

O USO DE GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE ESPACIAL DAS ÁREAS DE BROWNFIELDS FERROVIÁRIOS NA CIDADE DE SÃO PAULO – BRASIL

M. A. Lombardo, A. R. Vasques, L. L. Volpe e J. L. Polizel

RESUMO

A complexidade dinâmica dos fenômenos urbanos faz com que as aplicações das técnicas de sensoriamento remoto sejam, muitas vezes, limitadas em função da resolução espacial. Entretanto, na última década foram colocados em órbita sensores de alta resolução e suas imagens apresentam-se como possíveis soluções para o mapeamento e análise de processos urbanos que exigem detalhamento e constante atualização do seu espaço edificado. O objetivo deste estudo é usar os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e técnicas de geoprocessamento na identificação e no mapeamento de *brownfields ferroviários* na cidade de São Paulo visando fornecer subsídios para o reconhecimento e tratamento destas áreas. Este projeto foi desenvolvido com o uso de dados de sensoriamento remoto de alta resolução espacial e técnicas de processamento digital de imagens para a identificação de usos do solo, mediante o reconhecimento e classificação de feições.

1 INTRODUÇÃO

A formação de áreas de *brownfields*¹ remonta o processo de desenvolvimento industrial das antigas capitais européias que enfrentaram a partir da década de 1970 reestruturações na forma produtiva e gerencial das empresas. Estas modificações se consolidaram durante os anos 1980 e 1990 quando cada localidade reorganizou-se mantendo peculiaridades próprias, mas ao mesmo tempo adotando características comuns como a flexibilidade produtiva e a especialização em fases ou etapas do processo produtivo.

As mudanças impuseram transformações nas atividades econômicas; e estas vêm passando por períodos de mutação, principalmente no setor industrial, onde são incessantes as novas formas de produzir: aquisição das mais modernas máquinas, criação de produtos inovadores além da necessidade de constante especialização.

Quando não se acompanha este ritmo é quase certa a falência de uma atividade econômica. As instalações industriais desativadas (*brownfields*) aparecem neste contexto; como um

¹ Segundo Alker et al (2000) o termo *brownfield* é entendido como qualquer terreno ou parte dele que previamente ocupado, mas que atualmente está sem uso, embora possa estar sendo parcialmente utilizado. Além disso, pode estar abandonado ou contaminado, ou ainda disponíveis para reuso, sendo que em muitos casos é necessário intervenções para o reuso de suas estruturas. Outras variações para o termo *brownfield* são: *derelict land*, *fallow land*, e *previously developed land*. Na língua castelhana o termo correspondente é *ruínas industriales*. Em alemão o termo correspondente é *brachfläche*. Nos países de língua francesa o termo que corresponde a *brownfields* é *friches (urbaines et industrielles)*. Em português, não existe um consenso quanto a uma expressão equivalente, diferentes autores usam os termos: espaços residuais, cicatrizes/fraturas urbanas, cinturão ou anel de ferrugem, etc.

registro de um período técnico; testemunhas de outras mutações econômicas e de períodos de crise.

Em todos os casos, a desvalorização destas áreas produtivas foi responsável por transferências, falências, abandono e encerramento de estabelecimentos e terrenos que com o passar dos anos e com a degradação física imposta, transformaram-se em *brownfields*.

Locais *brownfields* não são necessariamente antigas indústrias desativadas, podem também ser empresas comerciais desativadas, minas abandonadas, lixões ou depósitos de resíduos, todo tipo de infra-estrutura de transporte como ferrovias, portos e aeroportos; além de barragens, usinas termelétricas e nucleares, que perderam sua função.

As exigências para a recuperação das antigas áreas industriais desativadas, perpassam as questões da contaminação do solo, que é um risco para saúde humana e para os ecossistemas; as restrições financeiras, visto que são altos custos para a limpeza dos locais, e os problemas de natureza social decorrentes do declínio produtivo (desemprego e migrações) e conseqüente decadência econômica da região.

A despeito destas barreiras, os *brownfields* apresentam alto potencial econômico, urbanístico e social, fazendo com que seja importante a refuncionalização dos mesmos. Se a presença destas áreas é um problema enfrentado por várias cidades, as vantagens associadas à refuncionalização tornam esta prática especialmente requisitada e geralmente vista como uma oportunidade de dotar estes locais de novas potencialidades. As vantagens da refuncionalização de *brownfields* abrangem os *benefícios ambientais* (preservação e ampliação de áreas verdes, limpeza dos locais e descontaminação), os *benefícios econômicos* (aumento na base de impostos com a arrecadação municipal de impostos prediais e sobre atividades comerciais em áreas reabilitadas, gera trabalho e renda), os *benefícios sociais* (melhora a qualidade vida das comunidades próximas a estas áreas, novos empregos, novas atividades atendendo as demandas do bairro) e os *benefícios paisagísticos* (melhora a “imagem” da cidade perante a população e investidores, cria novos ambientes renovados esteticamente e revitalizados funcionalmente).

Em muitas cidades, o aproveitamento destes espaços tem movimentado instrumentos legais, administrativos, urbanísticos e práticos, fazendo com que a recuperação ambiental dos *brownfields* seja uma das preocupações mais atuais do planejamento urbano.

Nesta pesquisa, o uso do geoprocessamento e do sensoriamento remoto no mapeamento das áreas de *brownfields ferroviários* acrescenta novas análises ao utilizar diferentes metodologias de classificação do uso da terra com imagens de alta resolução espacial aos estudos direcionados ao planejamento destas áreas.

2 FORMAÇÃO DE BROWNFIELDS FERROVIÁRIOS EM SÃO PAULO

A cidade de São Paulo foi marcada por um processo industrial intenso. Segundo Sanchez (2001), “a indústria em São Paulo desenvolveu-se inicialmente no centro e no bairro do Brás, no começo do século XX, espalhando-se antes dos anos de 1930 para os bairros da Mooca e Barra Funda, ao longo dos eixos ferroviários”. As vilas operárias expandiram-se a partir das atividades ferroviárias, sendo assim, muitos imóveis industriais presentes nestes

bairros tornaram-se peças importantes no cenário urbano, não sendo possível desconsiderá-los na cidade.

Com o declínio da economia cafeeira e a construção de rodovias no país, a atividade ferroviária passa a ter sua função reduzida e os imóveis e galpões inutilizados na ferrovia e suas proximidades muitas vezes são reaproveitados de maneira inadequada ou permanecem em estado de abandono.

Predominam nos antigos bairros fabris de São Paulo inúmeros casos de demolições de *brownfields*, principalmente próximo às Estradas de Ferro Santos Jundiaí e Central do Brasil e às estações ferroviárias. Embora algumas refuncionalizações existam, não são suficientes para mudar a paisagem de abandono. Não havendo políticas voltadas à preservação do patrimônio histórico fabril destes bairros a paisagem de contrastes vigora: uma representando o passado industrial e outra representando uma economia voltada ao mercado imobiliário, com a demolição de antigas fábricas e galpões para a construção de lançamentos imobiliários residenciais e comerciais verticais.

A análise destas transformações espaciais e a mudança do uso da terra pode ser compreendida e representada com o uso das geotecnologias. Neste sentido, os processos de identificação destas áreas em produtos do sensoriamento remoto, a classificação das mesmas e a análise multitemporal foram os métodos escolhidos nesta pesquisa para o estudo das antigas áreas fabris próximas aos eixos ferroviários de São Paulo, subsidiando assim inventários e mapeamentos destas áreas visando o planejamento de reuso de *brownfields* ferroviários.

3 GEOTECNOLOGIAS PARA A IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE BROWNFIELDS FERROVIÁRIOS

A identificação das áreas abandonadas deve ser a primeira etapa em estudos refuncionalização. Na última década foram colocados em órbita sensores de alta resolução e suas imagens apresentam-se como possíveis soluções para o mapeamento e análise de processos urbanos que exigem detalhamento e constante atualização do seu espaço edificado. Além disso, a existência de programas computacionais voltados para a organização espacial de dados geográficos contribui para esta etapa do trabalho. Visando o armazenamento, organização e gerenciamento de dados espaciais, a exploração de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) configura-se como o meio mais adequado para organização de informações e apresentação de produtos finais em forma de imagens, mapas e gráficos.

O presente trabalho teve como objetivo identificar e mapear por meio de produtos de sensoriamento remoto os galpões ferroviários e industriais abandonados e reconvertidos nas proximidades da linha férrea na metrópole de São Paulo.

A primeira etapa da pesquisa foi analisar como as áreas de *brownfields* podem ser descritas espacialmente e caracterizadas em imagens orbitais de alta resolução espacial e fotografias aéreas.

O objetivo da análise é a identificação das características apresentadas pelos *brownfields* quando imageados. A afirmação de um local como sendo um *brownfield*, somente pela análise visual da imagem não é suficiente para validação. A ida ao campo é necessária para

confirmação. Contudo, as inferências reveladas pela interpretação são de grande valia para caracterizar potenciais *brownfields*.



Figura 1: Com o que se parece um brownfield?
Fonte: Bacon (2007)

Na figura 1 é possível distinguir uma zona industrial separada de uma zona residencial por uma avenida. A área industrial apresenta galpões desativados, ou seja, potenciais *brownfields*, uma vez que os estacionamentos adjacentes aos grandes galpões se encontram vazios, e há a presença de vegetação (mato crescido – que denota abandono) nas propriedades. Os telhados escuros revelam materiais mais antigos, em contraste com o galpão novo (a sudoeste na imagem) que apresenta alta refletância, e que está com o estacionamento repleto de caminhões.

A interpretação visual de imagens e aplicadas aos estudos sobre *brownfields* podem ser sumarizadas no descritor (figura 2):

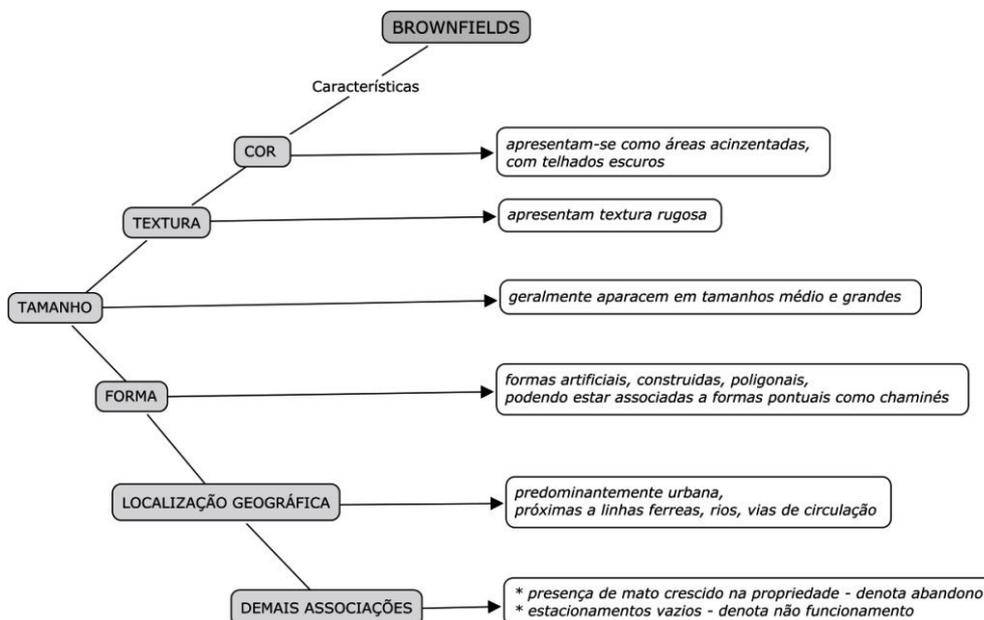


Figura 2: Caracterização das Áreas de *Brownfields*
(Vasques, 2009)

A delimitação da área de estudo iniciou-se com a análise de diferentes mapas que apresentassem informação sobre a atividade fabril no Município de São Paulo (Figura 3). O presente trabalho foi desenvolvido nos bairros da Mooca, Brás, Cambuci e Ipiranga, em São Paulo por apresentarem grande concentração de áreas industriais (Figura 4).

Foram realizados trabalhos de campo para a verificação da situação atual dos imóveis industriais e ferroviários no entorno da linha férrea, bem como compreender o processo histórico que originou as áreas de *brownfields* nestes bairros.

O georeferenciamento das imagens QuickBird, Ikonos e das fotografias aéreas antigas dos bairros de São Paulo foram realizados no ArcGis 9.2. Utilizando o mapa base do Instituto Geográfico Cartográfico de São Paulo - IGCSP (SÃO PAULO, 1972), onde constavam áreas industriais ativas, os produtos de sensoriamento remoto em análise multitemporal e os trabalhos de campo foram identificados inúmeros casos de *brownfields* e *brownfields* reconvertidos na área de estudo.

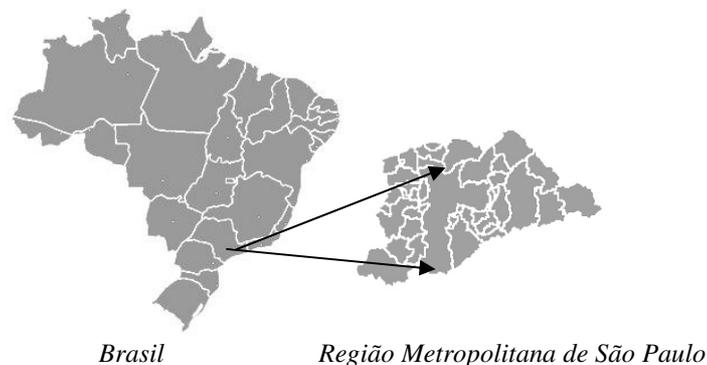


Figura 3: Localização da Região Metropolitana de São Paulo, com destaque para o Município de São Paulo

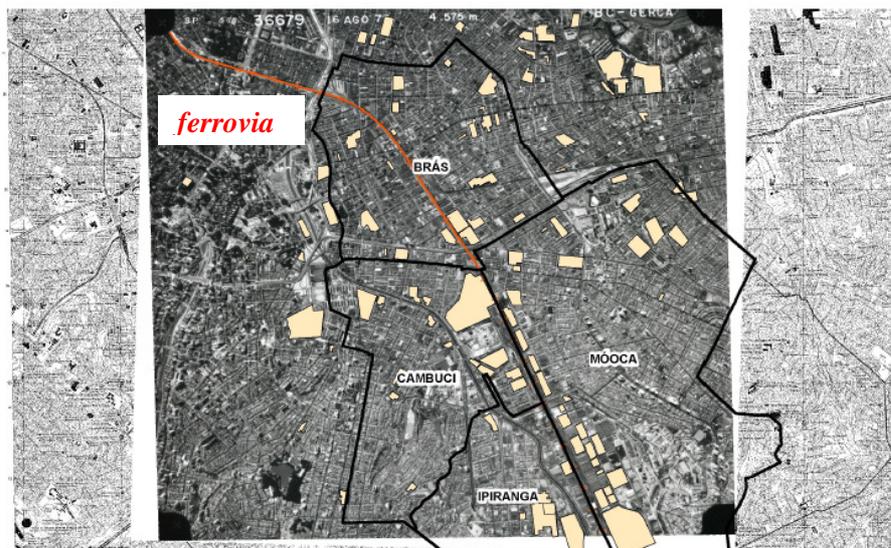


Figura 4: Localização dos bairros estudados com destaque para os estabelecimentos fabris ativos na década de 1970.

O processo de uso e reuso do solo urbano foi possível a partir da análise de imagens de diferentes anos para a mesma localidade (Figura 5), ou seja, a observação da mesma área em momentos históricos distintos, possibilitando o registro das alterações ocorridas dentro do período estudado. No caso da reconversão industrial, a detecção de mudança de uso da terra foi realizada a partir da análise de várias fontes de dados que foram integrados em ambiente SIG, no programa ArcGis 9.1: documentos históricos, fotografias aéreas, imagens orbitais, e trabalhos de campo. De posse deste conjunto de informações foi possível reconstruir a história e a dinâmica dos sucessivos usos da terra.

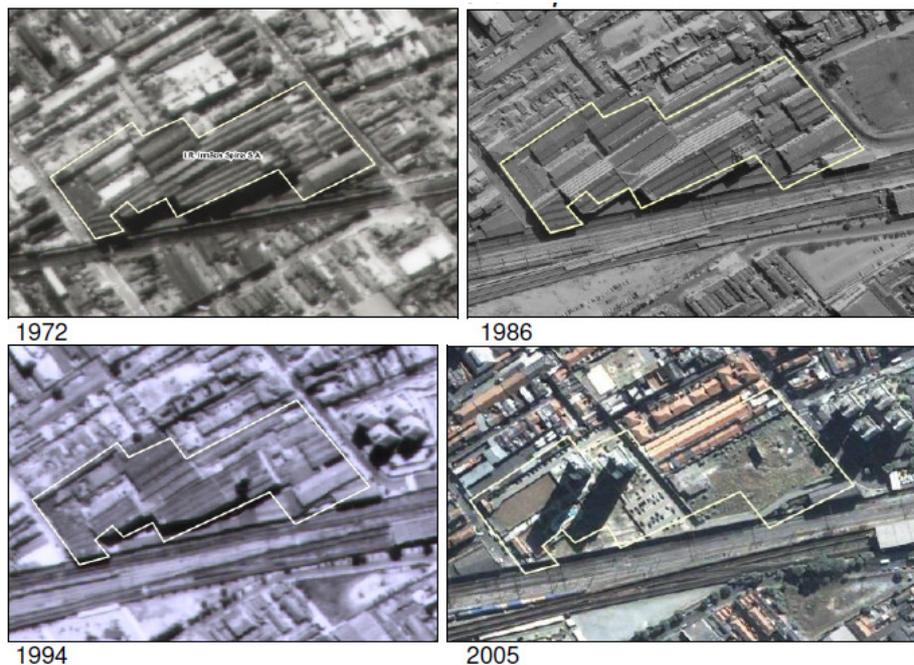


Figura 5: Análise multi-temporal da indústria Spina



Figura 6: Terreno da antiga indústria Spina

O exemplo acima ilustra a demolição da antiga indústria *Spina*, na última década, dando lugar a abertura de uma rua no meio do terreno, que se apresenta metade demolido, metade ocupado por duas torres residenciais, piscina, estacionamento, e ainda uma parte sem uso, provavelmente a espera de novo empreendimento. O entorno da antiga fábrica também passou por alterações, a exemplo da ampliação da linha para a passagem do metrô, ao sul da fábrica. O conjunto de quatro torres ao lado da indústria está no lugar do que já fora um conjunto de galpões que foram demolidos. O entorno da antiga *Spina* é residencial, o que pode indicar um futuro uso com o lançamento de imóveis residenciais (figura 6).

A identificação de potenciais *brownfields* foi a segunda etapa da pesquisa, e foi realizada com o SIG TNTmips usando o método de classificação supervisionada. Este método

permite que o usuário supervisione a classificação estabelecendo uma coleção de amostras (pontuais) características de cada classe ou cobertura do solo a ser mapeada. O TNTmips analisa estatisticamente estas coleções de pontos para caracterizar as classes e realiza o mapeamento de toda a área por comparação matemática.

A rotina de processamento escolhida foi a *stepwise linear classification*, que segundo o Smith (2006) é um método que aplica as técnicas de análise discriminante para determinar regras de decisão capazes de classificar as feições a partir dos objetos raster (matricial) de entrada. A análise discriminante, segundo Johnston (1978) é uma técnica estatística que calcula o conjunto de variáveis derivadas (funções discriminantes – combinações lineares das bandas) que produzem a melhor separação possível, ou seja, a discriminação entre as classes conforme as amostras de treinamento.

As classes criadas para a análise detalhada dos diferentes alvos presentes na cena foram assim estabelecidas:

Classe	Decomposição
Água	1)Rio
	2)Piscina
Áreas verdes	3)Arbórea
	4)Gramíneas
Coberturas	5)Telha cerâmica
	6)Telha metálica
	7)Telha 'azul'
	8)Telha cinza claro
	9)Telha cinza escuro
Vias e Pavimentação	10)Via urbana
	11)Via férrea
Solo Exposto (S.E.)	12) S.E. c/ vegetação
	13) S.E. s/ vegetação
Sombra	14)Sombra

Tabela 1: Classes criadas com destaque para as classes de potenciais *brownfields*

A grande diversidade de coberturas fez com que as subdivisões fossem necessárias (tabela 1). Na área de estudo aparecem coberturas tradicionais, como as telhas de cerâmica (sendo que as diferenças na cor diferenciam a idade da telha) e as telhas de concreto/amianto (fibrocimento) claro e escuro. Novos materiais que denotam uma 'modernidade' das estruturas estão presentes nos telhados de alto brilho: metálicos brancos (alumínio, aço galvanizado ou com banho de zinco como proteção contra a corrosão das chapas), e telhados 'azuis' (policarbonato ou metal pintado em cor clara, que aumenta o poder de reflexão dos raios solares e reduz a temperatura do ambiente).

Uma vez que os *brownfields* são de dupla natureza: terrenos e/ou área edificada, os potenciais *brownfields* enquanto uso da terra são compostos de três classes: *solo exposto* (com e sem vegetação), o que denota demolições de antigas fábricas/galpões; e as áreas industriais de *telhado escuro*, denotando uso de materiais antigos, sujeira, e abandono. Para não interferir na classificação, uma vez que as amostras destas três classes são muito diferentes, elas se mantiveram como classes independentes.

Após a classificação supervisionada é gerado o Mapa Temático com o uso da terra conforme as classes criadas. A estatística Kappa é um balizador da exatidão da classificação, avaliando a concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático gerado.

A obtenção do Kappa resulta do treinador (auditor), ou seja, das amostras recolhidas na interpretação visual das imagens e/ou verificação dos locais. No exemplo abaixo, referente ao Bairro da Mooca, o resultado da acurácia geral foi de 91,85% e Kappa 89,41%, ambos os resultados considerados excelentes, segundo Landis e Koch (1977)².

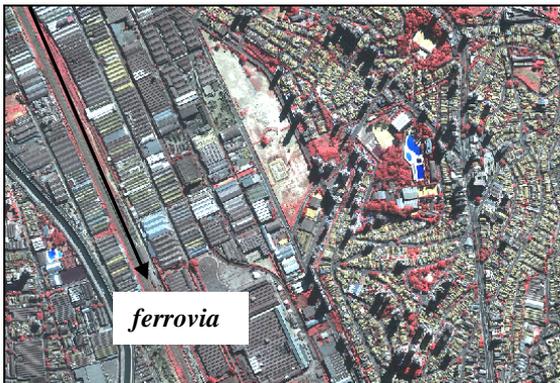


Figura 7: Imagem Quickbird – Mooca

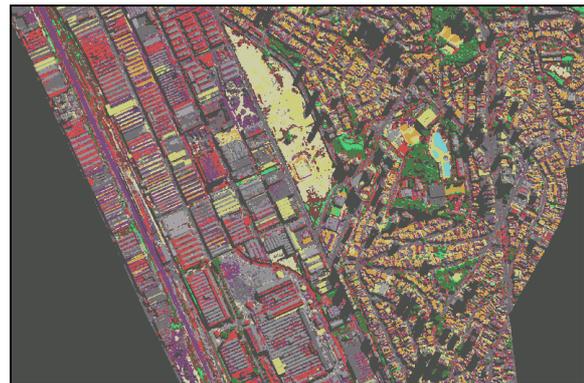


Figura 8: Classificação supervisionada – Mooca



Figura 9: Galpões enfileirados junto à linha férrea trecho Mooca

A classificação (figura 8) auxilia na discriminação dos tipos de ocupação: de um lado residências e áreas verdes, e do outro, uma coleção de galpões com telhados cinza claro e escuro (potenciais *brownfields*), e alguns poucos com telhas metálicas e azuis. A ferrovia estrutura a continuidade fabril em suas bordas (figura 7). A grande área demolida (classificado na cor amarela) aparece como um divisor entre a extensa área industrial (figura 9) que acompanha a ferrovia Santos-Jundiaí (à esquerda) e a zona residencial da Mooca (à direita).

No contexto dos *brownfields*, o sensoriamento remoto não consegue extrair de uma imagem informações quanto à funcionalidade, ou seja, o uso atual de um local, e sim com

² Segundo os autores a estatística Kappa tem a seguinte classificação: < 0% Pobre; 0% – 20% Muito leve; 21% - 40% Leve; 41% - 60% Moderado; 61% - 80% Substancial; 81% - 100% Quase perfeito - a classificação é reconhecida como excelente.

relação a sua forma, cor, tamanho etc. Portanto, a complexidade de identificar *brownfields* reside na sua diversidade – edifícios, terrenos, abandono, degradação, subutilização – e assim, necessita de informações auxiliares (colaterais), como mapas, fotos aéreas, e principalmente, trabalhos de campo, para a etapa de verificação.

O sucesso da classificação e a identificação de candidatos à *brownfields* dependem da habilidade do analista para recolher amostras corretamente (no caso da abordagem pixel a pixel) ou incorporar dados sobre a geometria do objeto e informações de contexto (além das características espectrais – no caso da abordagem orientada ao objeto). O aumento do número de amostras e do número de classes, a fim de alcançar maior separação entre as mesmas, são algumas recomendações que podem melhorar a classificação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso industrial do solo urbano responde a uma proporção que varia no espaço e no tempo conforme a função predominante da cidade. São Paulo tem visto, na última década, transformações particulares de suas antigas áreas industriais. Demolições, seguidas de novas construções, geralmente verticalizadas, vem sendo comuns nos antigos bairros fabris. As áreas vagas, ou vazios urbanos, continuam expectantes até seus proprietários, especuladores, conseguirem melhores preços. Estas ações se refletem com impactos de diferentes naturezas e esferas, atingindo não somente as áreas de *brownfields*, mas seu entorno, sua população, apontando para questionamentos pertinentes acerca da transformação e valorização das paisagens urbanas.

Neste trabalho, o uso de produtos de sensoriamento remoto e de Sistemas de Informações Geográficas para a análise espacial das áreas de *brownfields ferroviários* mostraram-se parte importante para a organização e integração de diferentes fontes de informação, gerenciamento e atualização do banco de dados e representação do processo dinâmico da reuso do solo fabril. A identificação de alvos urbanos mediante a interpretação e classificação de fotos aéreas e imagens orbitais de alta resolução foi complementada com a coleta de informações em pesquisas de campo e documentos históricos, provendo uma caracterização completa sobre a situação dos *brownfields ferroviários* no recorte espacial escolhido.

Planejar o reaproveitamento destes locais apela a diferentes vertentes e objetivos; contudo, existe a necessidade de se buscar refuncionalizações mais adequadas e sustentáveis para cada caso, não incorrendo em impactos negativos, que ao invés de solucionar um problema, cria outros maiores. A reconversão é inegavelmente desejável e extremamente bem vinda nestes espaços, ao invés de deixá-los ao abandono, negando sua existência. A preocupação é como estas intervenções estão sendo feitas e quais os impactos produzidos a médio e longo prazo. É necessário que a refuncionalização seja democrática quanto aos usos futuros, ambientalmente sustentável, protetora dos sítios industriais de interesse cultural e economicamente viável para que se alcance bons resultados.

5 AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

6 REFERÊNCIAS

Alker, S. A. J. V.; et al. (2000) The Definition of Brownfield, **Journal of Environmental Planning and Management**, Abingdon, 43(1), 49-69.

Bacon, G. (2007) **Application of Object-Oriented Image Classification to Identify Potential Brownfield Sites in Syracuse, New York**, Master's Thesis (Master of Science Degree) - State University of New York, College of Environmental Science and Forestry, Syracuse.

Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo (1972). **Carta Topográfica da Cidade de São Paulo – Mapas das Cidades do Brasil**, São Paulo, IGGSP, Escala 12.500.

Johnston, R. L. (1978) **Multivariate Statistical Analysis in Geography: A Primer on the General Linear Model**, New York, Longman.

Landis, J. R. e Koch, G. G. (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Arlington, 33(1), 159-174.

Sánchez, L. E. (2001) **Desengenharia – O Passivo Ambiental na Desativação de Empreendimentos Industriais**, São Paulo, Edusp/Fapesp.

Smith, R. B.(2006) **Tutorial Image Classification with TNTmips**, Lincoln, MicroImages.

Vasques, A. R. (2009) **Geotecnologias nos estudos sobre brownfields**: identificação de brownfields em imagens de alta resolução espacial e análise da dinâmica da refuncionalização de antigas áreas fabris em São Paulo, Tese (Doutorado em Geografia Física), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.