

MINISTÉRIO DA SAÚDE NO PARÁ

PARECER TÉCNICO Nº 1/2018-IEC/SEAMB/IEC/SEVEP/IEC/SVS/MS

PARECER TÉCNICO-CIENTÍFICO SAMAM/IEC 001-2018

TÍTULO: Compreensão da Cadeia Produtiva do Alumínio de Paragominas a Barcarena, Liberação de Elementos Tóxicos e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs), Incluindo Recomendações para Proteção do Meio Ambiente, dos Ecossistemas Aquáticos e Terrestres e da Vida Humana.

SOLICITANTE: CAINQUIAMA - ASSOCIAÇÃO AFIRMATIVA DOS DIREITOS SOCIOAMBIENTAIS E CIVIS E EM DEFESA ORGANIZADA DAS VÍTIMAS DE OBRAS E ATIVIDADES E DE COMBATE À IMPROBIDADE NO ESTADO DO PARÁ.

PARECERISTA: Dr. Marcelo de Oliveira Lima, Geoquímico e Químico.

Pesquisador em Saúde Pública

Seção de Meio Ambiente (SAMAM)

Instituto Evandro Chagas (IEC)

DATA DE EMISSÃO: 16/07/2018.

1. DEFINIÇÕES

1. **Toxicidade:** potencial tóxico de um elemento;
2. **Mobilidade ou Dispersão Geoquímica:** são processos através dos quais íons ou partículas se movem para novos locais de dispersão geoquímica. Toda a dispersão ocorre em um sistema aberto e dinâmico, onde os materiais geológicos são submetidos a mudanças de quimismo do ambiente, temperatura, pressões, tensões mecânicas e outras condições físicas. As rochas ou minerais e os grãos ou íons contidos, estáveis em determinado ambiente são liberados e dispersos, tanto pela ação de processos químicos quanto físicos e biológicos. Esta dispersão pode ser o resultado da ação de agentes exclusivamente mecânicos, tais como a injeção de magmas ou movimentação de materiais superficiais por ação das águas das drenagens;
3. **Intemperismo:** processo de transformação e desgaste das rochas e dos solos, através de processos químicos, físicos e biológicos;
4. **Ciclos biogeoquímicos:** representam o movimento dos elementos químicos entre os seres vivos e a atmosfera, litosfera e hidrosfera do planeta;
5. **Aquíferos continentais:** ou águas continentais são aquelas presentes na superfície da Terra. Estas águas estão distribuídas em rios, lagos e geleiras. As

- continentais são as mais consumidas pelos seres humanos, nas mais diversas atividades, pois são predominantemente água doce;
6. **Background:** conjunto das condições, circunstâncias antecedentes a uma situação, acontecimento ou fenômeno;
 7. **Elementos tóxicos:** não têm função no metabolismo dos seres vivos e, mesmo em baixas concentrações, podem ser nocivos à saúde humana;
 8. **Biologicamente não essenciais:** são elementos que não desempenham função biológica no organismo;
 9. **Clima tropical:** é caracterizado pela ausência da estação fria e apresenta altas temperaturas e umidade o ano todo;
 10. **Lavras minerais:** entende-se como o conjunto de operações coordenadas, objetivando o aproveitamento industrial da jazida, desde a extração das substâncias minerais úteis que contiver, até o beneficiamento das mesmas;
 11. **Superfície de contato:** A área de contato entre os reagentes também interfere na velocidade das reações químicas. Quanto maior a superfície de contato, maior o número de moléculas reagindo, maior o número de colisões eficazes e, portanto, maior a velocidade das reações;
 12. **Rejeitos e Resíduos:** resíduo é todo o material, substância, objeto ou bem que já foi descartado, mas que ainda comporta alguma possibilidade de uso, seja por meio da reciclagem ou do reaproveitamento. O rejeito, por sua vez, é um tipo de resíduo que não possui mais qualquer possibilidade de recuperação ou reutilização, e, por isso, a única alternativa é a disposição final, que deve ser feita de maneira que não prejudique o meio ambiente.
 13. **Materiais inertes:** são resíduos que não possuem tendência a sofrer uma reação química. Contudo, não se pode dizer que esses resíduos não trazem perigos aos seres humanos ou ao meio ambiente a partir da liberação de substâncias tóxicas em processos intempéricos;
 14. **Mineroduto:** duto (tubulação) por onde se transporta minério de um lugar para outro;
 15. **Pasta úmida:** caracteriza-se pela mistura de um fluido com partículas sólidas. A água é o fluido mais amplamente empregado na indústria mineral;
 16. **Lixiviação:** ato ou efeito de **lixiviar**, decoação, percolação. Dissolução e remoção dos constituintes de rochas e de solos;
 17. **Transformação química:** consiste em uma transformação em que há formação de novas substâncias, pois ocorre a alteração das propriedades características das substâncias iniciais (reagentes);
 18. **Efluentes líquidos:** efluentes líquidos são **substâncias poluentes** que, lançadas na natureza sem o devido tratamento, causam sérios danos ao ecossistema dos rios, lagos, córregos e oceanos;
 19. **Compartimentos ambientais:** são aqueles componentes do meio ambiente que se quer analisar para uma determinada atividade e que congregam dois ou mais elementos físicos, tais como solo, subsolo, águas superficiais, águas subterrâneas;
 20. **Prospecção geoquímica:** através dela, é possível determinar a localização de depósitos minerais de alto valor financeiro, usando-se dos princípios químicos de distribuição de elementos sobre a terra.
 21. **Alumina:** o óxido de alumínio (Al_2O_3) é um composto químico de alumínio e oxigênio. Também é conhecido como alumina, um nome usado frequentemente nas ciências dos materiais;
 22. **Lama vermelha:** é um resíduo poluente, de coloração vermelha, produzido pelo processamento de bauxita;
 23. **Licenciamentos ambientais:** é o procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental autoriza a localização, instalação, ampliação e operação de [empreendimentos](#) e atividades que fazem uso de recursos ambientais, considerados efetivo ou potencialmente poluidoros ou daqueles que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental;

24. **Elementos maiores:** são elementos com grande abundância na crosta terrestre;
25. **Elementos traços:** são elementos com menor abundância na crosta terrestre;
26. **Terras raras:** elementos raros encontrados na crosta terrestre;
27. **Fontes de emissão:** são locais em que as substâncias com potencial de impacto ao meio ambiente são lançadas na atmosfera ou sobre o solo ou nas águas de rios, lagos e oceanos;
28. **Estrutura cristalina:** a estrutura cristalina de um sólido é a designação dada ao conjunto de propriedades que resultam da forma como estão espacialmente ordenados os átomos ou moléculas que o constituem;
29. **Programas de biomonitoramento:** programas que visam determinar os meios bióticos e abióticos de uma determinada área que sofre ou não ação antrópica;
30. **Estudos ecotoxicológicos:** são estudos que analisam os efeitos causados por agentes tóxicos em organismos aquáticos e terrestres;
31. **Estudos de mutagênese:** estudos sobre agentes físicos, químicos ou biológicos que podem causar mutações nas moléculas de DNA em células expostas;
32. **Estudos genotóxicos:** estudo das substâncias que causam efeitos genéticos nos organismos;
33. **Exposição ambiental:** quando uma população está exposta ou em contato com poluentes de origem antrópica ou natural;
34. **Cadeia produtiva do alumínio:** inclui todas as etapas, desde a exploração mineral até a produção de barras ou lingotes de alumínio;
35. **Verticalização mineral:** representam etapas nas quais os minérios brutos são processados para obtenção de substâncias ou produtos de interesse;
36. **Carvão mineral:** o carvão mineral, que possui cor preta, é uma rocha sedimentar de origem fóssil (formado a partir da sedimentação de resíduos orgânicos, em condições específicas). Ele é encontrado em jazidas localizadas no subsolo terrestre e extraído pelo sistema de mineração. O carvão, ao ser queimado, libera altas quantidades de energia, por isso é ainda muito usado em usinas termoeletricas e indústrias de siderurgia. Além do gás carbônico, a queima do carvão mineral lança no ar também o gás metano e outras substâncias tóxicas;
37. **Coque:** é um tipo de [combustível](#) derivado da hulha ([carvão betuminoso](#)). Começou a ser utilizado na [Inglaterra](#) do [século XVIII](#). O coque obtém-se do aquecimento da [hulha](#) (ou carvão betuminoso), sem [combustão](#), num recipiente fechado. Pode ser utilizado na produção de [ferro-gusa](#) ([alto-forno](#)), sendo adicionado junto com a carga metálica;
38. **Hulha:** esta é uma variedade do carvão mineral que apresenta um dos maiores índices de carbono em sua composição;
39. **Ionizar ou ionização:** processo que transforma átomos ou moléculas neutros em seus respectivos íons;
40. **Pré-concentração:** quando ocorre o aumento da concentração de determinada substância pela redução de massa ou volume de outros componentes.
41. **Bacias de deposição de resíduos sólidos:** bacias artificiais onde são lançados resíduos industriais ou de atividades minerais;
42. **Decantado:** líquidos e/ou sólidos que se depositam ou decantam por efeito da gravidade;
43. **Bacias de decantação:** bacias artificiais onde são armazenados temporariamente efluentes líquidos antes do tratamento e posterior lançamento no ambiente;
44. **Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs):** contaminantes orgânicos resultantes da combustão da biomassa ou componentes de combustíveis;
45. **Matéria orgânica:** composto formado por restos de vegetais (folhas, galhos, raízes, cascas etc.) e animais (em menor escala) que integram o solo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Alguns elementos químicos de alta toxicidade são constituintes naturais presentes nas rochas. Nestas, esses, normalmente, possuem uma baixa mobilidade ou dispersão geoquímica e mediante processos físicos, químicos e biológicos, conjunto de fatores também conhecido como intemperismo, são liberados no meio ambiente e formam seus ciclos biogeoquímicos (Elder, 1988; Formoso, 2006; Galuszka, 2007; Middelburg et al., 1988; Morcillo et al., 2013). Seguindo este caminho natural, esses elementos, normalmente, se encontram em baixas concentrações nas águas superficiais, subterrâneas e intersticiais que formam os aquíferos continentais. Nestas condições, os teores naturais encontrados nas águas correntes e também outros compartimentos ambientais como sedimentos, solos e tecidos biológicos, são denominados de *background* e são importantes referenciais quando se deseja discutir alterações na qualidade das águas que possam interferir nos ecossistemas aquáticos e até na vida humana. Ressaltando apenas que os teores de *background* podem apresentar níveis distintos de elementos tóxicos, alguns biologicamente não essenciais, para cada região do planeta. Na Amazônia já foram desenvolvidos estudos que abrangem distintas bacias hidrográficas e sugerem possíveis níveis de *background* (McClain et al., 2001) nas águas superficiais.

No entanto, esses processos intempéricos são ainda mais intensos em zonas de clima tropical e úmido, como, por exemplo, na Amazônia, devido as altas temperaturas e elevados níveis de umidade e índices pluviométricos. Desta forma, quando materiais geológicos provenientes de lavras minerais nesta região passam por processos de britagem, que aumentam suas superfícies de contatos, e ficam dispostos em pilhas sobre a superfície terrestre é esperado que ocorra forte intemperismo e sejam gerados lixiviados, efluentes líquidos, que possuem concentração dos elementos tóxicos presentes naturalmente tanto nos minérios quanto nos materiais inertes. Ressalte-se que estas fortes ações intempéricas se estendem também para pilhas de rejeitos e/ou resíduos quando dispostos sobre o solo destas regiões tropicais e úmidas e serão ainda mais intensas se esses materiais já tiverem passados por processos químicos em elevadas temperaturas. Portanto, nos processos de extração mineral na Amazônia pode ocorrer uma maior disponibilização desses elementos tóxicos aos ecossistemas aquáticos e terrestres a partir tanto dos minérios de interesse econômico, como a bauxita, quanto dos seus rejeitos e/ou resíduos (Kusin et al., 2017).

O deslocamento desses materiais geológicos através de minerodutos na forma de uma pasta úmida, também denominada de polpa, cujo transporte ocorre em tubulações com contínuas agitações mecânicas e lixiviações, e a produção industrial, na qual ocorre a transformação química desses materiais em elevadas temperaturas, são condições favoráveis para promover forte disponibilização desses elementos para o ambiente através dos efluentes líquidos gerados. Dependendo do tipo de emissão, tempo e teores desses elementos presentes na constituição dos efluentes lançados, os mesmos podem modificar drasticamente o *background* das águas naturais, aumentando na sequência as concentrações destes nos diversos compartimentos ambientais.

Nos depósitos lateríticos de bauxita, conhecidos da geologia mundial há séculos a partir da ocorrência em diversos países, a presença de elementos tóxicos são informações quase sempre obtidas ainda nas etapas iniciais de prospecção geoquímica e deveriam ser registradas suas concentrações nos processos para obtenção de lavras minerais e posterior solicitação dos licenciamentos ambientais (Gu et al., 2013; Mohammad, 2013; Mordberg et al., 2001; Tsozue and Ndjigui, 2017). Apesar dos teores exatos de cada constituinte serem variados, pois dependem da origem geológica dos minérios de interesse, esta informação deveria ser considerada no delineamento das condicionantes a serem adotadas como medidas de proteção ao meio ambiente e a vida em todas suas formas.

Durante o processo de produção de alumina se estima que são produzidas até 2 toneladas de resíduo classificado como perigoso e que é denominado lama vermelha. O inventário mundial mostrou que de 1900 até 1980 foram produzidas 1 bilhão de toneladas de lama vermelha em todo planeta. No período de 1980 a 2000 esse estoque passou de 2 bilhões e até 2015 já era superior a 3 bilhões, dados que mostram o aumento da produtividade de alumina e conseqüentemente de

resíduos de lama vermelha. Hoje se estima que a produção mensal de resíduos de lama vermelha passe de 120 milhões de toneladas por mês, ou seja, por ano já se produz mais de 1 bilhão de toneladas, quantidade que se levou 80 anos para produzir (Power et al., 2011). Essa tendência mostra que a produção desses resíduos de lama vermelha vem aumentando e as preocupações ambientais em relação aos mesmos são objetos de discussão do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) desde 1981 (UNEP, 1985). Portanto, o aumento de produção está deixando um passivo perigoso e junto o risco de impacto ambiental e à saúde humana decorrente do lançamento para o ambiente de elementos tóxicos. Sem dúvida esta deveria ser uma preocupação dos órgãos ambientais e de saúde onde estão instalados esses processos.

3. COMPREENSÃO DA LAVRA MINERAL DE BAUXITA EM PARAGOMINAS

Os estudos conduzidos por Kotschoubey et al. (2005) que resultaram no capítulo 11 intitulado **“Caracterização e Gênese dos Depósitos de Bauxita da Província Bauxitífera de Paragominas, Nordeste da Bacia do Grajaú, Nordeste do Pará/Oeste do Maranhão”** que fez parte da obra organizada por Marini et al. (2005) em formato de livro denominado **“Caracterização de Depósitos Minerais em Distritos Mineiros da Amazônia”** mostram, tacitamente, nas Tabelas 3, 4 e 5, a presença, na constituição geológica do minério e dos materiais inertes, de elementos maiores, como silício (Si) na forma de SiO_2 , alumínio (Al) na forma de Al_2O_3 , ferro (Fe_2O_3), manganês (Mn) na forma de MnO, magnésio (Mg) na forma de MgO, cálcio (Ca) na forma de CaO, sódio (Na) de Na_2O , potássio (K) na forma de K_2O , elementos traços como titânio (Ti) na forma de TiO_2 , nióbio (Nb), zircônio (Zr), háfnio (Hf), ítrio (Y), tório (Th), urânio (U), escândio (Sc), fósforo (P) na forma de P_2O_5 , bário (Ba), estrôncio (Sr), gálio (Ga), vanádio (V), arsênio (As), cromo (Cr) na forma de Cr_2O_3 , chumbo (Pb), cobre (Cu), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) e também a presença de terras raras como lantânio (La), cério (Ce), neodímio (Nd), samário (Sm), európio (Eu), gadolínio (Gd), disprósio (Dy), hólmio (Ho), érbio (Er), itérbio (Yb) e lutécio (Lu).

Esclarecemos que os termos elementos maiores e traços bem como terras raras são usados para algumas definições geológicas quanto à abundância na crosta terrestre e, também são fundamentadas em perspectivas de aproveitamento econômico. Desta forma, em nenhum momento a menor abundância dos elementos traços significa que os mesmos sejam menos perigosos e danosos ao meio ambiente e à saúde humana. Muito pelo contrário, esses dados técnico-científicos, levantados antes da exploração mineral, mostram que entre esses constituintes naturais temos a presença de vários elementos tóxicos, como, por exemplo, Al, As, Ba, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Ti, Th, U e V, Y e Zn, e cuja maior e contínua disponibilidade para o ambiente, mesmo em baixas concentrações, podem causar danos aos ecossistemas aquáticos e terrestres e representam um risco à saúde humana. Entre estes, a Organização Mundial de Saúde (OMS) define pelo menos três (As, Cd e Pb) como altamente perigosos e os identifica entre as substâncias de maior preocupação à saúde pública mundial, mostrando que devem ser monitoradas as possíveis fontes de emissão (Lockwood et al., 2015).

Vale a pena compreender que os elementos tóxicos citados acima, normalmente, estão inseridos na estrutura cristalina e possuem baixa mobilidade e conseqüentemente baixa disponibilidade hidrogeoquímica. Porém, ao se iniciar o processo de lavra da bauxita esta condição é rompida e os materiais extraídos das rochas são desagregados e dispostos, inicialmente, sobre o solo e a céu aberto até o início da etapa de separação granulométrica. Neste estágio, tanto as frações finas do minério quanto seus resíduos aumentam a superfície de contato e, considerando que esta lavra mineral se encontra em uma zona tropical e úmida, é razoável que se espere a ação dos fatores intempéricos citados acima e a geração de efluentes líquidos que contenham teores desses elementos tóxicos, ou seja, começa a acontecer um aumento da disponibilidade geoquímica desses a partir de ações antrópicas.

Caso os elementos tóxicos cheguem ao ambiente, a partir dessas atividades antrópicas de lavra

da bauxita em Paragominas, poderiam ocorrer modificações dos *backgrounds* dos corpos hídricos e aquíferos desta região e seria esperado, para proteção da vida em todas as suas formas incluindo a humana, a adoção de medidas cautelares, já previstas na legislação brasileira, como a realização de programas de biomonitoramento, estudos ecotoxicológicos, mutagênicos e genotóxicos e até avaliação da exposição ambiental humana em grupo populacional significativo. Essas medidas deveriam ser conduzidas para dar respostas e fazer os aprofundamentos necessários que não se limitam apenas à execução das análises previstas na legislação brasileira. Se tais ações não forem adotadas previamente a partir da implementação dessas atividades, neste momento seria mais plausível que estas pudessem ser realizadas paralelamente em outras regiões de características semelhantes, pois esta seria uma tentativa de se buscar as informações dos *backgrounds* que já podem ter sido perdidos, sem deixar de considerar outras informações técnico-científicas que possam estar disponíveis.

Merecem atenção especial tanto os resíduos sólidos quanto os efluentes líquidos gerados nesta etapa de lavra mineral na Província Bauxitífera de Paragominas, pois tanto o acúmulo e armazenamento desses resíduos sólidos, normalmente em bacias de deposição de resíduos (DRS), quanto os possíveis lançamentos de efluentes líquidos para o ambiente, ainda que tratados, necessitam de inspeções continuadas que garantam, respectivamente, a segurança de barragens e avaliação da efetividade e capacidade dos métodos de tratamento de efluentes bem como o acompanhamento dentro dos parâmetros exigidos nas normativas brasileiras, podendo ser acrescentados outros parâmetros em consideração à mobilidade geoquímica de outros elementos. Estas ações rotineiras referentes à segurança de barragens e tratamento de efluentes não invalidam, em nenhum momento, a necessidade das medidas cautelares acima citadas e são pautadas no histórico de rompimento e/ou transbordamento das mesmas no exterior, como exemplo o caso ocorrido na Hungria em 2010, ou no Brasil como ocorrido em Barcarena 2003, 2009 e 2018 e Mariana em 2015 (Ruyters et al., 2011).

4. O USO DE MINERODUTOS E OS PROCESSOS DE LIXIVIAÇÃO

A liberação desses elementos tóxicos continua em outras etapas da cadeia produtiva do alumínio que se inicia na etapa de extração mineral na Província Bauxitífera de Paragominas e se estende até às etapas de verticalização mineral que ocorrem na cidade de Barcarena, ambas no território do Estado do Pará. Por exemplo, os materiais contendo minério de bauxita são transformados em polpa e são transportados por quase 400 km de minerodutos de Paragominas até Barcarena, um transporte bastante úmido e com forte agitação mecânica que proporcionam um ambiente ideal para a ocorrência de processos de lixiviação dos elementos tóxicos contidos nesses materiais.

Esta pasta úmida ao chegar na planta industrial da Hydro Alunorte, localizada em Barcarena, passa por um processo de secagem e remoção dos efluentes líquidos constituintes dessa polpa. Portanto, os efluentes gerados ao final desta etapa deveriam, imperativamente, passar por tratamentos adequados antes de quaisquer lançamentos em corpos hídricos, pois já entraram em contato com os materiais geológicos extraídos de Paragominas e que contém elementos tóxicos na sua constituição. Destaca-se que esses tratamentos devem ser suficientes para remoção da maioria desses constituintes e, assim evitar impactos nos corpos hídricos e risco à saúde humana, não isentando das mesmas necessidades de acompanhamento do comportamento destes nos compartimentos ambientais possivelmente afetados.

5. A PRODUÇÃO DE LAMA VERMELHA, CINZAS E EFLUENTES

Na etapa industrial, que ocorre na cidade de Barcarena, na qual são usados produtos químicos como soda cáustica (NaOH) e altas temperaturas, a partir de fornos e/ou caldeiras que usam como combustíveis carvão mineral e/ou coque e/ou hulha, a estrutura cristalina da bauxita é totalmente rompida para extração e separação da substância de interesse, no caso a alumina

(Al₂O₃). Portanto, nestas condições os elementos tóxicos acima citados são totalmente ionizados e disponibilizados juntamente com os resíduos alcalinos de lama vermelha que são gerados nesse processo. Ressalte-se que no resíduo denominado de lama vermelha ocorre a pré-concentração desses elementos tóxicos, pois estes estão agora desagregados e fazem parte apenas dos resíduos devido a separação e purificação da alumina que é a maior parte da composição da bauxita. Esta lama vermelha é depositada em bacias de deposição de resíduos sólidos (DRS) e o decantado, efluentes líquidos, contendo elementos altamente tóxicos e caracterizado como uma mistura altamente corrosiva devido à presença de soda cáustica (NaOH), são armazenados em bacias de decantação e deveria, na sequência, ocorrer imperativamente o tratamento adequado dos mesmos antes de quaisquer lançamentos em corpos hídricos.

Um agravante da situação é a recente constatação da mistura de resíduos de cinzas de fornos e/ou caldeiras aos resíduos de lama vermelha, pois esses materiais de cinzas são conhecidos por conter também elementos tóxicos, ou seja, juntamente com os materiais da lama vermelha os níveis de vários desses contaminantes são aumentados, reforçando ainda mais a necessidade de tratamento adequado antes de quaisquer lançamentos para o ambiente. Porém, as cinzas também possuem agregadas como contaminantes os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), substâncias altamente cancerígenas produzidas a partir da combustão da matéria orgânica e/ou combustíveis fósseis (Rodrigues, 2018), e outros elementos tóxicos, como o mercúrio (Hg), elemento também identificado pela OMS entre os dez mais perigosos e danosos à saúde humana. Novamente, tais tratamentos deveriam ser projetados para evitar a inserção continuada desses elementos tóxicos e também desses HPAs nos corpos hídricos da região. Os HPAs, apesar de não se encontrarem entre as substâncias que devem ser monitoradas de acordo com a legislação ambiental brasileira, devem ser inclusos em programas de biomonitoramento, pois representam grande risco aos organismos terrestres e aquáticos bem como aos seres humanos.

Outro tipo de efluente líquido gerado dentro da área industrial, e não menos tóxico, é gerado sob a ação das águas das chuvas que se misturam as partículas finas emitidas e espalhadas por toda a planta industrial a partir dos processos que ali se executam, das cinzas e dos resíduos de lama vermelha. Esta chuva, caracterizada na Amazônia como ácida, se mistura a essas partículas finas e promove também uma lixiviação de íons e partículas, formando um efluente que contém estes elementos tóxicos e também os HPAs anteriormente citados. Novamente, temos a necessidade da implementação de etapas de tratamentos adequados que contemplem a remoção desses elementos tóxicos e os HPAs antes do lançamento desses efluentes nos corpos hídricos da região.

Para tratamento adequado e menos danoso ao ambiente já existem vários estudos na literatura mundial e, alguns destes até foram patenteados por demonstrarem boa eficiência. Da mesma forma existem dezenas de propostas de reutilização desses resíduos, inclusive na construção civil, porém, todos apresentam condicionantes antes de sua aplicabilidade, e o principal destes é a remoção de elementos tóxicos antes da destinação para outro uso (Brunori et al., 2005; Klauber et al., 2011). Existem inclusive estudos que mostram a possibilidade de se recuperar os elementos denominados terras raras a partir desses resíduos, pois estes são de grande interesse econômico para diversos setores da indústria mundial (Borra et al., 2015; Liu and Naidu, 2014).

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os dados técnico-científicos aqui apresentados evidenciam claramente que o uso do minério bauxita oriundo da província mineral de Paragominas tem como resultado a presença de elementos tóxicos, alguns biologicamente não essenciais, que possuem alta mobilidade e disponibilidade hidrogeoquímica, podendo ser facilmente liberados a partir de processos intempéricos e/ou etapas de lixiviação. O acúmulo e/ou lançamento desses efluentes para o ambiente sem o devido tratamento pode ocasionar impactos ambientais irreversíveis com danos aos ecossistemas aquáticos e terrestres e também para as populações que residem nessas

regiões em áreas próximas a essas atividades minerais. Processo semelhante ocorre em Barcarena e o risco é até maior devido a provável pré-concentração desses elementos tóxicos na lama vermelha e o despejo de resíduos de cinzas sobre as bacias de deposição de resíduos que além de contribuir para maior concentração desses elementos também contribui para a inserção dos HPAs. Desta forma, podemos sugerir que deveriam ser feitos estudos que mostrem esse risco e na sequência fossem implementados programas contínuos de biomonitoramento, estudos ecotoxicológicos, mutagênicos e genotóxicos e avaliação de exposição ambiental humana aos elementos tóxicos e HPAs em toda a região, incluindo tanto Paragominas quanto Barcarena e até territórios de cidades adjacentes devido à integração hídrica regional. Tais informações são urgentes e essas medidas deveriam ser imediatamente implementadas para proteção do meio ambiente, dos organismos terrestres e aquáticos e a saúde dos seres humanos que residem próximo a essas áreas.

REFERÊNCIAS

- Borra, C.R., Pontikes, Y., Binnemans, K., Van Gerven, T., 2015. Leaching of rare earths from bauxite residue (red mud). *Miner. Eng.* 76, 20–27. doi:10.1016/j.mineng.2015.01.005
- Brunori, C., Cremisini, C., Massanisso, P., Pinto, V., Torricelli, L., 2005. Reuse of a treated red mud bauxite waste: studies on environmental compatibility. *J. Hazard. Mater.* 117, 55–63. doi:10.1016/j.jhazmat.2004.09.010
- Elder, J.F., 1988. *Metal Biogeochemistry in Surface-Water Systems A eview of Principles and Concepts*. U. S. Geological Survey Circular 1013, U.S.A.
- Formoso, M.L.L., 2006. Some topics on geochemistry of weathering: a review. *An. Acad. Bras. Cienc.* 78, 809–820. doi:10.1590/S0001-37652006000400014
- Gałuszka, A., 2007. A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland. *Environ. Geol.* 52, 861–870. doi:10.1007/s00254-006-0528-2
- Gu, J., Huang, Z., Fan, H., Jin, Z., Yan, Z., Zhang, J., 2013. Mineralogy, geochemistry, and genesis of lateritic bauxite deposits in the Wuchuan–Zheng’an–Daozhen area, Northern Guizhou Province, China. *J. Geochemical Explor.* 130, 44–59. doi:10.1016/j.gexplo.2013.03.003
- Klauber, C., Gräfe, M., Power, G., 2011. Bauxite residue issues: II. options for residue utilization. *Hydrometallurgy* 108, 11–32. doi:10.1016/j.hydromet.2011.02.007
- Kotschoubey, B., Calaf, J.M.C., Lobato, A.C.C., Leite, A.S., Azevedo, C.H.D., 2005. Caracterização e gênese dos depositos de bauxita da Provincia Bauxitífera de Paragominas, noroeste da Bacia do Grajau, nordeste do Para/oeste do Maranhão, in: *Caracterização de Depósitos Minerais Em Distritos Mineiros Da Amazônia*. DNPM-CT/MINERAL-ADIMB, Brasília, DF, p. 702.
- Kusin, F.M., Rahman, M.S.A., Madzin, Z., Jusop, S., Mohamat-Yusuff, F., Ariffin, M., Z, M.S.M., 2017. The occurrence and potential ecological risk assessment of bauxite mine-impacted water and sediments in Kuantan, Pahang, Malaysia. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 1306–1321. doi:10.1007/s11356-016-7814-7
- Liu, Y., Naidu, R., 2014. Hidden values in bauxite residue (red mud): Recovery of metals. *Waste Manag.* 34, 2662–2673. doi:10.1016/j.wasman.2014.09.003
- Lockwood, C.L., Stewart, D.I., Mortimer, R.J.G., Mayes, W.M., Jarvis, A.P., Gruiz, K., Burke, I.T., 2015. Leaching of copper and nickel in soil-water systems contaminated by bauxite residue (red mud) from Ajka, Hungary: the importance of soil organic matter. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 10800–10810. doi:10.1007/s11356-015-4282-4

Marini, O.J., Queiroz, E.T. de, Ramos, B.W., 2005. Caracterização de Depósitos Minerais em Distritos Mineiros da Amazônia. DNPM-CT/MINERAL-ADIMB, Brasília, DF.

McClain, M.E., Victoria, R.L., Richey, J.E., 2001. The Biogeochemistry of the Amazon Basin, 1^o. ed. Oxford University Press, New York.

Middelburg, J.J., van der Weijden, C.H., Woittiez, J.R.W., 1988. Chemical processes affecting the mobility of major, minor and trace elements during weathering of granitic rocks. Chem. Geol. 68, 253–273. doi:10.1016/0009-2541(88)90025-3

Mohammad, H.A., 2013. Study of Trace and some Rare Earth Elements of Hussainiyat Karst Bauxite, Iraq: Leaching Efficiency. Iraqi Natl. J. Earth Sci. 13, 13–34.

Morcillo, M., Chico, B., Díaz, I., Cano, H., de la Fuente, D., 2013. Atmospheric corrosion data of weathering steels. A review. Corros. Sci. 77, 6–24. doi:10.1016/j.corsci.2013.08.021

Mordberg, L.E., Stanley, C.J., Germann, K., 2001. Mineralogy and geochemistry of trace elements in bauxites: the Devonian Schugorsk deposit, Russia. Mineral. Mag. 65, 81–101. doi:10.1180/002646101550145

Power, G., Gräfe, M., Klauber, C., 2011. Bauxite residue issues: I. Current management, disposal and storage practices. Hydrometallurgy. doi:10.1016/j.hydromet.2011.02.006

Rodrigues, C.C. dos S., 2018. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em sedimentos superficiais de sistemas aquáticos amazônicos (Estados do Pará e Amapá). Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará.

Ruyters, S., Mertens, J., Vassilieva, E., Dehandschutter, B., Poffijn, A., Smolders, E., 2011. The red mud accident in Ajka (Hungary): Plant toxicity and trace metal bioavailability in red mud contaminated soil. Environ. Sci. Technol. 45, 1616–1622. doi:10.1021/es104000m

Tsozué, D., Ndjigui, P.-D., 2017. Geochemical Features of the Weathered Materials Developed on Gabbro in a Semi-Arid Zone, Northern Cameroon. Geosciences 7, 16. doi:10.3390/geosciences7020016

UNEP, 1985. United Nations Environment Programme. Industry & Environment Office. Environmental aspects of alumina production: an overview / Industry & Environment Office, United Nations Environment Programme. Paris, France.



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo de Oliveira Lima, Pesquisador(a) em Ciências da Saúde**, em 20/07/2018, às 16:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6^o, § 1^o, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#); e art. 8^o, da [Portaria nº 900 de 31 de Março de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.saude.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4850491** e o código CRC **0B72B0B3**.