais vigilante, na espreita da incerteza científica, a fim de se evitar um dano irreversível à saúde humana e ao meio ambiente. Só assim pode-se contribuir para uma qualidade de vida sustentável para as atuais e futuras gerações.

Ainda assim a Biomineração está sendo considerada uma das apostas para o aproveitamento dos metais de menor grau (baixo potencial metálico) nas pilhas de rejeitos que até então não tinham viabilidade econômica. Do mesmo modo é considerada um substituto de peso na extração mineral convencional possibilitando menor degradação ambiental e contribuindo para a sustentabilidade e resiliência do planeta.

## REFERÊNCIAS

BIOMINERAÇÃO usa bactérias e fungos para extrair metais. In: **Materiais avançados** 2012. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=biomineracao-bacterias-fungos&id=010160120724>>. Acessado em: 12 out 2013.

BRASIL, Decreto nº 2.519, de 16 de março de 1998. **Promulga a Convenção sobre diversidade biológica**. Brasília (DF), 1998. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D2519.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2519.htm)>. Acessado em: 05 nov 2013.

BRASIL, Decreto nº 5.705, de 16 de fevereiro de 2006. **Promulga o Protocolo de Cartagena sobre biossegurança da convenção sobre diversidade biológica**. Brasília (DF), 2006. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5705.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5705.htm)>. Acessado em: 05 nov 2013.

BRASIL, Decreto nº 6.478, de 09 de junho de 2008. **Promulga a convenção internacional relativa à intervenção em alto-mar em casos de acidentes com poluição por óleo**. Brasília (DF), 2008. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6478.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6478.htm)>. Acessado em: 05 nov 13.

CAFFERATTA, Nestor A. **El principio precatório**. In: *Gazeta Ecológica*, número 73, disponível em: <<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/444.pdf>>. Acessado em: 14/10/2013.

CRISTINO, Luis Gustavo. **Mineração invisível**. In: *Revista Unesp Ciência*, número 32. p.38. Disponível em: <[http://www.unesp.br/acises/revista\\_unesp-ciencia/acervo/32/biomineracao](http://www.unesp.br/acises/revista_unesp-ciencia/acervo/32/biomineracao)> Acessado em: 12/10/2013

GIDDENS, Anthony. **A política da mudança climática**. Rio de Janeiro: Zahar, 2010. p. 250-280.

GOMES, Carla Amado. **As providências cautelares e o "princípio da precaução"**. In: *Ecos da jurisprudência*, 2007. Disponível em: <<https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/156543/1/PROVPREC.pdf>> Acessado em: 16/10/2013

HABER, Lilian Mendes. **Aspectos Constitucionais do Direito Minerário**. Disponível em: <<http://www.pge.pa.gov.br/files/u13/aspectos%20constitucionais.pdf>> Acessado em: 05/11/2013

HECK, Mariana. **O princípio da precaução em direito internacional do meio**. In: *Boletim Científico. ESMPU*, Brasília, a. II – n. 9, p. 113-137 – out./dez. 2003. Disponível em: <<http://www.boletimcientifico.escola.mpu.mp.br>>. Acessado em 13/10/2013

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Biominação usa bactérias e fungos para extrair metais**. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br>>. Acessado em: 23 set 2013.

INOVAÇÃO põe o Chile na vanguarda mundial em biotecnologia mineira. In: **This is Chile**. Cl. Julho de 2012. Disponível em: <<http://www.thisischile.cl/7915/4/949/inovacao-poe-o-chile-na-vanguardia-mundial-em-biotecnologia-mineira/Article.aspx>>. Acessado em:

15/10/2013 .

MILLER JR, G. Tyler. **Ciência Ambiental**. 11ªed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. p. 249-280.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Indicadores ambientais nacionais**. Disponível em [http://www.mma.gov.br/estruturas/173/\\_arquivos/indicador\\_cfc.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/173/_arquivos/indicador_cfc.pdf). Acessado em: 02 nov 2013.

MOÇAMBIQUE, Resolução 19/96 de 26 de Novembro. **Ratifica a Convenção de Bamako relativa à Interdição da Importação de Lixos Perigosos e ao Controlo da Movimentação Transfronteiriços desses lixos em África**. Disponível em: <<http://www.legisambiente.gov.mz>.> Acessado em 10/10 2013.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Declaração do Rio sobre o meio ambiente e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: 2012. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/rio92.pdf>>. Acessado em: 30 out 2013.

SAMPAIO, Jose Adércio Leite Sampaio; WOLD, Chris; NARDY Afrânio. **Princípios de direito ambiental na dimensão internacional e comparada**. Belo Horizonte: Del Rey, 2003. 284 p.

SANDS, Philipe. **O princípio da Precaução**. In VARELLA, Marcelo Dias; PLATIAU, Ana Flávia Barros (Org.). Princípio da Precaução coleção Direito Ambiental em debate. Del Rey. 2004. p. 29 a 46.

UN – United Nations. **Povos Resilientes, Planeta Resiliente: um Futuro Digno de Escolha**. Nova York: 2012. Disponível em <<http://www.un.org/gsp/sites/default/files/attachments/GSP%20Report%20Portuguese.pdf>>. Acessado em: 02 nov 2013.

UNEP – United Nations Environment Programme; environment for development. **Declaração da conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente humano. Estocolmo: 1972**. Disponível em <<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=97&ArticleID=1503&l=en>>. Acessado em: 04 nov 2013.

VASCONCELOS, Yuri. **Bactérias mineradoras. USP e Vale desenvolvem pesquisa para descobrir microrganismos capazes de recuperar cobre em rejeitos minerais**. In: Pesquisa Fapesp Edição 200 - Outubro de 2012. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/10/11/bacterias-mineradoras/>> Acessado: 12 out 2013.

WOLFRUM, Rüdigel. **O Princípio da Precaução**. In: In VARELLA, Marcelo Dias; PLATIAU, Ana Flávia Barros (Org.). Princípio da Precaução coleção Direito Ambiental em debate Belo Horizonte. Del Rey. 2004. p. 13-28.



