

ALEXANDRE CARDOSO DA SILVEIRA REPLE

**METODOLOGIA DE ANÁLISE HIERÁRQUICA APLICADA PARA A
SELEÇÃO DE ÁREAS-ALVO PARA A REALIZAÇÃO DE PESQUISA
MINERAL COM ÊNFASE NA INDÚSTRIA DE PEDRA BRITADA**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Orientadora: Prof. Dr. Ana Carolina Chieregati

Coorientadores: Prof. Dr. Hélio Shimada
Eng. Bento Machado Sipoli

São Paulo,

2013

ALEXANDRE CARDOSO DA SILVEIRA REPLE

**METODOLOGIA DE ANÁLISE HIERÁRQUICA APLICADA PARA A
SELEÇÃO DE ÁREAS-ALVO PARA A REALIZAÇÃO DE PESQUISA
MINERAL COM ÊNFASE NA INDÚSTRIA DE PEDRA BRITADA**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Orientadora: Prof. Dr. Ana Carolina Chieregati

Coorientadores: Prof. Dr. Hélio Shimada
Eng. Bento Machado Sipoli

São Paulo,

2013

“Sempre que a sorte bateu à minha porta, me encontrou trabalhando.”

Pablo Picasso

Dedicatória

**Dedico este trabalho a todos que
confiaram no meu potencial para esta
conquista.**

Agradecimentos

A minha família, que meu deu estrutura para me tornar que eu sou.

À minha orientadora, Ana Carolina Chieregati, e aos meus coorientadores, Hélio Shimada e Bento Machado Sipoli, pela paciência, amadurecimento nos conhecimentos e ideias.

Aos profissionais que contribuíram seus conhecimentos e experiência para trazer credibilidade aos resultados.

E a todos que direta ou indiretamente colaboraram com a elaboração deste trabalho.

Resumo

A produção de brita, em sua grande maioria, é composta por pequenos produtores com um raio de comercialização de poucas dezenas de quilômetros e baixo valor agregado. No Brasil, o custo do dinheiro é elevado, e com pouca disponibilidade e incentivo de crédito para a mineração. Portanto, a necessidade de inovação com tecnologia barata é fundamental para um ramo ainda rudimentar, em sua maioria.

Com o crescente número de empreendimentos iniciando suas operações e investidores em busca de novas áreas para instalação de minerações para a produção de pedra britada, a fim de suprir as novas demandas do mercado. A prospecção de áreas e a pesquisa mineral são fundamentais para a viabilidade de um projeto.

A prospecção mineral é baseada na análise de mapas geológicos, imagens de satélite e evidências de campo, a fim de localizar áreas com potencial mineral, geograficamente privilegiadas e ambientalmente não impactantes. Frequentemente, este estudo apresenta uma série de áreas-alvo para a realização de pesquisa. Entretanto, como esta etapa do processo é muito mais cara em relação a anterior, em princípio, não é economicamente viável realizá-la em todas as áreas.

Portanto, é nessa fase que este projeto desenvolve e apresenta como resultado final, uma matriz de decisão, que classificará as áreas em ordem decrescente de maior potencial. Um método de engenharia, simples e eficaz, baseado na análise hierárquica, que compara as áreas aos pares, com a utilização de uma série de critérios obtidos com o auxílio de profissionais altamente capacitados para tal.

Palavras chave: prospecção mineral; método de análise hierárquica (A.H.P.); agregados; pedreiras.

Abstract

A large number of small entrepreneurs are responsible for the most part of the crushed rock production. They cover within ten kilometers radius from the market and added values are really low. As in Brazil there is no specific credit or incentives for the mining industry, the cost of capital is higher than in other countries around the world. Therefore, some innovations together with cheap technology are fundamental to a still rudimentary industry.

With today's increasing numbers of ventures starting their operations and the amount of entrepreneurs seeking for new areas to establish their enterprises for aggregates production, the mineral prospection and exploration are essential to make it possible.

Mineral exploitation is based on geological maps, satellite images and some field evidence, to find some potential mineralized areas, well located and which doesn't harm the environment. It frequently presents a huge number of target areas for conducting research. However, as this step of the process is much more expensive compared with the previous one; it is not economically feasible to do it in all areas.

So, at this point the project develops and shows as a final result, all conditions for the decider to use a simple and effective engineering method, which will create a target areas ranking, based on hierarchical analysis, which evaluate its various elements by comparing them to one another two at a time, regarding their impact on an element above them in the hierarchy proposes comparison between the areas, in order to guide the choice of the most promising conducting mineral exploitation is feasible and workable. Some skilled professionals were invited to support it.

Key words: mineral prospection; analytic hierarchy process (A.H.P.); aggregates; quarry mine.

Figuras

Figura 1 - Estrutura e fluxo do mercado da Brita (Luz & Almeida, 2012)	13
Figura 2 - Fluxograma do processo produtivo (Fonte: Revista Escola de Minas, vol.62 n°4, Ouro Preto, Out/Dez. 2009).....	15
Figura 3 - Fluxograma de Beneficiamento da Mina Vigné, RJ. (Luz & Almeida, 2012)	17
Figura 4 - Dinâmica processual em geomorfologia (CASSETI).	20
Figura 5 - Exemplos de coberturas por alteração (GWP consultants, 2007).	21
Figura 6 - Estrutura hierárquica proposta	29

Tabelas

Tabela 1 - Classificação das rochas ígneas (Luz & Almeida, 2012).....	19
Tabela 2 - Espaços Ambientalmente Protegidos (Gomes, 2009).....	22
Tabela 3 - Estrutura Hierárquica Básica	24
Tabela 4 - Escala numérica de SAATY.....	24
Tabela 5 - Tabela de aspectos e indicadores envolvidos no processo	27
Tabela 6 - Tabela de Critérios e Subcritérios.....	28
Tabela 7- Julgamento Professora Doutora Ana Carolina Chieregati – Engenheira de Minas.	30
Tabela 8- Julgamento Professor Doutor Hélio Shimada – Geólogo.	31
Tabela 9 – Julgamento Adriana Campagnoli Gerdenits – Engenheira Ambiental.	32
Tabela 10 - Julgamento Mestre Fábio José Prati - Engenheiro de Minas.....	33
Tabela 11 - Julgamento Bento Machado Sipoli - Engenheiro de Minas.	34
Tabela 12 – Média final dos julgamentos.	35
Tabela 13 - Matriz pareada do nível 2.....	36
Tabela 14 - Matriz pareada do nível 3.....	36
Tabela 15- Matriz Auto vetor nível 2(Critérios).	37
Tabela 16 - Matriz Auto vetor nível 3(Subcritérios).	37

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. OBJETIVO	10
2. FATORES MAIS RELEVANTES NA INDÚSTRIA DA BRITA	11
2.1. MEIO ANTRÓPICO	11
2.1.1. ASPECTOS LEGAIS	11
2.1.2. PRODUÇÃO E CONCORRÊNCIA	12
2.1.3. LOCALIZAÇÃO	12
2.1.4. MERCADO CONSUMIDOR	13
2.1.5. INFRAESTRUTURA E RECURSOS HUMANOS	13
2.1.6. MÉTODOS DE LAVRA	14
2.1.7. OPERAÇÕES UNITÁRIAS DA PRODUÇÃO	14
2.1.8. SUSTENTABILIDADE	17
2.2. MEIO FÍSICO	18
2.2.1. GEOLOGIA	18
2.2.2. FEIÇÕES TOPOGRÁFICAS E CAPEAMENTO	20
2.2.3. MEIO AMBIENTE	21
3. MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA	23
3.1. VISÃO GERAL	23
3.2. METODOLOGIA PROPOSTA	26
3.3. DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS	26
3.4. JULGAMENTOS PARITÁRIOS	29
4. CONCLUSÕES	37
5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	38

1. INTRODUÇÃO

O consumo de agregados, de uso imediato na construção civil, está diretamente relacionado com o desenvolvimento econômico e social de um país, uma vez que estes são utilizados em obras de infraestrutura, energia, transporte, saneamento, habitação, instalações comerciais e industriais. Com isto, a indústria de agregados está em constante desenvolvimento e apresenta uma série de desafios para a engenharia dado principalmente pelo baixo valor agregado do minério.

Os agregados naturais são produzidos a partir de materiais rochosos consolidados e sedimentares, tais como areia e cascalhos. As rochas consolidadas são submetidas a processos de cominuição e classificação granulométrica, até atingir as especificações requeridas pelo mercado. (BERTOLINO, PALERMO, & BERTOLINO, 2009).

Os agregados são abundantes na natureza e tem como característica o seu baixo valor unitário, mas por outro lado o seu uso *per capita* constitui-se num importante indicador do perfil socioeconómico de um país (FERREIRA & FONSECA JÚNIOR, 2012).

Uma vez considerado o reduzido valor de venda, o custo de produção destes minerais deve ser minimizado. Deste modo, surge uma série de fatores que afetam a diretamente os projetos desta natureza. Estes fatores variam desde a localização da mina, pesquisa mineral, passando pela implantação, operação até o fechamento, recuperação e o aproveitamento futuro da área.

A localização das minas é um fator cada vez mais crítico. Uma vez que o custo do transporte se mostra igual ou até maior do que os custos de produção, os empreendimentos tem se instalado o mais próximo possível aos pontos de consumo, comumente na periferia das grandes cidades e metrópoles. Por estarem inseridos na malha urbana, conflitos entre as comunidades do entorno e os mineradores são constantes, devido aos impactos ambientais, como geração de particulados, lançamento de efluentes, erosão, assoreamento, ruídos e vibrações. Além disso, não se pode deixar de destacar aspectos relativos à segurança individual, coletiva, os impactos ambientais e a sustentabilidade, elementos intimamente associados em um empreendimento mineiro.

Neste contexto, as práticas de produção de agregados diferem, em muito, de outras práticas industriais e por isto é necessária dedicação total à gestão dos impactos socioambientais para minimizar estes conflitos (SILVA, 2012).

Dado a complexidade do tema e ao grande número de variáveis relacionadas à mineração de agregados. Este trabalho tem por objetivo suprir uma necessidade real do setor.

Principalmente em regiões com alta densidade populacional, onde o mercado de agregados é fortemente desenvolvido e busca, através de investimento em tecnologia e profissionalismo continuar a evoluir, acompanhar o mercado crescente cada vez mais exigente em relação à qualidade, segurança, sustentabilidade e comprometimento com a recuperação dos passivos ambientais.

1.1. OBJETIVO

Com a utilização de um método de engenharia, simples e eficaz, baseado na análise hierárquica. Este estudo apresenta como objetivo propor a utilização de uma matriz de

comparação multicriterial, a fim de orientar a escolha de áreas-alvo geograficamente privilegiadas, ambientalmente não impactantes e que, obviamente, apresentem potencial mineral. Portanto, áreas promissoras à realização de pesquisa mineral e futura produção de agregados.

Para tanto, este estudo contará com o auxílio de profissionais atuantes no mercado que com seus conhecimentos e experiência trarão credibilidade aos resultados.

Esta monografia abordará de modo particular à brita. Entretanto, o método é aplicável a qualquer outro bem mineral de uso imediato na construção civil.

2. FATORES MAIS RELEVANTES NA INDÚSTRIA DA BRITA

2.1. MEIO ANTRÓPICO

2.1.1. ASPECTOS LEGAIS

LEGISLAÇÃO MINERAL

A Legislação mineral prevê a liberação de uma área para mineração de agregados para construção civil através de dois regimes. O primeiro é o Regime de Licenciamento no qual o proprietário do imóvel ou que tenha sua expressa autorização poderá explotar o minério “in natura”. Neste tipo de regime não se faz necessária a apresentação e comprovação da realização de trabalhos prévios de pesquisa e nem a elaboração de uma Plano de Aproveitamento Econômico (PAE). Entretanto, há necessidade de se obter uma licença específica expedida pela Prefeitura Municipal. Com isto, os trabalhos ficam sujeitos a serem interrompidos e a área entrar em disponibilidade caso o poder municipal não renove a licença nos prazos determinados.

O outro é o de Regime de Autorização e Concessão. Neste caso, a área desonerada estará disponível para qualquer pessoa, física ou jurídica, que se proponha a investir em pesquisa mineral e apresente um Requerimento de Pesquisa formal junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM/MME. A prioridade é atribuída por ordem de cronológica. Neste regime o DNPM/MME exige a realização de pesquisa mineral fundamentada em teorias consagradas pela geologia e engenharia mineral, além da elaboração do Relatório Final de Pesquisa e, posteriormente, um Plano de Aproveitamento Econômico (PAE). O detentor dos direitos minerais obterá uma segurança jurídica após a concessão de lavra ser publicado no Diário Oficial da União-DOU.

Os dois regimes preveem a definição de um polígono de no máximo 50 hectares para exploração de brita para uso direto na construção civil. Este polígono deverá apresentar apenas rumos verdadeiros (N-S; L-O) com precisão de milésimos de segundo em coordenadas geográficas. Pode-se requerer um polígono maior do que 50 hectares; entretanto, a exploração deve estar associada à outra finalidade além do uso do minério como agregado.

Para um melhor aproveitamento da reserva, este polígono deve ser dimensionado e requerido de modo a exibir a maior área útil possível, sem recortes.

Deve-se considerar também o plano diretor e a lei de uso do solo do município em que se pretende instalar o empreendimento. Uma vez que alguns municípios preveem áreas em

que mineração, de agregados, é proibida ou requerem estudos muito específicos de interferência no meio ambiente e urbano, além de restrições de operação e logística que podem inviabilizar o projeto.

LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Independente do regime de Lavra é indispensável à obtenção das três licenças ambientais para a legalização de um empreendimento mineiro. São elas LP - Licença Prévia, LI – Licença de Instalação e LO – Licença de Operação.

Para obter a LP, o requerente deverá apresentar o EIA - Estudo de Impacto Ambiental e o RIMA - Relatório de Impacto Ambiental ou RCA - Relatório de Controle Ambiental. Após análise do órgão ambiental e concessão da LP, o requerente deverá atender aos quesitos do órgão ambiental. Com a expedição da LI o minerador iniciará a instalação e posteriormente solicitará a LO, munido dos documentos necessários determinados pelo órgão ambiental responsável.

Há na legislação a possibilidade da liberação da apresentação do EIA/RIMA pelo minerador segundo uma série de critérios determinados pelo órgão ambiental competente em relação ao porte, localização, natureza e demais peculiaridades do empreendimento. Esta é comumente liberada para minerações de agregados que não estejam localizadas em áreas de proteção em geral ou que não apresentem significativos riscos ao meio ambiente.

2.1.2. PRODUÇÃO E CONCORRÊNCIA

A produção de agregados para construção civil apresenta números significantes em relação a volumes produzidos no mundo, dado ao seu elevado consumo per capita. Pela relevância do uso destes materiais na sociedade, este é utilizado como indicador da situação socioeconômica e da qualidade de vida de um país.

No setor mineral brasileiro, este ramo da atividade extractiva é um dos mais relevantes devido ao seu alto volume de produção. A comparação com o minério de ferro é cabível, dado à proximidade das dimensões de produção em relação ao principal produto mineral brasileiro.

A mineração de pedra britada é disseminada e pode ser facilmente encontrada em todo o território nacional. Existem inúmeros produtores, desde minerações de pequeno porte, em mercados limitados e isolados, até empreendimentos de médio ou grande porte próximos aos grandes consumidores. Além das minas de portes variados, há um ramo operando na forma de usinas móveis, como por exemplo, na construção de estradas, rodovias e vias férreas.

Com relação à produtividade, a mineração brasileira de agregados tem muito a desenvolver, se comparado a Europa e os EUA, onde a mão de obra é treinada e grandes investimentos são feitos na modernização das instalações de produção (Luz & Almeida, 2012).

2.1.3. LOCALIZAÇÃO

Como exposto anteriormente, dado o baixo valor agregado da brita, uma parcela considerável do preço final é afetado pelo frete. Com isto, para reduzir este custo, os

empreendimentos mineiros, para facilitar a logística, tendem a se posicionar próximos ao mercado consumidor, inseridos assim em zonas urbanas ou próximos a grandes rodovias. Pode-se constatar também, minas que se instalaram em regiões mais afastadas, entretanto núcleos urbanos surgem no entorno do empreendimento e, com o passar dos anos, a cidade cresce e incorpora este núcleo e consequentemente a mina.

Com isto, conflitos advindos da operação mineira são inevitáveis e não podem deixar de ser considerados na escolha da localização da mina e na elaboração do projeto. Destacam-se como os principais motivos de reclamações da população a geração de poeira, as vibrações, ruídos e a grande movimentação de caminhões.

2.1.4. MERCADO CONSUMIDOR

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM/MME, o mercado consumidor brasileiro de pedra britada apresenta os seguintes usos:

- para concreto pré-misturado;
- para pré-fabricados;
- ferrovias, gabiões, contenção de taludes e outros; e
- pavimentação de ruas, bases e sub-bases para a construção de rodovias.

A Figura 1 reafirma, com maior detalhamento, a informação do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM/MME em relação ao mercado da brita.

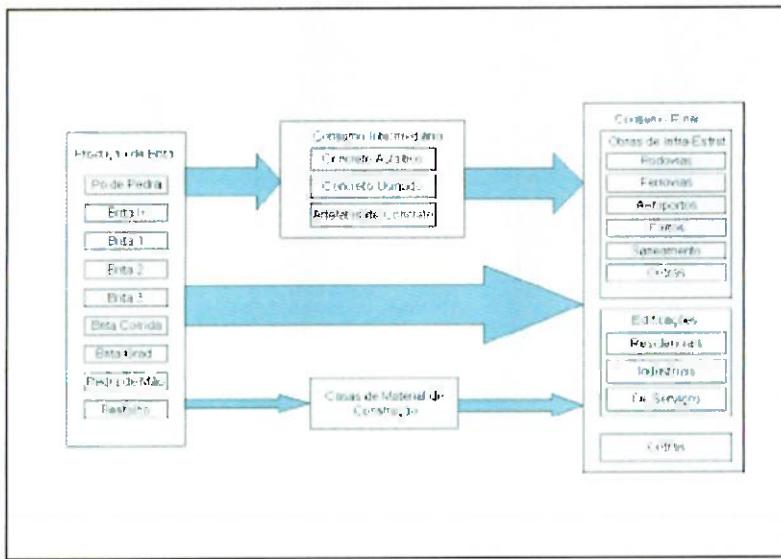


Figura 1 - Estrutura e fluxo do mercado da Brita (Luz & Almeida, 2012)

2.1.5. INFRAESTRUTURA E RECURSOS HUMANOS

Empreendimentos mineiros apresentam as mesmas necessidades de complexos industriais de grande porte, que incluem elementos de infraestrutura e de recursos humanos.

Assim são recursos necessários:

- energia elétrica em alta e baixa voltagem;

- disponibilidade de água industrial e potável;
- vias de acesso de qualidade e capacidade mínima para o escoamento da produção; e
- mão de obra para os setores técnicos, administrativos e operacionais.

2.1.6. MÉTODOS DE LAVRA

As operações de lavra em minas podem ocorrer de duas maneiras:

- Meia encosta – A lavra se dá em um nível elevado, portanto o material escavado deve ser transportado para baixo, até o nível da usina de britagem.
- Em cava - No qual os trabalhos de lavra estão, em geral, concentrados em um nível abaixo da planta de processamento, portanto o material escavado deve ser transportado para fora da cava.

A lavra de meia encosta provavelmente se tornará uma cava assim que o avanço da mina chegue até os níveis inferiores aos da usina de britagem.

A escolha do método de lavra se dará basicamente pela topografia, área de propriedade, estrutura geológica e características ambientais.

2.1.7. OPERAÇÕES UNITÁRIAS DA PRODUÇÃO

A produção de pedra britada é baseada em um ciclo de operações unitárias básicas na indústria da mineração, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 2.

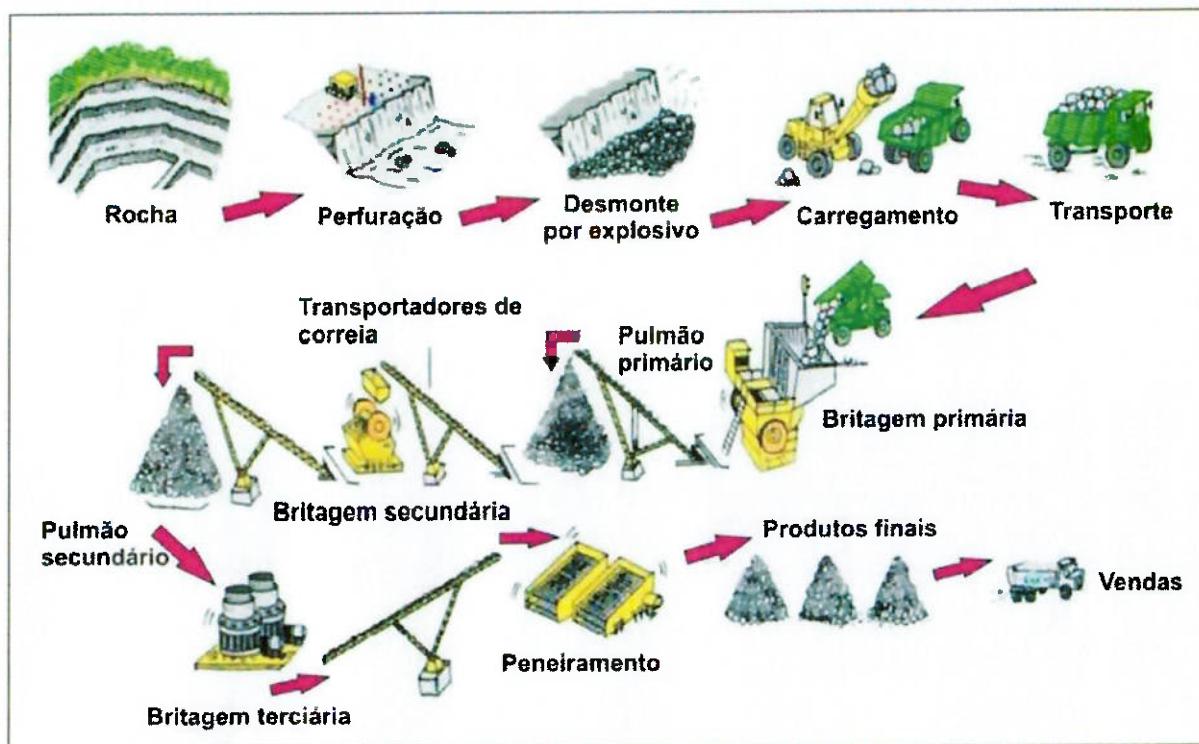


Figura 2 - Fluxograma do processo produtivo (Fonte: Revista Escola de Minas, vol.62 nº4, Ouro Preto, Out/Dez. 2009)

2.1.7.1. DECAPEAMENTO

A remoção da camada de solo residual ou outro material que esteja sobreposto a jazida é o primeiro procedimento para a abertura de uma lavra em cava. A espessura desta camada pode variar de acordo com a formação geológica regional e local, além do relevo e escoamento das águas.

Camadas muito espessas de material estéril podem dificultar ou até inviabilizar o empreendimento mineiro. Isto ocorre devido ao alto custo envolvido na movimentação de grandes volumes e local para deposição do material removido, dado a falta de espaço próximo às zonas urbanas, as quais se apresentam densamente povoadas, com fortes restrições ambientais e alto valor dos terrenos. Com isso, regiões onde a espessura do material a ser removido seja pequena facilita a instalação do projeto.

Costumeiramente, parte do solo retirado é armazenado de forma controlada a fim de ser reutilizado na recuperação topográfica e ambiental da área lavrada.

2.1.7.2. PERFURAÇÃO E DESMONTE

Método básico para a fragmentação de blocos rochosos de dureza elevada e dimensões maiores do que poucos metros, o desmonte por explosivo é uma prática cotidiana na exploração de reservas minerais.

A primeira etapa do desmonte é a perfuração do maciço em uma malha regular predeterminada, de acordo com o plano de fogo proposto pelo engenheiro de minas responsável. Os furos são executados com a utilização de perfuratrizes roto-percussivas, hidráulicas ou pneumáticas.

O desmonte é realizado pela ação dos explosivos, uma técnica muito conhecida, estudada, eficiente e com o custo menor do que o de outras técnicas de desmonte mecânico. Entretanto, para a realização do desmonte é necessário um controle extremo do processo, dado que este envolve um risco a segurança individual e coletiva, além das questões ambientais, tais como ruído, vibrações e ultralançamentos.

2.1.7.3. CARREGAMENTO E TRANSPORTE

Após o desmonte, os fragmentos da rocha se dispõem em uma pilha que deve ser retomada e encaminhada para a usina de comunuição. Para a retomada, utilizam-se escavadeiras frontais, retroescavadeiras e pás carregadeiras. Todos apresentam vantagens e desvantagens e a seleção dependerá de fatores como:

- taxa de produção;
- tipo de rocha;
- geometria da pilha;
- geometria das bancadas; e
- qualidade dos acessos.

O transporte é feito em sua grande maioria por caminhões convencionais adaptados ou fora de estrada dependendo do volume de produção e da qualidade dos acessos e da distância até a usina de britagem.

2.1.7.4. BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO

A operação de comunuição de rochas ou minérios consiste de um conjunto de técnicas com o propósito de reduzir, por ação mecânica um fragmento de determinado tamanho, em fragmentos menores. O primeiro estágio da fragmentação ocorre nas atividades de lavra, isto é, no desmonte de rocha por explosivo, em que são obtidos blocos de tamanhos variados, entretanto, adequados à alimentação dos equipamentos de britagem (FIGUEIRA, 2010).

Uma instalação de britagem na indústria da brita tem por objetivo a redução dos fragmentos de rochas compactas (ROM) até a granulometria adequada para a aplicação final do produto. A fim de realizar tal tarefa, uma unidade de britagem apresenta equipamentos de grande porte, robustos e com capacidades elevadas. Desse modo, esta é composta por:

- comunuição – Britagem e Rebritagem;
- lavagem para remoção do pó;
- peneiramento e classificação.

Os equipamentos e a formatação da usina variam de acordo com os produtos, as quantidades pretendidas na produção para cada fração, tipo de rocha, custos de instalação e operação.

Pode-se destacar como característica do processo de comunuição o alto consumo de energia. Para se atingir a ruptura de uma rocha, este consumo aumenta com a velocidade de aplicação das forças de compressão e tensão. A rocha se rompe, quando o limite de ruptura é

ultrapassado, ou seja, quando todas as ligações atômicas de um certo plano se rompem. Um fluxograma de britagem bastante comum em minas é destacado na figura 3.

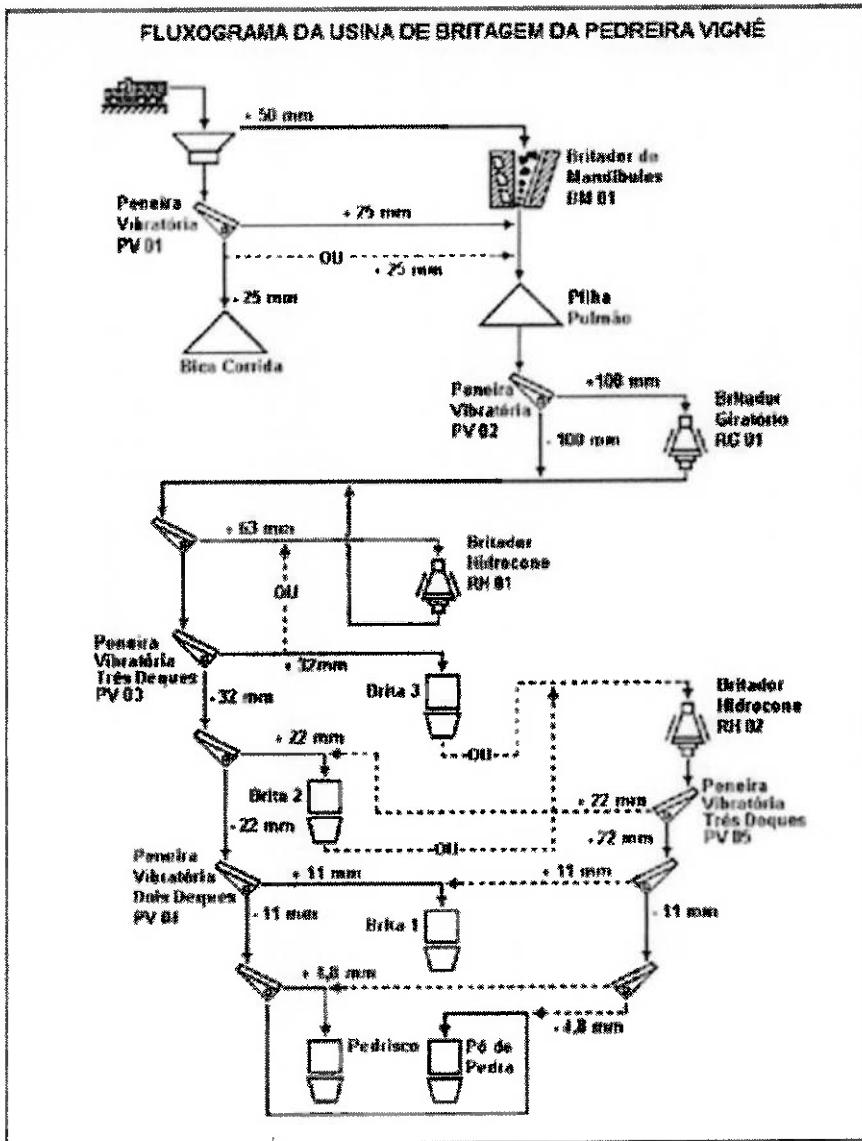


Figura 3 - Fluxograma de Beneficiamento da Mina Vigné, RJ. (Luz & Almeida, 2012)

2.1.8. SUSTENTABILIDADE

Como definido pela Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento, o desenvolvimento sustentável é o que consegue satisfazer as necessidades das gerações presentes, sem comprometer o potencial das futuras de suprir as suas. Este conceito é baseado em três pilares (“Triple Bottom Line”) social, ambiental e econômico.

Os desempenhos econômicos, ambientais e sociais refletem, respectivamente, os impactos negativos ou positivos da empresa sobre os investidores e o mercado, meios naturais - ar, terra, ecossistema e água - meio social no qual atua.

A mineração é desconhecida pela sociedade, principalmente pela falta de divulgação e pelos possíveis riscos ao meio ambiente e aos trabalhadores. Eventuais acidentes do trabalho ou ambientais produzem repercussões negativas, conflitos e desgastes com a sociedade civil. Com isto, o desenvolvimento sustentável neste ramo da indústria está cada vez mais em foco e tratado como uma meta a ser cumprida por grandes e médias empresas, que buscam uma melhor imagem, perante a sociedade desta atividade tão relevante para o desenvolvimento de um país.

2.1.8.1. USO FUTURO

Algo indispensável em projetos de mineração é a destinação que se dará para a área resultante da intervenção causada pelo empreendimento. Este item depende de uma série de elementos, como localização, legislação, meio ambiente e custos.

Comumente em zonas urbanas, antigas minerações viram parques, condôminos residenciais ou industriais, reservatórios de água, depósitos de material inerte e aterros sanitários. Alguns outros usos podem ser encontrados em bibliografia específica. Uma a ser destacada é o livro “101 THINGS TO DO WITH A HOLE IN THE GROUND” de Georgina Pearman, publicado em 2009, pela editora Eden Project.

2.2. MEIO FÍSICO

2.2.1. GEOLOGIA

Rocha é um material natural, sólido, formado por um ou mais minerais. Ela forma a litosfera, camada externa da Terra. Alguns tipos de rochas são frágeis, macios e facilmente deformáveis. Outros são duras, resistentes e duráveis.

Na mineração de brita são utilizadas rochas de diferentes formações, são elas ígneas; metamórficas e sedimentares.

No Brasil, em virtude das características geológicas, observa-se uma grande diversidade de rochas utilizadas como brita dependendo da disponibilidade local ou regional (BERTOLINO, PALERMO, & BERTOLINO, 2009).

- granitos e gnaisse: maioria dos estados brasileiros;
- basalto e diabásio: regiões sul e sudeste (Bacia do Paraná);
- calcários e dolomitos: Minas Gerais, Goiás, Bahia, Rio de Janeiro.

2.2.1.1. ÍGNEAS

São rochas resultantes da consolidação do magma na superfície ou em profundidade. Quando o resfriamento se dá de maneira lenta, comumente em grandes profundidades, ocorre à formação de cristais cujo tamanho pode variar de poucos milímetros até alguns centímetros. Já quando a consolidação ocorre em superfície, o resfriamento rápido inibe a formação de cristais visíveis a olho nu.

Durante a formação dos corpos rochosos é comum que estes apresentem uma grande variedade de composições químicas. A classificação mais comum segue a tabela 1.

Tabela 1 - Classificação das rochas ígneas (Luz & Almeida, 2012).

Rochas	Ácidas (>66% SiO ₂)	Intermediárias (66-52%SiO ₂)	Básicas (52-45% SiO ₂)	Ultrabásica (<45%SiO ₂)
Plutônica	Granito	Sienito	Gabro	Peridotito e Piroxenito
Vulcânica	Riolito	Andesito	Basalto	

Estas podem ocorrer na natureza de diferentes modos, são eles (Luz & Almeida, 2012):

- **Batólitos** – são grandes corpos de rochas plutônicas formados em profundidade, podendo ter mais de 100 km² de área de exposição superficial.
- **Lacólito** – são intrusões de rochas ígneas lentiformes, geralmente circulares ou subcirculares, concordantes com as rochas encaixantes.
- **Dique** – intrusão de forma tabular discordante, preenchendo uma fenda aberta em outra rocha.
- **Derrames de lavas** – podem ser subaquáticas ou aéreas, é possível atingirem milhares de km² em superfície.
- **Neck Vulcânico** – corpos intrusivos discordantes formados pela consolidação do magma dentro de chaminés vulcânicas que após erosão sobressaem na topografia.

2.2.1.2. METAMÓRFICAS

As rochas metamórficas são formadas a partir de qualquer tipo de rocha, independente da sua formação, inclusive rochas metamórficas, uma vez que se alterem as condições de pressão e temperatura às quais estas estão submetidas.

O metamorfismo provoca a recristalização dos minerais e, geralmente, um bandamento facilmente identificável.

As principais rochas metamórficas são gnaisse, xisto, ardósia, mármore e quartzito.

2.2.1.3. SEDIMENTARES

Estas rochas surgem a partir da erosão de rochas preexistentes e futura consolidação de sedimentos, num fenômeno chamado de diagênese. A erosão decorre da ação de agentes que provocam um intenso intemperismo físico e químico sobre as rochas. Agentes, tais como, a movimentação da água e de geleiras, vento, precipitação química ou ainda ação biogênica. Assim, estas são classificadas em relação a sua formação: clásticas, químicas e bioquímicas.

Na indústria da brita, as rochas sedimentares mais comumente utilizadas são os calcários e dolomitos, que contém mais de 50% de minerais carbonáticos. Estas também são utilizadas nas indústrias de corretivos de solos, siderúrgica, vidreira e cimenteira.

2.2.2. FEIÇÕES TOPOGRÁFICAS E CAPEAMENTO

As feições topográficas são definidas por agentes externos e internos, exógenos e endógenos respectivamente. Como agentes externos, temos os mecanismos morfogênicos, dos quais o clima é o mais importante. Por outro lado, como agentes internos têm-se, a natureza tectônica local e as características litográficas. A figura 4 destaca a dinâmica processual em geomorfologia.

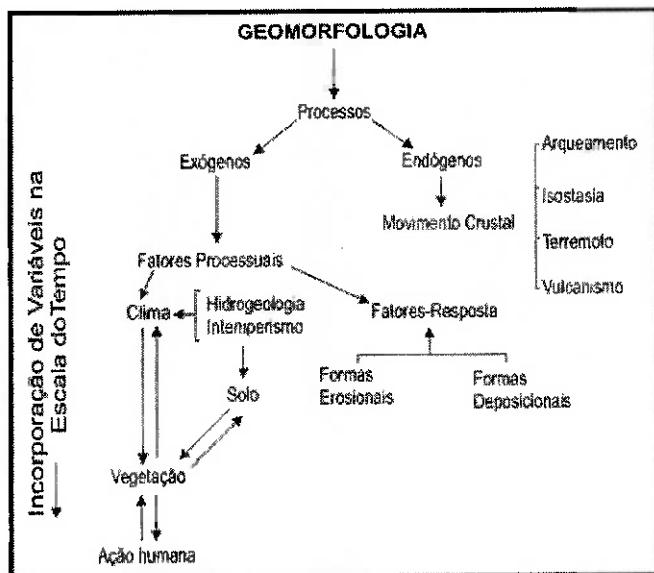


Figura 4 - Dinâmica processual em geomorfologia (CASSETI).

Em pedreiras, o capeamento pode variar de praticamente nulo (maciços aflorantes) até dezenas de metros. A espessura do capeamento sobre a rocha inalterada pode variar também, de acordo com a formação rochosa, superfície topográfica e interface com o maciço rochoso. Como apresentado na figura 5.

Esta cobertura é basicamente composta por um horizonte de solo orgânico, seguido por formações recentes e inconsolidadas, como areias e moledos, até por fim uma camada de rocha em diferentes estados de alteração.

O volume do material a ser removido é um fator fundamental para a determinação do método de lavra e para a escolha dos equipamentos a serem utilizados. Em muitos casos, após a pesquisa e consequentemente a determinação da espessura da camada e do volume de material estéril, projetos podem ser engavetados caso o custo da retirada e realocação deste material não seja economicamente viável.

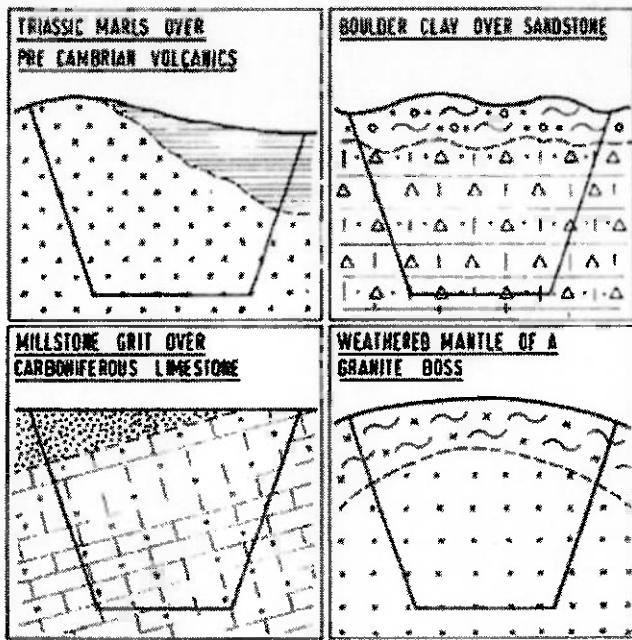


Figura 5 - Exemplos de coberturas por alteração (GWP consultants, 2007).

2.2.3. MEIO AMBIENTE

Durante a seleção das áreas-alvo é desejável dar preferência às áreas que não estejam inseridas em nenhum tipo de espaço ambientalmente protegido, previsto na legislação. Alguns destes são proibitivos e outros são altamente restritivos, isto é, exigem estudos ambientais altamente detalhados, áreas de compensação e uma recuperação minuciosa da área explotada. Os estudos exigidos estão detalhados no item relacionado à legislação Ambiental e podem variar de acordo com as normas específicas de cada área. A tabela 2 mostra um resumo das principais áreas protegidas.

Mesmo em locais que não são ambientalmente protegidos, mas, que apresentem vegetação densa, com espécies nativas em estágio médio ou superior, há também, restrições à implantação de empreendimentos mineiros, uma vez que o desmatamento será inevitável. Há casos, em que a supressão de vegetação pode ser autorizada mediante mecanismos legais de compensação.

Tabela 2 - Espaços Ambientalmente Protegidos (Gomes, 2009).

TIPO	SUBTIPO	CARACTERÍSTICAS	ASPECTOS AMBIENTAIS
Unidade de Conservação	Área de Preservação Ambiental	As UCs são espaços protegidos em que se permite a utilização sustentada de parcela de seus recursos ambientais, criadas com o objetivo de estabelecer uma forma socialmente justa e economicamente viável de exploração do ambiente que garanta a perenidade dos recursos naturais renováveis e a manutenção do equilíbrio dos processos ecológicos e da diversidade biológica.	Permite a exploração do local.
	Floresta Nacional, Estadual ou Municipal		Permite a exploração do local.
	Reserva Extrativista		Permite a exploração do local.
	Reserva de Fauna		Permite a exploração do local.
	Reserva de Desenvolvimento Sustentável		Permite a exploração do local.
	Reserva Particular do Patrimônio Nacional		Permite a exploração do local.
Área de Preservação Especial	Estação Ecológica		
	Reserva Biológica	A APPs representam uma espécie de espaço protegido que permite a completa destinação de determinada área à preservação ambiental, não admitindo a exploração dos recursos naturais, salvo quando compatível com a categoria de manejo ambiental no âmbito da sua criação.	Não permite a exploração do local.
	Parque Nacional		
	Monumento Natural		
	Refúgio de Vida Silvestre		
Área de Preservação Permanente		As APPs são, em regra, insusceptíveis de qualquer forma de utilização, ressalvados os casos em que, face à verificação da presença dos requisitos legais acima descritos, o órgão ambiental competente possa, com fundo no interesse público, autorizar a supressão da vegetação e a consequente intervenção nestes espaços ambientais.	Permite a exploração do local, desde que consiga caracterizar.
		A área de reserva legal, uma vez individualizada pela aprovação do órgão ambiental estadual e averbada no registro do imóvel rural a que se relaciona, passa a se revestir de forte caráter de irintangibilidade, pois não se admittirá nenhuma modificação de seu status protetivo. Portanto, a legislação é irreversível quanto à remoção da vegetação desse tipo de área.	Permite a exploração do local, desde que o interesse público seja atendido.
Reserva Legal		O corte, supressão e exploração da cobertura vegetal inserida nesse Bem é vedado, resguardando-se também, considerando-se também, nesse último caso, o seu estágio de regeneração.	Permite a exploração do local em estágio de vegetação secundária.
		O legislador fez surgir um regramento próprio para o exercício de atividades minerais em áreas de vegetação secundária, mediante licenciamento ambiental, em que deve ser elaborado EIA/RIMA. Para velejização primária é vedada.	Permite a exploração do local em área de vegetação secundária.
Área de Mata Atlântica			Para velejização primária é vedada.
			Explorada, com as mesmas características ecológicas, atuando na mesma bacia hidrográfica.

3. MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA

3.1. VISÃO GERAL

Um processo de decisão que envolve multicritérios, dados incompletos, imprecisos e possivelmente conflitantes é, de maneira geral, extremamente complexo. Com isto, há uma série de teorias que possibilitam uma tomada de decisão que busque a melhor opção para maximizar o desempenho e a satisfação do decisor.

Para a elaboração deste trabalho o método de decisão escolhido, reconhecido cientificamente, que apresenta as características adequadas às necessidades apresentadas é o Método da Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process - A.H.P.).

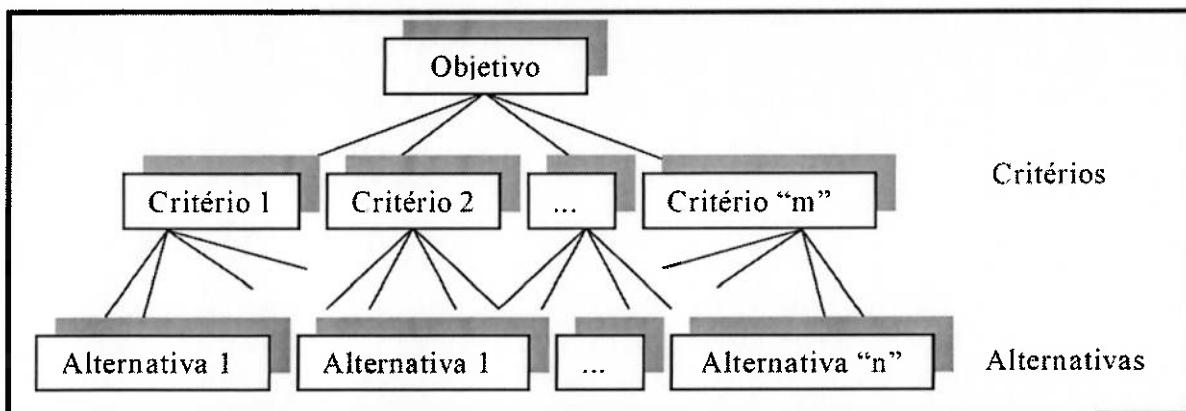
O método AHP (Analytic Hierarchy Process) é um processo multicriterial que foi desenvolvido por Tomas L. Saaty, um matemático da Universidade da Pensilvânia nos EUA, no início da década de 70. Este é o método multicritério mais conhecido e amplamente utilizado no apoio à tomada de decisão. Ele é baseado no modo de pensar cartesiano e newtoniano, os quais encaram uma série de elementos nem sempre controláveis como principais componentes de uma situação complexa. Após examinar cada item, estes são organizados, segundo propriedades comuns, em uma hierarquia.

Na disposição hierárquica, o objetivo da tomada de decisão fica no topo. É necessário decompor este fator em uma série de elementos de níveis inferiores até gerar uma árvore composta por vários níveis. Por fim, depois de alocados todos os atributos segundo níveis de prioridade. Abaixo se dispõem as alternativas para a solução do problema.

Para calcular o valor de cada elemento da árvore gerada é necessária a comparação paritária dos indicadores de mesmo nível. Este processo deve ser iniciado pelo fim, até o objetivo final (SAATY, 2000). A prioridade total ou final é obtida a partir de uma função que inclui todos os valores atribuídos a cada nível de atributo. São três as etapas de pensamento analítico (Costa, 2002):

1. **Estruturação das hierarquias:** A fim de facilitar a melhor avaliação e compreensão do problema, o método AHP é estruturado em níveis hierárquicos. Esta estruturação, como descrito, exibe em seu primeiro nível o motivo, problema envolvido na tomada de decisão, seguido pelos indicadores e por fim as alternativas. Como exibido na tabela 3.

Tabela 3 - Estrutura Hierárquica Básica



2. **Determinação das prioridades:** esta etapa é fundamentada na habilidade humana de relacionar situações observadas e os objetos envolvidos, a fim de compará-las aos pares, em função de um determinado fim, critério ou julgamentos paritários. Para tanto é necessário cumprir as seguintes etapas (Costa, 2002):

– **Julgamentos paritários:** atribuir valores a cada elemento após julgá-los par a par, dentro de um mesmo nível hierárquico, como representados na estrutura hierárquica básica, tabela 3. A tabela 4 apresenta a escala numérica proposta por SAATY, na qual atribui um valor de 1 a 9 para cada elemento em relação à sua preferência a outro. Os julgamentos são realizados com referência a um par ordenado. Caso a ordem de preferência seja a oposta a apresentada, deve-se então, atribuir o valor $1/a$, no qual a é o valor da escala numérica de SAATY.

Tabela 4 - Escala numérica de SAATY

Escala numérica	Escala Verbal	Explicação
1	Ambos elementos são de igual importância.	Ambos elementos contribuem com a propriedade de igual forma.
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro.	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro.
5	Forte importância de um elemento sobre o outro.	Um elemento é fortemente favorecido.
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro.	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro.
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro.	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes.	Usados como valores de consenso entre as opiniões.
Incremento 0.1	Valores intermediários na graduação mais fina de 0.1.	Usados para graduações mais finas das opiniões.

O final deste processo resultará em uma matriz pareada, de comparações unitárias. A quantidade de julgamentos necessários para a construção de uma matriz de julgamentos genérica A é $n(n-1)/2$, onde n é o número de elementos pertencentes a esta matriz. Os elementos de A são definidos pelas condições (SAATY, 2000):

	A	B	C	D
A	1	a_{12}	a_{13}	a_{14}
B	$1/a_{12}$	1	a_{23}	a_{24}
C	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1	A_{34}
D	$1/a_{14}$	$1/a_{34}$	A_{34}	1

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \cancel{1/a_{21}} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \cancel{1/a_{n1}} & \cancel{1/a_{n2}} & \cdots & 1 \end{bmatrix}, \text{ onde: } \begin{aligned} a_{ij} > 0 &\Rightarrow \text{positiva} \\ a_{ij} = 1 &\therefore a_{ji} = 1 \\ a_{ij} = \cancel{1/a_{ji}} &\Rightarrow \text{recíproca} \\ a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} &\Rightarrow \text{consistência} \end{aligned}$$

– **Normalização das matrizes de julgamento:** inicialmente, somam-se os elementos de cada coluna da matriz pareada. Posteriormente, há de se dividir cada elemento desta matriz pela somatória dos valores da respectiva coluna. Como podemos ver na matriz Aw:

$$Aw = \left| \begin{array}{cccc} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ \sum_{i=1}^m a_{i1} & \sum_{i=1}^m a_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^m a_{im} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \bar{a}_{m1} & \bar{a}_{m2} & \cdots & \bar{a}_{mm} \\ \sum_{i=1}^m a_{i1} & \sum_{i=1}^m a_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^m a_{im} \end{array} \right|$$

– **Cálculo das prioridades médias locais (PML's):** calculam-se as médias das linhas do quadro normalizado. O qual resultara no vetor C:

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ \cdots \\ \cdots \\ c_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{a_{11} + a_{12} + \cdots + a_{1m}}{\sum_{i=1}^m a_{i1} + \sum_{i=1}^m a_{i2} + \cdots + \sum_{i=1}^m a_{im}} \\ \cdots \\ \cdots \\ \frac{\bar{a}_{m1} + \bar{a}_{m2} + \cdots + \bar{a}_{mm}}{\sum_{i=1}^m a_{i1} + \sum_{i=1}^m a_{i2} + \cdots + \sum_{i=1}^m a_{im}} \end{bmatrix}$$

– **Cálculo das prioridades globais:** ao multiplicar as matrizes A e C tem-se um vetor de prioridades global (PG); neste está armazenada a prioridade associada a cada alternativa em relação ao objetivo principal.

$$A \cdot C = \begin{vmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & 1 \end{vmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ \vdots \\ c_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix}$$

3. **Consistência lógica:** o ser humano tem a habilidade de estabelecer relações entre objetos ou ideias de forma que elas sejam coerentes, tal que estas se relacionem bem entre si e suas relações apresentem consistência (SAATY, 2000). Portanto, o método A.H.P. propõe o cálculo da Razão de Consistência dos julgamentos, descrita por $RC = IC/IR$, no qual, IR é o Índice de Consistência Randômico, que pode ser obtido a partir de uma matriz recíproca de ordem n. Esta é composta por elementos não negativos e gerada aleatoriamente. O Índice de Consistência (IC) é obtido por $IC = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$, no qual, λ_{\max} é o maior autovalor da matriz de julgamentos paritários. A condição de consistência dos julgamentos é $RC \leq 0,10$ (SAATY, 2000).

3.2. METODOLOGIA PROPOSTA

Uma vez que se deseja determinar a área alvo a ser pesquisada, o resultado do método proposto deverá atribuir o maior valor para a melhor alternativa. Este modelo propõe para a tomada de decisão seis etapas que devem ser seguidas para se obter um resultado satisfatório. São elas:

1. definir os objetivos, indicadores e alternativas;
2. estruturar a árvore hierárquica, que apresentam estes;
3. julgamento paritário entre os fatores de cada nível;
4. verificação da consistência dos dados obtidos;
5. utilização dos dados obtidos na prospecção mineral para a execução do método; e
6. decisão tomada a partir da classificação das alternativas.

3.3. DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS

Os aspectos e indicadores são responsáveis por traduzir todos os interesses envolvidos em alguns poucos itens subdivididos em categorias. As principais a serem destacadas são: meio físico e meio antrópico. Estes elementos envolvem todos os temas de maior relevância e mencionados em qualquer bibliografia sobre o assunto. A tabela 5 apresenta os aspectos e indicadores selecionados como mais relevantes.

Tabela 5 - Tabela de aspectos e indicadores envolvidos no processo

Aspectos	Indicadores
Meio Antrópico	Licenciamento
	Produção e Concorrência
	Localização
	Mercado Consumidor
	Infraestrutura
	Métodos de Lavra
	Operações Unitárias
	Sustentabilidade
Meio Físico	Geologia
	Feições Topográficas e Capeamento
	Meio Ambiente

Uma vez, com estes estabelecidos, os critérios e subcritérios são selecionados de maneira a englobar todos os aspectos e indicadores estabelecidos anteriormente. Esses devem ser poucos, a fim de facilitar o desenvolvimento da técnica e que permitam uma análise justa e consistente das alternativas destacadas. Hierarquias incompletas podem ser tratadas como completas, uma vez que se atribui o valor zero quando não existe relação entre os itens (SAATY, 2000).

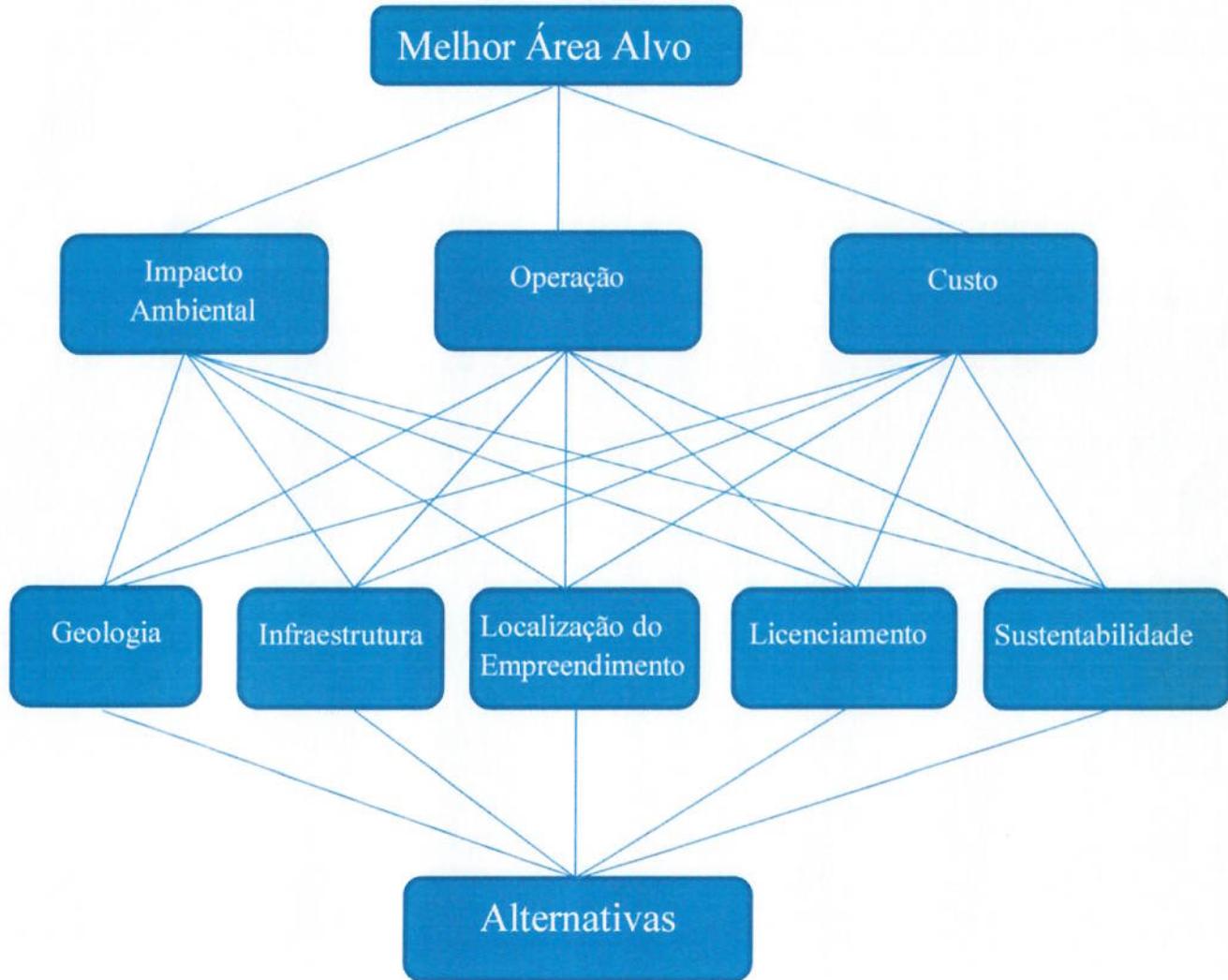
Caso seja necessário um número maior de critérios e subcritérios, níveis superiores à segunda hierarquia, a complexibilidade dos cálculos envolvidos aumenta e, portanto, alguns softwares foram desenvolvidos para auxiliar neste processo. Um exemplo é o *Expert Choice*.

A tabela 6 apresenta os critérios e subcritérios utilizados e suas relações com os indicadores e a figura 6 apresenta a estrutura hierárquica proposta.

Tabela 6 - Tabela de Critérios e Subcritérios

Critérios	Subcritérios	Relação com os Indicadores
Impacto Ambiental	Geologia	Para cada formação geológica há uma propagação das vibrações, geração de finos e outros como liberação de gases ou partículas radioativas.
	Infraestrutura	A instalação da infraestrutura pode impactar o meio ambiente na localidade.
	Localização do Empreendimento	O estágio da vegetação e áreas de proteção ambiental podem inviabilizar um empreendimento mineiro.
	Licenciamento	O licenciamento ambiental é fundamental para a instalação de um empreendimento mineiro.
	Sustentabilidade	O Impacto ambiental é um dos três pilares da sustentabilidade.
Operação	Geologia	Tipo de rocha influencia no método de lavra.
	Infraestrutura	Para a instalação de uma operação mineira há necessidade de uma complexa infraestrutura.
	Localização do Empreendimento	Em localizações urbanas, há a necessidade de maiores controles durante a operação.
	Licenciamento	O método de lavra a ser utilizado é fundamental para o licenciamento do empreendimento.
	Sustentabilidade	Durante as operações a sustentabilidade é fundamental no aproveitamento das reservas e o compromisso com a sociedade.
Custo	Geologia	Tipo de rocha e sua estrutura influem no consumo de explosivos e desgaste de equipamentos.
	Infraestrutura	Caso não haja infraestrutura já instalada, há o custo expressivo para a instalação desta.
	Localização do Empreendimento	Em zonas urbanas, há especulação imobiliária que encarece o valor do terreno.
	Licenciamento	O valor necessário para se licenciar um empreendimento pode inviabilizá-lo.
	Sustentabilidade	Um empreendimento sustentável necessita de receitas extras para lidar com a sociedade e o meio ambiente.

Figura 6 - Estrutura hierárquica proposta



3.4. JULGAMENTOS PARITÁRIOS

O método permite que se possa fazer o julgamento paritário a cada vez que o método for utilizado, uma vez que os critérios podem ter suas relevâncias alteradas de acordo com a localização, legislação, economia, oportunidades de mercado entre outros fatores. Um exemplo é o fator ambiental que no passado não se apresentava com a relevância atual.

Este trabalho irá propor um julgamento com auxílio de diversos profissionais com uma vasta experiência nos diversos ramos da mineração. Portanto, o julgamento final será a média das notas dadas por cada um dos envolvidos. A pretensão é que este julgamento seja utilizado para a maioria das aplicações no tema proposto e como base para as mais diversas situações que apresentem elementos específicos diversos para o decisor. As tabelas 7, 8, 9, 10 e 11 exibem o julgamento e a identidade do profissional que a elaborou. Vale ressaltar novamente que os julgamentos são realizados com referência a um par ordenado. Caso a ordem de preferência seja a oposta a apresentada, deve-se então, atribuir o valor $1/a$, no qual a é o valor da escala numérica de SAATY.

Tabela 7- Julgamento Professora Doutora Ana Carolina Chieregati – Engenheira de Minas.

Julgamento Paritário – Áreas-Alvo	
5	Impacto Ambiental em relação à Operação
1/5	Custo em relação ao Impacto Ambiental
1	Custo em relação à Operação

Julgamento Paritário - Impacto Ambiental	
1	Geologia em relação à Infraestrutura, com base no Impacto Ambiental.
1	Geologia em relação à Localização, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Geologia em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
1	Infraestrutura em relação à Localização, com base no Impacto Ambiental.
1/5	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Localização em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
1	Localização em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.

Julgamento Paritário - Operação	
3	Geologia em relação à Infraestrutura, com base na Operação.
3	Geologia em relação à Localização, com base na Operação.
5	Geologia em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
5	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
5	Infraestrutura em relação à Localização, com base na Operação.
3	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
3	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
1/5	Localização em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
1/3	Localização em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
1/3	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.

Julgamento Paritário - Custo	
1/7	Geologia em relação à Infraestrutura, com base no Custo.
1/9	Geologia em relação à Localização, com base no Custo.
1/5	Geologia em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
1/3	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
1/3	Infraestrutura em relação à Localização, com base no Custo.
3	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
3	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
5	Localização em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
5	Localização em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
1/3	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.

Tabela 8- Julgamento Professor Doutor Hélio Shimada – Geólogo.

Julgamento Paritário – Áreas-Alvo	
7	Impacto Ambiental em relação à Operação
1/3	Custo em relação ao Impacto Ambiental
3	Custo em relação à Operação

Julgamento Paritário - Impacto Ambiental	
1/3	Geologia em relação à Infraestrutura, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Geologia em relação à Localização, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Geologia em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
3	Infraestrutura em relação à Localização, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
3	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
1	Localização em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
3	Localização em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
5	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.

Julgamento Paritário - Operação	
3	Geologia em relação à Infraestrutura, com base na Operação.
3	Geologia em relação à Localização, com base na Operação.
3	Geologia em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
3	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
5	Infraestrutura em relação à Localização, com base na Operação.
3	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
3	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
1/5	Localização em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
1/5	Localização em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
5	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.

Julgamento Paritário - Custo	
1/7	Geologia em relação à Infraestrutura, com base no Custo.
1/7	Geologia em relação à Localização, com base no Custo.
1/5	Geologia em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
1/5	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
1/3	Infraestrutura em relação à Localização, com base no Custo.
3	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
3	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
5	Localização em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
5	Localização em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
3	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.

Tabela 9 – Julgamento Adriana Campagnoli Gerdenits – Engenheira Ambiental.

Julgamento Paritário – Áreas-Alvo	
1/5	Impacto Ambiental em relação à Operação
1/3	Custo em relação ao Impacto Ambiental
1	Custo em relação à Operação

Julgamento Paritário - Impacto Ambiental	
1/7	Geologia em relação à Infraestrutura, com base no Impacto Ambiental.
4	Geologia em relação à Localização, com base no Impacto Ambiental.
1	Geologia em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
1/7	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
1	Infraestrutura em relação à Localização, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
1/7	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
1	Localização em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
1/7	Localização em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
1	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.

Julgamento Paritário - Operação	
1	Geologia em relação à Infraestrutura, com base na Operação.
1/4	Geologia em relação à Localização, com base na Operação.
1/3	Geologia em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
7	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
3	Infraestrutura em relação à Localização, com base na Operação.
1/3	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
6	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
1/6	Localização em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
7	Localização em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
9	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.

Julgamento Paritário - Custo	
6	Geologia em relação à Infraestrutura, com base no Custo.
5	Geologia em relação à Localização, com base no Custo.
6	Geologia em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
5	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
1/6	Infraestrutura em relação à Localização, com base no Custo.
3	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
7	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
7	Localização em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
8	Localização em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
8	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.

Tabela 10 - Julgamento Mestre Fábio José Prati - Engenheiro de Minas.

Julgamento Paritário – Áreas-Alvo	
3	Impacto Ambiental em relação à Operação
3	Custo em relação ao Impacto Ambiental
1	Custo em relação à Operação

Julgamento Paritário - Impacto Ambiental	
1/3	Geologia em relação à Infraestrutura, com base no Impacto Ambiental.
1/5	Geologia em relação à Localização, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Geologia em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
1/5	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Infraestrutura em relação à Localização, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
5	Localização em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
1	Localização em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
1	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.

Julgamento Paritário - Operação	
5	Geologia em relação à Infraestrutura, com base na Operação.
5	Geologia em relação à Localização, com base na Operação.
1	Geologia em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
1/3	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
5	Infraestrutura em relação à Localização, com base na Operação.
1	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
1/3	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
1/5	Localização em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
1/3	Localização em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
1	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.

Julgamento Paritário - Custo	
1/5	Geologia em relação à Infraestrutura, com base no Custo.
1/5	Geologia em relação à Localização, com base no Custo.
1/3	Geologia em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
1/3	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
1/3	Infraestrutura em relação à Localização, com base no Custo.
3	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
3	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
3	Localização em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
3	Localização em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
1	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.

Tabela 11 - Julgamento Bento Machado Sipoli - Engenheiro de Minas.

Julgamento Paritário – Áreas-Alvo	
7	Impacto Ambiental em relação à Operação
1	Custo em relação ao Impacto Ambiental
1	Custo em relação à Operação

Julgamento Paritário - Impacto Ambiental	
1/5	Geologia em relação à Infraestrutura, com base no Impacto Ambiental.
1/5	Geologia em relação à Localização, com base no Impacto Ambiental.
1/3	Geologia em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
1/7	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
1	Infraestrutura em relação à Localização, com base no Impacto Ambiental.
1/5	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
1/7	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
7	Localização em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
3	Localização em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
1	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.

Julgamento Paritário - Operação	
5	Geologia em relação à Infraestrutura, com base na Operação.
5	Geologia em relação à Localização, com base na Operação.
1	Geologia em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
1/5	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
1/5	Infraestrutura em relação à Localização, com base na Operação.
1	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
1/3	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
1/5	Localização em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
1/3	Localização em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
1/3	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.

Julgamento Paritário - Custo	
1/5	Geologia em relação à Infraestrutura, com base no Custo.
1/7	Geologia em relação à Localização, com base no Custo.
1/3	Geologia em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
1/5	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
1/5	Infraestrutura em relação à Localização, com base no Custo.
3	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
5	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
5	Localização em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
5	Localização em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
1	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.

A tabela 12 mostra o resultado final dos julgamentos. Isto é a média de todos os julgamentos efetuados.

Tabela 12 – Média final dos julgamentos.

Julgamento Paritário – Áreas-Alvo	
4,44	Impacto Ambiental em relação à Operação
0,91	Custo em relação ao Impacto Ambiental
1,40	Custo em relação à Operação

Julgamento Paritário - Impacto Ambiental	
0,56	Geologia em relação à Infraestrutura, com base no Impacto Ambiental.
1,31	Geologia em relação à Localização, com base no Impacto Ambiental.
0,47	Geologia em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
0,27	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
1,27	Infraestrutura em relação à Localização, com base no Impacto Ambiental.
0,28	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
0,83	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
1,53	Localização em relação ao Licenciamento, com base no Impacto Ambiental.
1,23	Localização em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.
1,53	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base no Impacto Ambiental.

Julgamento Paritário - Operação	
3,00	Geologia em relação à Infraestrutura, com base na Operação.
2,85	Geologia em relação à Localização, com base na Operação.
2,87	Geologia em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
4,07	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
4,60	Infraestrutura em relação à Localização, com base na Operação.
2,07	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
3,07	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
0,19	Localização em relação ao Licenciamento, com base na Operação.
1,64	Localização em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.
3,13	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base na Operação.

Julgamento Paritário - Custo	
1,33	Geologia em relação à Infraestrutura, com base no Custo.
1,11	Geologia em relação à Localização, com base no Custo.
1,39	Geologia em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
1,24	Geologia em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
0,30	Infraestrutura em relação à Localização, com base no Custo.
3,00	Infraestrutura em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
3,80	Infraestrutura em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
5,00	Localização em relação ao Licenciamento, com base no Custo.
5,20	Localização em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.

2,53

2,53	Licenciamento em relação à Sustentabilidade, com base no Custo.
------	---

Na tabela 13 é apresentada a matriz pareada do nível 2 e na tabela 14 é apresentada a matriz pareada do nível 3.

Tabela 13 - Matriz pareada do nível 2.

Critérios	Impacto Ambiental	Operação	Custo
Impacto Ambiental	1,00	4,44	1,10
Operação	0,23	1,00	0,71
Custo	0,91	1,40	1,00

Tabela 14 - Matriz pareada do nível 3.

Impacto Ambiental	Geologia	Infraestrutura	Localização	Licenciamento	Sustentabilidade
Geologia	1,00	0,56	1,31	0,47	0,27
Infraestrutura	1,78	1,00	1,27	0,28	0,83
Localização	0,77	0,79	1,00	1,53	1,23
Licenciamento	2,14	3,57	0,65	1,00	1,53
Sustentabilidade	3,72	1,21	0,81	0,65	1,00

Operação	Geologia	Infraestrutura	Localização	Licenciamento	Sustentabilidade
Geologia	1,00	3,00	2,85	2,87	4,07
Infraestrutura	0,33	1,00	4,60	2,07	3,07
Localização	0,35	0,22	1,00	0,19	1,64
Licenciamento	0,35	0,48	5,17	1,00	3,13
Sustentabilidade	0,25	0,33	0,61	0,32	1,00

Custo	Geologia	Infraestrutura	Localização	Licenciamento	Sustentabilidade
Geologia	1,00	1,33	1,11	1,39	1,24
Infraestrutura	0,75	1,00	0,30	3,00	3,80
Localização	0,90	3,33	1,00	5,00	5,20
Licenciamento	0,72	0,33	0,20	1,00	2,53
Sustentabilidade	0,81	0,26	0,19	0,39	1,00

Por fim, obtemos as matrizes auto vetor para cada nível, que apresentam a relevância de cada elemento. Estas são exibidas nas tabelas 15 e 16.

Tabela 15- Matriz Auto vetor nível 2(Critérios).

Impacto Ambiental	0,47
Operação	0,16
Custo	0,37

Tabela 16 - Matriz Auto vetor nível 3(Subcritérios).

	Impacto Ambiental	Operação	Custo
Geologia	0,13	0,45	0,27
Infraestrutura	0,16	0,22	0,17
Localização	0,24	0,09	0,38
Licenciamento	0,28	0,16	0,10
Sustentabilidade	0,20	0,08	0,09

A matriz auto vetor de nível 4 é obtida a partir do mesmo procedimento realizado para a obtenção da matriz pareada do nível 3(subcritérios) em relação ao nível 2(critérios). Isto é, julgar cada alternativa proposta em relação aos fatores do nível imediatamente anterior, com base na escala numérica de SAATY.

Para se determinar qual é a melhor alternativa, basta multiplicar as matrizes Nível2 x Nível3 x Nível4. Assim, obter-se-á uma nota para cada alternativa. A alternativa que apresentar a maior será a que deverá ser escolhida para a realização da pesquisa mineral.

4. CONCLUSÕES

O método da Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process - A.H.P.) é uma ferramenta de engenharia extremamente eficaz e apresentou-se adequada para o objetivo da seleção de áreas alvo para a realização de pesquisa mineral e futura instalação de um projeto de mineração. Vale ressaltar que esta ferramenta tem uso ilimitado nas mais diversas áreas da engenharia e pode ser amplamente utilizada. Existem vários softwares no mercado que auxiliam na utilização desse método.

Como resultado, baseados no método científico utilizado, foram definidas as matrizes auto vetores 2 e 3 com o auxílio de profissionais atuantes no mercado que com seus conhecimentos e experiência dão credibilidade aos resultados.

Isto posto, o decisor terá apenas que realizar a última fase do método proposto. Isto é, a elaboração da matriz de nível 4, que qualifica as áreas alvo, e em seguida multiplicar as matrizes Nível2 x Nível3 x Nível4. Desta maneira, obter-se-á um valor quantitativo que represente o potencial de cada alternativa, quanto maior for este valor, maior será o potencial desta área. E a partir desta nota a decisão estará embasada cientificamente e apresentará a credibilidade necessária para algo que envolve grandes volumes de capital e o bem estar da sociedade.

5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Azcárate Martín, J. E. (José Enrique) Azcárate Martín, J. E. (1982). *Introducción a la metodología de investigación minera*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- BERTOLINO, L. C., PALERMO, N., & BERTOLINO, A. V. (2009). *Geologia*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT.
- CASSETI, V. (s.d.). www.funape.org.br/geomorfologia/index.php. Acesso em 02 de setembro de 2013, disponível em Geomorfologia: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/index.php>
- Chaves, A. P., & Peres, A. E. (2012). *Teoria e Prática do Tratamento de Minérios* (Vol. 3). São Paulo: Oficina de Textos.
- Costa, H. G. (2002). *Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão*. Niterói.
- FERREIRA, G. E., & FONSECA JÚNIOR, C. A. (2012). *Mercado de Agregados*. Rio de Janeiro: CETEM.
- FIGUEIRA, H. V. (2010). *Cominuição*. In: *Tratamento de Minérios*. Rio de Janeiro: CETEM.
- Gomes, M. F. (dezembro de 2009). Metodologia de análise hierárquica aplicada para escolha do sistema de disposição de subprodutos da mineração com ênfase nos rejeitos de minério de ferro. Ouro Preto, MG, Brasil.
- GWP consultants. (2007). *Quarry Design Handbook*. Oxfordshire: GWP consultants.
- Luz, A. B., & Almeida, S. L. (2012). *Manual de Agregados para a construção civil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI.
- Maranhão, R. J. (1989). *Introdução a pesquisa mineral*. Fortaleza: Imprensa Universitaria da Ufc.
- Marjoribanks, R. W. (1997). *Geological methods in mineral exploration and mining*. London: Springer.
- Fluxograma do processo produtivo. (Out/Dez. 2009). *Revista Escola de Minas*, vol.62 nº4.
- Prentice, J. E. (1990). *Geology of Construction Materials*. London: Chapman & Hall.
- SAATY, T. (2000). *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. Pittsburgh, Pa.: RWS Publications.
- Shimizu, T. (2006). *Decisão nas organizações*. São Paulo: Atlas.

SMITH, M. R., & COLLINS, L. (2001). *AGGREGATES*. London: Geological Society.