

Avaliação de impactos ambientais em empresa de mineração de cobre utilizando redes de interação

Evaluation of environmental impacts in copper mining companies using interaction networks

Hélio Cardoso Martim¹, Viviani Marques Leite dos Santos²

¹Graduando do Curso de Engenharia na Universidade Federal do Vale do São Francisco - Juazeiro, BA - Brasil

²Doutora em Química e professora Adjunto IV na Universidade Federal do Vale do São Francisco – Juazeiro, BA - Brasil

Resumo

A mineração é um dos principais setores da economia brasileira, disponibilizando recursos indispensáveis para o seu desenvolvimento. A obtenção do cobre por lixiviação é responsável pela obtenção de catodos com pureza de 99,9% de cobre, o qual apresenta uma vasta gama de aplicações industriais. No entanto, quaisquer atividades mineradoras ocasionam o surgimento de diversos impactos ambientais. Estes impactos devem ser avaliados para que haja constante busca por ações que promovam sua mitigação. A avaliação de impactos ambientais contribui significativamente para o desenvolvimento do processo de gestão ambiental de qualquer empreendimento. Neste sentido foram utilizadas redes de interação para avaliação de impactos ambientais como metodologia para auxiliar a identificação dos impactos ambientais em ordens diferenciadas e a interação existente entre eles. O uso desta ferramenta no presente estudo permitiu que fossem identificadas as atividades que geram o maior número de impactos ambientais, tais como a extração de malaqueta. Esta análise pode ser utilizada como ferramenta de diagnóstico para a implantação de medidas de prevenção ou correção de impactos negativos ao meio ambiente, promovendo a sustentabilidade.

Palavras-chave: Impactos Ambientais. Redes de Interação. Mineração.

Abstract

Mining is one of the major sectors of the Brazilian economy, providing essential resources for its development. The obtained copper leaching is responsible for obtaining cathodes with a purity of 99.9% copper, which has a wide range of industrial applications. However, any mining operations cause the rise of diverse environmental impacts. These impacts should be assessed so that there is constant search for actions that promote their mitigation. The environmental impact assessment is a fundamental tool for the development of environmental management process of any enterprise. In this regard the use of interaction networks for environmental impact assessment is a methodology that allows the identification of these impacts in different orders and the interaction between them. The use of this tool in this study allowed the identification of the activities that generate the greatest number of environmental impacts, such as the extraction of malachita. This analysis can be used as a diagnostic tool for the implementation of measures to prevent or correct negative impacts to the environment, promoting the sustainability.

Key-words: Environmental impacts. Interaction networks. Mining.

I INTRODUÇÃO

O aumento do consumo dos recursos naturais, considerado necessário para o almejado desenvolvimento econômico, vem trazendo consequências negativas graves para o meio ambiente. Neste sentido a conservação dos recursos naturais chama atenção para a busca da exploração racional daqueles recursos. Para este fim a legislação brasileira vem se consolidando gradativamente e impondo limites cada vez mais rigorosos sob pena de punição.

Para se adequar as mudanças impostas pela legislação, as empresas devem aplicar ferramentas que ajudem a diagnosticar os impactos ambientais oriundos de suas atividades, para um adequado monitoramento e tomadas de decisão. Neste estudo foi utilizado o método de redes de interação para avaliação de impactos ambientais em uma empresa de mineração.

I.1 Processo de Produção do Cobre

Os processos de produção de cobre são comumente realizados por procedimentos hidrometalúrgicos, os quais consistem na extração dos metais de interesse contidos em minérios através de dissoluções em meio aquoso (Ciminelli, 2006). À medida que essas técnicas de extração de metal foram evoluindo, estes minérios passaram a adquirir maior valor agregado, uma vez que deles são extraídos metais de elevado interesse comercial (Hazek et al., 2006).

Dentre os metais que podem ser extraídos por métodos hidrometalúrgicos, podemos destacar o cobre em virtude da sua vasta aplicabilidade industrial. Francisco et al. (2006), atribuem esta vantagem ao fato deste metal ser um material condutor, podendo ser empregado na fabricação de cabos e fios, eletroímãs, materiais elétricos, interruptores, tubos de vácuo, magnetrões de forno de micro-ondas, cunhagem de moedas e esculturas. Esta vasta gama de aplicações confere ao cobre um alto valor de mercado, o que faz despontar o interesse nos estudos referentes aos processos de extração do metal para sua comercialização.

Para extração do cobre, a lixiviação e a biolixiviação destacam-se entre as técnicas hidrometalúrgicas mais utilizadas. A lixiviação corresponde ao processo de extração de metais que ocorre mediante a solubilização dos mesmos em soluções adequadas por meio de reações químicas e/ou bioquímicas. O melhor desempenho deste processo pode ser atingido através da ação conjunta de uma etapa química e outra mecânica, onde a lixiviação química funciona como aditivo proporcionando

melhor desempenho a etapa mecânica representada pela moagem (Balaz; Achimovicová, 2006).

A natureza dos métodos de lixiviação varia desde aqueles nitidamente industriais, que necessitam equipamentos sofisticados e apresentam produção elevada, até as técnicas quase desprovidas de reatores, que são empregadas proximamente ou diretamente na mina. Segundo Heath et al., (2007), o tipo mais primitivo e mais simples de lixiviação tem sido utilizado desde meados da década de 1970 nos Estados Unidos e na antiga União Soviética para a produção de urânio refinado bem como na recuperação de cobre e sais solúveis, tais como halita, trona, boro e potássio de rocha fosfática. Neste tipo de lixiviação não é utilizado nenhum tipo de reator, ela acontece pela injeção e aspiração direta da solução lixivante no corpo mineral.

A evolução dos estudos e das técnicas acerca do processo de lixiviação revela que as taxas de lixiviação podem ser aumentadas elevando-se os níveis de agitação e a temperatura do processo, bem como pela adição de catalisadores de superfície e reagentes ativos (Peng et al., 2005). Estes e outros fatores que influenciam no processo de lixiviação foram estudados por Poon et al., (2000), através de modelos matemáticos baseados em teorias de difusão de massa ou em outros modelos de sistemas de transporte que utilizam dados obtidos a partir de testes de lixiviação a curto e a médio prazo e concluíram que os modelos podem auxiliar na previsão do comportamento do processo.

A lixiviação destinada a obtenção de cobre segue uma rota específica, onde o minério de cobre é extraído e posteriormente beneficiado obtendo-se primeiramente o concentrado. Em seguida, ele passa por um processo metalúrgico, que pode ser o pirometalúrgico, o mais antigo, aplicável a minérios sulfetados, ou o hidrometalúrgico, especificamente o SX-EW (lixiviação, extração por solvente e eletrodeposição), de grande economicidade no aproveitamento de minérios oxidados de baixo teor. Posteriormente, o cobre é refinado por processo de eletrólise, resultando nos catodos de alta pureza que serão fundidos e elaborados, gerando os produtos de cobre. Andrade (2001) relata que essa rota tecnológica vem sendo largamente utilizada devido às facilidades de aproveitamento de depósitos oxidados de baixo teor, partindo-se diretamente do minério e obtendo-se o catodo com teor de 99,9% de cobre, sem necessidade de fundição e refinaria.

No que diz respeito à biolixiviação, pode-se afirmar que este baseia-se na utilização de microorganismos, que suprem suas necessida-

des energéticas com a oxidação de íons para a manutenção de seus metabolismos, tendo como resultado prático a solubilização dos metais de interesse comercial. Devido ao fato dos ácidos e agentes oxidantes necessários ao processo, serem produzidos pela atividade dos micro-organismos, é possível afirmar que neste método hidrometalúrgico de extração de metais há uma redução do gasto energético que juntamente ao fato de que neste processo não é emitido dióxido de enxofre (SO₂), como no processo pirometalúrgico, por exemplo, faz com que o mesmo se torne mais atrativo do ponto de vista ambiental.

No caso do processo de biolixiviação em pilha, que é comumente aplicado para obtenção de cobre metálico, o minério britado é empilhado sobre uma camada impermeável de polietileno de alta densidade (PEAD), em seguida, é irrigado com solução lixiviante, que permeia a pilha por gravidade. A lixívia carregada com o metal de interesse (PLS - *Pregnant Leaching Solution*) é recolhida na base da pilha e retorna ao topo pelo sistema de irrigação até que uma concentração pré-estabelecida do metal de interesse em solução seja alcançada (Santos et al., 2009).

Esta pesquisa foi realizada em empresa que utiliza para obtenção de cobre uma metodologia que se assemelha ao processo de biolixiviação em pilha supracitado, embora seja empregado o ácido sulfúrico como solução lixiviante sobre a pilha de minério britado e é desconhecida a atividade de microorganismos para a solubilização do metal de interesse. Desse modo, o processo de obtenção de cobre realizado pela empresa une etapas pertencentes a ambos os processos mencionados.

Em decorrência da existência e do interesse pelas atividades de extração de cobre se faz necessário a realização de estudo referente aos impactos ao meio ambiente que podem ser ocasionados pela mesma, com o objetivo de que esta atividade seja realizada com respeito ao meio ambiente natural, conservando-o para esta e para as futuras gerações de modo a garantir a sustentabilidade que, para Pimentel (2008), é alcançada através de práticas semelhantes a estas que decorrem de estudos e observações, por parte dos cidadãos que a medida que se tornam mais conscientes de seus atos e adquirem a percepção de que os recursos naturais devem ser preservados, promovem a utilização racional e sustentável dos mesmos.

1.2 Sustentabilidade e Gestão Ambiental

O conceito de sustentabilidade conduz a busca pelo desenvolvimento de uma sociedade sustentável, a qual definida, sob o ponto de vista

ambiental, como aquela que atende as necessidades atuais de sua população em relação a alimentos, água e ar limpos, abrigos e outros recursos básicos sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades (Miller Jr, 2007). Para atingir esta meta é necessário criar e executar processos de gestão ambiental, os quais promovem adaptações ou modificações no ambiente natural, de forma a adequá-lo às necessidades individuais ou coletivas.

Gestão ambiental é o sistema que inclui a estrutura organizacional, atividades de planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos para desenvolver, implementar, atingir, analisar criticamente e manter a política ambiental. É o que a empresa precisa fazer para minimizar ou eliminar os efeitos negativos provocados no ambiente pelas suas atividades através da inclusão de uma série de atividades a serem consideradas, como: formular estratégias de administração para o meio ambiente; assegurar a conformidade com as leis ambientais; implementar programas de prevenção à poluição; gerir instrumentos de correção de danos ao meio ambiente; adequar os produtos às especificações ecológicas; monitorar o programa ambiental da empresa de encontro ao conceito de excelência ambiental, como uma vantagem competitiva (Tinoco; Robles, 2006).

O sistema de gestão ambiental (SGA) pressupõe a elevação do potencial competitivo junto à preocupação com o meio ambiente, satisfazendo o interesse essencial dos empregadores (lucratividade) em paralelo à proteção ambiental, a qual deve ser de interesse da sociedade em geral. Jerônimo et al., (2013) afirmam em seu trabalho que este sistema é aplicado em diferentes linhas ou atividades produtivas não importando a dimensão do empreendimento. Uma das formas de atuação da Gestão Ambiental se dá por meio da prevenção da poluição, ocasionando-se por meio dela o aumento da produtividade por pressionar a empresa a pensar na melhoria sistemática dos seus processos e em decorrência deste fato, traz vantagens competitivas.

No estudo de Brand et al., (2013) é relatado que a percepção da dimensão ambiental, agregada às práticas administrativas e empresariais, transformou as organizações. Até a década de 80, a proteção ambiental era tida como uma atividade marginal, custosa, indesejável e que deveria ser evitada para não comprometer o desempenho competitivo. A partir daí, os gastos com proteção ambiental passaram a ser vistos não mais como despesas, mas sim como investimentos para o futuro, e contraditoriamente, para a manutenção da competitividade das empresas.

O gerenciamento ambiental tem se configurado, portanto, como uma das mais importantes atividades relacionadas com qualquer empreendimento, uma vez que através da implantação de um sistema de gestão ambiental, pode se afirmar que as empresas conseguem atingir resultados positivos dentre os quais destaca-se a redução de custos, procedente da redução do consumo dos recursos naturais e dos resíduos gerados, com a consequente diminuição dos gastos com tratamento, armazenagem, disposição dos mesmos; a possibilidade de conquista de mercados internacionais, por adequar-se a normas de exigência comercial; o cumprimento às exigências das legislações ambientais vigentes; melhoria da imagem da empresa pela implantação de um modelo de administração responsável; facilidade de obtenção de financiamento junto às agências financiadoras da qual estabelecem a necessidade de certificação ambiental (Silva Filho; Sicsú, 2003).

No caso da área dos processos de produção, o envolvimento com a gestão ambiental é mais explícito, por serem estes processos potenciais geradores de impactos ambientais em virtude da sua natureza transformadora de recursos. Neste aspecto, Corazza (2003) relata que embora os possíveis impactos ambientais nesta área variem segundo o setor industrial ao qual pertence a organização, há um conjunto de indicadores ambientais que são suficientemente gerais para que sejam considerados como ponto de partida para uma análise do desempenho ambiental da produção. Esses indicadores dizem respeito à qualidade do ar e da água, à quantidade de energia e de água consumidas, à geração e à disposição de resíduos (inclusive a possibilidade de reciclagem) e, ainda, à segurança no trabalho (condições de iluminação, ventilação, barulho, poeira, calor, vibração, temperatura, odores, substâncias tóxicas etc.).

Os indicadores mencionados, bem como a análise criteriosa das atividades de produção, podem ser identificados como precursores do estudo e desenvolvimento de metodologias de previsão e avaliação dos impactos ambientais oriundos de quaisquer atividades industriais e constituem ferramentas importantes ao processo de gestão ambiental, uma vez que a maneira de gerir a utilização dos recursos naturais é o fator que pode acentuar ou minimizar os impactos ambientais (Philippi Jr. et al., 2004).

1.3 Impactos Ambientais Oriundos de Atividades de Mineração

Segundo Nascente e Ferreira (2007), considera-se impacto ambiental qualquer alteração

das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades econômicas que afetem a saúde, segurança, bem estar da população e o meio ambiente, conforme a Resolução n.º 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Os estudos referentes aos impactos ambientais estão dispostos sob as mais variadas abordagens, como, por exemplo, as alterações no funcionamento dos sistemas ambientais naturais, a aceleração dos processos erosivos, a poluição do ar, a contaminação e o assoreamento dos cursos hídricos, contaminação dos solos, entre vários outros (Loebens; Link, 2011).

De acordo com Silva (2007), os efeitos ambientais relacionados à mineração estão associados, de modo geral, às diversas fases de exploração dos bens minerais, como à abertura da cava, (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local), ao uso de explosivos no desmonte de rocha (sobrepessão atmosférica, vibração do terreno, ultralancamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído), ao transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando os meios como água, solo e ar e a população local.

No Brasil os principais problemas ambientais referentes à atividade mineradora correspondem à poluição da água, ar e sonora, subsidência do terreno, incêndios causados pelo carvão, rejeitos radioativos e degradação do subsolo ocorrente em áreas urbanas (Farias; Coelho, 2002).

Deve-se ressaltar outras atividades presentes em fases diferenciadas da exploração mineral e beneficiamento de minérios que podem ser consideradas prejudiciais ao meio ambiente, tais como a construção de barragens e represas, retificação e desvio do curso natural de rios, lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados, desmatamento e uso inadequado do solo em regiões ripárias e planícies de inundação, exploração de recursos pesqueiros e introdução de espécies exóticas. Estas atividades podem ser consideradas como causadoras de impactos ambientais negativos na medida em que influenciam na queda acentuada da biodiversidade aquática, além de causar grande impacto sobre a vegetação e os microrganismos, ao que resulta numa alteração dos processos funcionais desses ecossistemas (Callisto et al., 2004; Silva et al., 2001).

O diagnóstico dos impactos ambientais de um determinado empreendimento é o primeiro passo para proposição de medidas mitigadoras dos mesmos. No caso do exercício de mineração,

Mendes e Vieira (2010) afirmam que a minimização dos impactos ambientais negativos pode ser alcançada utilizando-se medidas como a implantação de cortina arbórea e de unidades de tratamento de esgoto para mitigação dos impactos visuais e na poluição das águas respectivamente, bem como a utilização de técnicas de biolixiviação ou de quaisquer outras menos agressivas como forma de evitar os impactos de poluição do solo e diminuição da emissão de poluentes.

O estudo dos impactos ambientais causados pelas atividades mineradoras ou por qualquer outra atividade industrial é de fundamental importância, uma vez que as questões referentes ao meio ambiente têm se tornado uma preocupação crescente, devido à diminuição da qualidade de vida e aos riscos oferecidos à saúde humana (Quadros, 2009). Como forma de garantir a sustentabilidade, a área de legislação ambiental vem instituindo e aprimorando as condições para obtenção de licenciamento, procedimento pelo qual o órgão ambiental competente concede ou não licença ambiental para empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental (Viana, 2005). A Análise de impactos ambientais – AIA, o Estudo de Impacto Ambiental – EIA, em conjunto com o relatório de impacto ambiental (RIMA) constituem ferramentas importantes para o referido licenciamento.

A avaliação dos impactos ambientais é considerada como importante instrumento de gestão e proteção ambiental, principalmente no que diz respeito à indicação de ações preventivas que visam a sustentabilidade ambiental. O estudo de impacto ambiental (EIA) foi definido pela Resolução do CONAMA 001/86 como etapa central do processo de avaliação de impacto ambiental e como a mais importante ferramenta utilizada para o licenciamento de empreendimentos com potencial de degradação ambiental. Este fato tornou o EIA parte integrante e indissociável do licenciamento ambiental, como estabelecem as Resoluções CONAMA 001/86 e 237/97. No entanto, a Resolução CONAMA 237/97 estabeleceu que todas as atividades potencialmente degradadoras ou poluidoras, e não somente aquelas que causem significativo impacto ambiental, deverão ser licenciadas pelo órgão ambiental competente. Determinou, para tanto, que deveriam ser definidos pela agência ambiental responsável, com a participação do empreendedor, os tipos de estudos ambientais necessários àquela finalidade, mantendo a exigência do EIA/RIMA para atividades efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio ambiente (Prado

Filho; Souza, 2004).

1.4 Métodos de Avaliação de Impactos Ambientais

As linhas metodológicas de avaliação de impactos ambientais são mecanismos estruturados para comparar, organizar e analisar informações sobre esses impactos oriundos de qualquer atividade, incluindo os meios de apresentação escrita e visual dessas informações. No entanto, face à diversidade de métodos de AIA, é necessário que haja seleção criteriosa e adaptações, para que esses métodos de avaliação sejam realmente úteis na tomada de decisão dos projetos. Fica, então, a critério de cada equipe técnica a escolha do(s) método(s) mais adequado(s) ou parte(s) dele(s), segundo as atividades previstas (Costa et al., 2005).

Para Moura e Olivier (2009), a avaliação dos impactos ambientais pode ser feita por diferentes métodos, os quais visam identificar, avaliar e sintetizar os impactos de um determinado projeto ou programa. A aplicação destes métodos, entretanto, mostra-se limitada pela própria dificuldade de prever a evolução de sistemas que são tão complexos quanto os ecossistemas.

Dentre as opções, Costa et al., (2005) descreve algumas das metodologias mais utilizadas para a avaliação de impactos ambientais, dentre as quais podem ser citados: métodos espontâneos (*ad hoc*), listagens (*check-list*), matrizes de interações e redes de interações (*networks*), além de outros métodos quantitativos, de simulação, mapas de superposição (*overlays*) e projeção de cenários.

O método *ad hoc* consiste em declarações feitas por especialistas sobre o tipo e a intensidade de um impacto, sendo adequado para casos com escassez de dados, fornecendo orientação para futuras avaliações. Os impactos são identificados normalmente via *brainstorming* e a seguir são caracterizados e sintetizados por meio de tabelas ou matrizes. Sua maior vantagem é a possibilidade de estimativa rápida da evolução de impactos, de forma organizada e facilmente compreensível pelo público. Entretanto, não examinam, detalhadamente, as intervenções e variáveis ambientais envolvidas, considerando-as apenas de forma subjetiva e qualitativa, sendo pouco quantitativa.

No que diz respeito aos métodos de listagem, a avaliação é feita através da identificação e enumeração dos impactos, a partir da diagnose ambiental, feita por especialistas, quanto aos meios físico, biótico e socioeconômico. São descritos os impactos decorrentes das fases de implantação e operação do empreendimento, categorizando-os em positivos ou negativos, conforme o tipo da modificação antrópica a ser introduzida no sis-

tema analisado. Costa et al. (2005) destaca que os métodos de listagem apresentam como vantagem o emprego imediato na avaliação qualitativa dos impactos mais relevantes, mas, por desconsiderarem a sequência de alterações desencadeadas a partir de ações impactantes, são adequados somente para avaliações preliminares.

Outro método de avaliação de impactos ambientais corresponde as matrizes de interações, as quais são definidas como técnicas bidimensionais que relacionam ações com fatores ambientais. Estas matrizes, embora possam incorporar parâmetros de avaliação, constituem métodos basicamente de identificação. No entanto a vantagem do uso desta metodologia em relação a outras metodologias de avaliação de impactos ambientais se fundamenta na relação entre causa e efeito, na forma como os resultados são exibidos, na simplicidade de elaboração e no baixo custo. As matrizes funcionam como tabelas que podem ser usadas para identificar a interação entre atividades de projeto e características ambientais. Ao usar uma tabela ou matriz de interação, uma interação entre uma atividade (ação proposta) e uma dada característica ambiental (fator ambiental), podem ser identificadas na célula que é comum à ambas na rede de interação elaborada para um determinado estudo, podendo ser aplicada em todas as fases de um projeto, desde o seu planejamento constituindo uma ação preventiva aos danos ambientais, como na fase de desenvolvimento no sentido de mitigar os prejuízos ambientais existentes.

O trabalho realizado por Stamm (2003), apresenta o caso de uma usina termelétrica e para este estudo são usados os diferentes métodos de avaliação de impactos ambientais acima relacionados, como forma de exemplificar o modo de utilização dos mesmos e diferenças aplicativas entre eles.

Finalmente, a metodologia de redes de interação utiliza métodos gráficos e estabelece a sequência de impactos ambientais, a partir de determinada intervenção. As redes de interação têm por objetivo determinar as relações precedentes entre ações praticadas pelo empreendimento e os consequentes impactos em uma primeira e demais ordens indiretas. Neste sentido, permitem a visualização de impactos secundários e demais ordens, sobretudo, quando computadorizadas. Este método permite ainda a possibilidade de introdução de parâmetros probabilísticos.

Neste estudo foi realizado estudo do processo de obtenção do cobre, com descrição de todas as entradas e saídas em empresa parceira, seguida da avaliação dos impactos ambientais oriundos

do processo através da metodologia de redes de interação, principalmente por seu potencial de identificação dos impactos indiretos e sinérgicos (secundários), os quais são subsequentes ao impacto principal (Stamm, 2003). Desse modo a utilização desse método viabilizou a identificação das interações entre impactos de ordens diferenciadas (impactos primários, secundários, etc.), além de permitir uma abordagem integrada na análise dos impactos e suas interações.

Dessa forma, os resultados obtidos se referem ao estudo do processo de produção do cobre em empresa parceira, com diagnóstico dos impactos ambientais utilizando o método de redes de interação, o qual contribui com a visualização dos impactos de ordem primária e também daqueles gerados a partir destes, ou seja, os impactos secundários e terciários, servindo de base para estudos futuros, tais como aqueles referentes à proposição de medidas mitigadoras dos impactos ambientais negativos resultantes das atividades daquela empresa.

2 METODOLOGIA

O estudo do processo de extração de cobre foi feito por meio de pesquisa bibliográfica e, principalmente, através de visitas técnicas realizadas à empresa de mineração destinada a obtenção de cobre metálico utilizando o processo de lixiviação. Durante estas visitas foram observados os procedimentos técnicos realizados em cada etapa do processo global, com descrição de todas as entradas e saídas, considerando os resíduos gerados e os possíveis impactos ambientais em cada uma dessas etapas. Além disso, foram aplicados questionários aos responsáveis pelo processo de extração de cobre por lixiviação na empresa parceira. Em seguida, foi elaborado um fluxograma geral do processo, no qual estão inclusas todas as etapas em funcionamento na referida empresa. Finalmente, utilizou-se o método de redes de interação (Stamm, 2003) para a identificação dos impactos de ordem primária, secundária e terciária, bem como a interação entre eles.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo teórico dos processos de obtenção de cobre foi aprimorado com a visita técnica à mineradora onde foram observadas todas as etapas que compõem o processo de obtenção de cobre realizado pela empresa. A partir desta visita foi

elaborado um fluxograma detalhado do referido processo produtivo, o qual foi dividido em três estágios diferenciados, conforme mostrado na Figura 1. A elaboração deste fluxograma permitiu a caracterização e o estudo dos diferentes estágios do processo como um todo, com identificação das entradas e saídas, facilitando, dessa forma, a avaliação dos impactos ambientais das atividades pertencentes a cada etapa.

Conforme pode ser observado na Figura 1, o primeiro estágio do processo global inicia-se com a extração e estoque de malaqueta e tem como resultado final a formação da solução PLS - *Pregnant Leaching Solution*, que corresponde a lixívia carregada com metal de interesse. A malaqueta corresponde a um minério de cobre oxidado, que após ser extraída, tem seu tamanho reduzido ao passar por um britador e em seguida segue para o aglomerador, cuja principal função é unir as partículas do minério, em contato com soluções ácidas, de modo a facilitar o ataque químico da pilha.

A mistura formada no aglomerador forma as pilhas de lixiviação, que são irrigadas por um sistema de aspersores com solução ácida, em piscinas de irrigação e refino que garante a irrigação constante nessas pilhas. A partir da pilha lixiviada obtém-se a solução de PLS de caráter ácido que apresenta baixo teor de cobre em sua composição,

sendo comumente denominada solução intermediária de cobre.

O estágio posterior diz respeito à extração. Neste estágio ocorre a produção de um reagente químico com alta seletividade em cobre, podendo ocorrer durante esse procedimento a formação de borras que são filtradas de modo que contribua com a reutilização do reagente contido na borra. O reagente produzido é então misturado à solução PLS obtida na etapa anterior em misturadores até que seja obtida uma solução com concentração desejada de cobre nomeada eletrólito rico. Este eletrólito é filtrado e as impurezas sólidas seguem para unidades de tratamento de resíduos.

Ainda na etapa de extração, é adicionado sulfato de cobalto à solução após filtração, com o objetivo de garantir a qualidade visual do catodo, uma vez que a adição desse reagente reduz imperfeições como rugosidade e duplo depósito.

O estágio final do processo corresponde a eletrólise. Nesta etapa, uma placa metálica é submersa no eletrólito rico em cobre, cujo sistema resultante é submetido a uma descarga elétrica de forma igualitária, responsável pelo depósito de cobre na placa. Em seguida, as placas são resfriadas em banho-maria e lavadas com jatos d'água quente para eliminação dos contaminantes, obtendo-se placas com 99,9% de cobre (Figura 2),

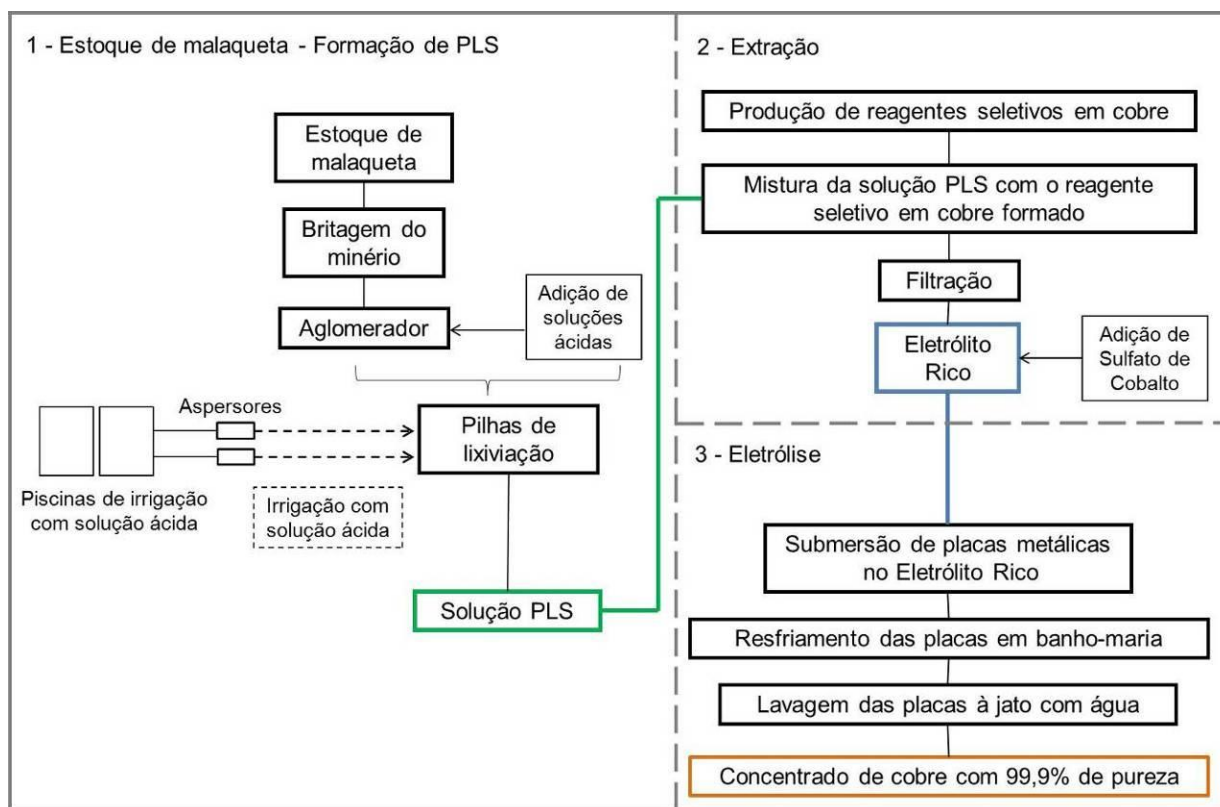


Figura 1 - Fluxograma do processo de obtenção de cobre por lixiviação.



Figura 2 – Placas de cobre aptas para comercialização e produzidas pela empresa de mineração.

segundo dados técnicos fornecidos durante a visita a empresa de mineração.

A partir da elucidação do processo foi possível aplicar o método de redes de interação com maior precisão, uma vez que foram identificadas todas as etapas impactantes. A Figura 3 é o resultado da análise dos principais impactos ambientais relacionados à atividade mineradora destinada à extração de cobre na empresa em estudo, bem como dos impactos posteriores decorrentes dos impactos principais e a interação existente entre eles.

A rede de interação (Figura 3), obtida neste estudo permitiu identificar as principais atividades impactantes da atividade de mineração, uma vez que ao estabelecer os impactos primários, secundários e terciários decorrentes das atividades integrantes do processo produtivo e a interação existente entre eles é possível analisar qualitativamente os efeitos produzidos para o meio ambiente por cada uma dessas atividades.

Deve-se destacar ainda que minimizando impactos primários, através deste método, pode-se prever as reduções nos impactos ambientais secundários e terciários decorrentes do primeiro. Ou seja, com base na rede de interação poderá ser definido o planejamento, com prioridade para minimização dos impactos ambientais em função de seus impactos posteriores.

A primeira atividade impactante corresponde a implantação da atividade mineradora. Esta atividade é responsável por impactos considerados positivos, uma vez que houve contribuição com o desenvolvimento econômico e a geração de empregos na região (impacto primário), o que favoreceu a população local e regional, uma vez

que passaram a buscar capacitação através da participação em cursos de formação ou aperfeiçoamento profissional (impacto secundário), em áreas do conhecimento que seriam indispensáveis para implantação e manutenção da empresa de mineração. Isto gera impactos terciários relativos a alteração das condições socioeconômicas da comunidade. Destaca-se ainda o impacto primário relativo a necessidade de infraestrutura local, que gera a busca por maior oferta de serviços de saúde, transporte, moradia e outros.

Com relação aos impactos ambientais oriundos da segunda e terceira atividades impactantes, que correspondem a abertura da cava para extração de malaqueta e o acúmulo desse minério respectivamente, identifica-se alteração do ambiente natural, provocando impacto visual (Figura 4). Além disso, contribui com a modificação do solo em virtude da retirada da cobertura vegetal que diminui sua permeabilidade e faz com que animais deixem seus *habitats* naturais resultando em um desequilíbrio no ecossistema e prejuízo à biodiversidade local (impacto terciário).

A intensa atividade do maquinário está descrita como a quarta atividade impactante e está relacionada às operações de britagem e aglomeração. Foi observado que esta atividade não só contribui para o aumento do ruído (impacto primário), que gera desconforto tanto para o homem quanto para fauna (impacto secundário), como também tem papel fundamental na emissão de poeiras e partículas sólidas (impactos primários) que diminuem a qualidade do ar e contaminam a vegetação e os recursos hídricos, afetando diretamente à vida de animais e plantas. Neste estudo

Atividades Impactantes	Impacto Primário		Impacto Secundário		Impacto Terciário
1. Implantação da atividade mineradora	Geração de emprego e necessidade de infraestrutura local		Direcionamento da formação profissional e estrutura da cidade para a atividade de mineração		Alteração nas condições socioeconômicas da comunidade
2. Abertura da cava devido à extração de malaqueta	Perda da geologia local		Empobrecimento do solo		Alteração na permeabilidade do solo
	Perda de habitats.		Impacto visual		Interferência no ecossistema
3. Estoque de malaqueta	Possível perda da vegetação local.		Perda de habitats		Prejuízos à biodiversidade local
4. Atividades mecânicas de máquinas como britador e aglomerador	Geração de poeira por veículos e máquinas como o britador e o aglomerador		Decaimento da qualidade do ar		Prejuízos ao meio antrópico (saúde pública), a fauna e à flora
	Aumento no nível de ruído provocado pelas máquinas e equipamentos		Desconforto		Afastamento da fauna
5. Armazenamento de reagentes químicos	Risco de contaminação ambiental por reagentes químicos		Degradação da qualidade dos recursos hídricos		Comprometimento da fauna aquática e possibilidade de eutrofização
6. Formação de pilhas de lixiviação					
7. Irrigação da pilha de lixiviação com soluções ácidas	Geração de resíduos		Tratamento dos resíduos por empresa especializada		Desequilíbrio no ecossistema
8. Filtração de soluções					
9. Resfriamento e lavagem das placas para produção do concentrado de cobre			Funcionamento de estação de tratamento		Impacto visual

Figura 3 - Rede de interação dos impactos ambientais referentes à obtenção de cobre por lixiviação.

não foi possível identificar o raio geográfico afetado por este impacto.

Em relação ao armazenamento de reagentes químicos e a formação de pilhas de lixiviação, que correspondem a quinta e sexta atividades impactantes, respectivamente, são adotadas, pela empresa em estudo, como práticas preventivas de acidente ambiental, a utilização de mantas impermeáveis antiácidas nas pilhas de lixiviação como forma de evitar qualquer vazamento que comprometa a qualidade do solo e atinja os lençóis subterrâneos. Foi possível identificar também que é realizado armazenamento dos reagentes envolvidos no processo, em reservatórios devidamente fechados.

A sétima atividade impactante corresponde a irrigação da pilha de lixiviação. Nesta etapa, o calor do sol e o vento favorecem a cristalização de contaminantes presentes nas soluções ácidas, que podem impregnar no solo e na vegetação,

diminuindo a qualidade desses recursos naturais. Por este motivo, é indispensável que qualquer mineradora, do mesmo modo que a empresa analisada neste trabalho, possua licença ambiental concedida por órgãos de defesa e fiscalização como IMA (Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais) e IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis).

No que se refere às atividades geradoras de resíduos, as borras oriundas do processo de filtração de soluções, oitava atividade impactante, são armazenadas adequadamente para posterior tratamento especializado de gerenciamento de resíduos. A água residual proveniente da etapa de resfriamento e lavagem das placas, enumerada como a nona atividade impactante, é encaminhada para uma unidade de tratamento que minimiza os impactos ao solo, água e ar (impactos secundários). Com a diminuição destes impactos secundários,

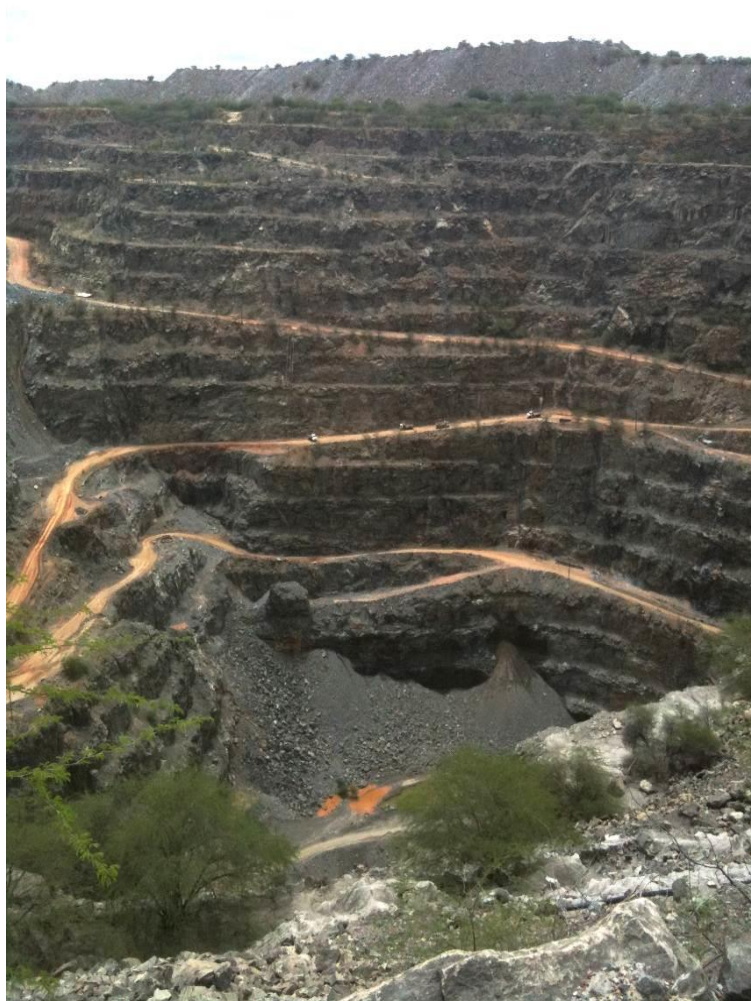


Figura 4 – Impacto visual ao ambiente natural decorrente da atividade mineradora, devido a abertura de cavas para extração da malaqueta.

os impactos de ordem terciária referentes aos prejuízos ao meio antrópico (saúde pública), a fauna e à flora, também são minimizados. Logo, a implantação da unidade de tratamento de água, embora acarrete um novo impacto visual, é considerada viável por representar a diminuição de impactos ambientais mais danosos.

Adicionalmente não foram identificados programas ou projetos, com retorno social ou ambiental, desenvolvidos ou em desenvolvimento na empresa. Sob esse aspecto foi sugerido, por exemplo, que a empresa realize cursos e oficinas de educação ambiental para funcionários e moradores da região, desenvolva projetos de reflorestamento, bem como outras técnicas de recuperação de solos em virtude da grande área degradada pela atividade mineradora.

4 CONCLUSÃO

A utilização das redes de interação como

metodologia de avaliação de impactos ambientais permitiu a identificação dos principais impactos causados pela mineração do cobre, bem como os impactos secundários e/ou terciários aos impactos principais. As atividades de maiores impactos (secundários e terciários) correspondem a abertura da cava decorrente da extração mineral, a estocagem de malaqueta, a irrigação da pilha de lixiviação com soluções ácidas, a filtração de soluções e o resfriamento e lavagem das placas metálicas.

Apesar dos impactos ambientais negativos, deve-se destacar que a implantação de uma empresa desta natureza pode ser avaliada como um impacto positivo, uma vez que a geração de emprego e renda para população e o direcionamento da formação profissional da mesma voltada para as atividades mineradoras contribuem com o desenvolvimento socioeconômico da localidade. Isto está de acordo com a primeira atividade impactante: “Implantação da atividade mineradora”, descrita na rede de interação elaborada neste estudo.

Nesse contexto, a empresa de mineração

deve dar atenção especial a suas atividades no sentido de minimizar aqueles impactos através do aproveitamento dos resíduos gerados ou, quando não aproveitados, o tratamento adequado para estes resíduos, como também a manipulação e a estocagem cuidadosa dos produtos nocivos ao meio ambiente. Além deste fato, devem ser tomadas medidas preventivas durante as operações realizadas com o objetivo de evitar qualquer acidente ambiental. Neste caso sugere-se a manutenção de sistema de gestão ambiental (SGA) atuante, que neste caso poderia elaborar cartilhas a serem mantidas com cada funcionário, na qual estariam descritas ações práticas e rápidas a serem tomadas em caso de eventos/ocorrências impactantes ao meio ambiente.

Apesar de existir o setor de Gestão ambiental, não foi possível identificar adequada celeridade no que se refere às medidas tomadas com intuito de proteção ao meio ambiente. Dessa forma, pode-se concluir que a empresa esta precisando acelerar o desenvolvimento da consciência ambiental, desde a alta administração, mudando de atitude reativa para pró-ativa, e que há necessidade de criação de programas e projetos com retorno social e ambiental, como forma de mitigar os impactos ambientais negativos oriundos deste tipo de atividade.

Deve-se ressaltar que o método utilizado, embora não forneça informações relativas à intensidade dos impactos, pode ser utilizado como ferramenta de diagnóstico qualitativo para tomada de decisão quanto à definição de prioridades e ações a serem realizadas para minimizar os impactos negativos oriundos de suas atividades. Adicionalmente, esta ferramenta pode vir a auxiliar também a fiscalização pelos órgãos ambientais em processos de concessão de licenças.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESB pela bolsa de iniciação científica concedida e a BioHydro-Solutions – BHS pelo auxílio no consentimento das visitas à empresa de mineração.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M.L.A.; CUNHA, L.M.S., GANDRA, G.T. O cobre brasileiro em ascensão no mercado mundial. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 13, p. 65-94, 2001.

BALAZ, P.; ACHIMOVICOVÁ, M. Mechano-chemical leaching in hydrometallurgy of complex sulphides. **Hydrometallurgy**, n. 84, p. 60–68, 2006.

BRAND, F. A.; DALMOLIN, C.; TRAVASSOS JR, X. L.; PACHEKOSKI, W. M. Avaliação da metodologia FMEA como ferramenta para reduzir impactos ambientais no processo manutenção industrial. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 10, n. 10, p. 2081-2090, 2013.

CALLISTO, M.; GONÇALVES Jr., J. F.; MORENO, P. Invertebrados aquáticos como bioindicadores. **Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais**, Belo Horizonte, v. 1, p. 1-12, 2004.

CIMINELLI, V.S.T. Tendências tecnológicas em hidrometalurgia. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE TECNOLOGIA MINERAL, 2006, Rio de Janeiro. **Anais do Seminário Nacional de Tecnologia mineral**. Rio de Janeiro: CETEM, 2006.

COSTA, M. V., CHAVES, P. S. V., OLIVEIRA, F. C. Uso das técnicas de avaliação de impacto ambiental em estudos realizados no Ceará. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO. 2005, Rio de Janeiro. **Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação**. Rio de Janeiro: INTERCOM, 2005.

CORAZZA, R.I. Gestão ambiental e mudanças da estrutura organizacional. **RAE-eletrônica**, v. 2, n. 2, 2003.

FARIAS, C.E.G.; COELHO, J.M. **Mineração e meio ambiente no Brasil**. Relatório preparado para o CGEE PNUD, 2002.

FRANCISCO, B.B.A.; LEMOS, F.A.; MASSON, I.O.C. Fontes alternativas para a obtenção de níquel, cobalto e cobre. In: XIV JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. 2006. **Anais da XIV Jornada de Iniciação Científica**. CETEM, 2006.

HAZEK, M.N.; LASHEEN, T.A.; HELAL, A.S. Reductive leaching of manganese from low grade Sinai ore in HCl using H₂O₂ as reductant. **Hydrometallurgy**, n. 84, p. 187–191, 2006.

HEATH, J.A.; JEFFREY, M.I.; ZHANG, H.G.; RUMBALL, J.A. Anaerobic thiosulfate leaching: Development of in situ gold leaching systems. **Minerals Engineering**, n. 21, p. 424–433, 2007.

PIMENTEL, F.S. **A educação ambiental como instrumento da conscientização ecológica pública.** 2008. Disponível em: <<http://www.webartigos.com>>. Acesso em: 18 set. 2012.

JERÔNIMO, C. E. M.; MOURA, T. N.; DANTAS, G. R. Gestão ambiental em panificadoras de Mossoró-RN. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 10, n. 10, p. 2151-2164, 2013.

LOEBENS, C. M.; LINK, D. **Avaliando os impactos ambientais visuais do arroio monjolo, em**

Santo Cristo – RS, na perspectiva de desenvolver ações de sustentabilidade. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 4, n. 4, p. 493-509, 2011.

MENDES, A. F.; VIEIRA, F. Gestão ambiental na indústria de mineração no Brasil: Técnicas para minimizar potenciais impactos ambientais na extração do cobre. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2010, Bauru. **Anais do I Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental.** Bauru, São Paulo: IBEAS, 2010.

MILLER JR, G.T. **Ciência Ambiental.** 11. ed. São Paulo, 2007.

MOURA, H.J.T.; OLIVEIR, F.C. O uso das metodologias de avaliação de impacto ambiental em estudos realizados no Ceará. **Pretexto**, Belo Horizonte, v. 10, n.4, p. 79-98, v.10, 2009.

NASCENTE, J.P.C.; FERREIRA, O.M. **Impactos sócio-ambientais provocados pelas ocupações irregulares do solo urbano: Estudo de caso do loteamento serra azul.** Goiania, Goiás, 2007.

PENG, P.; XIE, H.; LU, L. Leaching of a sphalerite concentrate with $H_2SO_4-HNO_3$ solutions in the presence of C_2Cl_4 . **Hydrometallurgy**, n. 80, 2005.

POON, C.S.; CHEN, Z.Q.; WAI, O.W.H. The effect of flow-through leaching on the diffusivity of heavy metals instabilized/solidified wastes. **Journal of Hazardous Materials**, p. 179–192, 2000.

PRADO FILHO, J.F.; SOUZA, M.P. O licenciamento ambiental da mineração no quadrilátero ferrífero de Minas Gerais – Uma análise da implementação de medidas de controle ambiental formuladas em EIAs/RIMAs. **Engenharia Sanitária e**

Ambiental, v. 9, n. 4, p. 343-349, 2004.

QUADROS, C. **Avaliação ambiental simplificada de diferentes atividades agrícolas, estudo de caso no município de Paulo Lopes, SC.** Florianópolis, Santa Catarina, 2009.

SANTOS, G.V.; LIMA, R.B.; SOBRAL, L.G.S. Lixiviação bio-assistida de concentrado de flotação de sulfetos minerais de cobre, em coluna, utilizando consórcios de micro-organismos mesófilos e termófilos. In: XVII JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. 2009. **Anais da XVII Jornada de Iniciação Científica.** CETEM, 2009.

SILVA FILHO, C. G. S; SICSÚ, A.B. Produção mais limpa: uma ferramenta da gestão ambiental aplicada às empresas nacionais. In: XXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 2003, Ouro Preto. **Anais do XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção.** Ouro Preto, Minas Gerais: ENEGEP, 2003.

SILVA, G.A.; MAIA, L.C.; SILVA, F.S.B.; LIMA, P.C.F. Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares oriundos de área de caatinga nativa e degradada por mineração, no estado da Bahia, Brasil. **Revista brasileira Botânica**, São Paulo, v.24, n.2, p. 135-143, 2001.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, n.8, 2007.

STAMM, H.R. **Método para avaliação de impacto ambiental (AIA) em projetos de grande porte: Estudo de caso de uma usina termelétrica.** 2003. 265 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2003.

TINOCO, J.E.P.; ROBLES, L.T. A contabilidade da gestão ambiental e sua dimensão para a transparência empresarial: estudo de caso de quatro empresas brasileiras com atuação global. **RAP**, v. 6, n. 40, p. 1077-96, 2006.

VIANA, M.B. Legislação sobre licenciamento ambiental: Histórico, controvérsias e perspectivas. **Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados.** Fev. 2005. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br>>. Acesso em: 01 mai. 2012.