



Engenharia

Impactos Ambientais Ocasionados Pelos Processos Produtivos do Minério de Ferro

Andros Rafael Farias¹, Bruna Tayná Pereira Castro², William Silva Ferreira³

Resumo

O presente artigo se propõe a identificar e avaliar os impactos ambientais decorrentes da atividade de extração de minério de ferro, detalhando seus processos produtivos. Como procedimento metodológico, realizou-se pesquisas e revisões bibliográficas, com embasamento nos aspectos legislativos para as atividades de mineração e além disso, a utilização do método de matriz de interação para identificar e avaliar os impactos ambientais, com o intuito de elaboração de medidas mitigatórias de acordo com aspectos e fatores ambientais. As análises dos resultados indicaram a importância da otimização dos processos produtivos para mitigar os impactos, tendo como base a Produção Mais Limpa que é considerada a introdução da sustentabilidade na atividade de mineração, de modo a integrar o papel da Engenharia de Produção com a Engenharia Ambiental. Como conclusão foram identificados na atividade de mineração, que os processos de beneficiamento do minério de ferro, em sua totalidade causam degradação ambiental, ratificando a necessidade de medidas eficazes para mitigar as ações ambientais, dessa forma, a otimização do processo produtivo torna-se possível este resultado, porém é necessário também a consolidação da fiscalização pelo órgão competente a Agência Nacional de Mineração (ANM).

Palavras-Chave: Matriz de Interação, Medidas mitigatórias e Produção Mais Limpa.

Environmental Impacts Obtained by The Production Process of Iron Ore. This article aims to identify and evaluate the environmental impacts arising from the activity of extraction of iron ore, detailing their production processes. As methodological procedure, research and bibliographical reviews, with basement legislative aspects to mining activities and in addition, the use of the method of interaction matrix to identify and assess environmental impacts, with the aim of elaborating preventive/corrective measures according to aspects and environmental factors. The analysis of the results indicated the importance of optimization of production processes to mitigate the impacts, based on cleaner production that is considered the introduction of sustainability in mining activity, in order to integrate the role of production engineering with Environmental Engineering. As conclusion have been identified in mining activity, the processes of Iron Ore beneficiation in your entirety cause degrades. Confirming the need for effective measures to mitigate environmental actions, thus optimizing the production process becomes possible this result, but it is also necessary to consolidate the supervision by the competent organ National Mining Agency (NMA).

Key-words: Interaction Matrix, Mitigating measures and Cleaner Production.

¹ Graduando em Engenharia Ambiental, DEAM, CCNT, UEPA, Marabá, androblues@hotmail.com

² Graduanda em Engenharia Ambiental, DEAM, CCNT, UEPA, Marabá castrobruna43@gmail.com

³ Graduando em Engenharia Ambiental, DEAM, CCNT, UEPA, Marabá, eng_amb.williamferreira@outlook.com



1. Introdução

Segundo Oliveira *et al.*, (2013), a Engenharia de Produção e a Engenharia Ambiental estão inseridas nos contextos organizacionais, estratégicos, e no ciclo de vida dos produtos e empreendimentos. Em vista disso a Engenharia de Produção parte do pressuposto da otimização dos processos com planejamento adequado e a Engenharia Ambiental realiza a mitigação dos impactos ambientais decorrentes de tais atividades, sua relação se faz mediante a análise de uma redução dos impactos gerados pela extração de minério de ferro nos seus processos produtivos, por meio de ações ambientais.

Nesse contexto, dentro do senso comum existe ainda uma certa percepção de que os danos sociais e ambientais da mineração tenderiam a se restringir à apenas a mudança da paisagem e do local da mina, isto é, que a mineração causaria impactos, porém contidos à mina (MILANEZ, 2017).

Além disso, essa ideia é muitas vezes reforçada pelo setor mineral, uma vez que a indústria extrativa de minério de ferro, torna-se nos dias atuais um dos principais eixos das mudanças contemporâneas na relação entre economia, política e sociedade.

De acordo com Milanez e Santos (2013), o Brasil apresenta-se como sendo o segundo maior exportador de minério de ferro, estando atrás apenas da Austrália que domina o mercado. Além disso, o Brasil no ano de 2012, se apresentou como o terceiro maior país produtor de minério de ferro.

Frente a atual perspectiva da geração atual de minério de ferro, a sustentabilidade em relação mineração passa a ser questionável, em virtude dos impactos que a mesma ocasiona, neste caso caberia minimizar os impactos ambientais e buscar manter certos níveis de proteção ecológica e de padrões de qualidade ambientais (SILVA, 2009).

Apesar de indubitavelmente gerar riqueza e crescimento econômico, sendo um dos importantes setores da economia brasileira, a indústria extrativa mineral está entre as atividades antrópicas que mais causam impactos socioeconômicos e ambientais negativos, afetando, portanto, o território onde se realiza a mineração

(ARAUJO, OLIVERI e FERNANDES, 2014).

Segundo Junior (2016), na fase de extração de minério podem produzir-se danos à vegetação e a paisagem, especialmente nas lavras a céu aberto, uma vez que é necessário a remoção da cobertura vegetal, rebaixamento do nível do lençol freático, geração de material particulado oriundo do uso de explosivos, entre outros.

Para identificar esses impactos ambientais, a ferramenta mais adequada é a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), que tem por objetivo avaliar e identificar a viabilidade ambiental dos empreendimentos por meio de um exame sistemático dos impactos ambientais de atividade e de suas alternativas para minimizar ou prevenir os danos causados (SANCHEZ, 2008).

Para tanto, dentre os métodos mais utilizados de avaliação de impactos ambientais, está a matriz de interação que segundo Cremonez *et al.*, (2014), refere-se a uma listagem de controle bidimensional que relaciona os fatores com ações. Essa metodologia de matriz de interação surgiu em 1971, elaborada por Leopold, é uma das mais conhecidas e utilizadas mundialmente, foi desenvolvida para avaliar os impactos a quase todos os tipos de implantação de projetos (BECELLI, 2010).

O presente trabalho se propõe a relacionar o conceito de impacto ambiental, como fator resultante de aspectos ambientais numa relação de causa e efeito a partir de uma matriz de interação para as fases de implantação e operação da atividade de lavra. E em face dos expostos, este reveste-se de grande importância porque irá apresentar os impactos diretos causados pela exploração mineral.

1.1. Aspectos Legislativos

A conceituação e classificação das jazidas e das minas de acordo com o Decreto nº 9.406, de 12 de Junho de 2018, toda massa individualizada de substância mineral ou fósil, que aflore à superfície ou que já exista no solo, no subsolo, no leito ou no subsolo do mar territorial, da zona econômica exclusiva ou da plataforma continental e que tenha valor econômico.



O antigo Código de Mineração, realiza a divisão das classes de substâncias minerais, esta varia de acordo com sua composição e utilidade, sendo classificadas

de I a VIII, o minério de ferro é considerado de classe I em que suas jazidas são de substâncias minerais metalíferas, como é demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Conceituação e classificação das jazidas e das minas de acordo com o Código de Mineração de 1968

Conceituação e classificação das jazidas e das minas		
Classe	Substância Mineral	Tipo De Minério
Classe I	Jazidas de substâncias minerais metalíferas;	Minérios de: alumínio, antimônio, arsênio, berílio, bismuto, cádmio, cério, césio, cobalto, cromo, chumbo, cobre, escândio, estanho, ferro, germânio, gálio, háfnio, ítrio, irídio, índio, lítio, manganês, magnésio, mercúrio, molibdênio, nióbio, níquel, ouro, ósmio, prata, platina, paládio, rádio, rênio, ródio, rubídio, rutênio, selênio, tálio, tântalo, telúrio, titânio, tungstênio, vanádio, xenotíndo, zinco, zircônio.

A Constituição Federal (1988) exige, na forma da lei, para a instalação da obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental. Deste modo, ao empreendedor da atividade de mineração que é considerada uma atividade potencialmente causadora de degradação ambiental tem como obrigatoriedade o Estudo de Impacto Ambiental e o Licenciamento Ambiental prévios, além da recomposição do meio ambiente degradado pela mineração, sendo a questão de danos ambientais de esfera criminal (MONTEIRO, 2005).

O Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018 institui em seu artigo 3º e 4º:

Art. 3º Compete à União organizar a administração dos recursos minerais, a indústria de produção mineral e a distribuição, o comércio e o consumo de produtos minerais.

Art. 4º Compete à Agência Nacional de Mineração - ANM observar e implementar as orientações, as diretrizes e as políticas estabelecidas pelo Ministério de Minas e Energia e executar o disposto no Decreto-Lei nº 227, de 1967 - Código de Mineração, e nas normas complementares (BRASIL, 2018).

Portanto a Agência Nacional de Mineração – ANM é incumbida por outorgar as autorizações de pesquisa, expedir

licenças, gerar requerimentos como também a realização de fiscalização de lavras ativas (HOEFLICH E TRZASKOS, 2015).

A outorga do registro de licença ficará condicionada à apresentação da licença ambiental expedida pelo órgão ambiental competente, o prazo de validade do título de licenciamento será limitado ao menor prazo de validade dentre aqueles previstos na licença específica expedida pelo município, sendo que o limite máximo de 50 hectares de área total (DNPM, 2016).

A Constituição Federal de 1988 ainda identifica os regimes de aproveitamento das substâncias minerais, como pode ser observado na Tabela 2, a seguir que, identifica os documentos necessários para cada regime.

1.2. Processos Produtivos

O processo de extração mineral de ferro aliado a seus processos produtivos, constitui um dos insumos básicos mais requisitados pela sociedade, sendo utilizados para a obtenção de matérias primas, nestes processos são retirados insumos para produção de diversos tipos de produtos. De acordo com Moraes, Albuquerque e Ladeira (2014), este insumo pode ser encontrado no meio ambiente na forma de rochosa, misturada a outros elementos e através de processos de beneficiamento pode adquirir elevados valores monetários.



Engenharia

Tabela 2. Regime de exploração e aproveitamento das substâncias minerais de acordo com o Decreto nº 62.934 de 2 de julho de 1968

Regime de exploração	Documento necessário
Regime de Autorização	Alvará do Ministro de Minas e Energia
Regime de Concessão	Decreto do Governo Federal
Regime de Licenciamento	Licença expedida em obediência a regulamentos administrativos locais, de inscrição do contribuinte no órgão próprio do Ministério da Fazenda e de registro de licença, acompanhada de planta da respectiva área.
Regime de Matrícula	Registro do Garimpeiro na Exatoria Federal onde se localiza a jazida.
Regime de Monopólio	Quando instituído em lei especial.

Nos processos de beneficiamento, o minério de ferro é misturado com outros elementos para ser transformado em produto final, nas usinas ou em fábricas, o mesmo é produzido em grandes lotes ou grandes quantidades onde é enviado e distribuído diretamente no mercado. Esta etapa supracitada engloba os ciclos de processos produtivos por onde todo produto passa, tendo essa logística que abrange os processos desde a extração da matéria-prima até a entrega e podendo haver o retorno desse material caracterizando-se como a logística reversa voltando para o setor industrial, enfatizando a questão do descarte e reutilização dos recursos (SILVA, OLIVEIRA E PROCÓPIO 2013).

1.2.1 Pesquisa Mineral

De acordo com o Decreto nº 9.406, de 12 de Junho de 2018, Art. 9, entende-se por pesquisa mineral a execução dos trabalhos necessários à definição da jazida, à sua avaliação e à determinação da exequibilidade de seu aproveitamento econômico. Além desta afirma que:

§ 1º A pesquisa mineral compreende, entre outros, os seguintes trabalhos de campo e de laboratório:

- I - levantamentos geológicos pormenorizados da área a ser pesquisada, em escala conveniente;
- II - estudos dos afloramentos e suas correlações;
- III - levantamentos geofísicos e geoquímicos;
- IV - aberturas de escavações visitáveis e execução de sondagens no corpo mineral;
- V - amostragens sistemáticas;
- VI - análises físicas e químicas das amostras e dos testemunhos de sondagens. (BRASIL, 2018).

Todos os trabalhos necessários à pesquisa serão executados sob a responsabilidade profissional de engenheiro de minas, ou de geólogo, habilitado ao exercício da profissão. E de acordo com Milanez e Santos (2013), nesta fase há a execução de mapeamentos geológicos, estudos da área e modelagens em geoprocessamento de forma a possibilitar a identificação dos depósitos minerais, dimensionar e caracterizar as jazidas. Por conta dos processos apresentados acima, esta etapa exploratória envolve elevados custos, em função de sua natureza e da infraestrutura produtiva, sendo considerada decisória à implantação dos sistemas extrativos.

1.2.2 Extração

De acordo com Rodrigues e Pinto (2012), as mineradoras realizam suas atividades em minas subterrâneas ou a céu aberto, porém o método mais recorrente de extração de minério de ferro é realizada através de minas a céu aberto. Na mineração a céu aberto, a extração envolve a divisão e corte da terra em blocos quadrados ou retangulares de dimensão padronizada, o que confere à mina a aparência de um poço dotado de enormes plataformas em degrau.

Minoves *et al.* (2015) afirma que, nos processos de extração de minério são causados danos a natureza, causados pelo processo extrativo do minério de ferro retirado da lavra, criando pilhas de rejeito estéril, que se trata da porção do minério com pouco ou com nenhum aproveitamento econômico.

A lavra é o ponto de partida de todo processo da mineração, e segundo o Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018, art. 10, considera-se lavra o conjunto de operações



Engenharia

coordenadas com o objetivo de aproveitamento da jazida, desde a extração das substâncias minerais úteis que contiver até o beneficiamento destas.

Nos processos de exploração da lavra são utilizados muitos métodos que vão variar em função basicamente da geometria do corpo de minério, da competência da rocha mineralizada e da encaixante, da escala de produção e além disso, dos custos envolvidos (FARIA, MARTINS E ZAGÔTO, 2015). Dentre os métodos mais usuais nos processos de lavra são: Lavra subterrânea e a céu aberto. Amaral e Pinto (2010), afirmam que as operações de lavra em minas a céu aberto compreendem basicamente quatro atividades: perfuração, desmonte, carregamento e transporte, que representam entre 30% e 40% dos custos totais. Este método de lavra corresponde ao desmonte mecânico das dunas, utilizando tratores de esteiras com lâminas, que alimentam calhas vibratórias, que por sua vez alimentam correias transportadoras que conduzem a areia até a usina de beneficiamento.

Já a respeito à lavra subterrânea, é utilizada quando o corpo de minério está em profundidade em que se torna inviável economicamente a sua extração a céu aberto, pelo grande volume de estéril a ser removido ou quando existem restrições ambientais ou urbanísticas para a lavra a céu aberto e o alto custo da lavra em subsolo é suportado pelo valor do minério (FARIA, MARTINS e ZAGÔTO, 2015).

A partir do processamento desse minério, obtêm-se diferentes produtos, utilizados em diversos setores industriais. No tratamento de minérios, existem processos de beneficiamento físico, nos quais se obtêm os concentrados minerais e os processos químicos/hidrometalúrgicos, em que o elemento de interesse na forma sólida é solubilizado e a solução produzida é purificada, gerando um concentrado do elemento de interesse (MORAIS, ALBUQUERQUE e LADEIRA, 2014).

1.2.3 Beneficiamento

De acordo com Milanez e Santos (2013), os processos de beneficiamento ficam

normalmente a cargo das mineradoras, desta forma as mesmas além de serem responsáveis pela extração, como também pelo beneficiamento do minério. Assim todo o beneficiamento do minério de ferro costuma ocorrer próximo às minas, desta forma reduz os custos pois não há a necessidade de transportar os rejeitos.

O processo de beneficiamento consiste no tratamento dos minérios a fim de modificar a granulometria, forma e concentração dos mesmos sem que haja a modificação das identidades químicas e físicas. Os tipos de beneficiamento físicos compreendem: cominuição, classificação por tamanho, concentração física e separação sólido-líquido, já os químicos são: lixiviação, extração por solventes (extração líquido-líquido), troca iônica e precipitação química (MORAIS, ALBUQUERQUE e LADEIRA, 2014).

1.2.3.1 Cominuição e classificação por tamanho

O processo de beneficiamento físico de cominuição contempla o desmonte, a britagem e peneiramento, a moagem e classificação, é uma importante etapa no processamento, pois reduz o tamanho das partículas conforme o requerido, liberação dos minerais úteis passíveis de concentração e a incrementação da superfície específica, habilitando para processos químicos subsequentes. A primeira etapa da cominuição contempla a britagem que visa a obtenção de produtos com granulometria superior a 10 milímetros, divide-se em britagem primária e secundária. A maioria dos circuitos de britagem primária usualmente inclui britador, moega, correia de descarga, alimentador e correia de descarga, equipamentos empregados que apresentam grande robustez (SILVA; LUZ, 2011).

A moagem trata-se do processo posterior a Britagem, nesta etapa da cominuição há a redução da granulométrica de centímetros à micrômetros, os mecanismos envolvidos compreendem basicamente impacto, compressão e cisalhamento, é realizada em moinhos tubulares há a combinação destas três forças



Engenharia

sobre as partículas para realizar sua fratura (JUNIOR *et al.*, 2011).

O processo de classificação por tamanho engloba o peneiramento. O peneiramento é um processo mecânico de separação de partículas de acordo com seu tamanho, permitindo a passagem de partículas cujo o tamanho é o requerido, e retendo as que ultrapassam a granulometria requerida, os equipamentos tradicionalmente utilizados são as peneiras vibratórias, rotativas e estáticas. São caracterizadas como overflow (tamanhos menores) e o underflow (tamanhos maiores) (MORAIS, ALBUQUERQUE e LADEIRA, 2014).

1.2.3.2 Concentração Física

O método de concentração física mais comumente utilizado no Brasil é a flotação, pois proporciona um maior aproveitamento de minérios, de baixos teores de forma econômica e com bons rendimentos. A flotação tem como base as diferenças das propriedades físico-químicas de superfície de diferentes minerais para alcançar a separação de partículas de interesse dos minerais canga (MORAIS *et al.*, 2014).

A flotação em coluna tem duas seções. A zona de coleta ou recuperação, onde as bolhas de ar são injetadas por um aerador situado na base da coluna. Assim, as partículas hidrofóbicas (maior afinidade pela fase gasosa) se aderem às bolhas formando agregados que ascendem, formando uma fase de espuma coletada no topo do equipamento (YIANATOS; CONTRERAS, 2010). A segunda seção é a zona de limpeza, onde os agregados são lavados juntamente com a espuma, eliminando assim as partículas hidrofílicas (maior afinidade pela fase líquida) que foram arrastadas pelo fluxo ascendente. Logo a porção flotada sai pelo topo da coluna e a não flotada é retirada na base da coluna constituindo o rejeito (FARROKHPAY, 2011).

1.2.3.3 Processos Hidrometalúrgicos

O processo hidrometalúrgico divide-se em duas etapas. A primeira etapa é a lixiviação que consiste na dissolução seletiva da porção flotada para a obtenção do metal/metals de interesse, através do contato

do sólido com solução aquosa que pode conter ácidos, bases, ou agentes complexantes -que formam compostos- de metais. A segunda fase é a extração por solventes, que utiliza solventes orgânicos para a separação de dois líquidos imiscíveis entre si. Essa fase tem como objetivo a purificação do licor e o tratamento de efluentes aquosos tendo como objetivo a remoção das espécies de interesse dissolvidas (MORAIS *et al.*, 2014).

1.2.4. Distribuição

O processo de transporte e distribuição do minério de ferro ocorre através de modais de grande capacidade, este fato é devido ao grande volume a ser transportado por conta da magnitude do comércio de ferro, pois o ganho de escala e a redução de custos fixos é um elemento essencial para reduzir custos operacionais. Portanto, este fato acaba inviabilizando o uso de caminhões para o seu transporte por grandes distâncias, então neste caso os modais utilizados são: ferroviário ou navios mineraleiros, pois podem suportar grandes volumes de cargas, além de percorrer grandes distâncias (MILANEZ; SANTOS, 2013).

1.2.5. Consumo

A indústria siderúrgica é o próprio consumidor do minério de ferro. Nestas unidades o minério é transformado em ferro gusa, que é encaminhado para as aciarias, para a fabricação de aço (DNPM, 2012). O ferro possui várias utilidades aplicadas ao dia a dia, isso se deve a grande resistência mecânica e ao seu baixo custo quando comparado a outros metais ou ligas metálicas. Dentre os objetos que estão no nosso cotidiano e que são constituídos por ferro, estão mesas, cadeiras, painéis, portões, estruturas metálicas de edifícios entre outras. A grande importância do aço se deve a resistência à tração, sendo amplamente utilizado na construção civil (MEDEIROS, 2010).

2. Metodologia

Para o desenvolvimento do presente artigo, foram levantadas informações sobre



a temática: “A Extração Mineral de Ferro e os seus Impactos Ambientais”, a partir da metodologia de revisões bibliográficas em artigos e legislações vigentes, que segundo Gomes e Oliveira (2014) são recomendadas para o levantamento da produção científica e para construção de redes de pensamentos e conceitos.

Os artigos consultados correspondem ao período de 2009 a 2018, e nestes foram coletados dados qualitativos referentes aos processos produtivos, os impactos que os mesmos causam ao meio ambiente, bem como as medidas mitigadoras cabíveis.

Com o auxílio das legislações vigentes acerca de mineração foi possível formar uma base teórica respaldada por aspectos legais para realizar uma análise dos aspectos, parâmetros e impactos ambientais ocasionados pela exploração de minério de ferro. A partir das informações obtidas foi aplicado o método de matriz de interação, com adaptações e alterações de sua proposição original, desta forma foi possível elaborar as medidas mitigatórias com base nos aspectos, fatores e impactos ambientais.

A estrutura da matriz foi composta por linhas e colunas, descrevendo cada atividade e suas respectivas etapas de acordo com os fatores ambientais. Os dados apresentados na matriz explicitam principalmente os impactos ambientais decorrentes das atividades minerárias. A decisão por utilizar matrizes de interação viabiliza uma boa disposição visual do conjunto de impactos diretos, baixo custo e permite comparações fáceis (PONTES, LIMA E SILVA, 2016).

3. Resultados e Discussão

3.1. Impactos Ambientais: Mineração

De acordo com a Resolução CONAMA 001:1986, art. 1º, considera-se “impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas”.

3.1.1. Degradação Da Paisagem

De acordo com Mechi e Sanches (2010), praticamente, toda atividade de mineração

implica supressão da vegetação ou impedimento de sua regeneração. Nesse sentido, um dos principais impactos causados pela mineração é o que se refere à degradação visual da paisagem (SILVA, 2007).

Tal fato é respaldado por Araújo *et al.* (2008), ao destacar em seu estudo de caso o fato de que a mineração da bentonita, no município de Boa Vista/ PB, foi dando um novo aspecto visual à paisagem local, pois, as edificações, fluxo de caminhões e máquinas que chegavam e saíam do local tomaram, em parte, o lugar da vegetação autóctone, dos animais, entre outros, tornando-se evidente o impacto ambiental.

3.1.2 Ruídos e Vibração

O desmonte de rocha, realizado através de explosivos, resulta em ruídos quase sempre prejudiciais à tranquilidade pública. Entretanto, Pontes, Lima e Silva (2016), observaram que no meio biótico, essa técnica caracteriza-se por possuir também, potencial de impacto negativo “alto” para a fauna, resultante de ruídos e vibrações gerados por equipamentos de perfuração e de carregamento.

Segundo Cabral, Pereira e Alves (2012), às vibrações de terreno são consequências inevitáveis de qualquer detonação, isto porque devido à reflexão das ondas sísmicas, ou seja, movimentos vibratórios nas partículas das rochas, em faces livres, parte da energia é transmitida como um pulso para o ar, além disso, é possível que os moradores da região sintam a vibração do piso e das paredes e confundem os efeitos das vibrações do terreno com os da sobrepressão.

3.1.3. Tráfego de Veículos

O tráfego intenso de veículos carregados de blocos causa uma série de transtornos à comunidade, especialmente pelo fato de que, em situações mais próximas às áreas de mineração, como: poeira, emissão de ruídos, frequente deterioração do sistema viário da região (GOMES, 2009).



3.1.4. Gases e Poeiras

Com frequência, a atividade mineradora provoca a poluição do ar por particulados suspensos, e tem origem nas etapas de perfuração da rocha e transporte da produção. Por apresentar uma fração muito fina, que fica muitas horas suspensão no ar, espalhando-se por áreas extensas (COUTINHO, 2013). De modo a afetar diretamente a saúde ocupacional dos funcionários, não atingindo a comunidade.

Entretanto, a poluição por gases é pouco significativa, em geral se restringe à emissão dos motores das máquinas e veículos usados na lavra e beneficiamento do minério, apesar de não ter sido quantificado, é um impacto de ordem local, restrito ao segmento alvo e que está mais diretamente relacionado à questão de saúde ocupacional dos funcionários.

3.1.5 Contaminação das Águas

A principal poluição das águas é a geração de lama. A poluição química existe e pode ser localmente grave, mas é mais restrita. Segundo Freitas, Silva e Menezes (2016), as alterações físico-químicas nos corpos hídricos, impactam toda a cadeia trófica que envolve comunidades planctônicas, invertebrados aquáticos, peixes, anfíbios, répteis e mamíferos que dependem direta e indiretamente das águas dos mesmos.

As minerações de ferro, calcário, granito, areia, argila, bauxita, manganês, cassiterita, diamante e outras, provocam em geral poluição das águas apenas por lama. O controle deve ser feito através de barragens para contenção e sedimentação destas lamas (OLIVEIRA; SILVA e FERREIRA, 2014). Por outro lado, essas barragens são muitas vezes os investimentos mais pesados em controle ambiental realizado pelas empresas de mineração.

3.2. Matriz de Interação Qualitativa

A alteração da paisagem, em locais de extração de minérios, constitui impactos inerentes a este tipo de atividade, não podendo ser minimizados. Os impactos a serem gerados na paisagem do

empreendimento e os efeitos adversos, que poderão ser causados pela visualização dos mesmos, são indicados com base na matriz de interação observada na Tabela 3.

3.2.1 Avaliação Dos Impactos Ambientais

Através da utilização dos conceitos de aspectos e impactos na Avaliação de Impactos Ambientais, realizou-se a caracterização e valoração qualitativa dos impactos relacionados à exploração de minério de ferro, com base no método clássico de checklist descritivo, o mesmo está demonstrado na Tabela 4.

3.3. Medidas Mitigadoras

As medidas mitigadoras a serem adotadas dependem do grau de significância dos impactos gerados pelo empreendimento. Estas podem ser de natureza corretivas e/ou preventivas, onde o Titular da Pesquisa (empreendedor) responsabiliza-se pela implementação. Pode-se observar na Tabela 5, realizada pelos autores com base nas medidas mitigadoras sugeridas e seu prazo de execução para os impactos ocasionados pela atividade de mineração, na exploração de minério de ferro.

3.3.1 Engenharia de Produção e a Produção Mais Limpa

O crescimento demográfico e consequentemente o aumento do consumo de bens e serviços, tem impulsionado maior demanda de recursos utilizados pela indústria, ocasionando maior pressão sobre o meio ambiente. Como consequência ocorre alteração na capacidade de suporte provocando desequilíbrio ecológico. E nesse contexto que surge a produção mais limpa que tem como princípio a introdução da sustentabilidade na produção (NETO *et al.*, 2015).

A produção mais limpa surge como um instrumento favorável à atuação das empresas de forma preventiva em relação aos seus aspectos ambientais por meio da minimização de impactos associados à redução de custo e da otimização de processos, recuperação e aprimoramento do



Engenharia

uso de matérias-primas e energia, gerando ganhos de produtividade a partir de um

controle ambiental preventivo (PIMENTA; GOUVINHAS, 2011).

Tabela 3. Matriz de Interação Qualitativa para Aspectos e impactos Ambientais

Atividade	Aspectos Ambientais	Impacto Ambiental
<p>1 Lavra</p> <ul style="list-style-type: none"> Decapeamento, envolvendo remoção da cobertura superficial, deterioração da cobertura vegetal e a formação de pilhas de solo Abertura de cavas e perfuração das bancadas Carregamento dos furos com explosivos e corte a fio Desmonte das bancadas com detonação dos explosivos Armazenagem de explosivos e acessórios de detonação 	<ul style="list-style-type: none"> Erosão, movimentação de terra e assoreamento de córregos, alteração da paisagem, flora e fauna locais Geração de ruído e poeira Possibilidade de acidentes Geração e propagação de ondas sísmicas no terreno e no ar (vibração e sobre pressão atmosférica) Lançamento de fragmentos Geração de ruído, fumos e gases Escorregamentos de taludes fora do setor de desmonte <p>Consumo de energia</p>	<ul style="list-style-type: none"> Esgotamento de recurso Natural Afugento da fauna Degradação da paisagem Inabilitação para uso agrícola Poluição sonora Perturbação das vizinhanças e exposição ocupacional dos trabalhadores Contaminação das águas superficiais assoreamento de córregos próximos Poluição do ar e sonora. Afugento da fauna
<p>2 Transporte</p> <ul style="list-style-type: none"> Carregamento e transporte dos blocos Abertura de novas vias de acesso na cava. Descarregamento dos blocos Lubrificação troca de óleo e manutenção dos veículos Lavagem de veículos Abastecimento dos veículos Armazenagem de óleo diesel Circulação de veículos e máquinas 	<ul style="list-style-type: none"> Geração de poeira e ruído e emissão de gases Geração de ruído, poeira e emissão de gases produzidos pelas máquinas Processos erosivos e assoreamento dos cursos d'água Geração de efluentes, aporte de sedimentos para os cursos d'água Consumo de energia Consumo de água 	<ul style="list-style-type: none"> Poluição do ar e sonora, desconforto aos trabalhadores. Utilização de recursos naturais, eventuais acidentes, redução da suspensão das partículas Perdas de vida e materiais Comprometimento dos recursos naturais superficiais
<p>3 Disposição do rejeito</p>	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da paisagem Geração de poeira e ruído 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminação das águas superficiais e assoreamento de córregos próximos Poluição ambiental
<p>4 Infraestrutura</p> <ul style="list-style-type: none"> Edificações Equipamentos de beneficiamento (serraria e afins) Pátio de caminhões Escritório Acessos internos e outras estruturas auxiliares. 	<ul style="list-style-type: none"> Desmatamento Poluição sonora Poluição térmica Descaracterização nutritiva do solo Perda de recursos faunísticos 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminação do solo e dos cursos d'água Eliminação de vegetação Afugenta fauna

Tabela 4. Magnitude e importância dos impactos ambientais.



Engenharia

Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Gravidade	Abrangência	Significância	Ação Corretiva
Alteração da topografia. Eliminação do solo e da vegetação (cavas).	Perda das propriedades agrícolas do solo, fauna e flora.	Alta	Local	Moderado	Reconstrução da paisagem e solo
Exposição de material estéril	Impacto visual pela introdução de elementos estranhos à paisagem	Média	Local	Moderado	Construção de local de descarte apropriado

Tabela 5. Medidas mitigadoras

Medidas Mitigadoras	Início	Duração
Restauração da flora, com construção de viveiros de plantas endêmicas junto à comunidade.	Ação futura	Futura
Estabelecer horários fixos para os desmonte de rochas com aviso prévio a comunidade local	Imediato	Continua
Monitoramento contínuo dos desmontes para minimizar as vibrações	Imediato	Durante o processo de desmonte
Utilização de lonas no transporte rodoviário	Imediato	Transporte
Manutenção do sistema viário	Imediato	Periódica

3.4. Discussão

Quanto aos impactos ambientais, 10 artigos analisados, (31,25%), observaram entre estes fatores ambientais, como por exemplo, a degradação da paisagem, sendo o principal fator a supressão vegetal, pelo desmonte de rocha, como também pelo grande tráfego de veículos nas áreas de mineração, a emissão de gases e poeiras, a contaminação dos corpos hídricos por lama e substâncias químicas advindos dos processos produtivos.

Em estudo realizado em São Paulo – SP, por Mechi e Sanches (2010), concluiu que, praticamente, toda atividade de mineração implica supressão da vegetação ou impedimento de sua regeneração. Outro estudo realizado em, por Silva (2007), concluiu que um dos principais impactos causados pela mineração é a degradação visual da paisagem.

Em estudo feito por MORAIS *et al.* (2014), concluiu-se que apesar das etapas pertencentes ao processo hidrometalúrgico serem complexas e exigirem um padrão de qualidade para que o produto final seja adequado ao mercado. Como toda atividade industrial, haverá geração impactos ao meio,

os principais impactos dessa atividade dizem respeito à contaminação de corpos hídricos já que a mesma gera efluentes líquidos, gasosos e/ou sólidos.

Em pesquisa, o desmonte de rocha, realizado através de explosivos, indica que o mesmo resulta em ruídos quase sempre prejudiciais à tranquilidade pública. Entretanto, para Pontes, Lima e Silva (2016), no meio biótico, essa técnica caracteriza-se por possuir também, potencial de impacto negativo “alto” para a fauna, resultante de ruídos e vibrações gerados por equipamentos de perfuração e de carregamento.

Em estudo realizado por Cabral, Pereira e Alves (2012), concluiu-se que as vibrações de terreno são consequências inevitáveis de qualquer detonação. Isto, porque devido à reflexão das ondas sísmicas, ou seja, movimentos vibratórios nas partículas das rochas, em faces livres, parte da energia é transmitida como um pulso para o ar, além disso, é possível que os moradores da região sintam a vibração do piso e das paredes e confundem os efeitos das vibrações do terreno com os da sobrepressão.



Em pesquisa, efetuada por Gomes (2009), o tráfego intenso de veículos carregados de blocos, indica também uma série de transtornos à comunidade, especialmente pelo fato de que, em situações mais próximas às áreas de mineração, como: poeira, emissão de ruídos, frequente deterioração do sistema viário da região.

O estudo realizado por Coutinho (2013), concluiu-se que com frequência, a atividade mineradora provoca a poluição do ar por particulados suspensos, e tem origem nas etapas de perfuração da rocha e transporte da produção. Por apresentar uma fração muito fina, que fica muitas horas suspensão no ar, espalhando-se por áreas extensas de modo a afetar diretamente a saúde ocupacional dos funcionários, não atingindo a comunidade.

Em pesquisa, a principal poluição das águas é a geração de lama. Indica que a poluição química pode ser localmente grave, mas é mais restrita. Além disso, segundo Freitas,

Silva e Menezes (2016), as alterações físico-químicas nos corpos hídricos, impactam toda a cadeia trófica que envolve comunidades planctônicas, invertebrados aquáticos, peixes, anfíbios, répteis e mamíferos que dependem direta e indiretamente das águas dos mesmos.

Em estudo realizado por Pontes *et al.* (2013), concluiu-se que as minerações de ferro, calcário, granito, areia, argila, bauxita, manganês, cassiterita, diamante e outras, provocam em geral poluição das águas apenas por lama. Entretanto para Oliveira, Silva e Ferreira (2014) o controle deve ser feito através de barragens para contenção e sedimentação destas lamas. Por outro lado, essas barragens são muitas vezes os investimentos mais pesados em controle ambiental realizado pelas empresas de mineração.

4. Conclusão

O Código de Mineração necessita de formulações que considerem fatores ambientais para mitigação dos impactos ambientais causados pela exploração do minério de forma geral, inclusive do minério de ferro, pois é um dos metais mais

explorados no País, que interfere diretamente na economia.

Entre os processos de beneficiamento do minério de ferro, em sua totalidade causam degradação ambiental, por isso é preciso medidas eficazes para redução de tais ações, assim, com a otimização do processo produtivo se torna possível este resultado, porém é necessário também a consolidação da fiscalização pelo órgão competente no caso a ANM.

A Avaliação de Impactos Ambientais (AIA), por meio da matriz de interação teve como medidas mitigadoras: restauração da flora com longo prazo, monitoramento contínuo dos desmontes para minimizar as vibrações na lavra, utilização de lonas no transporte rodoviário e manutenção do sistema viário.

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. O(s) autor(es) e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

Referências

- AMARAL, M. D; PINTO, L.R. Planejamento de operações de lavra em minas a céu aberto com alocação de equipamentos de carga e de transporte. **Em Anais do XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Gonçalves**, p. 1177-1188, 2010.
- ARAUJO, J. S. B.; FARIAS, P. S. C.; SÁ, A. J. Mineração e Industrialização da Bentonita e as transformações/permanências no espaço agrário de Boa Vista-PB: um estudo de caso dos Sítios Bravo e Urubu. **Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA**, 2008, v. 25, n. 3, p. 122- 142.
- ARAUJO, E. R.; OLIVERI, R. D.; FERNANDES, F. R. C. Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente. Recursos minerais e comunidade: impactos humanos,



Engenharia

socioambientais e econômicos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.

BECHELLI, C. B. Utilização de matriz de impactos como ferramenta de análise em estudos de impacto de vizinhança: edifício residencial em Porto Rico – PR. In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos, Porto Alegre, 2010.

BRASIL. Decreto nº 227, de 28 Fevereiro de 1967. Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas). Diário Oficial, Brasília, DF, 28 fev. 1967.

BRASIL. Decreto nº 62.934, de 02 de julho de 1968. Código de Minas. Diário Oficial, Brasília, DF, 02 jul. 1968.

BRASIL. Decreto nº 9.406, de 12 de Junho de 2018. Diário Oficial, Brasília, DF, 12 jul. 2018.

BRASIL. Constituição Federal, 1988. Diário Oficial, Brasília, DF, 1988.

CABRAL, L. N.; PEREIRA, S. S.; ALVES, T. L. B. Degradação Ambiental E Implicações Para A Saúde Humana Decorrentes da Mineração: O Caso Dos Trabalhadores de uma Pedreira No Município de Campina Grande/PB. **Hygeia**, 2012, v. 8, n. 15, p.104-118.

CONAMA, Conselho Nacional Do Meio Ambiente. **Resolução nº 01, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conam/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: 13/02/2017.

COUTINHO, M. M. Uso De Medidas Biológicas Na Mitigação Do Impacto Ambiental Da Mineração De Brita No Estado Do Rj. Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, Instituto de Florestas, Seropédica, Rio de Janeiro, 2013.

CREMONEZ, F. E.; CREMONEZ, P. A.; FEROLDI, M.; CAMARGO, M. P.; KLAJN, F. F.; FEIDEN, A. Avaliação de impacto ambiental: metodologias aplicadas no Brasil. **Rev. Monografias Ambientais - REMOA**, 2014, v.13, n.5, p.3821-3830.

DNPM. Sumário mineral. Brasília: Departamento Nacional de produção Mineral, 2012.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Portaria nº 155, de 12 de maio de 2016. Aprova a Consolidação Normativa do DNPM e revoga os atos normativos consolidados. Brasília, 2016.

FARIA, R.F.; MARTINS, A.P.; ZAGÔTO, J.T. O Uso de Maquete como Instrumento de Ensino em Métodos de Lavra. XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa Poços de Caldas/MG, 2015.

FARROKHPAY, S. The significance of froth stability in mineral flotation – A review. **Advances in Colloid and Interface Science**, 2011, v. 166, n.1-2, p. 1-7. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2011.03.001>

FREITAS, C. M.; SILVA, M. A.; MENEZES, F. C. O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Ciência Cultura**, 2016, vol.68, n.3, pp. 25-30. Doi: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602016000300010>

GOMES, I.S.; OLIVEIRA, I. C. Guia para estudos de revisão sistemática: uma opção metodológica para as Ciências do Movimento Humano. **Movimento**, 2014, v. 20, n. 1, p. 395.

GOMES, M. P.; Matriz De Interação Qualitativa De Aspectos E Impactos Ambientais No Seguimento De Rochas Ornamentais Estudo De Caso - São Rafael/Rn1. **Revista da FARN, Natal**, 2009, v. 8, n. 1/2, p. 135-159.

HOEFLICH, R.; TRZASKOS, B. Análise Comparativa Entre O Código De Mineração Vigente Desde 1967 E O Substitutivo Ao Projeto De Lei Nº 37, De 2011. **Geociências**, 2015, v. 34, n. 3, p. 452-464.

JUNIOR, L. T. S.; GOMES, M. P. D.; GOMIDES, R. B.; JUNIOR, G. G. O.; PHILLIPS, W. Vantagens e Desvantagens do Uso de Moinho Vertical na Remoagem de Concentrado da Kinross Paracatu. XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Salvador/Bahia, 2011.



Engenharia

JUNIOR, A. P.; SOUZA, M. N. O.; ELERES, T. C. Valoração Dos Impactos Ambientais Na Exploração Mineral Do Ferro: O Caso De Uma Mineradora Em Floresta Do Araguaia – Pa. **Revista Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, 2016, v. 13, n. 2 p. 128-138.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no estado de São Paulo. **Revista Estudos Avançados**, 2010, v. 24, n. 68., p. 209-220. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142010000100016>

MEDEIROS, M. A. Ferro. **Química Nova na Escola**, 2010, v. 32, n. 3, p. 208-210.

MILANEZ, B.; SANTOS, R.S. P. A Rede Global de Produção (RGP) do Minério de Ferro: empresas, Estado e agentes de contestação. In: XVI Congresso Brasileiro de Sociologia. Salvador: Sociedade Brasileira de Sociologia. 2013.

MILANEZ, B. Mineração, Ambiente E Sociedade: Impactos Complexos E Simplificação Da Legislação. Boletim Regional, Urbano e Ambiental. Nº 16, 2017.

MINOVES, J.S.; GUIMARÃES, E.H.R.; AFONSO, T.; JEUNON, E.E. Logística direta e logística reversa na produção do aço: estudo de caso em uma empresa siderúrgica. **Revista Inovação, Projetos e Tecnologias**, 2015, v. 3, n. 1, p. 137-151.

MONTEIRO, M. A. Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional. *Estud. Avançados*, 2005, v. 19, n. 53, p. 187-207. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142005000100012>

MORAIS, C.A.; ALBUQUERQUE, R.O.; LADEIRA, A.C.Q. Processos Físicos e Químicos Utilizados na Indústria Mineral. 2014.

NETO, G. C. O. et al. Princípios e ferramentas da produção mais limpa: um estudo exploratório em empresas brasileiras. **Revista Gestão Produção, São Carlos**, 2015, v. 22, n. 2, p. 326-344. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1468-14>

OLIVEIRA, P. B.; SILVA, A. C.; FERREIRA, I. M. GEOGRAFIA E MINERAÇÃO: uma análise

a partir do viés da legislação ambiental. **Espaço em Revista**, 2014, v. 16, n. 2, p. 71-83.

OLIVEIRA, V. F.; ALMEIDA, N.N.; CARVALHO, D.M.; PEREIRA, F.A.A. Um estudo sobre a expansão da formação em engenharia no Brasil. **Revista de ensino de Engenharia**, 2013, p.1-31.

PIMENTA, H. C. D.; GOUVINHAS, R. P. A Produção mais limpa como ferramenta da sustentabilidade empresarial: um estudo no estado do Rio Grande do Norte. **Production**, 2012, v. 22 n. 3 p.462-476. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132012005000043>

PONTES, J. C.; LIMA, V. L. A.; SILVA, V. P. Impactos Ambientais Do Desmonte De Rocha Com Uso De Explosivos Em Pedreira De Granito De Caicó-RN. **Revista Geociências UNESP**, 2016, v. 35, n. 2, p.267-276.

PONTES, J. C.; FARIAS, M. M. S.; LIMA, V. L. A. Mineração e seus reflexos socioambientais: estudos de impactos de vizinhança (eiv) causados pelo desmonte de rochas com uso de explosivos. **Polêmica**, 2013, v.12, n.1, p.77-90.

RODRIGUES, L.F.; PINTO, L.R. Análise comparativa de metodologias utilizadas no despacho de caminhões em minas a céu aberto. **Rem: Revista Escola de Minas**, 2012, v. 65, n. 3, p. 377-384. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672012000300015>

SANCHEZ, L.E. Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

SILVA, A.B.; OLIVEIRA, R.P.A.; PROCÓPIO, P.P. Um estudo sobre as questões logísticas de uma indústria de ferro e aço no Recife-PE. **Caderno de Graduação-Humanas e Sociais-FACIPE**, 2013, v. 1, n. 2, p. 21-31.

SILVA, J. M.; LUZ, J. A. M. Britagem em Minas Subterrâneas. In: LIMA, L. R. P. de A. et al. (ed.). **XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Salvador/Bahia, 2011.**

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. *Revista Espaço da Sophia*, n. 08, 2007.



Engenharia

SILVA, M. A. R. S. Mineração e desenvolvimento sustentável-é possível conciliar?. **Revista iberoamericana de economía ecológica**, 2009, v. 12, p. 51-66.

YIANATOS, J.; CONTRERAS, F. Particle entrainment model for industrial flotation cells. **Powder Technology**, 2010, v. 197, n. 3, p. 260-267. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2009.10.001>