

IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELAS EXPLOTAÇÕES DE QUARTZITO NA REGIÃO DE OURO PRETO

M. F. Meyer¹, J.C.Pontes², J.B.M.Souza³

1 - **Mauro Froes Meyer** - Professor do CEFET - PA (Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará). Avenida Pedro Miranda, 1618 - Apto: 209 - Ed. Dom Lourenzo - Bairro: Pedreira - Belém - PA - CEP: 66.080.000 Telefone: (091) 3233-2280 (Ramal: 209) - Residencial e (084) 9401-8563 (Celular) . E - mail: mf.meyer@terra.com.br e mf.meyer@hotmail.com

2 - **Julio César de Pontes** - Professor do CEFET - RN (Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte) na Gerência de Recursos Naturais (GERN) - Geologia e Mineração. Rua Romualdo Galvão 3673, Apart. 303-B - Bairro: Lagoa Nova - Natal - RN - CEP: 59.056-100 Telefone: (084) 3234-9995 (Residencial) e (084) 9451-5561 (Celular) e (084) 4005-2636 (Serviço). E - mail: julioep@terra.com.br e juliocesar@cefetrn.br

3 - **João Batista Monteiro de Souza** - Professor do CEFET - RN (Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte) na Gerência de Recursos Naturais (GERN) - Geologia e Mineração. Avenida da Integração, Apart. 304-C - Bairro: Candelária - Natal - RN - CEP: 59.067-780 Telefone: (084) 3234-1388 (Residencial) e (084) 9481-5683 (Celular) e (084) 4005-2636 (Serviço). E - mail: joabatista@cefetrn.br

RESUMO

Nas últimas quatro décadas tem ocorrido a expansão de explorações de quartzitos nas proximidades da cidade de Ouro Preto para utilização na construção civil e até para exportação. Tais explorações estão sendo feitas sem o mínimo planejamento, promovendo problemas ambientais graves. Apesar da lavra de quartzitos ser uma ocupação provisória do terreno, esta atividade pode causar impactos ambientais graves. Por outro lado, esta atividade é importante para a região em termos de geração de emprego. Um dos principais objetivos deste artigo é analisar estas atividades identificando seus principais impactos e propondo medidas corretivas considerando o uso futuro da área.

Palavras chave: quartzitos, impactos ambientais, explorações

1. INTRODUÇÃO

1.1 Localização e Geologia Regional

A região de Ouro Preto está localizada no Quadrilátero Ferrífero. O Quadrilátero Ferrífero está situado no extremo sul do cráton São Francisco apresentando uma área de aproximadamente 7.000 Km², sendo delimitado pelas cidades de Itabira, a nordeste, Mariana, a sudeste, Congonhas do Campo, a sudoeste e Itáuna, a noroeste. Várias outras cidades estão incluídas no Quadrilátero Ferrífero como Belo Horizonte, Nova Lima, Sabará, Santa Bárbara, Itabirito e Ouro Preto (Figura.1).



Figura 1. Mapa do Quadrilátero Ferrífero com indicação da região de Ouro Preto.

O Quadrilátero Ferrífero se distingue em relação às áreas adjacentes por conter um conjunto de características fisiográficas, geológicas e geo-econômicas notáveis, sendo considerado como uma das áreas clássicas da Geologia pré-cambriana do mundo. O Quadrilátero Ferrífero é constituído, estratigraficamente pelas seguintes unidades:

- Complexos Metamórficos, Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas, Grupo Sabará e Grupo Itacolomi, sendo possível reconhecer, também, coberturas cenozóicas.

1.2 Geologia Local

A área considerada para esta avaliação é composta em sua maioria pelos quartzitos da Formação Moeda, pertencente ao grupo Caraça, Supergrupo Minas de idade Proterozóica. O quartzito apresenta-se com uma coloração que varia de branca a rosa e a textura varia de fina a média, estando localmente alterado. Em alguns pontos estes quartzitos apresentam feições curiosas que se destacam e se transformam em pontos de visitação para turistas.

2. LAVRA DE QUARTZITOS

As explorações de quartzito são executadas a céu aberto, por bancos, e os blocos irregulares de melhor qualidade selecionados são retirados da encosta e cortados em fatias que são arremessadas para baixo e finalmente divididas em pedras de revestimento de acordo com os padrões comerciais vigentes. A tecnologia de corte é muito rudimentar e consiste basicamente na utilização ocasional de pequenas quantidades de pólvora seca e ferramentas tradicionais para corte e alavancagem.

As lavras conduzidas pelos pequenos mineradores são artesanais. Primeiro procuram-se as áreas de interesses, classificando-as pela textura do material, cor e proximidade da superfície. Nos locais onde o capejamento é pouco espesso ou a rocha aflorante está alterada, remove-se este material com enxada, pá e picaretas e o transporta em carrinho de mão para um dos lados da frente de serviço, ou o deposita num local o mais próximo possível, evitando-se assim transportar o material por grandes distâncias. No campo, foram identificados três métodos diferentes de exploração, que serão descritos abaixo.

2.1 Primeiro Método: Manual

O processo de extração é iniciado após obterem-se duas faces livres da superfície da rocha; aproveitando-se dos planos de fraturas, presente no depósito e por intermédio de alavancas, cunhas e marretas. Inicia-se a separação do bloco de forma muito lenta e trabalhosa. Obtido o bloco, procede-se à separação das placas através da introdução das cunhas nos planos de clivagem da rocha concomitantemente com a aplicação de golpes com marretas. Nesta fase são utilizadas cunhas de diversos comprimentos, obtendo-se como produto final as denominadas lajotas que são classificadas segundo seu tamanho ou área. Na faixa de 40x40cm, temos os denominados lajões. Na faixa de 20x20cm temos as lajinhas. O produto final da lavra é transportado, por arrastamento, até um local próximo de uma estrada a mais ou menos uns 50 metros da frente de serviço, onde é empilhado e transportado para o beneficiamento.

2.2 Segundo Método: Misto ou com Utilização de Explosivo

Após a remoção do capeamento ou em locais onde a rocha é aflorante, o trabalhador faz os furos com diâmetro, normalmente, de 7/8 de polegada, da seguinte forma: Faz-se o coroamento utilizando-se de uma ponteira, chamada de "picote" e marreta sendo que a ponteira vai recebendo os golpes da marreta e um homem faz a rotação manual da ponteira, até uma profundidade da ordem de 1,0 a 1,1 metros. Concluído o furo, carrega-se com explosivo, geralmente dinamite, e escorva com cordel detonante NP-5, o qual é ligado a espoleta simples e ao mantopim. Neste ponto o furo está pronto para ser detonado. Após a detonação, geralmente, obtém-se uma bloco com dimensões próximas de 1,5m x 1,5m x 1,0 m. Os blocos são trabalhados manualmente conforme comentado no item 2.1 e o produto final é obtido da mesma forma citada acima, no primeiro método. A vantagem do método é o baixo custo. A desvantagem é a baixa produtividade. Normalmente detona-se um furo por vez.

2.3 Terceiro método: Mecanizado

A operação de limpeza da frente de lavra e remoção de solo ou rochas alteradas é realizada por trator de esteiras e carregadeira e tal qual no método artesanal o estéril é depositado num local próximo da frente de serviço, porém de forma mais organizada. Muitas vezes, à medida que a lavra vai avançando, as áreas lavradas vão sendo cobertas, desconsiderando a possibilidade de aproveitamento posterior do quartzito em profundidade. Em seguida, por intermédio da perfuração pneumática, são feitos furos que atingem de 5,0 m até 15 m de comprimento e com diâmetro do furo de 3 polegadas, dependendo da espessura da camada compacta que está sendo lavrada.

Muitas vezes esses blocos são classificados como estéril e precisam ser removidos para dar seqüência à lavra. O desmonte consiste, na detonação de uma única linha de furos espaçados de 4m entre si com afastamento de 3,5m da face da rocha. O carregamento é feito da seguinte forma:

- Tampão de 3,5m de comprimento.
- Explosivo do tipo ANFO granulado de densidade 0,8g/cm³.
- Cerca de 20% do comprimento total é preenchido com explosivo do tipo emulsão encartuchada de dimensão 2 1/4" x 24".

A iniciação dos explosivos da coluna é feita com uma peça de coluna de acessório tipo "None1" de comprimento próximo à profundidade do furo. As peças de coluna são interligadas na superfície por uma linha tronco de cordel detonante NP-5, a qual, por sua vez é iniciada por um conjunto estopim - espoleta de 1,0m de comprimento. Após a detonação, o processo de extração das lajotas é similar aos descritos no método artesanal. Em todos os três métodos os impactos ambientais sobre o solo, a vegetação, o ecossistema aquático, a fauna, a estética do depósito de estéril e a área lavrada são equivalentes.

3 - BENEFICIAMENTO

A instalação de beneficiamento é bastante simples. Normalmente é equipada por duas máquinas. A máquina de corte é acionada por um motor elétrico de 15 CV e 1750 RPM, que trabalha fixa em uma estrutura móvel construída por cantoneira e chapas de aço que se movimenta sobre trilhos. Os produtos, "in natura", são posicionado sobre a referida estrutura, que é deslocada lentamente a medida que se gira uma manivela, posicionada num dos lados na parte baixa. Enquanto a estrutura se desloca lentamente, a água flui livremente sobre a serra e a rocha, facilitando o corte e evitando a formação de poeira. As peças são cortadas em forma retangular com dimensões segundo especificação do cliente. As máquinas, em geral, têm capacidade de corte de 50 a 60 m² de rocha por dia.

A máquina de polimento é também acionada por um motor elétrico de 15 CV e 1750 RPM e é composta por um conjunto de quatro suportes, interligados, em que as coroas diamantadas são acopladas. As lajes são posicionadas sobre uma superfície plana, construída de alvenaria. O conjunto gira sobre a superfície da laje em contato com a água fazendo o polimento. A máquina tem capacidade de produção variando de 30 a 40 m²/dia.

4. A LAVRA E A DISPOSIÇÃO DE ESTÉREIS

Uma dos impactos mais visíveis ao meio ambiente e também ao patrimônio histórico é causado pelas unidades de beneficiamento que estão situadas às margens da rodovia dos Inconfidentes (entre Ouro Preto e Mariana) onde o rejeito das serrarias é disposto aleatoriamente às margens da rodovia sem qualquer preocupação com os transeuntes, incluindo turistas que visitam o sítio histórico de Ouro Preto. Além do impacto visual causado pelos entulhos, a água contaminada gerada no processo de serraria e polimento dos quartzitos é despejada diretamente no solo, sem qualquer tratamento para contenção de finos e reaproveitamento. Nas áreas visitadas em Ouro Preto (Bairros Taquaral, São Cristóvão e Periquitos) pode-se observar, nitidamente, estes tipos de impactos e, praticamente, nada tem sido realizado pelos responsáveis para reduzir estes impactos. Pode ser observado que à medida que avança a lavra dos quartzitos, o estéril tem sido depositado nas margens de rios causando assim o seu desvio e uma diminuição do volume de água. Caso continue este procedimento se poderá chegar inclusive ao assoreamento de alguns cursos de água da região. Esta atividade, também, foi uma das responsáveis pelo desaparecimento de algumas espécies de peixes que, segundo informações obtidas no local, eram bastante abundantes.

A forma como este estéril é depositado acarreta na eliminação de parte da vegetação existente na área. Este fato é agravado na estação chuvosa ocorrendo, possivelmente, o carreamento de parte deste material e desestabilização que leva a deslocamento de massas e deslizamentos, além de transporte de material para outras regiões, o que acaba aumentando a degradação ambiental. Quanto aos rejeitos líquidos resultantes da operação de serra e polimento, os quais na maioria das vezes são conduzidos para os ribeirões pela ação da gravidade, há o risco de transporte de água contaminada, situação que se agrava com o aumento dos níveis pluviométricos, carreando partículas sólidas em suspensão e causando o aumento da turbidez da água. Outro tipo de impacto que foi constatado nas instalações de beneficiamento do quartzito junto as margens da rodovia dos Inconfidentes foi a questão do ruído causado pelas máquinas de corte e polimento. A produção mensal das dezenas de pequenas pedreiras da área gira em torno de 5000 a 10.000 m³ com uma recuperação na lavra variando em torno de 40 a 80 %. A força de trabalho consiste geralmente de cinco trabalhadores por cada frente de trabalho, apesar desde número atingir cerca de 20 trabalhadores nas pedreiras de maior porte, estando cinco deles trabalhando no processo de serragem e eventual polimento.

Uma grande quantidade de estéril é produzida devido ao processo de seleção dos blocos de melhor qualidade. O capeamento, estéril e outros materiais não aproveitados no processo de serragem e polimento eventual da rocha são depositados nas proximidades da lavra. As áreas adjacentes às pedreiras são caracterizadas pela presença de taludes inclinados cobertos por matas. A fauna consiste principalmente de várias espécies de répteis, pequenos roedores e pássaros. As pedreiras de quartzito dão uma contribuição importante para a economia de Ouro Preto e arredores. Na área de Ouro Preto um aumento substancial da deposição de estéreis devido à exploração irregular de quartzito tem afetado a capacidade de recuperação dos ecossistemas de tal forma que ameaça seu delicado equilíbrio. A escavação dos depósitos de quartzito envolve a remoção do solo superficial e das rochas do capeamento (Figura 2).

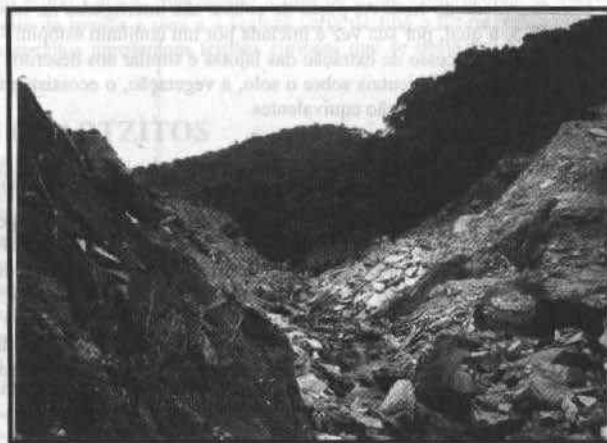


Figura 2. A escavação dos depósitos de quartzito envolve a remoção do solo superficial e das rochas do capeamento.

Este decapeamento modifica a topografia natural do terreno, afetando o sistema de drenagem, prejudicando o processo de sucessão natural da vegetação e resultando em problemas graves de erosão do solo e poluição ambiental (Singh et al. 1998). As operações de lavra na área de Ouro Preto causam destruição de florestas nativas e de "habitats" naturais de espécies e acumulação de grandes volumes de estéréis e rejeitos que são depositados nas cercanias das áreas lavradas. A lavra a céu aberto, além de destruir a vegetação natural existente, também causa diminuição da qualidade dos solos tanto em termos pedológicos quanto biológicos. A flora, fauna, hidrogeologia e o sistema biológico em geral são muito alterados (Singh et al. 1994). A disposição de estéril e as operações de reabilitação de uma área minerada compreendem as ações de disposição dos estéréis de uma forma ordenada, preparando o terreno para um uso futuro. Também devem ser consideradas as medidas para efetivar a estabilização das áreas lavradas e a redução dos impactos ambientais. O objetivo de uma disposição ordenada de estéril e reabilitação deve ser a redução dos impactos ambientais da exploração e o atendimento aos requisitos legais (Williams, D.J. et al, 1997).

Deve ser elaborado um projeto de disposição de estéril em pilha para as pequenas minas de acordo com as normas NBR 13029 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), visando atender as condições de segurança, higiene, operacionalidade, economicidade, abandono e minimização dos impactos ao meio ambiente, dentro dos padrões legais. Assim, para as pilhas, pois não existe barramentos no local, deve-se dispor o material dentro da cava da própria mina, ou o mais próximo possível; de preferência em áreas já degradadas; dentro dos limites legais do empreendimento. Deve-se evitar dispor o material em vales com talvegues de inclinação superior a 18°; drenagens, nascentes e cursos d'água; áreas de preservação permanente; terrenos instáveis, alagadiços ou sujeitos a inundação; áreas com vegetação nativa exuberante; áreas com solos férteis. Quanto à geometria externa e interna da pilha, devem ser observados os seguintes limites e cuidados: altura máxima de bancos de 10 m; largura mínima de bermas de 6 m; altura máxima da pilha de 200m; existência de acessos de manutenção; reduzir o ângulo entre bancos, para valores inferiores ao ângulo de repouso natural do estéril; bermas com declividade longitudinal e transversal mínima de 1% e 5%, respectivamente; drenagem na pilha. Outros parâmetros na concepção do projeto são: zoneamento interno dos materiais a serem dispostos, de forma a aproveitar ao máximo as características de resistência e drenabilidade de cada um; compatibilização da formação e zoneamento da pilha com as etapas de remoção do estéril; execução da pilha de forma ascendente; proteção dos taludes, preferencialmente com vegetação; remoção e estocagem do solo orgânico da fundação da pilha para reaproveitamento futuro; sistema de drenagem interna, superficial e periférica; sistema de retenção de sedimentos oriundos de erosão; sistema de monitoramento.

Os rejeitos sólidos, originados da operação de corte das rochas, são denominados vulgarmente como "filetes". Tais rejeitos correspondem a aproximadamente 10% de perda da matéria prima que chega à área de beneficiamento. Este rejeito é classificado como "entulho" e é utilizado muitas vezes para revestir estradas. O rejeito do beneficiamento (Figura 3) é um outro grande problema, que pode ser resolvido com sua utilização, por exemplo, na indústria, na fabricação de britas ou em calçamentos de ruas, etc. Deve-se verificar a melhor opção para seu melhor aproveitamento. De qualquer forma, caso não se encontre uma utilização econômica para este rejeito, este material deve ser transportado e disposto em pilhas controladas com um sistema de contenção de finos (Dique).



Figura 3. O rejeito do beneficiamento é um outro problema, que precisa ser resolvido.

5. REABILITAÇÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS

Geralmente, as atividades de mineração duram somente alguns anos e os mineiros abandonam o local deixando os problemas existentes e os problemas futuros para serem resolvidos por outros. A operação de uma mina cessa quando a pedreira não pode ser mais explorada com lucro. O tempo exato desse evento é muito incerto devido a incertezas sobre as reservas minerais, custos e preços dos produtos minerais.

De um modo geral, em poucos anos o fechamento da mina ocorrerá e este fato representa um grande e novo desafio para a atividade mineira. Conforme comentamos, as áreas mineradas, representam fontes potenciais de geração de impactos de longo prazo, como por exemplo, os impactos devidos à disposição inadequada de estéreis. Estes locais minerados devem ser recuperados a uma situação que esteja próxima da situação original, apesar de em muitas minas a céu aberto esta opção ainda não ser vista como viável ou desejável. Para uma pequena companhia de mineração efetuar o fechamento de uma mina, a opção escolhida costuma ser simplesmente o abandono do local deixando os problemas existentes e futuros para os outros (Sinding, 1998). Infelizmente, a opção do abandono é ainda possível nesta parte do Brasil. Entretanto, acreditamos que com o passar do tempo e o aparecimento dos problemas e o aumento da consciência ecológica da comunidade as medidas preventivas terão que ser adotadas restringindo a lavra predatória. Uma alternativa é requerer planos de fechamento que especifiquem o monitoramento de longo prazo assegurando que não ocorram impactos inesperados (Sinding, 1998). Deve-se elaborar um projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração, seguindo as normas da NBR 13030 da ABNT, portanto deve-se fazer a adequação paisagística, ou seja, a harmonização de áreas mineradas com o seu entorno, com o intuito de minimizar o impacto visual; fazer a adequação topográfica que é a conformação topográfica com vistas ao uso futuro da área.

6. CONCLUSÕES

O conjunto de pedreiras de quartzito de Ouro Preto incorpora um grande número de minas com as mesmas características, ou seja, (mesmo tipo de material, métodos de lavra similares e competição no mesmo mercado), e com concentrações acima de 1 unidades de produção por km² em certas áreas, apesar dos limites não serem, geralmente, definidos com precisão (Figura 4). Parece evidente que o impacto geral no ambiente produzido pelo conjunto de pedreiras como um todo não é meramente a soma dos impactos de cada pedreira em particular considerada como uma unidade isolada, mas tal impacto pode ser calculado considerando os seguintes aspectos (Ciccu *et al.* 1998):

- somente algumas das pedreiras e infra-estrutura relacionadas são visíveis a partir dos corredores visuais principais do terreno;
- as áreas expostas das faces das pilhas e das cavas decrescem com a distância do observador;
- Distúrbios como ruídos, poeira e vibração sonora são gradualmente atenuados quando aumenta a distância em relação à fonte emissora;
- flora e fauna são afetadas somente em uma área limitada às redondezas de cada mina de tal modo que nenhum efeito de superposição será observado se a distância entre as minas for suficientemente grande;
- os aspectos sociais, econômicos e culturais, positivos, podem, entretanto, beneficiar a comunidade circunvizinha em uma área que exceda os limites do conjunto de pedreiras.

Apesar da mineração dos quartzitos ser uma ocupação superficial temporária na área, ela causa um impacto ambiental importante associado à movimentação do solo superficial, estradas de acesso, superfícies sem vegetação, rejeitos e pilhas de estocagem de estéreis. A qualidade e a quantidade de água tanto superficial quanto subterrânea é afetada se medidas mitigadoras não forem praticadas. Os cursos de água podem ser afetados e a vazão dos mesmos alterada. A erosão pode ser excessiva e a água superficial e subterrânea podem atingir níveis de mineralização indesejáveis. A topografia, drenagem, vegetação e paisagem do local minerado podem ser seriamente impactados. A inclinação das pilhas de estocagem do material estéril pode tornar a topografia inadequada para uma utilização futura do local (Williams, D.J. *et al.* 1997).

Os impactos da mineração incluem também a degradação da paisagem, destruição de terras agricultáveis e de floresta e degradação de terrenos utilizáveis para recreação. A mineração da rocha quartzosa de Ouro Preto, para fins de revestimento, é desenvolvida fora dos parâmetros técnicos, ambientais e legais. Para o aproveitamento econômico desse bem mineral, dentro dos critérios de desenvolvimento sustentável, são necessárias mudanças no processo produtivo, como:

- Remoção destas unidades de beneficiamento próximo às áreas de extração e construção de barragens para contenção de finos provenientes do beneficiamento e reaproveitamento da água no próprio processo. Com isto se diminui o impacto visual provocado sobre o patrimônio histórico.
- Uma das medidas mitigadoras que está sendo usada no local é o plantio de espécies arbustivas como por exemplo Candeias, Ipês, Eucaliptos, entre outras, cujo objetivo é a fixação do solo para contenção da erosão e para a estabilização do talude.

- Apoio técnico de profissionais habilitados (engenheiro de minas e geólogos), visando um melhor planejamento das operações de lavra e beneficiamento. Este apoio técnico pode ser viabilizado pela Associação dos Produtores ou Pequenos Mineradores de Ouro Preto, atendendo assim, as necessidades de todas as pedreiras associadas;
- Implementação de medidas mitigadoras para a disposição controlada do estéril proveniente da lavra;
- Estudo de aproveitamento econômico do rejeito das serrarias. Este estudo pode ser desenvolvido em parceria com Instituições de nível superior da área de geociências, objetivando encontrar utilização para o rejeito (cascos e aparas);
- Estudo técnico com a finalidade de diminuir a perda de rocha durante o processo de serragem;

Finalmente, o estabelecimento e crescimento da vegetação após a lavra, devem ser observados com a finalidade de facilitar o retorno da flora e fauna original. A fertilidade, o pH e a salinidade do solo devem ser controlados. Uma solução para a extração de quartzito deve ser encontrada, já que do ponto de vista econômico a lavra gera bons lucros provenientes do mercado nacional e internacional com as exportações para Europa e Japão. O quartzito concorre tanto no mercado nacional e internacional com outras rochas ornamentais, muitas vezes, superando-as em preço o que acarreta um ótimo retorno de investimento.

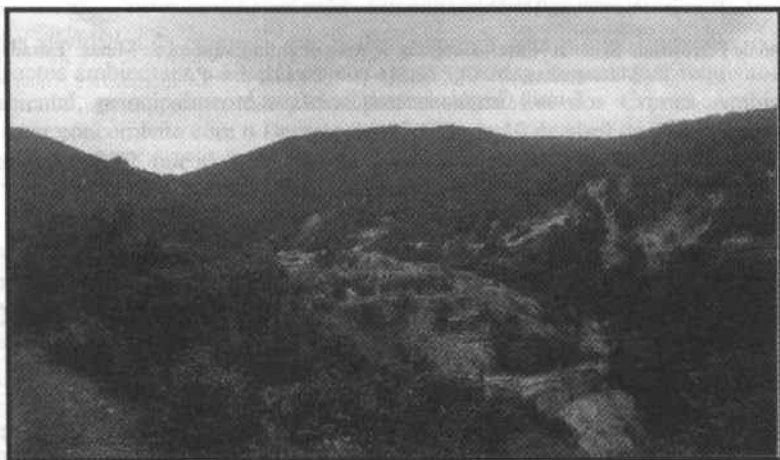


Figura 4. O conjunto de pedreiras de quartzito de Ouro Preto incorpora um grande número de minas com as mesmas características, ou seja, apesar dos limites não serem geralmente definidos com precisão.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Singh, P.S., Chaulya, S.K. & Singh, S.K. Eco-friendly technology for waste dumps management in India. Proceedings of the Environment Issues Waste Management in Energy and Mineral Production (ed. A. A. Balkema) Rotterdam, pp. 463-468, 1998.

Singh, R.S., Tewary, B.K. & Dhar, B.B. Effect of surface mining on plant biomass and productivity in a part of Dhanbad coalfield areas. Second National Seminar on Minerals and Ecology (ed. Banerjee, S.P.), Oxford & IBH Pub., New Delhi, pp. 103-109, 1994.

Williams, D.J, Wu, Y. & Morris, P.H. Systems analysis of engineered mine site rehabilitation, Proceedings of The Fourth Intern. Conf. on Tailings and Mine Waste, Fort Collins, Colorado, Rotterdam: A.A. Balkema, 1997.

Sinding, K. Environment impact assessment and management in the mining industry. Proceedings of the Environment Issues Waste Management in Energy and Mineral Production (ed. A. A. Balkema) Rotterdam, pp. 81-86, 1998.

Ciccu, R., Mocci, G. & Imolesi, E. A rational approach to the assessment of environmental issues in stone quarrying districts. Proceedings of the Environment Issues Waste Management in Energy and Mineral Production (ed. A. A. Balkema) Rotterdam, pp. 87-93, 1998.