

## **Análise da influência ambiental de pedreiras localizadas em áreas urbanas a partir da classificação de imagens multitemporais**

**Magno Aguiar Carvalho<sup>1</sup>**  
**Vivian de Oliveira Fernandes<sup>2</sup>**  
**Mauro J. Alixandrini Jr.<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia – UFBA/POLI**  
Bolsista de Iniciação Científica do CNPq  
Graduando de Engenharia de Minas e Petróleo  
[magnoaguiar@hotmail.com](mailto:magnoaguiar@hotmail.com)

**<sup>2</sup>Universidade Federal da Bahia – UFBA/POLI**  
Professores do Departamento de Transportes  
Laboratório de Geomensura Theodoro Sampaio - LABGEO  
R. Aristides Novis, 02 - 6o andar - Federação  
40210-630 Salvador-BA, Brasil  
[{vivian.fernandes,mauro.alixandrini}@ufba.br](mailto:{vivian.fernandes,mauro.alixandrini}@ufba.br)

**Resumo:** A Brita (ou rocha britada), juntamente com a areia e o cascalho, faz parte do segmento do setor mineral que mais produz matéria-prima bruta ou agregados utilizados na construção civil. Devido ao seu baixo valor agregado, a extração das matérias brutas ocorre em áreas próximas ao centro de consumo, minimizando assim os custos com transporte. Este fato pode ser observado em diversas pedreiras que são instaladas próximas aos centros urbanos. No Brasil, a produção de rocha britada é a segunda maior entre as substâncias minerais, ficando atrás apenas do ferro (DNPM, 2008). As britas são rochas quartzo-feldspáticas que são fragmentadas, esta composição garante trabalhabilidade do material e desgaste diferencial, características essenciais para a construção civil. Com o crescimento urbano as pedreiras acabam sendo circundadas pela cidade em crescimento, gerando conflitos territoriais, ambientais e principalmente no que se refere aos impactos na saúde da população. Para resolver tais problemas é recorrente o uso de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), que através do Sensoriamento Remoto e informações vetoriais é possível propor mudanças no ambiente. Neste trabalho foram feitas classificações de imagens de satélite da pedreira Aratu Mineração localizada em Salvador – BA. A partir das imagens classificadas foram obtidos índices que representam a qualidade de cada classificação, assim como observar as principais relações entre a pedreira e o ambiente que a circunda.

**Palavras chaves:** Imagens multitemporais, Pedreiras, Geologia,

**Abstract:** The Brita (or crushed rock), along with sand and gravel, is part of the segment of the mining industry that produces more raw feedstock or aggregates used in construction. Due to its low value, the extraction of raw materials occurs in areas near the center of consumption, thus minimizing transportation costs. This fact can be observed in several quarries that are located near urban centers. In Brazil, the production of crushed rock is the second highest among the minerals, trailing only iron (DNPM, 2008). The crushed rock are quartz-feldspathic rocks that are fragmented, this ensures material workability composition and differential wear are essential for construction. With urban sprawl quarries end up being surrounded by the growing city, causing territorial disputes, environmental and especially with regard to the impacts on population health. To solve such problems is the recurrent use of a Geographic Information System (GIS), which through the Remote Sensing and spatial information can propose environment changes. In this study ratings were made from images of the Mining Aratu quarry located in Salvador - BA. From the images obtained were classified indexes that represent the quality of each classification, as well as to observe the main relations between the quarry and the environment that surrounds it.

**Keywords:** Multitemporal images, Quarries, Geology.

## **1. Introdução**

Neste trabalho é apresentado um estudo sobre a Análise da influência ambiental de pedreiras localizadas em áreas urbanas a partir da classificação de imagens multitemporais, trabalho o qual foi realizado por um graduando do Curso de Engenharia de Minas e Petróleo da UFBA, num projeto de Iniciação Científica, com bolsa do PIBIC CNPq, promovendo a disseminação do Sensoriamento Remoto na área de Engenharia de Minas e Petróleo, assim como o contato do aluno para com as possibilidades das Geotecnologias.

No caso estudado, as informações foram obtidas através de sensores passivos existentes em satélites artificiais. Isso implica que a fonte de radiação é o próprio Sol e as imagens são registradas de acordo com a refletância e absorção das ondas eletromagnéticas quando incididas sobre o objeto. As imagens estudadas representam justamente o registro das ondas eletromagnéticas refletidas pela superfície terrestre. Este registro é feito em diversas bandas isoladas do espectro, proporcionando diferentes combinações destas imagens de acordo com o resultado esperado. Como suporte para análise destas imagens é comum o uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) que possibilita o correto cruzamento de inferências espaciais com os mapas temáticos obtidos a partir do processamento das imagens. Neste estudo o sistema empregou o software TerraSIG que é uma plataforma *opensource*.

Com a popularização do SIG, dados geográficos são frequentemente utilizados como suporte a decisões. Portanto terminam por influir cada vez mais na tomada de decisões. Por outro lado à informação disponível para o SIG é frequentemente dissociada de informações a respeito de sua qualidade, caso que é comum às classificações de imagens multiespectrais, pois os avaliadores globais não relacionam de forma direta com a imagem o seu resultado (Alixandrini e Bähr, 2008).

A aplicação do SIG e do Sensoriamento Remoto na mineração possibilita a organização do ambiente e facilita a tomada de decisões, através de uma visão holística da região de estudo. A partir das imagens de satélite é possível obter informações da superfície em determinado período. Neste trabalho as imagens de satélite foram classificadas e a partir destas classificações foi possível delimitar as principais regiões de influência da pedreira Aratu Mineração assim como calcular as áreas das principais classes detectadas, a partir das quais foram analisados os principais conflitos de uso existentes na região.

## **2. Metodologia de Trabalho**

Para realizar o trabalho foram escolhidas imagens multitemporais de satélite da cidade de Salvador-BA, elaboradas a partir da composição colorida das bandas 432. Esta ordem de composição permite a obtenção de um contraste entre área urbana e vegetação. As imagens multitemporais de Salvador foram compostas no programa MultiSpec Application Version 3.1. Em seguida foram recortadas a região de interesse em todas as imagens para possibilitar o estudo.

Foi realizada também no MultiSpec a classificação das imagens e o cálculo de área das respectivas classes.

Após a classificação, o programa MultiSpec faz um cálculo de área das classes da imagem e gera um relatório com os dados e resultados da classificação. O cálculo de área realizado no MultiSpec é feito com base no georreferenciamento da imagem, ou seja, de acordo com as coordenadas geográficas associadas à imagem.

Após a finalização da classificação o programa gera uma matriz que fornece alguns parâmetros de verificação baseado nas amostragens de treinamento e avaliação.

Posteriormente os mapas temáticos resultantes para as diferentes épocas foram analisados para a delimitação de regiões de conflito de uso e para a análise da evolução das classes identificadas nas cenas.

## **3. Características da região de estudo**

A Região Metropolitana de Salvador possui uma população de 3.866.004 habitantes, o que gera para essa data uma densidade populacional de 9 mil hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2007), maior densidade populacional

dentre as capitais brasileiras. Os bairros mais próximos da pedreira são: Valéria, Pirajá, Plataforma, Subúrbio Ferroviário, Jardim das Margaridas, Jardim Nova Esperança e Águas Claras. A Região Metropolitana de Salvador está localizada litologicamente em um Complexo Cristalino proterozóico de alto e médio grau de metamorfismo e com coberturas terciárias sobre as áreas mais antigas. A Pedreira Aratu (figura 01) está localizada no Complexo Cristalino em rochas quartzofeldspáticas.



Figura 01. Recorte de uma aerofoto da cava da Aratu Mineração

Esse mesmo recorte apresentado na figura 01 foi classificado gerando o mapa temático da figura 02. Este mapa temático mostra um dos impactos potenciais da pedreira que é a dispersão de material fragmentado sob a região da direção de predominância dos ventos.

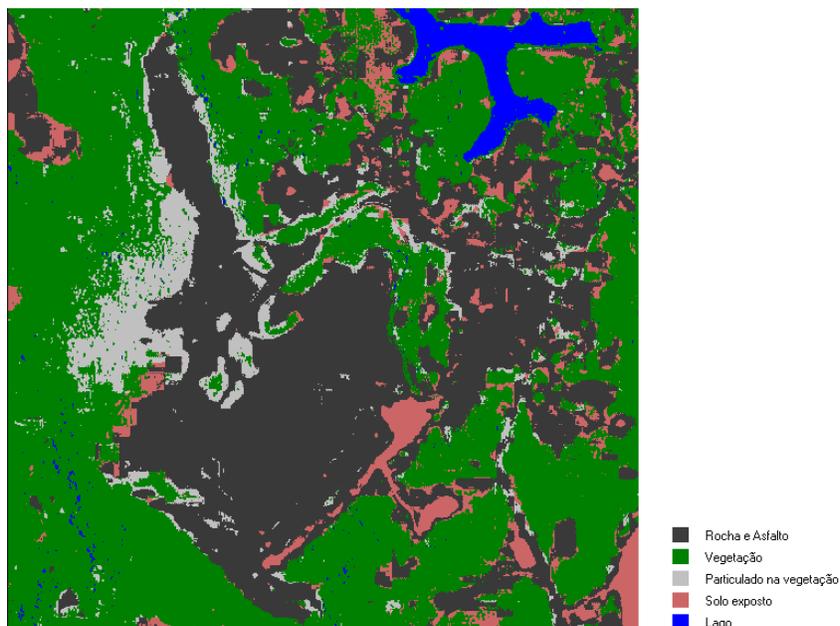


Figura 02. Classificação da imagem anterior, com suas respectivas classes.

O conjunto de imagens analisado foi adquirido no banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e corresponde às épocas de 1981, 2001, 2005 e 2010. Essa amostragem do conjunto

selecionado tem como critério restritivo um limite mínimo de cobertura por nuvens, que é o maior fator limitante no uso do sensoriamento remoto passivo na região.

Os mapas temáticos resultantes (figura 03) juntos a matriz de confusão estão dispostos a seguir. O conjunto de mapas temáticos forma a chamada série temática que evidencia um grupo de fenômenos importantes para o estudo das dinâmicas locais. O avanço da área urbana e a fragmentação sistemática das áreas verdes são exemplos desses fenômenos. Pode-se ainda identificar o sentido preferencial do vetor de crescimento urbano que acontece na direção da pedreira e confrontá-lo com outros parâmetros como direcionamento de ventos ou dispersão de resíduos.

Ainda no que se refere ao conjunto de dados, o intervalo de amostragem não nos permite fazer uma previsão exata da velocidade de progressão desses fenômenos. Apesar de contar com 4 amostras o intervalo entre elas dificulta esse cálculo, da primeira observação até a segunda existe um intervalo de quase 15 anos e nas duas últimas de quase 10 anos. Mesmo que os fenômenos analisados tenham poucos parâmetros sazonais, diferenças atribuídas às relações entre épocas do ano, por se tratar de desmatamento e construção de áreas antropizadas.

A qualidade das classificações ficaram submetidas às análises das matrizes de confusão e dos índices de avaliação global e Cohen's Kappa (tabelas no Anexo 1). Nas tabelas encontram-se dispostas as subclasses utilizadas para o estudo de recorte a recorte.

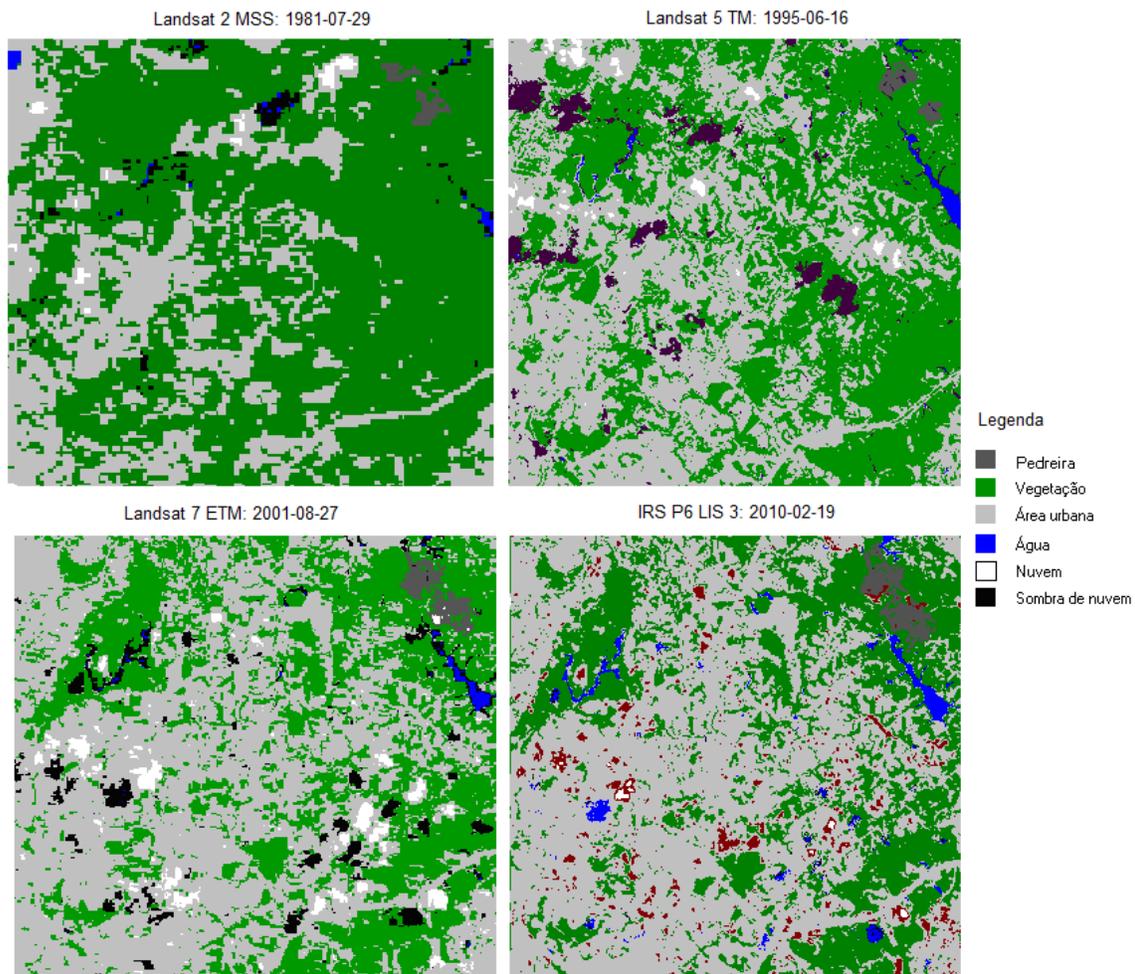


Figura 03. Série temática da região da pedreira Aratu.

Nas tabelas 1 e 2 estão dispostos os resultados dos valores das classes nos respectivos recortes. Na tabela dois dos resultados são mostrados em hectares e na tabela 2 o percentual da área de cada classe no recorte. É possível observar que mesmo com a dificuldade na determinação das classes imposta pelas regiões que sofrem cobertura de nuvens existe uma tendência que pode ser claramente percebida nas tabelas. A substituição de área de cobertura vegetal por áreas urbanas. Nas tabelas porém é possível perceber que ocorre uma maior expansão nos últimos 10 anos quando há um acréscimo de mais de 500 hec de área urbana na região do recorte.

Tabela 1 – Resultado das classificações dos recortes apresentados na figura 03

Classes	Área (hec)1981	Área (hec)1995	Área (hec)2001	Área (hec)2010
Vegetação	6.253,44	6.605,57	4.823,89	4.410,36
Área urbana	6.700,80	6.348,67	8.000,93	8.570,35
Água	86,40	155,50	132,44	737,71
Não classificado	363,52	657,94	810,42	49,26
Área Total	13.767,68	13.767,68	13.767,68	13.767,68

Tabela 2 – Resultado das classificações em porcentagem dos recortes apresentados na figura 03

Classes	Área (hec)1981	Área (hec)1995	Área (hec)2001	Área (hec)2010
Vegetação	46,65	47,98	35,04	32,03
Área urbana	49,99	46,11	58,11	65,62
Água	0,64	1,13	0,96	2,09
Não classificado	2,71	4,78	5,89	0,36

#### 4. Resultados

Analisando as tabelas 4, 5, 6 e 7, é possível observar que os melhores índices kappa obtidos foram para as imagens dos anos de 1995 e 2001, sendo que foi obtido valor de 99,6% para 1995 e 98,2% para 2001. No ano de 1981 o índice obtido foi de 97% e no ano de 2006 o índice kappa obtido foi igual a 96,1%.

O resultado obtido indica que a classificação foi efetuada de maneira satisfatória, uma vez que o índice kappa representa a quantidade de pixels selecionados que foram classificados de acordo com a solicitação. Este índice representa uma avaliação final das matrizes obtidas, representando os valores da diagonal principal e a concordância casual das classes, que por motivo de erro de classificação, foram inseridos fora desta diagonal pelo programa.

O entendimento dos resultados obtidos nas matrizes e conseqüentemente do índice kappa, é feito analisando principalmente as colunas, linhas e diagonal principal da matriz. A diagonal principal indica a quantidade de pixels selecionados que foram classificados corretamente, enquanto que os demais valores da matriz fora da diagonal principal indicam a quantidade de pixels que foram solicitados para fazer parte de determinada classe, mas que o programa classificou como outra. Na imagem de 2010, por exemplo, dos 23 pixels selecionados para fazerem parte da classe Água, 22 foram classificados corretamente e somente 1 pixel foi classificado como Sombra de Nuvem.

Para a exatidão temática existe uma série de métodos empregados na avaliação global: como índice kappa e gamma (Tjan e Nandy, 2006). Outra possibilidade é a avaliação da classificação feita através da chamada matriz dos erros ou matriz de confusão. Esta relaciona os pixels amostrados às classes que foram definidas. A avaliação nesse caso é feita por classe. Em ambos os casos, os índices utilizam amostras de avaliação para as quais são conhecidas as realidades de campo, escolhidas independentemente das amostras de treinamento (Brites et al., 1996).

Através das geoinformações obtidas foi possível observar que a direção principal em que há precipitação do particulado é NE para SW. Após a classificação da imagem ficou notável a mancha de poeira que existe na vegetação localizada na região SW da imagem. Esta propagação é visível nas imagens do satélite apenas na região próxima ao pátio de britagem, no entanto a propagação do

particulado micrométrico se estende por toda área urbana, principalmente sobre os bairros Valéria, Pirajá, Plataforma, Subúrbio Ferroviário.

### OCUPAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR EM 2010

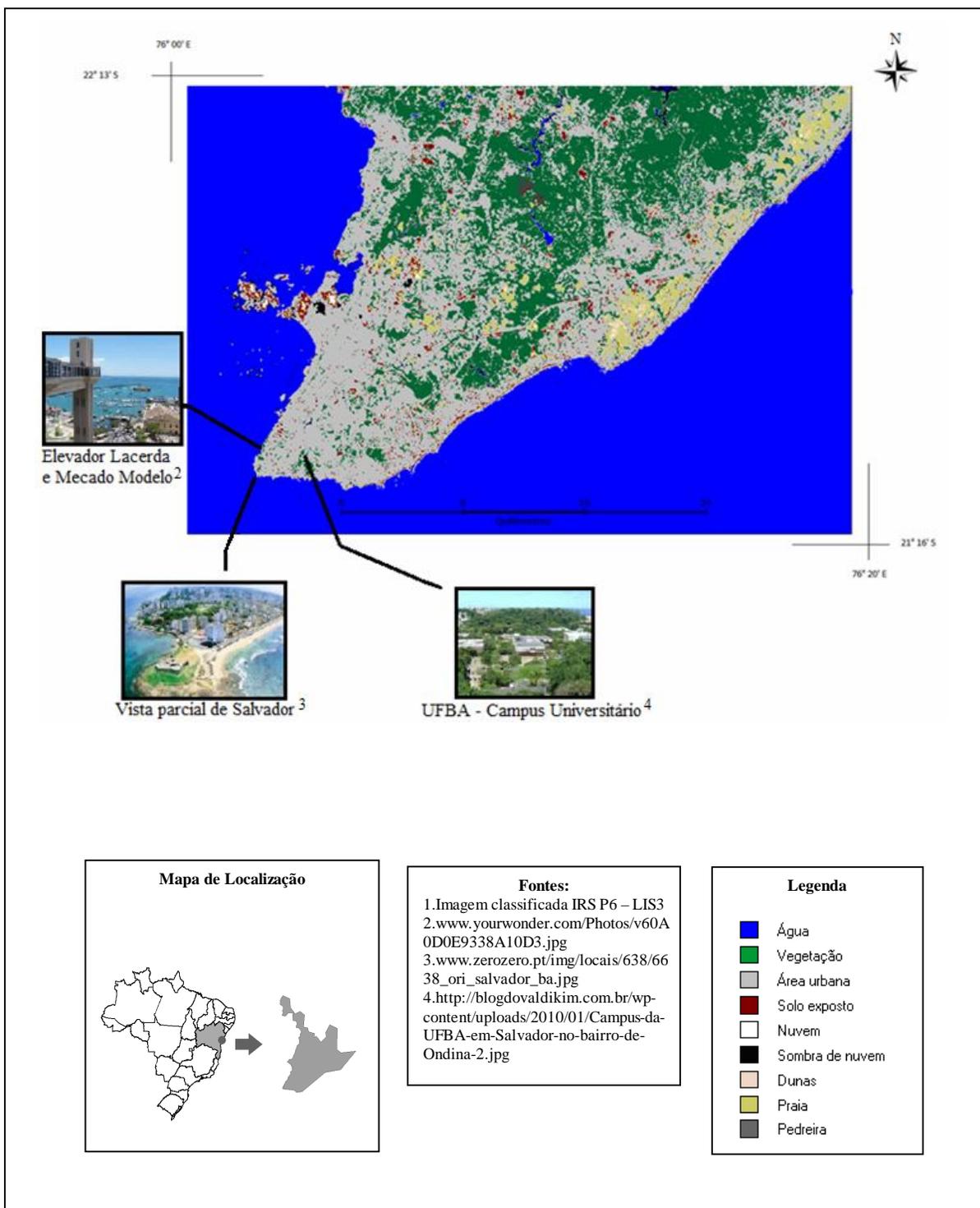


Fig. 4. Ocupação da Região Metropolitana de Salvador em 2010

Tabela 3. Distribuição das áreas para Região Metropolitana de Salvador para o ano de 2010

	IRS P6 -LIS3	
	km <sup>2</sup>	%
Água	469.271	52.917
Vegetação	149.251	16.830
Área urbana	229.434	25.872
Solo exposto	11.985	1.352
Nuvem	0.571	0.064
Sombra de nuvem	4.561	0.514
Dunas	1.593	0.180
Praia	20.135	2.270
Pedreira	1.006	-----

### 5. Análise visual da propagação do particulado proveniente da britagem.

Após a extensão desta área de precipitação foi localizada a região de alcance do particulado (figura 5 e 6), sendo que os bairros citados anteriormente encontram-se na região de maior influência do particulado da Aratu Mineração. A solução para minimizar a propagação do particulado nesta direção pode ser a criação da fronteira de árvores coníferas. A criação desta barreira possibilita a absorção do particulado pelas folhas das árvores, minimizando assim o fluxo de partículas na direção principal de propagação dos ventos.



Figura 5 – Região com acúmulo de particulados provenientes da britagem, como foi observado na imagem classificada.



Figura 6 – Direção de propagação do fluxo do particulado proveniente da britagem, de acordo com observação da precipitação na vegetação próxima.

### 6. Conclusão

A classificação permitiu identificar as superfícies existentes na região de estudo, mostrando o uso do solo, e principalmente a detecção de uma área com impacto ambiental. Foi visualizada uma região sobre a vegetação em que há precipitação do pó de brita gerado na Aratu Mineração. As principais superfícies detectadas de uso do solo foram: rocha exposta, vegetação, particulado na vegetação, solo exposto e corpos d'água.

Os resultados obtidos com as matrizes de classificação e seus respectivos índices kappa, indicam que a classificação realizada pelo Multispec foi satisfatória. A observar as matrizes é possível verificar que a maioria dos pixels selecionados e solicitados para fazerem parte de determinada classe atendeu a

exigência. Apenas alguns pixels nas classificações não foram classificados de acordo com a solicitação. Isto pode ser verificado mais facilmente a partir da análise do índice kappa, cujos valores obtidos para todas as classificações foram maiores que 95%. O resultado obtido indica que mais de 95% dos pixels foram classificados de acordo com a solicitação pelo usuário ao programa MultiSpec. A aplicação do Sensoriamento Remoto nesta mineradora permitiu também descobrir e delimitar áreas de influência da Aratu Mineração. A precipitação do pó de brita sobre a vegetação ocasionou uma mudança na reflectância das folhas das árvores e isto ficou notável após a composição das bandas espectrais. Com a composição 4, 3, 2 foi observada uma mudança na coloração vermelha nesta região, aproximando-se mais para o cinza. A composição em cores reais 3, 2, 1 também permitiu a distinção entre vegetação em que houve precipitação e a vegetação sem o precipitado, como pode ser observado na Figura 5.

Uma das medidas mitigadoras para o problema observado pode ser a implantação de uma barreira com árvores para impedir a passagem do pó de brita e do particulado em direção à vegetação e à cidade. Além da aspersão de água durante o processo de britagem, que já é feita pela empresa, é recomendável criar uma barreira para segurar as partículas que escapam das operações e ficam suspensas na atmosfera seguindo a direção preferencial do vento. Este tipo de bloqueio feito com uma barreira composta de árvores coníferas é uma boa aplicação para reduzir ainda mais o impacto ambiental, pois possuem elevada altura e capacidade de reter as partículas em suas folhas devido às glândulas existentes em suas superfícies que segregam óleo e absorvem o particulado em suspensão.

## 7. Anexo 01

### Avaliação das classificações automáticas aplicadas ao conjunto de dados.

Tabela 4. Avaliação do recorte de 1981

<i>Classe</i>	<i>VE</i>	<i>AR</i>	<i>AG</i>	<i>NU</i>	<i>SO</i>	<i>Acurácia do usuário(%)</i>
VE	146	0	0	0	0	100,0
AR	0	46	0	1	0	100,0
AG	0	0	13	0	2	86,7
NU	0	0	0	11	0	100
SO	0	0	2	1	17	89,5
Total	146	46	15	11	19	
Reference Accuracy(%)	100,0	100,0	86,7	100,0	89,5	

**Acurácia global=98,3% ; Índice Kappa=0,97**

Tabela 5. Avaliação do recorte de 1995

<i>Classe</i>	<i>VE</i>	<i>AR</i>	<i>AG</i>	<i>NU</i>	<i>SN</i>	<i>Acurácia do usuário(%)</i>
VE	249	0	0	0	0	100,0
AR	0	116	0	0	1	98,3
AG	0	0	145	0	0	100,0
NU	0	0	0	97	0	100,0
SN	0	2	0	0	153	99,4
Total	249	118	145	97	154	
Acurácia do produtor(%)	100,0	99,1	100	100	98,7	

**Acurácia global=99,7% ; índice Kappa=0,996**

Tabela 6. Avaliação do recorte de 2001

<i>Classe</i>	<i>VE</i>	<i>AR</i>	<i>AG</i>	<i>NU</i>	<i>SN</i>	<i>Acurácia do usuário(%)</i>
VE	422	0	0	0	0	100,0
AR	0	495	0	0	0	99,4
AG	0	0	179	0	2	98,4
NU	0	2	0	380	0	100,0
SN	0	1	3	0	191	99,0
Total	422	498	182	380	193	
Acurácia do produtor(%)	100,0	100,0	98,9	99,5	97,9	

**Acurácia global=98,6% ; índice Kappa=0,982**

Tabela 7. Avaliação do recorte de 2010

<i>Classe</i>	<i>VE</i>	<i>AR</i>	<i>AG</i>	<i>SO</i>	<i>NU</i>	<i>SN</i>	<i>Acurácia do usuário(%)</i>
VE	98	0	0	0	0	0	100
AR	0	58	0	1	0	0	98,3
AG	0	0	22	0	0	0	100
SO	0	0	0	11	0	0	100
NU	0	0	0	0	12	0	100
SN	0	0	1	4	0	11	68,8
Total	98	58	23	15	12	11	
Acurácia do produtor(%)	100,0	100,0	95,7	68,8	100	100	

**Acurácia global=97,2% ; índice Kappa=0,961**

## 8. Referências Bibliográficas

Alixandrini, M.; Bähr, H-P. **Influência das incertezas nas análises de mudanças de uso do solo a partir de classificações de imagens multiespectrais.** Anais Congresso Brasileiro de Cadastro Téc. Multifinalitário Cobrac - 2008. Florianópolis, Brasil, 19-23/10/2008.

Brites, R. S. ; Soares, P. V. ; Ribeiro, C. A. A. S.. **Comparação de Desempenho entre Três Índices de Exatidão aplicados a Classificações de Imagens Orbitais.** Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 14-19 abril 1996, INPE, p. 813-821.

DNPM – **Departamento Nacional de Produção Mineral.** Sumário Mineral 2008. Disponível <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2008/Aggregados.pdf>. Acesso em: 19/01/2009.

IBGE. **Contagem da População 2007.** Acesso em 2009, disponível: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>

Tjan, B. S.; Nandy, A. S. **First- and second-order classification image analysis of crowding.** *ECVP 2006.*

INPE – **Divisão de Geração de Imagens.** Disponível <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 05/10/2010