

Classificação da imagem ALOS para identificação do potencial de re-vegetação dos aterros desativados no Município de São Paulo

Luzia Helena dos Santos Barros¹

Kitaro Suenaga Jardineiro²

Marisa Dantas Bitencourt²

¹Universidade de São Paulo – USP/FAU; Prefeitura de São Paulo/SNJ
Av. Liberdade 103, 10º andar, Centro. São Paulo – SP, Brasil.

luziahelena@yahoo.com.br

²Universidade de São Paulo – USP/ IB/LEPaC
Rua do Matão, trav. 14 # 321 CEP 05508-900, São Paulo – SP, Brasil.

kitarosuenaga@gmail.com; tencourt@ib.usp.br

Abstract. This study was proposed to analyze the revegetation relative potential of two landfills located in the eastern zone of São Paulo city, which were disabled at least 20 years ago. This analysis could be made using fuzzy-maxlike classified images from ALOS (AVNIR-2, 10m), in which the vegetation classes were refined and well adjusted by field confirmations. Considering that the environmental quality is associated to the land cover distribution types, the methodology applied enables to evaluate the different types of land usages on inner and enclosing areas (500, 1000 and 2000 meters buffer zones) of those old landfills. The results showed that a) in both landfill areas the herbaceous vegetation is predominant; b) herbaceous vegetation is also the dominant land cover class in the 500 and 1000m buffer zones of São Mateus landfill; and c) unlike São Mateus, the Sapopemba landfill is under heavy urbanizations pressure. Therefore, two points could be concluded, the first one is that the São Mateus landfill have a higher potential for revegetation due to its location inside Carmo's Environmental Protection Area, and also due to having considerable more variety in vegetation types. The second point is that Sapopemba landfill has more barriers on the conversion process to be a vegetated area.

Palavras-chave: *remote sensing, image processing, urban analysis, brownfields, environmental quality, sensoriamento remoto, processamento de imagens, análise urbana, qualidade ambiental.*

1.Introdução

A destinação final do lixo, nas grandes metrópoles, vem se agravando ao longo dos tempos. O histórico da sua evolução e a sua caracterização no município de São Paulo mostra que esses locais recebiam todo e qualquer tipo de lixo (domiciliares, de serviços de saúde, de indústrias e de outras fontes). Tanto esses antigos locais de disposição de resíduos, sem nenhum controle, quanto os atuais, clandestinos ou operados irregularmente, caracterizam-se como áreas degradadas, configurando-se hoje ou no futuro como passivos ambientais¹.

Os lixões, aterros controlados e até os aterros sanitários são as formas de destino final que mais contribuem para a exposição da população a problemas de saúde pública, pois podem desencadear graves impactos ambientais: contaminação do solo e águas, poluição atmosférica e sonora, riscos de explosividade², recalques diferenciais do terreno³ e abrigo para animais sinantrópicos⁴ (Silva, 2001; Ramires *et al*, 2005). A compactação do solo e, especialmente, a produção do gás metano são fatores limitantes para a implantação de vegetação (Andrade, 2000).

¹ É o acúmulo de danos ambientais que devem ser reparados a fim de que seja mantida a qualidade ambiental de um determinado local. (Sánchez, 2001)

² Combustão do metano acumulado

³ Acomodação do maciço de resíduos provocada pela decomposição da matéria orgânica

⁴ Vivem junto ao homem, à despeito de sua vontade, podendo transmitir doença e causar agravos à saúde humana ou a outros animais. São eles; rato, pombo, morcego, barata, mosca, mosquito, pulga, carrapato, formiga, escorpião, aranha, taturana, lacraia, abelha, vespa e marimbombo (SMS, s/d, p.2).

O avanço da urbanização incorpora esses lixões à malha urbana e, quando encerrados, na maioria dos casos, permanecem “esquecidos”, abandonados, sem tratamento adequado, configurando-se em espaços subutilizados e como áreas suspeitas de contaminação, ou mesmo, contaminadas, transformando-se, então, nos chamados *brownfields*. Essas áreas podem sofrer apropriação por parte da população do entorno, como áreas informais de lazer ou até mesmo serem destinadas a espaços institucionais, de moradia ou de trabalho precário (catação), para a sobrevivência.

Em geral, recomenda-se a reuso das áreas dos antigos aterros como recreação e de forma compatível com o entorno. A reutilização dos antigos aterros no município está prevista no Plano Diretor Estratégico (Lei 13.430/02) e nos Planos Regionais Estratégicos (Lei 13.885/04). Essas áreas, extensas, situadas, na sua maioria, nas zonas periféricas, com carência de espaços públicos e de lazer, deverão ser incorporadas ao Sistema Municipal de Áreas Verdes.

Considerando a importância da requalificação desses antigos aterros e as dificuldades para re-vegetação dessas áreas, este trabalho tem como objetivo desenvolver métodos quantitativos de classificação do uso do solo, por meio do sensoriamento remoto orbital, que auxiliem a análise do potencial relativo da conversão desses aterros em áreas vegetadas.

2. Materiais e Métodos

2.1 Metrópole Paulistana – Área de estudo

São Paulo, capital do estado de São Paulo, perfaz 8.051 Km², com população de 10.998.813 habitantes⁵. Possui quatorze (14) antigos lixões ou aterros controlados desativados⁶, remanescentes, da década de 1970 e dois aterros sanitários, recentemente encerrados (Bandeirantes e São João). Alguns deles foram convertidos em parques (Raposo Tavares, Eng. Goulart, Juventude), outros possuem propostas de reuso para este mesmo fim: Jacuí, Sapopemba, São Mateus, Santo Amaro e Vila Albertina. O presente estudo selecionou os aterros São Mateus e Sapopemba, na zona leste da cidade. Mais detalhes, vide Figura 1.

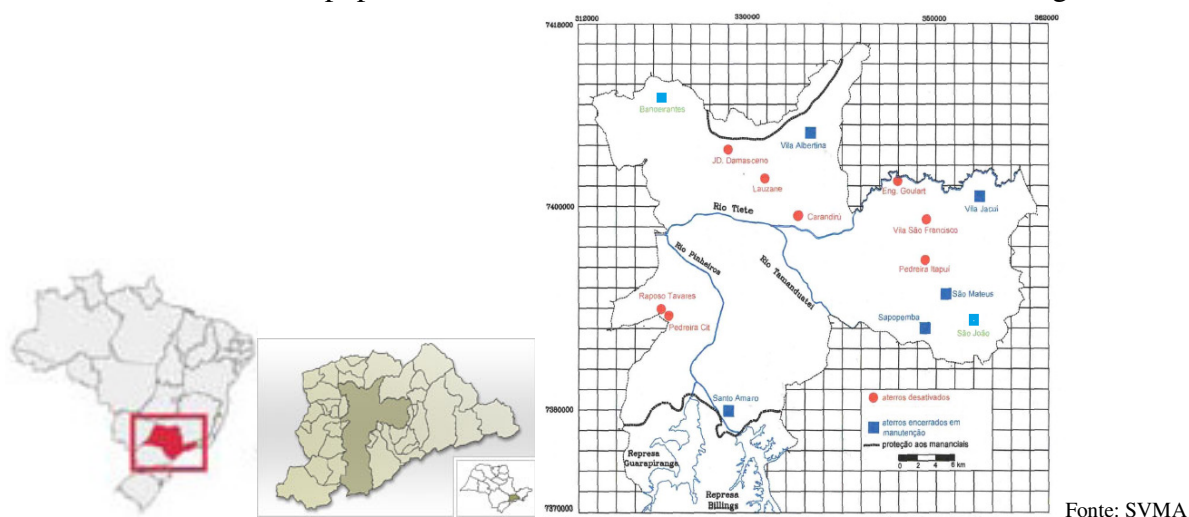


Figura – 1 Localização da área de estudo no município e estado de São Paulo e no Brasil

⁵ São Paulo (Município). Secretaria Municipal da Saúde (SMS). Coordenação de epidemiologia e Informação (CEInfo). 2009. Disponível em: <<http://www2.prefeitura.sp.gov.br/cgi/tabcgi.exe?secretarias/saude/TABNET/POP/pop.def.>>. Acesso 29mai.2010.

⁶ O total de aterros estudados se refere aos aterros desativados que foram oficialmente utilizados, outrora, como áreas de destinação final de resíduos pela administração municipal. Outras áreas de lixões ou aterros, contudo, são conhecidas ou, mesmo desconhecidas, pelo poder público.

A recuperação desses aterros está vinculada ao Termo de Compromisso Ambiental, firmado pela Prefeitura do Município de São Paulo (Secretaria Municipal de Serviços - SES) com a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA), no âmbito do licenciamento da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Leste (CTL) (SVMA/2009).

2.1.1 Aterro São Mateus

Está inserido na Subprefeitura de Itaquera, em Área de Proteção Ambiental (APA) do Carmo e na sub-bacia hidrográfica do rio Aricanduva, limitando-se, ao norte pelo Parque do Carmo, a leste pelo SESC Itaquera e à sudoeste pela Av. Aricanduva, perfazendo uma área de 85.000 m². Caracteriza-se pela presença de sedimentos terciários da Bacia Sedimentar de São Paulo, por micaxistos e, localmente, por aluviões quaternários, do córrego Fazenda Velha. Foi implantado em fevereiro de 1984, sobre antiga cava de pedreira, encerrando suas atividades, por pressão da população, em dezembro de 1985, com o total de um milhão de toneladas de resíduos depositados. A cobertura vegetal está representada por gramíneas, arbustos e espécies arbóreas de pequeno porte, localizadas. Há presença de eucaliptos em faixa que se estende até o Parque do Carmo. (SVMA, 2001; Ramires *et al.*, 2005; ESALQ, 2006).

Investigação ambiental realizada detectou contaminação de vapores em solo, com risco de explosividade para metano, de solo por arsênio e ferro e das águas subterrâneas por metais, 2,3,4,5-tetraclorofenol (composto semi-volátil) e coliformes fecais e totais (SES, 2009).

2.1.2 Aterro Sapopemba

Está situado ao sul da APA do Carmo, na Subprefeitura de São Mateus, com acesso pela Rua Bandeira de Aracambi e próximo da Estrada do Rio Claro e do Km 27 da Av. Sapopemba, com área de 220.000 m². Integra a sub-bacia do córrego Caaguaçu, onde predominam os solos de micaxistos. A sua implantação deu-se em 1979, sobre uma área de vale, encerrando-se em 1984, onde foram dispostos 2,7 milhões de toneladas de resíduos. Ocorrem gramíneas, arbustos e, raramente, espécies arbóreas. Está incluído na 'Gleba São Francisco', em projeto de urbanização, a cargo da Secretaria Municipal da Habitação (SVMA, 2001; Ramires *et AL.*, 2005; Volpe-Filik *et al.*, 2007).

De acordo com investigação ambiental realizada, foi constatada contaminação da água subterrânea pelos metais: alumínio, bário, chumbo, ferro e manganês. Além disso, altos valores foram observados para os parâmetros turbidez, coliformes fecais e totais. Migração de metano para os arredores do aterro, também, foi verificado (SVMA, 2008).

2.2 Material

A elaboração do mapa de uso e ocupação do solo foi obtida pela utilização das imagens do satélite japonês *ALOS (Advanced Land Observing Satellite)*, distribuídas exclusivamente pelo IBGE. Utilizou-se o sensor *AVNIR-2 (Advanced Visible and Near-infrared Radiometer – Type 2)*, com faixas espectrais: azul (0,42-0,50µm), verde (0,52-0,60µm), vermelho (0,61-0,69µm) e infravermelho próximo (0,76-0,89µm). A imagem é de 12 de dezembro de 2007 e possui resolução espacial de 10 m. Foi utilizado o programa de processamento de imagens *Idrisi™ Andes (Clark Labs, 1987 – 2006)*. A base cartográfica digital foi obtida na Secretaria do Verde e Meio Ambiente (SVMA, 2004).

2.3 Metodologia

Santos (2004) afirma que o uso e ocupação do solo é uma ferramenta utilizada para mostrar as possíveis pressões ou impactos advindos das intervenções antrópicas sobre os ambientes naturais. Relata também que este tipo de instrumento possibilita a integração entre os dados sobre os meios biofísico e socioeconômico, bem como é fundamental à análise de fontes de poluição.

O desenvolvimento desse trabalho tem como premissa a metodologia aplicada, em imagens de alta resolução, por Novack e Kux (2009) que trata da combinação entre rede hierárquica e árvore de decisão para obtenção automática de atributos e limiares na classificação da cobertura do solo urbano.

Inicialmente, foi realizada uma análise de principais componentes (PCA) das quatro bandas originais, obtendo-se uma imagem que explicava 87,2% da variação total entre elas. Adicionalmente, foi obtida uma imagem de índice de vegetação (NDVI)⁷. Essas seis imagens definiram as assinaturas espectrais e sua correspondente classificação *Fuzzy*⁸. Um refinamento da classe de vegetação foi realizado, por intermédio de uma imagem máscara, com pixels classificados como vegetação e não identificados, sobreposta às seis imagens originais utilizadas na primeira classificação, criando novas imagens multiespectrais, PCA e NDVI. Em seguida, foi aplicado o algoritmo de classificação *Maxlike*⁹. Algumas classes foram reunidas para simplificar e melhorar a sua visualização no mapa. Foi realizada, então, a sobreposição das duas classificações, substituindo-se as áreas mal definidas na classificação *Fuzzy*, pela *Maxlike*, mais precisa. Adicionalmente, foi aplicado um filtro nessa imagem para reduzir o ruído, obtendo-se o mapa de uso e ocupação do solo, como mostrado, na Figura 2 (Bitencourt, 2009).

Apesar da melhoria dos resultados obtidos com a combinação dos algoritmos de classificação *fuzzy* e de máxima verossimilhança (Bitencourt, 2009), a classe de vegetação mereceu maior detalhamento, devido ao interesse específico desse estudo sendo, por isso, realizado outro refinamento, mediante a verificação da correspondência da assinatura espectral com a tipologia de vegetação identificada em campo¹⁰. Assim, foram individualizadas treze (13) classes de uso e ocupação do solo: água; solo exposto; asfalto; urbanização; maciço arbóreo muito denso, denso, pouco denso; maciço herbáceo; vegetação de parque; silvicultura, várzea, sombra e brilhantes¹¹.

O contexto urbano de uso e ocupação do solo, no qual se inserem os quatorze (14) lixões ou aterros desativados, estão mostrados na Figura 3. Para tanto, foram identificadas, espacializadas e quantificadas as tipologias de uso e ocupação, que predominam no interior e no entorno (distâncias de 500, 1000 e 2.000 m) dos aterros selecionados, associado aos princípios da ecologia de paisagens e, avaliada a potencialidade relativa da sua conversão em áreas vegetadas, segundo a presença de vegetação e, secundariamente, de água. A presença, especialmente, da vegetação favorece o pouso e o trânsito de animais, bem como a dispersão de sementes das espécies vegetais, permitindo a troca gênica entre os maciços vegetais.

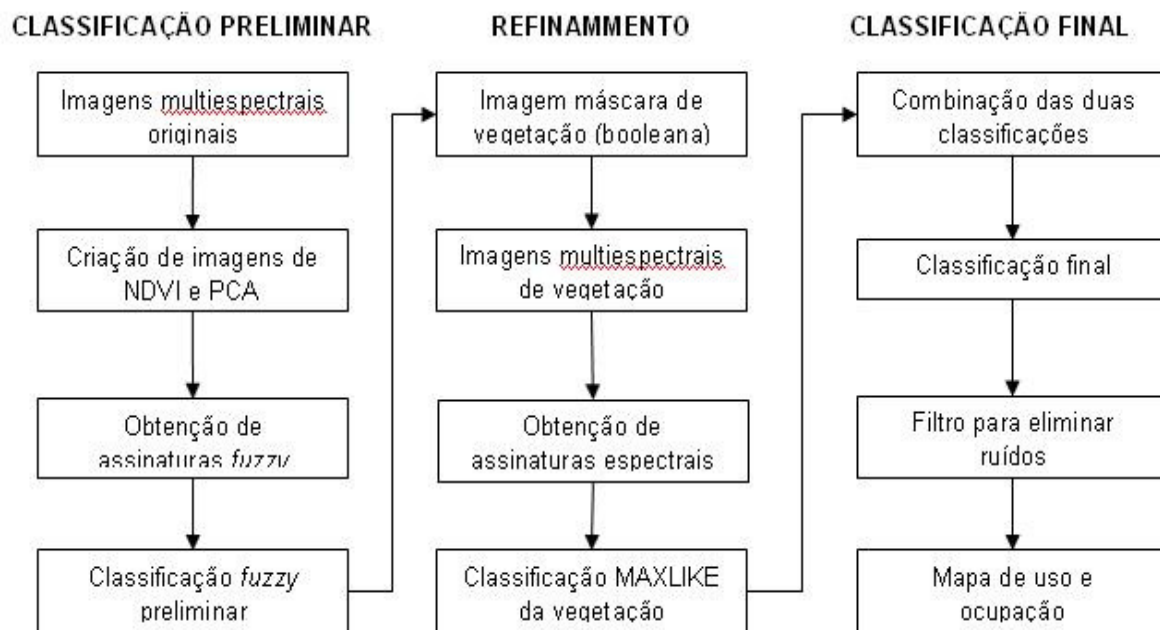
⁷ NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) desenvolvido por Rose *et al.* (1974), é muito utilizado, expressando a diferença entre as faixas do infra-vermelho próximo e do vermelho, normalizada pela soma das mesmas (Thiam e Eastman, 1999).

⁸ Classificação "*soft*" que cria uma imagem para cada classe a ser obtida, exibindo a probabilidade de cada pixel pertencer a essa classe (Eastman, 2006).

⁹ Classificação "*hard*" que obrigatoriamente designa uma das classes desejadas para todos os pixels da imagem (idem).

¹⁰ A identificação da vegetação foi realizada pelo Biólogo Dr. Ricardo José F. Garcia, do Herbário Municipal (SVMA), nos parques Raposo Tavares e Alfredo Volpi, nesse último sendo auxiliado, também, pelo Eng. Florestal Dr. Rubens Chagas.

¹¹ Inclui todos os alvos de grande refletância para quase todas as bandas da imagem, tais como: telhados de metal, solos muito arenosos, etc. (Bitencourt, 2009).



Fonte: Bitencourt (2009)

Figura 2 - Representação do processo de classificação, por sensoriamento remoto, aplicado na imagem ALOS/2007, para obtenção do mapa de uso e ocupação do solo no município de São Paulo

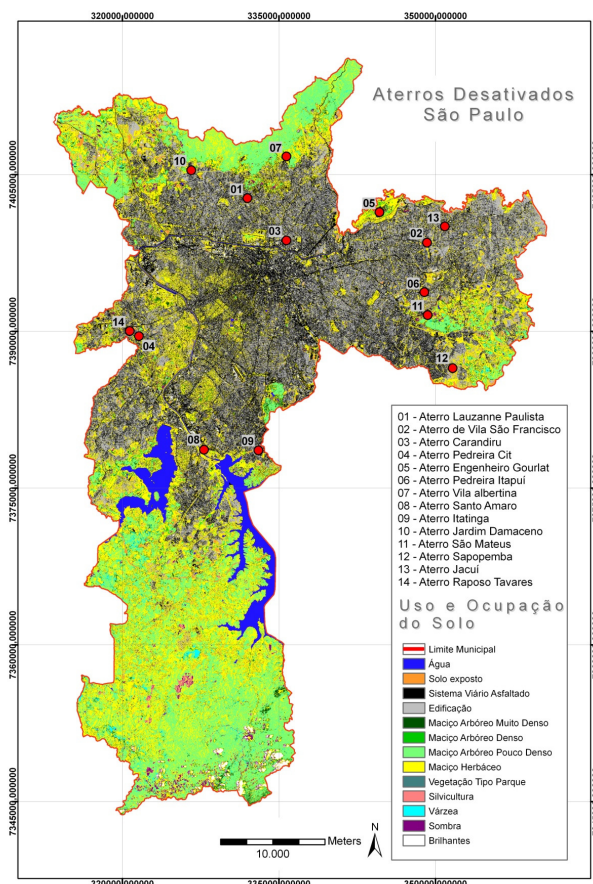


Figura 3 - Localização dos lixões e aterros controlados desativados sobre o mapa de uso e ocupação do solo do município de São Paulo

3. Resultados e discussão

A distribuição das classes de uso e ocupação do solo para os aterros São Mateus e Sapopemba está apresentada na Figura 4. Considerando que a soma das classes de vegetação, 'sistema viário asfaltado' e 'edificação' perfazem mais de 80% do total, foi realizada uma simplificação para a apresentação da quantificação das 13 classes obtidas. Assim, as classes 'edificação' e 'sistema viário asfaltado', foram reunidas na classe 'urbanização', enquanto que a classe 'maciço herbáceo' inclui a 'vegetação tipo parque'

Na Tabela 1 apresenta-se a síntese dos dados obtidos para os dois antigos aterros municipais. Verifica-se que a classe 'maciço herbáceo' predomina no interior de ambos, com média de 82%, apresentando no seu entorno variação entre 28 e 37%. A vegetação arbórea está ausente no interior do aterro Sapopemba, com pouca significância no seu entorno, onde predomina a 'urbanização' (52 a 58%), ocorrendo, secundariamente, o 'maciço herbáceo' (34 a 37%). No entorno do aterro São Mateus predomina o 'maciço herbáceo', nos raios mais próximos (33%) e, a 'urbanização', no raio de 2.000 m (45%). A classe 'água' está presente apenas nesse último, mas com muito pouca significância.

A vegetação herbácea, identificada no interior desses aterros, é típica das intervenções da engenharia para recuperação (re-vegetação) de aterros¹² e, predomina, também, no entorno mais próximo (500 e 1.000 m) do aterro São Mateus, que apresenta vegetação arbórea com pouca expressão. O envolvimento do aterro Sapopemba pela classe 'urbanização', demonstra que o mesmo está sob forte pressão da urbanização consolidada.

Tabela 1 – Quantificação (%) simplificada das classes de uso e ocupação do solo nas áreas de entorno (500, 1.000 e 2.000 m) dos aterros selecionados

Classes	São Mateus				Sapopemba			
	Int.	500	1000	2000	Int.	500	1000	2000
Urbanização	3	19	27	45	2	52	58	53
M. A. m. Denso	5	5	6	4	-	2	1	3
M. A. Denso	0,1	0,2	0,1	0,1	-	-	-	0,2
M. A. p. Denso	4	23	19	14	-	0,3	1	3
M. Herbáceo	81	33	32	28	83	37	33	34
Água	-	0,1	1	0,3	-	-	-	-

4. Conclusões

Os aterros analisados apresentam o predomínio da vegetação herbácea no interior dos seus perímetros. A vegetação arbórea, proporcionalmente, é pouco significativa nas suas imediações. Manchas contínuas de vegetação se destacam nos arredores do São Mateus, associadas aos remanescentes existentes na Área de Proteção Ambiental do Parque do Carmo. O Sapopemba, de grande extensão, está sob forte pressão da urbanização, desfavorecendo a formação de corredor verde interligando o Morro do Cruzeiro até a Baixada Santista, sugerida por Volpe-Filik (2007), o que lhe atribui menor potencial para re-vegetação.

¹² Em geral, os projetos de recuperação dessas áreas objetivam, principalmente, a instalação de drenagem superficial e a manutenção da estabilidade, indicando comumente o revestimento vegetal com gramíneas, mais simples e eficiente, sem nenhuma preocupação paisagística. Andrade (2000) relaciona os motivos para a utilização das gramíneas: a) ausência de dados sobre implantação de vegetação nas condições adversas dos aterros; b) falta de interesse e/ou condições financeiras do poder público em investir na recuperação dessas áreas; c) insuficiência de conhecimentos e falta de investimentos em métodos de adaptação do ambiente às espécies vegetais paisagísticas.

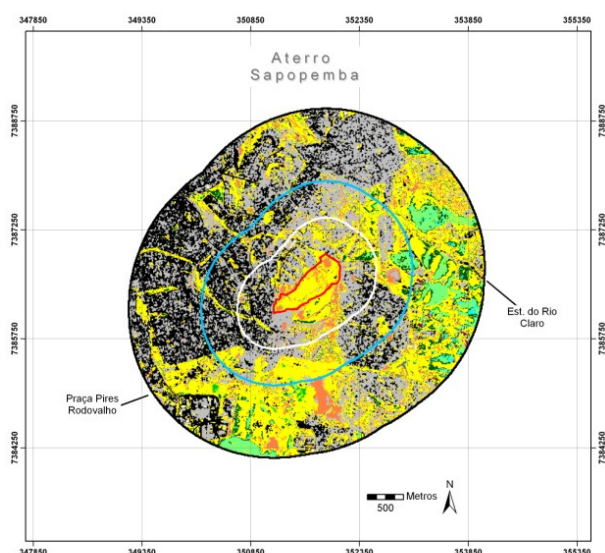
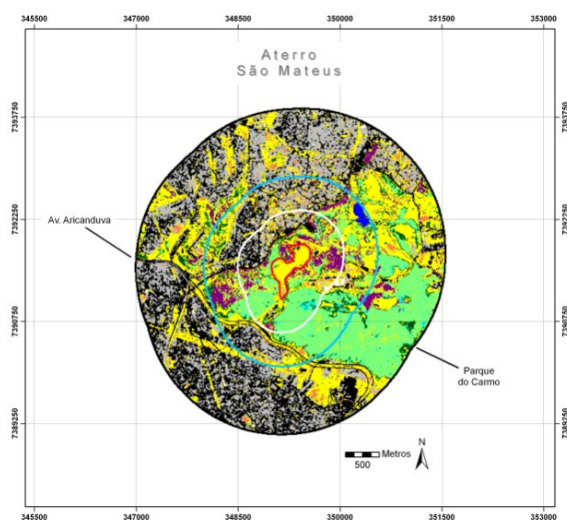


Figura 4 - Uso e ocupação do solo no entorno dos aterros desativados São Mateus e Sapopemba no município de São Paulo

5. Agradecimentos

Os autores agradecem, especialmente, aos biólogos Ricardo José F. Garcia, pela identificação da vegetação e Carlos Felipe P. da Silveira pela elaboração do mapa de uso e ocupação do solo; ao arquiteto Flavio Fatigatti pelo auxílio com as bases digitais e aos colegas do LEPaC pelo auxílio na utilização das ferramentas de informática e de geoposicionamento.

6. Referências Bibliográficas

Andrade, J.C. Vegetação em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: estudo do caso do aterro Santo Amaro. 2000. 186 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – COPPE. Rio de Janeiro, RJ. 2000.

Eastman J.R. **Idrisi Andes: Users Guide, Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis**, Clark University, Worcester, Mass. 2006.

Bitencourt, M.D. **Modelagem espaço espectro temporal da qualidade a água, utilizando análise geográfica computadorizada**. 2009. Universidade de São Paulo (USP)/ Instituto de Biociências(IB), Parceiro SABESP. (Processo FAPESP nº 2006/51869-3).

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ). **Projeto de Restauração Ecológica do Aterro Sanitário Desativado São Mateus, São Paulo-SP**. Piracicaba: ESALQ, 2006. 111 p.

Novack, T; Kux, H. J. R. Classificação da cobertura do solo urbano inserindo árvores de decisão a rede hierárquica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14; 2009. Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 7871-7876. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://martem.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.1711/7871-7876.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2010.

Ramires, J.Z., Rezende, J.V.; Barros, L.H.S.; Bruni, H.S.; Anais, A.A. Ações para revitalização de aterros desativados no município de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental (CBGE), 11; 2005. Florianópolis. **Anais...** (CD ROM).

Sánchez, L.E. **Desengenharia: O Passivo Ambiental na Desativação de Empreendimentos Industriais**. Edusp/FAPESP. São Paulo. 2001. 256 p

Santos, R.F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

São Paulo (Município). Secretaria Municipal da Saúde (SMS). Centro de Controle de Zoonoses. **Animais sinantrópicos: como prevenir**. Manual do Educador. São Paulo, s/d. 25 p. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/.../Sinantropicos_1253737170.pdf> Acesso em: 06out2010.

_____. Secretaria Municipal de Serviços (SES). **Investigação Confirmatória do Aterro São Mateus, São Paulo/SP**. São Paulo: Weber Ambiental, 2009. 273 p. (Projeto Weber nº 01.440.08; Processo Administrativo 2006-0.301.066-7).

_____. Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente (SVMA). **Atlas ambiental do Município de São Paulo – O verde, o território, o ser humano: diagnóstico e bases para a definição de políticas públicas para as áreas verdes no Município de São Paulo**. São Paulo: SVMA, 2004. 266 p.

_____. **Avaliação preliminar da viabilidade ambiental da implantação de parques municipais em aterros sanitários desativados**. São Paulo: SVMA, 2001. 59 p.

_____. **Informação técnica nº129/GTAC/2008**. São Paulo: SVMA, 2008. 2 p. (TID nº 3379658)

_____. Parecer Técnico nº 135/GTAC/2009, 05/11/09. **Projeto Preliminar do Parque Urbano Sapopemba**. São Paulo: SVMA, 2009. 6 p.

Silva, F.A.N. Avaliação Ambiental Preliminar de Antigas Áreas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos do Município de São Paulo. 2001. 104p. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade de São Paulo(USP)/Instituto de Geociências (IG). São Paulo, 2001.

Thiam, A.; Eastman, J.R. Vegetation indices. In: Eastman, J.R. (Org.). **IDRISI 32 Guide to GIS and Image Processing**. Clark University: Worcester, v.2. 1999. p. 107-122.

Volpe-Filik, A.; Aguirre Jr., J.H., Lima, A.M.L.P.; Ferreira, F.B.J.; Salim, M.; Faria, O.A.; Alvarez, I.A. Criação de Parques Urbanos em Aterros Sanitários Desativados, Estudo do Aterro Sapopemba, São Paulo,SP. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 2, n. 3, p.80-87, 2007. Disponível em: <<http://www.revsbau.esalq.usp.br/notas-tecnicas/nota05.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2010.