

# **Análise da evolução espacial da mina de Brucutú, em São Gonçalo do Rio Abaixo – MG entre 2003 e 2008 através da classificação supervisionada de imagens multitemporais Landsat 5 TM.**

Diogo Noses Spinola<sup>1</sup>  
Junia Cota Vidal<sup>1</sup>  
Bruno de Carvalho Resck<sup>1</sup>  
Raquel de Castro Portes<sup>1</sup>  
Flavio Alessandro Crispim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa – UFV  
Avenida Peter Henry Rolfs, s/n  
Campus Universitário 36570-000 – Viçosa-MG, Brasil  
diogo\_geo\_ufv, juniacota, bruno\_resck, raquel\_portes, crispim\_br@yahoo.com.br

**Abstract.** The knowledge of the evolution of an impressive activity in the environment as areas of mining is an important document to guide the environmental planning of a given geographical area. Therefore, the objective of this study was to quantify what was the expansion of the mine area of Brutucú, percentage to Companhia Vale, located in the municipality of São Gonçalo do Rio Abaixo is inserted into the Iron Quadrilateral, the central region of Minas Gerais, between the years of 2003 and 2008 through the automatic classification of Landsat 5 TM images. This period is important, since this process began in 2004. The method of classification of images was through the algorithm of Maximum Likelihood, where the classes of land use were divided into four: Forest / Pasture Non-Degraded, Exposed Soil / Degraded Pasture, Water Bodies and Mining Area. It was found that the area of mining had significant increase of 145%, Forest / Pasture Non-Degraded - 21%, Exposed Soil / Degraded Pasture 42% and Water Bodies 6%. Noting that there was a rearrangement of land use in that city in a short period. I noticed this way, that the monitoring of activities impacting through remote sensing techniques allow the fast acquisition of data to guide spatially making actions.

**Keywords:** mining areas, multitemporal analysis, remote sensing, automatic classification áreas de mineração, análises multitemporais, sensoriamento remoto, classificação automática

## **1. Introdução**

O homem desde o início de sua existência é um dos grandes modificadores da superfície terrestre promovendo alterações significativas no meio ambiente. No Brasil e em todo o mundo a atividade de mineração é responsável por várias alterações na paisagem, como a retirada da vegetação nativa e modificações no relevo. Segundo Gutberlet (1996) isso se deve, principalmente, ao grande volume de minérios explorados, que além de modificar a paisagem, produzem efluentes estéreis e rejeitos que podem comprometer a estética e a qualidade do ambiente local. Fato que ainda é agravado se a lavra é a céu aberto.

A mineração é por si só, uma atividade impactante, uma vez que promove a alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio onde está inserida. Com isso Machado (2003, p.110) ressalta que a própria Constituição Federal reconhece tal fato, ao afirmar no artigo 225, parágrafo 2:

“aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão pública competente da lei”.

Neste contexto, Coelho (2001) salienta que impacto ambiental é o processo de mudanças sociais e ecológicas causado por perturbações (uma nova ocupação e/ou construção de um objeto novo: uma usina, uma estrada ou uma indústria) no ambiente.

No entanto, a atividade mineradora é um dos setores com maior expressão da economia brasileira, alcançando a marca de 269 milhões de toneladas exportadas arrecadando US\$ 10,5 bilhões (IBRAM,2007). Desta forma, é uma atividade muito visada, principalmente pelo desenvolvimento econômico que proporciona ao gerar lucro para as empresas, arrecadamento

de impostos para o país e geração de empregos para a sociedade.

Atualmente é possível fazer a análise da expansão da atividade mineradora através de mensurações espaço-temporais, em outras palavras, é possível dizer quanto da área de um município foi ocupada por um empreendimento ao longo de um determinado intervalo de tempo.

Uma das maneiras mais rápidas e eficazes para estudos desta natureza é a classificação de imagens multiespectrais obtidas por satélite. A vantagem do crescente uso desses produtos ocorre devido à resolução temporal dos satélites, que permitem o monitoramento em curtos períodos de tempo de determinadas atividades inseridas em um espaço.

Outra vantagem é a facilidade de aquisição das imagens de satélite de média resolução espacial, como o Landsat 5 TM (*Thematic Mapper*) fornecida gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

As metodologias existentes, a partir de softwares de Sistemas de Informações Geográficas – SIG, como a classificação automática através de algoritmos computacionais, permitem discriminar e posteriormente quantificar as áreas de cada categoria de uso do solo.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi quantificar, em hectares, a área de expansão da mina de Brucutú, pertencente à Companhia Vale (Antiga Vale do Rio Doce – CVRD), localizada no município de São Gonçalo do Rio Abaixo, na região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, entre os anos de 2003 e 2008.

A mina de Brucutú é o maior complexo mina/usina do mundo em capacidade inicial de produção de minério de ferro. O projeto Brucutú da Vale foi inaugurado em 2006, e já em sua fase inicial, de acordo com dados da empresa, o empreendimento atingiu 12,2 milhões de toneladas de minério de ferro por ano. Para 2008 a empresa tem a meta de atingir de 30 milhões de toneladas.

## 2. Materiais e Métodos

A mina de Brucutu localiza-se no município de São Gonçalo do Rio Abaixo que esta inserida na região do Quadrilátero Ferrífero, na porção central do estado de Minas Gerais (Figura 1).

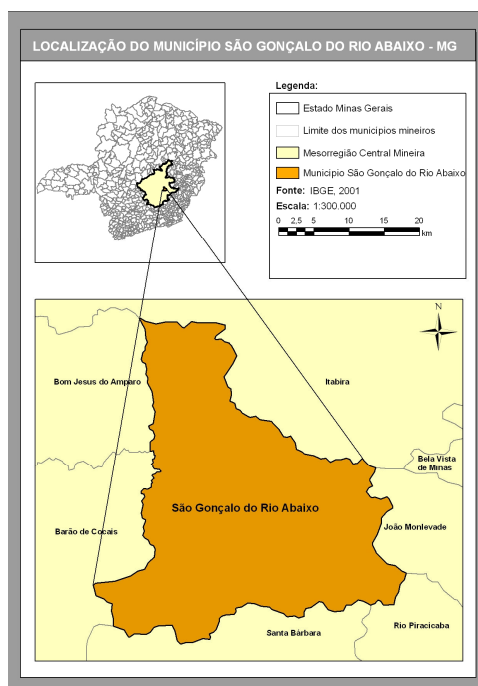


Figura 1: Mapa de localização do município

O município abrange as coordenadas planas UTM SAD69 zona 23S : N 7822206 – 7793286 E 662334 - 688374, perfazendo uma área de 36450 hectares. A mina de brucutu encontra-se a oeste do município.

Segundo Silva (2007) nesta cidade situa-se a Serra do Tamanduá, que se destaca pelas suas importantes jazidas de minério de ferro, além de ser uma referência paisagística da cidade. Desta maneira, o autor salienta que a Serra do Tamanduá possui uma grande importância econômica com uma superfície topograficamente elevada, com altitudes que alcançam 1100 metros, sustentada basicamente por rochas ricas em minério de ferro, fato que favoreceu a instalação de uma das maiores minas da Companhia Vale. A mina de Brucutu como pode ser observado na Figura 2

A priori, foram coletados 30 pontos à campo com o uso do *Global Positional System* – GPS *Garmin Etrex Vista* com os usos que se pretendia classificar: Corpos d’água; Vegetação/Pastagem Não Degradada; Solo exposto/Pastagem Degradada e Área da mineração. Para a finalidade desta pesquisa não foi realizado uma separação mais específica dos tipos de uso do solo, pois o foco foi a expansão da área de mineração

Foram obtidas no catálogo de imagens do INPE, no site <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> imagens de 06/07/2003; 01/07/2007; 05/09/2008 correspondente a órbita/ponto 217/74 com resolução espacial de 30 metros. A relevância da escolha deste período é para demonstrar a evolução da área de mineração, visto que tal processo se iniciou no ano de 2004.

O pré-tratamento das imagens constituiu no georreferenciamento da imagem do ano de 2003 tomando como base os dados de hidrografia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE da carta Itabira *SE-23-Z-D* na escala 1:100.000, onde nos pontos de interseção da rede hidrográfica foram coletados os pontos de controle. As imagens do ano 2007 e 2008 foram registradas a partir da imagem de 2003 georreferenciada pelo processo imagem-imagem, Estes procedimentos foram realizados no software ArcGis 9.2 (ESRI,2006) utilizando a extensão *Georeferencing*.

No software IDRISI Andes (Clark University, 2006) as imagens foram importadas do formato original *TIFF* para a extensão *RST*. Adiante, o limite do município, obtido junto à base de dados do IBGE, em formato *SHP* também foi importado para o formato de leitura de vetor do IDRISI *VCT*.

Foi realizado um recorte da imagem Landsat que abrangia uma grande área, para classificar apenas a área do município, para isso foi necessário transformar o formato do arquivo do limite do município, de vetor para raster com uso da extensão *RasterVector*. Com a função *Overlay* foi multiplicado o limite do município por cada banda de cada ano. Por fim, foi realizada uma composição colorida com as bandas 3(R); 4(G) e 5(B) utilizando a ferramenta *Composite*, que demonstrou resultados visualmente satisfatórios, permitindo maior facilidade na coleta das amostras.

Para a coleta de amostras foi utilizada a ferramenta *Digitize* onde se procurou coletar um bom número de amostras, pois quanto maior o número de pixels em uma amostra de treinamento, melhor é o resultado (LIU, 2008). Além disso, procurou-se fazer a coleta de forma espaçada, abrangendo desta forma, grande parte das variações dos níveis de pixels de cada classe, pois devido ao relevo acidentado da região e a estação do ano das imagens, nos meses de estiagem, é comum encontrar áreas na imagem, principalmente de vegetação, onde o sombreamento (devido ao relevo montanhoso) e a vegetação menos vigorosa interferiam na reflectância, potencializando possíveis confusões pelo classificador. Os procedimentos de coleta de amostras e classificação foram idênticos para as três composições.

Adiante, foi realizada a assinatura espectral das classes, com a ferramenta *Makesig*. A classificação foi do tipo “pixel a pixel” utilizando o classificador supervisionado da Máxima Verossimilhança – MAXVER usando probabilidades iguais para cada assinatura. Este tipo de classificação utiliza a média e covariância das amostras de treinamento, sendo que, dados

estes parâmetros, pode ser computada a probabilidade estatística de um pixel desconhecido pertencer a uma ou outra classe.

Para verificar a consistência estatística da classificação foi aplicado o Índice Kappa, utilizando a ferramenta *Errmat*.

Para eliminar regiões no arquivo de saída da classificação de tamanhos menores que a possibilidade de representação na escala de trabalho, foi adotado o procedimento de eliminação da área mínima mapeável. Desta forma, as imagens classificadas foram exportadas para o formato TIFF e tratadas no *software ArcGis 9.2*, de acordo com a seguinte rotina com ferramenta *Raster Calculator*

regiongroup(**ingrid1**, #, EIGHT, WITHIN) (1)

Select([Calculation], 'count > XX') (2)

Nibble( [**ingrid1**], [Calculation2]) (3)

Onde “Ingrid1” corresponde a imagem classificada, na equação 1. Na Equação 2 o arquivo de entrada (*calculation*) é o arquivo de saída da Equação 1, em “count:>XX” se coloca o número de pixels limite abaixo do qual as células são eliminadas e trocadas pela classe vizinha, neste caso:

1 hectare = 10.000 m<sup>2</sup>

1 célula = 30 x 30 = 900 m<sup>2</sup>

número de pixels = 10.000/900 = 11

Na Equação 3 o arquivo de entrada (*calculation2*) é o arquivo de saída Equação 2

As regiões eliminadas são substituídas pelo vizinho com maior área de contato com o agrupamento de células eliminadas. Desta forma, a área mínima mapeável é uma forma de generalização cartográfica.

Adiante, após obtidos os resultados da classificação, foi realizada uma comparação do crescimento da área de mineração com o Produto Interno Bruto – PIB do município relativo à indústria, com dados disponibilizado no site da Confederação Nacional dos Municípios - CNM. Os dados são referentes ao período de 2000 a 2005, pois não foram divulgados dados mais recentes, no entanto, foi possível realizar considerações sobre o impacto da mineração na economia de São Gonçalo do Rio Abaixo.

### 3. Resultados

As Figuras 2; 4 e 6 demonstram as imagens em composição 3(R) 4(G) 5(B) e as Figuras 3; 5 e 7 são as imagens após a classificação e a filtragem da área mínima mapeável. O resultado estatístico da classificação, Índice Kappa, está indicado abaixo das Figuras 3; 5 e 7 respectivamente. Foi considerado excelente para todas as classificações.

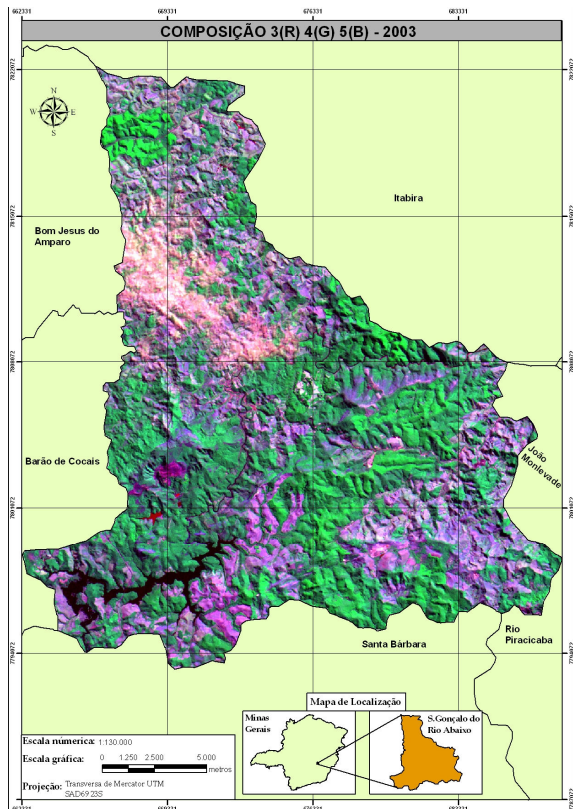


Figura 2: Composição R(3) G(4) B(5) do ano 2003

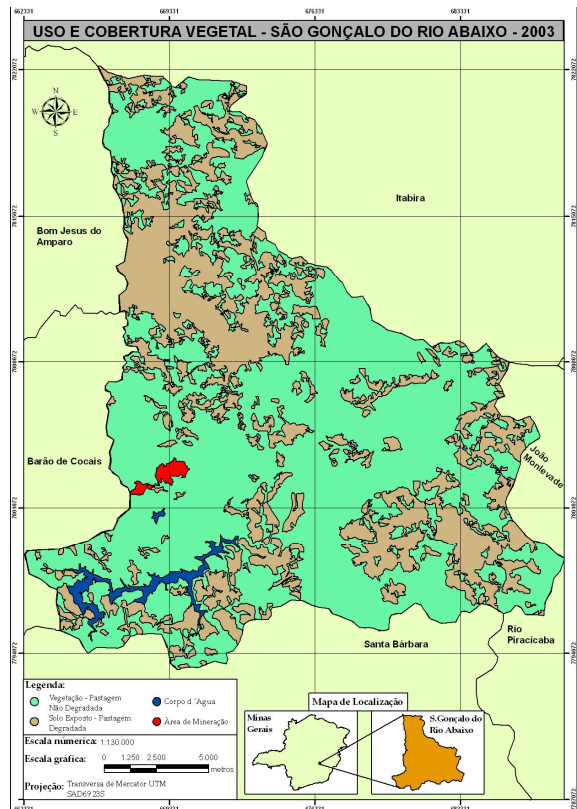


Figura 3: Uso e cobertura vegetal do ano 2003 (Índice Kappa: 0,92)

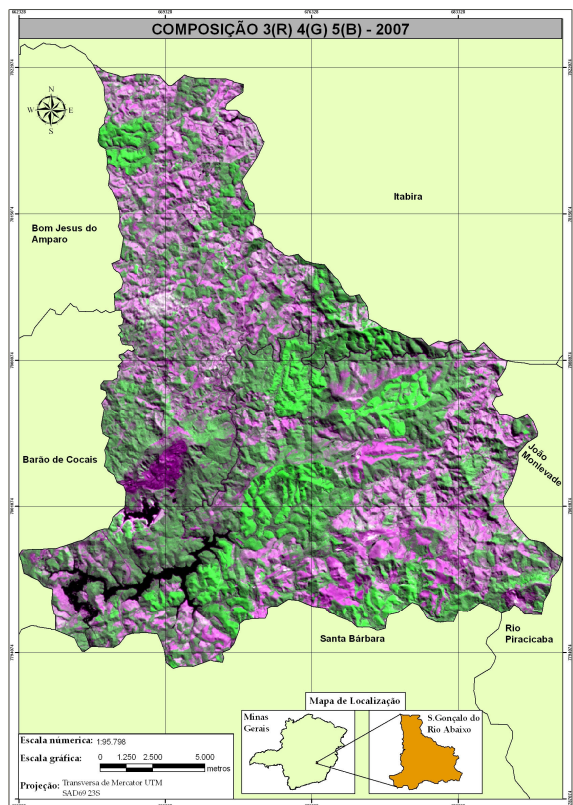


Figura 4: Composição R(3) G(4) B(5) do ano 2003

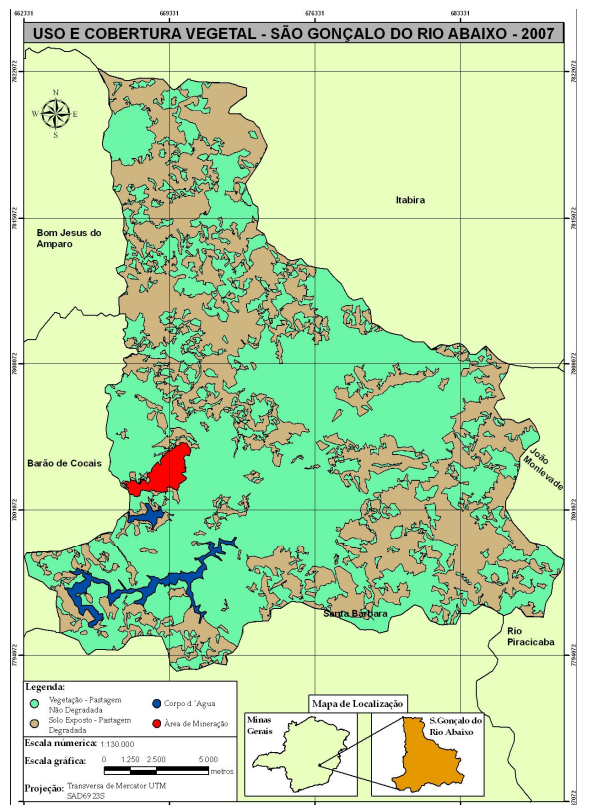


Figura 5: Uso e cobertura vegetal do ano 2007 (Índice Kappa: 0,90)

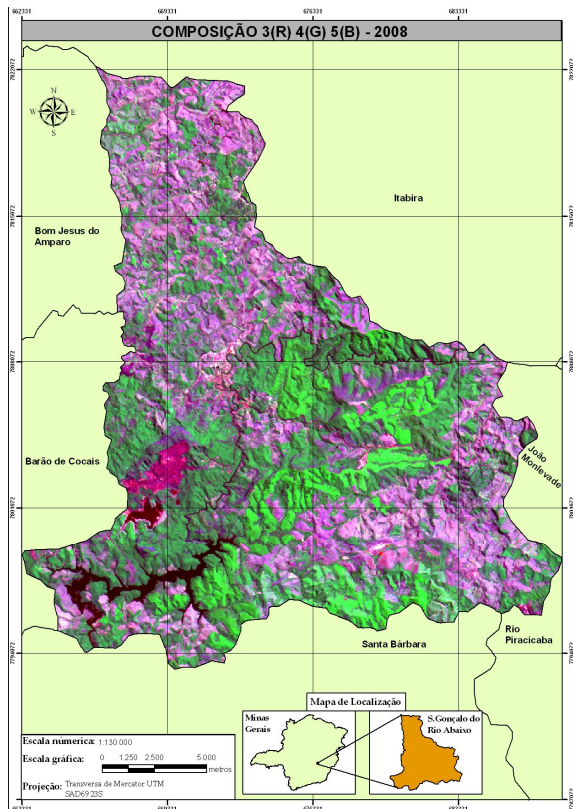


Figura 6: Composição R(3) G(4) B(5) do ano 2008

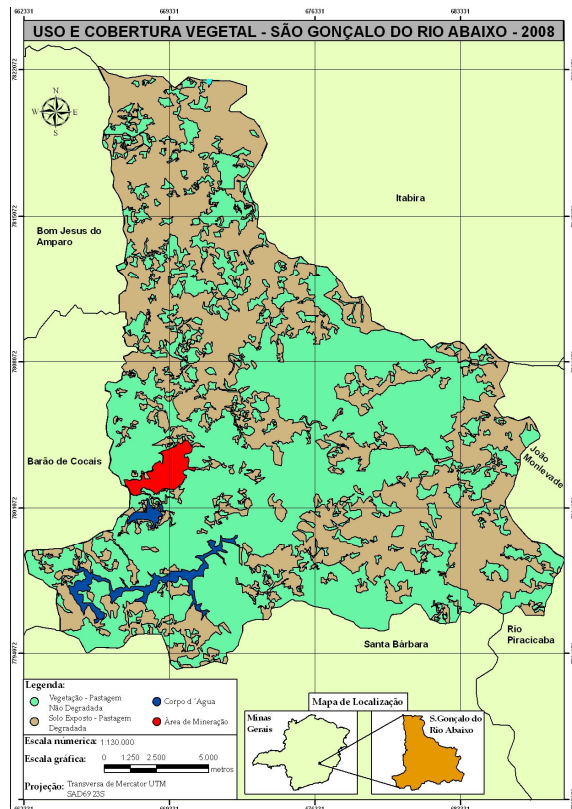


Figura 7: Uso e cobertura vegetal do ano 2008 (Índice Kappa: 0,88)

A partir da imagem original, verifica-se que as áreas denominadas Solo exposto/Pastagem degradada a Área de mineração apresentam níveis de cinza parecidos, porém, o classificador separou de forma satisfatória as duas áreas, com pequenas regiões conflitantes, onde na rotina da área mínima mapeável foi possível eliminá-las.

A Figura 8 demonstra a evolução do uso da terra além da área de mineração, onde saltou de 153 hectares em 2003 para 375 em 2008, um crescimento de aproximadamente 145%, como pode ser visto na Figura 9. Este crescimento abrupto em um curto período de tempo indica que fortes investimentos foram aplicados na mina de Brucutu nos últimos cinco anos.

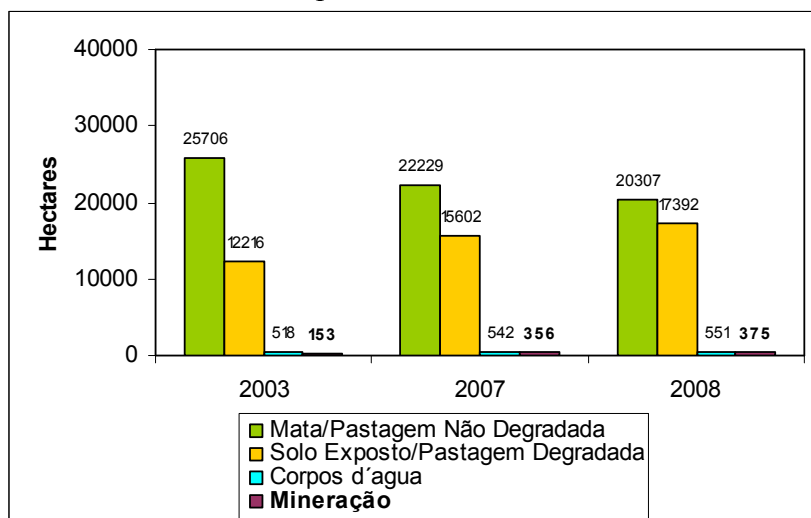


Figura 8: Evolução em área do uso da terra

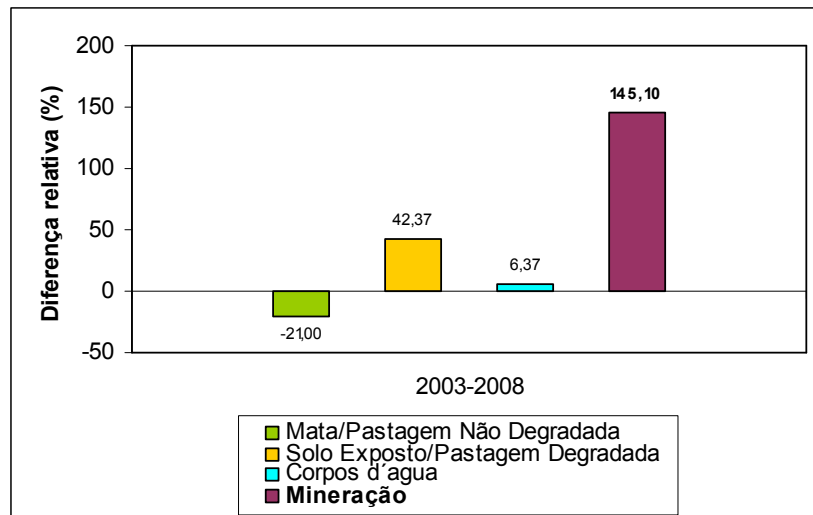


Figura 9: Evolução em porcentagem do uso da terra

Nota-se que as outras classes mapeadas também sofreram variações expressivas, exceto corpos d'água. Em áreas de Mata/Pastagem Não Degradada sendo substituídas por Solo Exposto/Pastagem Degradada e uma pequena parcela substituída pela Área de Mineração. Os corpos d'água tiveram certo crescimento devido ao aumento da represa de Peti, pertencente à Companhia Elétrica de Minas Gerais - CEMIG, próximo à mina.

Através Figura 10, pode-se constatar que o Produto Interno Bruto - PIB do município relativo a indústria, teve crescimento expressivo entre 2003 a 2005. Os dados referentes aos anos subseqüentes não estão disponíveis. No entanto, em apenas dois anos a economia local teve acréscimo de aproximadamente 800% em seu PIB devido à indústria, sinalizando os primeiros reflexos do aumento da produção mineral.

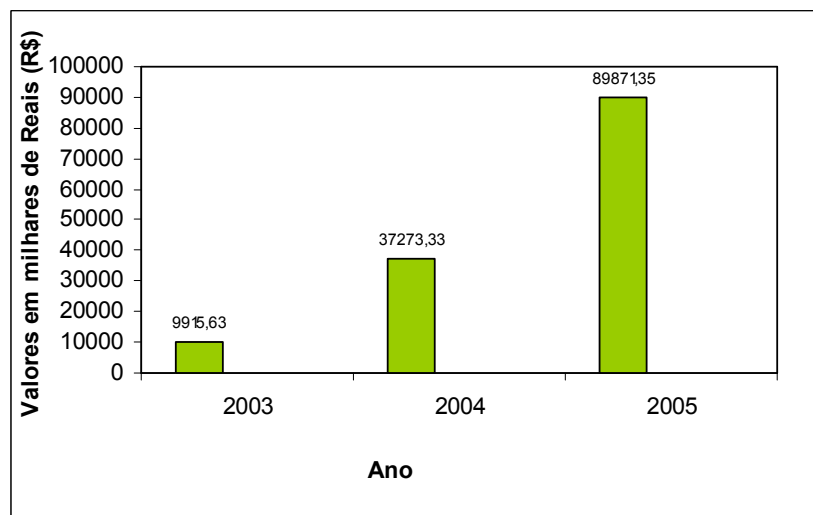


Figura 10: Evolução do PIB industrial entre 2003 e 2005. (CNM, 2008).

#### 4. Conclusões:

As técnicas computacionais empregadas e o uso de imagens de média resolução espacial como a LANDSAT 5 TM se mostraram suficientes e eficazes para alcançar o objetivo deste trabalho. Desta forma, as técnicas de sensoriamento remoto aliadas a gratuidade das imagens permite que o monitoramento do crescimento da área de mineração possa ser realizado periodicamente com grande eficácia a um baixo custo, permitindo análises dos futuros

rearranjos espaciais do município.

Os dados econômicos referentes à 2008 a serem disponibilizados pelo IBGE permitirão uma análise mais estreita da maneira como a mineração afeta diretamente nos rendimentos do município.

Além dos dados econômicos, é de grande importância o monitoramento ambiental da área, devido aos grandes impactos no solo, água e relevo que as mineradoras têm o potencial de causar.

## 5. Referências Bibliográficas

COELHO, M. C. N. **A CVRD e a (re) estruturação do espaço na área de Carajás (Pará)**. In: CASTRO, I. E., GOMES, P. C., CORREA, R. L. Brasil: Questões atuais da organização do Território. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 245-281.

Confederação Nacional dos Municípios - CNM. **PIB-Produto Interno Bruto**. Disponível em: <[http://www.cnm.org.br/pib/mu\\_pib\\_geral.asp?iIdMun=100131762](http://www.cnm.org.br/pib/mu_pib_geral.asp?iIdMun=100131762)>. Acesso em 08 out. 2008.

GUTBERT, Jutta. Cubatão: **Desenvolvimento, Exclusão social e Degradação Ambiental**. São Paulo: Edusp. Fapesp. 1996.

Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM. **Ferro**. Disponível em: acesso 10 ago. 2008.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. **Catalogo de imagens**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>: Acesso em 20.ago.2008

LIU, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006. 908 p

MACHADO, P.A.L. **Direito Ambiental Brasileiro**. 11ªed. São Paulo: Malheiros Editores. 2003.

VALE. Disponível em: <<http://www.vale.com>>. Acesso em 04 ago. 2008