

Trabalho de Graduação
Curso de Graduação em Geografia

AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO BASEADA NO OBJETO EM
IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL APLICADO PARA O
MONITORAMENTO DE FAIXA DE DUTOS: ESTUDO DE CASO NO ENTORNO DA
REFINARIA DE CAPUAVA EM MAUÁ - SP.

Bruna Christofolletti Mazzeo

Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

Co-orientadora: Profa. Dra. Mara Lúcia Marques

Rio Claro (SP)

2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

BRUNA CHRISTOFOLETTI MAZZEO

AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO
BASEADA NO OBJETO EM IMAGENS DE ALTA
RESOLUÇÃO ESPACIAL APLICADO PARA O
MONITORAMENTO DE FAIXA DE DUTOS: ESTUDO DE
CASO NO ENTORNO DA REFINARIA DE CAPUAVA EM
MAUÁ - SP.

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências
Exatas - Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de
Bacharel em Geografia.

Rio Claro - SP

2012

BRUNA CHRISTOFOLETTI MAZZEO

AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO
BASEADA NO OBJETO EM IMAGENS DE ALTA
RESOLUÇÃO ESPACIAL APLICADO PARA O
MONITORAMENTO DE FAIXA DE DUTOS: ESTUDO DE
CASO NO ENTORNO DA REFINARIA DE CAPUAVA EM
MAUÁ - SP.

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências
Exatas - Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de
Bacharel em Geografia.

Comissão Examinadora

_____ (orientador)

Rio Claro, ____ de _____ de _____.

Bruna Christofolletti Mazzeo
Aluna

Profa. Dra. Paulina Setti Riedel
Orientadora

621.3678 Mazzeo, Bruna Christofolletti

M477a

Avaliação do método de classificação baseada no objeto em imagens de alta resolução espacial aplicado para o monitoramento de faixa de dutos: estudo de caso no entorno da Refinaria de Capuava em Mauá – SP / Bruna Christofolletti Mazzeo. - Rio Claro : [s.n.], 2012
57 f. il., figs., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Paulina Setti Riedel
Co-Orientador: Mara Lúcia Marques

1. Sensoriamento remoto. 2. Expansão urbana. 3. Monitoramento de dutos. I. Título.

Dedico este trabalho a
minha querida irmã, meu
exemplo.

“Nunca devemos nos esquecer de que o futuro não é nem totalmente nosso, nem totalmente não-nosso, para não sermos obrigados a esperá-lo como se estivesse por vir com toda a certeza, nem nos desesperarmos como se não estivesse por vir jamais.”

(Epicuro)

AGRADECIMENTOS

Para a elaboração desse trabalho recebi a ajuda de muitas pessoas, direta e indiretamente, pessoas que me ensinaram conceitos científicos e técnicos, pessoas que me ensinaram sobre situações da vida e pessoas que me apoiaram nos momentos mais necessários.

Gostaria de agradecer primeiramente a Profa. Dra. Paulina, que me orientou ao longo do trabalho e principalmente porque acreditou no meu potencial e não me deixou desistir dos meus objetivos.

Agradeço a minha co-orientadora, Profa. Dra. Mara, que me proporcionou o aprendizado de novos conhecimentos, me possibilitou aplicação da teoria e da técnica aprendida. Agradeço, também, pela atenção que ela me dedicou para cada etapa do trabalho, pelas dicas, pelas respostas de todas as minhas dúvidas, pelos ensinamentos e por toda sua ajuda em geral, porque sem ela esse trabalho não teria acontecido.

Agradeço a ajuda de todos do laboratório, Mateus, Marcelo, Camila, que me ajudaram em dúvidas nos softwares que usei para o trabalho. Agradeço também a Darlene por toda sua simpatia e sua disposição em sempre ajudar os outros.

Agradeço a Profa. Dra. Marin por suas dicas acadêmicas que tem me dado durante esses cinco anos, ao Prof. Dr. Norberto por me mostrar as oportunidades das Geociências.

Agradeço ao Programa de Formação de Recursos Humanos 05 do Instituto de Geociências da UNESP de Rio Claro pela bolsa de iniciação científica concedida.

Agradeço a quinquagésima turma da Geografia integral da UNESP de Rio Claro por tornarem meus anos de faculdade tão incríveis. Agradeço ao meu grupo de trabalhos, Bruna Piperno, Celso e Ricardo, por tornarem os estudos muito mais divertidos e prazerosos. Agradeço ao Daniel Calderaro, a Júlia Faracini e a Kênia por todas alegrias proporcionadas durante as aulas, os períodos na faculdade e fora dela também.

Agradeço a minha querida empresa júnior, a Geoplan Jr, que de longe foi a melhor experiência dentro da universidade, tanto no profissional como no pessoal. Agradeço a todos os membros que fizeram parte e os que fazem, todos são mais que especiais, são além de amigos para mim, são como uma família.

As minhas queridas amigas Bruna Pechini e Bruna Piperno, eu agradeço por toda a preocupação comigo, por toda ajuda e por estarem sempre ao meu lado nos

momentos que eu mais preciso. Agradeço também, a Bia Seron, a Silvia, a Maibi e a Mariana, por serem minhas amigas nos bons e maus momentos.

Por fim, agradeço a minha família. Aos meus pais por terem me dado tudo que tenho, pelo amor e pela riqueza mais importante: a educação. Agradeço meus avós por todo carinho e dedicação ao longo da minha vida, por serem grande exemplos de pessoas. Ao Caio por me apoiar nas minhas decisões e me incentivar a nunca desistir. A meu cunhado, Eduardo, agradeço toda auxílio dado, por todas as dicas, boas ideias e por me ajudar sempre quando preciso. A minha querida irmã, dedico este trabalho como forma de agradecimento por estar sempre se preocupando comigo, por estar sempre presente ao meu lado, ao seu companheirismo e irmandade.

Muito obrigada a todos!

RESUMO

A região metropolitana de São Paulo é o local mais populoso do país, isso acontece pelo fato da sua grande importância econômica no cenário nacional e as oportunidades de trabalho que são oferecidas à população. Esses fatores resultam no crescimento populacional e intensa expansão urbana, atingindo alguns locais não habitáveis da metrópole, como as áreas de dutovias, que são de suma importância para o transporte de gás natural, petróleo e seus derivados. Antes do crescimento populacional da região, esses locais eram desocupados, não apresentando problemas para a população. No entanto, com a ocupação desordenada, é gerada grande pressão antrópica sobre as malhas dutoviárias, causando riscos às pessoas que se encontram ao redor das mesmas. Por isso, é de suma importância o monitoramento da faixa de dutos através de produtos e técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, que possibilitam, por meio de imagens orbitais de alta resolução, a identificação de objetos ou fenômenos que ocorrem na superfície terrestre que possam alterar o funcionamento e a segurança dos dutos. Portanto, o presente estudo tem como objetivo monitorar um trecho da área da malha dutoviária GASPAL/OSVAT e da Refinaria de Capuava (RECAP), localizadas na periferia da região metropolitana de São Paulo na cidade de Mauá, que sofrem grande pressão antrópica, comprovando, que, as técnicas de sensoriamento remoto e do sistema de informação geográfica (SIG) são ferramentas eficazes para o monitoramento de fenômenos ocorridos em áreas urbanas de grande complexidade. O monitoramento foi feito através da classificação baseada ao objeto nas imagens orbitais Ikonos II e RapidEye, de alta resolução espacial, e o processamento das imagens, a detecção dos objetos, a segmentação, a classificação e a edição foram desenvolvidos por meio dos softwares eCognition e ArcGis. Para determinar a exatidão estatística dos mapeamentos da cobertura da terra do trecho da dutovia de Mauá, os resultados foram analisados pela Matriz de erros e no coeficiente de concordância Kappa. Os resultados apresentados no trabalho demonstram que o procedimento metodológico de classificação baseada ao objeto apresenta-se como uma abordagem interessante para se monitorar as faixas de dutos, assim como o uso de imagens sensores de alta resolução. A imagem RapidEye, apesar de ter a resolução espacial menor que a da Ikonos, apresentou melhores resultados na matriz de erros e no método estatístico Kappa para classificação do mapeamento da cobertura terra, no entanto, a imagem Ikonos II também apresentou boa qualidade para classificação nos seus resultados estatísticos. Com isso, pode-se afirmar a eficácia das geotecnologias como ferramentas de auxílio ao monitoramento de faixas de dutos.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, expansão urbana, monitoramento de dutos.

ABSTRACT

The metropolitan region of São Paulo is the most populous of the country, this happens because of its great importance in the national economy and the job opportunities that are offered to the population. These factors result in intense population growth and urban expansion, reaching some non-habitable places of the metropolis, as areas of pipelines, which are very important for the transportation of natural gas, oil and its derivatives. Before the population growth of the region, these sites were unoccupied, do not presenting problems for the population. However, with the disorderly occupation is generated great anthropogenic pressure on the pipeline stitches, causing risks to people who are around them. Therefore it is extremely important to monitor the strip of pipelines through products and techniques of remote sensing and geoprocessing, enabling, through high spatial resolution images, identification of objects or phenomena that occur on Earth's surface that can alter the functioning and safety of pipelines. Therefore, this study aims to monitor a stretch of the area of the pipeline mesh GASPAL/OSVAT and Capuava Refinery (RECAP), located on the outskirts of the metropolitan area of São Paulo in the city of Mauá, who suffer great human pressure, proving thus the techniques of remote sensing and geographic information system (GIS) as effective tools for monitoring phenomena occurred in urban areas of great complexity. The monitoring was done by object-based classification applied in orbital images Ikonos II and RapidEye, of high spatial resolution and, image processing, detection of objects, segmentation, classification and editing were developed through the eCognition and ArcGis softwares. To determine the statistical accuracy of the mapping of the land cover of the stretch of pipeline in Maua, the results were analyzed by error matrix and the Kappa correlation coefficient. The results presented in this work demonstrate that the methodological procedure of classification based on the object presents as an interesting approach to monitor pipelines mesh, as well as the use of high spatial resolution images. The image RapidEye, despite having a lower spatial resolution than the Ikonos, showed better results in the error matrix and Kappa statistical method for classification the earth coverage mapping, however, the image Ikonos II also showed good quality classification in their statistical results. Thus, it can be stated the effectiveness of geotechnology as tools to aid the monitoring of pipeline.

Keywords: Remote sensing, urban expansion, pipeline monitoring.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	13
3.2. GEOTECNOLOGIAS	17
3.3. SENSORIAMENTO REMOTO.....	18
3.3.1. Sistemas sensores.....	20
3.3.1.1. Imagem de alta resolução.....	20
3.3.2. Análise digital - Classificação de imagens.....	21
3.3.2.1. Classificação pixel a pixel	21
3.3.2.2. Classificação baseada a objetos.....	22
3.4. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	23
3.5. O ESPAÇO URBANO	24
3.6. DUTOS	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1. MATERIAIS	27
4.2. MÉTODOS	28
4.2.1. Pré-processamento das imagens.....	28
4.2.2. Classificação de imagens com diferentes resoluções	31
4.2.2.1. Segmentação	31
4.2.2.2. Classes e classe hierárquica	33
4.2.2.3. Definição de amostras	34
4.2.2.4. Definição de valores dos parâmetros de classificação	35
4.2.2.5. Criação do mapa temático de cobertura da terra	36
4.2.3. Avaliação estatística das classes	36
4.2.3.1. Método Kappa e Matriz de erros	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO

As malhas dutoviárias estão presentes no Brasil desde 1942, segundo Gasparini (2006), quando o país optou por modernizar o sistema de transporte de petróleo, resultando em um dos mais seguros e eficazes meios de escoamento de óleo, gás natural, produtos químicos, biocombustíveis, entre outros derivados. As dutovias são a melhor opção para territórios de grande extensão e de diferentes cenários naturais e artificiais como o Brasil, pois o material do duto foi criado para resistir a diversos ambientes como mares, áreas fluviais, diferentes vegetações, áreas habitadas como pequenas comunidades ou até mesmo grandes complexos urbanos, como as metrópoles.

No entanto, apesar de toda segurança que o empreendimento apresenta, deve-se estar preparado para qualquer possível acidente, pois, de acordo com a CETESB (2009), logo após a instalação do duto, este passa a sofrer influência do ambiente, assim como, causa influência sobre o mesmo. Por tanto, as faixas de dutos estão susceptíveis a sofrer intemperismos através de fenômenos naturais e pressões antrópicas, dependendo do local onde está instalado, podendo, então, trazer riscos de explosões, deslizamentos, vazamentos e outros, prejudicando as populações, o meio ambiente e também o transporte de petróleo.

As faixas de dutos que passam por cidades ou áreas de intensa urbanização devem ser levadas em consideração, pelo fato desses locais estarem em movimentação constante e apresentarem rápidas mudanças, diferente dos ambientes naturais que tendem mudar mais lentamente.

Em 2000, havia aproximadamente 62.800 habitantes nas áreas próximas das faixas de dutos na Região Metropolitana de São Paulo (SÃO PAULO, 2007). Isso ocorre porque, geralmente as dutovias que passam por conglomerados urbanos foram instaladas

quando não havia moradores no lugar, contudo por causa do êxodo rural e as constantes migrações de população para as grandes cidades e metrópoles, em buscas de novas opções de vida e melhores oportunidades de trabalho, o perímetro urbano se expande e alcança áreas impróprias para habitação, como por exemplo, as dutovias.

Desse modo, se não houver o monitoramento e controle das faixas de dutos, assim como a manutenção do local e das faixas e quando possível o planejamento e ordenamento urbano, a população residente da área e a atividade de transporte de petróleo estarão ameaçados.

As geotecnologias providas do sensoriamento remoto e do geoprocessamento são ferramentas fundamentais para o auxílio do monitoramento da faixa de duto em ambiente densamente urbanizado. Portanto, coube ao presente estudo o objetivo de avaliar se o método de classificação orientado a objeto em imagens de alta resolução espacial mostraria resultados significativos para o monitoramento da faixa de duto na cidade de Mauá, pertencente a grande região metropolitana de São Paulo, área extremamente conurbada. E também, comprovar que as geotecnologias, como softwares e imagens orbitais, juntamente do sensoriamento remoto e o geoprocessamento, são ferramentas fundamentais no auxílio da organização urbana.

As imagens orbitais escolhidas para avaliação, foram a Ikonos II e RapidEye, que possuem maior qualidade e alta resolução espacial, o que permitiu maior análise de detalhes e possibilitam a análise em áreas mais complexas como as urbanas. Os softwares usados foram o eCognition e ArcGis, o primeiro para a segmentação e classificação das imagens e o outro para a elaboração dos mapas, para a comparação, análise dos resultados classificados, edição e para a estatística de acertos e erros.

Os resultados que serão expostos no trabalho foram obtidos a partir da Matriz de erros do índice Kappa, funções estatísticas que permitem avaliar a acurácia da classificação da imagem de satélite.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho da classificação baseada no objeto nas imagens Ikonos II e RapidEye, na condição de monitoramento de dutos em áreas de intensa ocupação urbana, próximas a Refinaria de Capuava em Mauá – SP. Identificar elementos geográficos nas imagens de diferentes resoluções espacial, fazendo o mapa de cobertura da terra para a área de estudo, assim como, comprovar a eficácia das técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para o auxílio do monitoramento das malhas dutoviárias em regiões urbanas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo escolhida é um trecho da faixa de duto OSVAT, que vai de Suzano a Mauá e da refinaria de Capuava (RECAP), localizadas na cidade de Mauá e em uma pequena área da cidade de São Paulo, sendo aproximadamente uma área de 8,27 Km². A cena, mostrada na Figura 1, foi escolhida pelo fato de conter a faixa de duto passando entre áreas de intensa urbanização, característica ideal para a avaliação do método de classificação baseada no objeto, no entanto, esse trabalho pode ser aplicado para qualquer cidade da RMSP que tenham a faixa de duto, pois apresentam características de conurbação semelhantes.

A cidade de Mauá, localizada na latitude 23°40'7'' e na longitude 46°27'41'', representada na Figura 1, faz parte do estado de São Paulo, que se encontra na porção sudeste do Brasil. A cidade, também faz parte dos trinta e nove municípios que constituem a região metropolitana de São Paulo (RMSP), terceiro maior aglomerado urbano do mundo, local de grande importância econômica e política no cenário nacional e global. Os municípios que pertencem a região metropolitana de São Paulo, além de Mauá, são: Salesópolis, Guararema, Biritiba-Mirim, Santa Izabel, Mogi das Cruzes, Arujá, Itaquaquecetuba, Poá, Ferras de Vasconcelos, Suzano, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Guarulhos, Santo André, Mariporã, São Caetano do Sul, Diadema, São Bernardo do Campo, Francisco Morato, Franco da Rocha, Caeiras, São Paulo, Osasco, Cajamar, Pirapora do Bom Jesus, Santana do Parnaíba, Barueri, Carapicuíba, Jandira, Itapevi, Vargem Grande Paulista, Cotia, Taboão da Serra, Embu, Itapeverica da Serra, Embu-Guaçu, São Lourenço da Serra, Juquitiba.

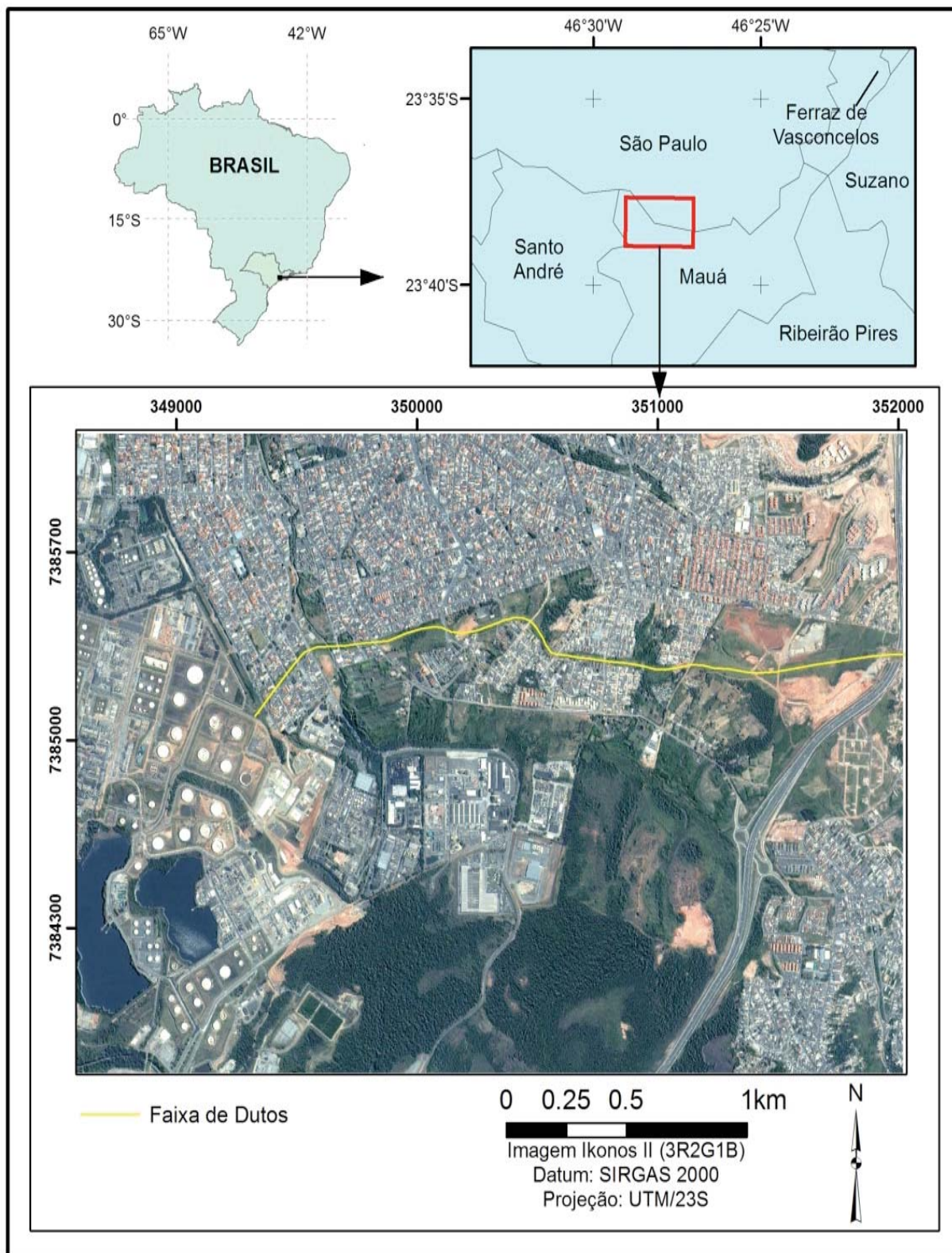


Figura 1. Mapa da localização da área de estudo

A região metropolitana de São Paulo foi constituída em decreto pelo Estado de São Paulo, em 1975, década do crescimento populacional em áreas urbanas, intenso êxodo rural e migrações, no entanto, a interligação da cidade sede com as cidades vizinhas, existe desde tempos da colonização, quando as antigas vilas davam suporte aos colonizadores e viajantes. A cidade de São Paulo tinha valor estratégico, pois era ponto de parada que ligava a região sudeste ao sul e ao centro-oeste do país, contudo, com o desenvolvimento do mesmo no decorrer dos anos, São Paulo começou a ganhar destaque no cenário nacional, principalmente no ciclo do café, quando também era sede das principais linhas ferroviárias, ou seja, todo o café passava por São Paulo para chegar ao porto de Santos. Ainda no mesmo período, a cidade recebe os imigrantes europeus que aumentam bruscamente a população da mesma (SÃO PAULO, 2009).

Mas foi a partir dos primórdios de industrialização no Brasil no começo do século XIX, avanço propiciado pelo café e pela crise mundial, que São Paulo ganhou relevância nacional, aumentando ainda mais sua população e criando uma infraestrutura da cidade, com novas edificações, sistemas de saneamento, sistemas de transportes, entre outros necessários. Em 1940, mostraram-se as primeiras consequências do crescimento econômico da cidade, onde a edificação acelerada acarretou na compactação da área urbanizada, ocasionando também na ocupação vertical, na incorporação de núcleos suburbanos a área central da cidade, surgimentos de novos subúrbios e redução das matas naturais (MARQUES, 2005).

Na década de 30 as cidades ao redor de São Paulo começaram a se vincular economicamente a ela, Mauá iniciou esse processo na década seguinte (MARQUES, 2005). Esses municípios, inicialmente, tinham a função de cidades dormitórios, pois a massa trabalhadora não era abastada de renda para morar em São Paulo, porém trabalhavam lá e dormiam em cidades próximas, onde encontravam um custo de vida mais barato. Após 1970, a metrópole estava consolidada, São Paulo já estava totalmente conurbada, sem mais locais para se expandir, foi nesse momento que grandes empresas passaram a se instalar também nas cidades periféricas, ao redor de São Paulo, modificando a economia das mesmas, porém sem amenizar o vínculo delas com a cidade sede.

Atualmente, a RMSP é a rede urbana mais influente do país, se destacando por ser centro financeiro, industrial e comercial de abrangência global, além de constituir tecnopólos de pesquisas diversificadas, tem também um forte pólo cultural (SÃO PAULO, 2009). Apesar disso, a disparidade social está intensamente presente nas cidades da RMSP, e pode ser vista através dos tipos de cobertura da terra, representados por ocupação em áreas impróprias, ocupações desordenadas, que na maioria das vezes são de populações desprovidas de capital.

Mauá é vizinha direta da cidade de São Paulo, o município contém 417.064 habitantes em uma área de 61 km² e tem grande representatividade dentro da RMSP, pois é uma cidade de forte economia, pautadas nas atividades petroquímicas, metalúrgicas e em indústrias químicas e elétricas (IBGE, 2010). Segundo o Atlas de uso e ocupação do solo de Mauá (2006), o município se encontra quase que totalmente urbanizado, apresentando poucas áreas de mata natural, capoeiras, reflorestamentos e solo exposto. Na classificação do urbano nesse caso, estão implícitas áreas industriais, equipamentos urbanos, chácaras, favelas e outros.

A faixa de duto OSVAT, que percorre trecho do município de Mauá, passa por bairros sem muita infraestrutura, aglomerados de casas sem planejamento ou ordenamento urbano, a dutovia, foi instalada antes da intensa ocupação do local, porém essas moradias são de populações carentes e desprovidas de capital financeiro que se instalam nessas áreas por falta de melhores opções. Então, a faixa de duto nessa área sofre intensa pressão antrópica diariamente, por isso se torna tão importante o monitoramento da mesma.

A Refinaria de Capuava (RECAP) está instalada em Mauá desde 1954 e é uma das mais antigas refinarias do país. Esta trouxe muitos benefícios para a cidade, como oportunidade de empregos, tecnologia, a vinda de empresas do ramo químico e ambiental e aumento no faturamento econômico da cidade. A RECAP foi incorporada a Petrobrás em 1974, porém apenas em 1990 foi reformada, agregando alto índice de automação e modernos sistemas de controle digital de distribuição. É um empreendimento de porte grande que tem como atividade principal o refino de petróleo, sua capacidade atual é de 50 mil barris por dia.

O meio físico de Mauá é caracterizado pelo clima temperado úmido (Cwa), de acordo com a classificação de Koppen, apresenta invernos secos e verões quentes, tem temperaturas mínima de 18°C e máxima de 30°C no verão e médias de 14°C no inverno. Em geral, a região sudeste é sujeita ao fluxo da massa de ar frio meridional originário do Pólo Sul, essa corrente passa sobre as águas quentes do oceano, ocasionando na maior frequência de frentes frias sobre a região (POLIZEL, 2011). A região sofre influência também da massa Tropical Atlântica, de temperaturas altas, que são propiciadas pela radiação solar das latitudes tropicais, apresentando intensa umidade, que decorre da evaporação marítima (CPRM, 2000).

O Município de Mauá se localiza no conjunto de sedimentos da formação São Paulo, que tem como litologia sedimentos de depósitos arenosos, conglomerados e argilas de idades terciárias e quaternárias do Cenozóico. Na várzea do rio Tamanduateí, principal rio da cidade, destaca-se a formação Itaquaquetuba, onde se predominam os depósitos aluviais, constituído de areias médias e grossas (RODRIGUEZ, 1998).

A geomorfologia de Mauá é caracterizada como sistema da Serra do Mar, predominando o perfil serrilhado com paisagem de morros abruptos, de picos íngremes e escarpas. A cidade se encontra no final da Serra do Mar quase na transição para o Planalto Atlântico, segundo Ab'Saber (2004), na região denominada de Alto do Tietê, por isso ainda mostra o relevo bem acentuado, constituído por granitos. As poucas partes de região de planície de Mauá é durante o percurso do rio Tamanduateí, na planície fluvial, onde ocorrem alagamentos nas áreas urbanas próximas ao rio, em épocas de muita precipitação. No entanto, a nascente do mesmo provém do reverso da Serra do Mar.

O bioma natural de Mauá, segundo o IBGE (2010), é a Floresta Ombrófila Densa, mas conhecida como Mata Atlântica, atualmente essa é encontrada apenas em fragmentos florestais pequenos e isolados, ou algumas espécies em pequenas áreas de reflorestamento. A vegetação Mata Atlântica possui índices pluviométricos altos, ocasionando chuvas espaçadas e bem distribuídas durante os meses do ano nos locais de ocorrência, no entanto, com o desmatamento da mesma, a climática se modifica.

3.2. Geotecnologias

As geotecnologias são caracterizadas pelas técnicas computacionais aplicadas ao estudo geográfico. Em grande parte das referências bibliográficas, são apontadas como principais representantes dessas: O sensoriamento remoto (SR), através das imagens orbitais, o sistema de informação geográfica (SIG) e também o GPS – Sistema de Posicionamento Global. As geotecnologias revolucionaram os meios de coleta, armazenamento e processamentos de dados, já que esses, quando feitos na metodologia tradicional, demoravam muito tempo e muitas vezes, não apresentavam um resultado tão exato. Isso ocorre pelo fato das geotecnologias se pautarem em máquinas analógicas e computacionais, diminuindo a possibilidades de erros, no entanto, é evidente que por trás dessas ferramentas tecnológicas deve-se haver o profissional capacitado e apto a aplicar a teoria e a técnica sobre essas.

Para Bonham-Carter (1994), o subsídio que as ferramentas geotecnológicas oferecem aos usuários, facilita a produção e a manipulação de informações espaciais em pequenos períodos de tempo, assim como custos baixos. Cabe lembrar, que as geotecnologias agregam, produzem e disponibilizam informações temáticas ligadas a espacialidade da superfície terrestre através de referências geográficas e de um sistema de coordenadas.

Como sugerido por Costa (2010), a respeito ao monitoramento de riscos ao longo de faixas de dutos, é fundamental o uso das ferramentas de geotecnologias, por causa, principalmente das grandes extensões deste empreendimento e por causa dos diferentes meios

e diversos contextos que eles atravessam. Por causa dessas características apresentadas, o monitoramento dos riscos em faixas de duto se torna muito complexa e na maioria das vezes ineficaz e até inviável, quando apenas fiscalizada in loco (COSTA, 2010). Além disso, as geotecnologias, atualmente, estão se mostrando como as ferramentas de melhor opção em custo benefício, aliado a agilidade e eficiência para se apresentar resultados.

3.3. Sensoriamento Remoto

Segundo Novo (2010), o sensoriamento remoto pode ser definido como o uso conjunto de sensores, equipamentos para processamento de dados e equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves ou em outras plataformas possíveis, com a intenção de estudar eventos, fenômenos e processos naturais ou artificiais que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem de diversas formas de manifestações.

O sensoriamento remoto pode ser utilizado como importante conjunto de técnicas de pesquisa para monitorar as diferentes formas de ocupação do espaço e caracterizar suas tendências de expansão, bem como os problemas ambientais a ele relacionados, apresentando a vantagem de obtenção de dados em menor tempo e custo, quando comparado às técnicas tradicionais. A viabilidade da utilização dos produtos de sensoriamento remoto em estudos geográficos depende das características do ambiente a ser estudado, dos objetivos do pesquisador e das resoluções espacial, espectral e temporal do sistema (COSTA, 1996). O sensoriamento remoto (SR) é definido também por Rossi (2010), como:

“O sensoriamento remoto constitui uma ferramenta importante e eficiente na aquisição de dados que possibilitem a análise de áreas extensas em um intervalo de tempo curto, quando comparado ao monitoramento por terra ou outros sistemas. As dutovias, por possuírem consideráveis extensões territoriais e atravessarem regiões com aspectos físicos e socioeconômicos diversos, exigem que haja um monitoramento das atividades que podem ocasionar riscos à integridade deste empreendimento, considerando que estes transportam produtos que podem causar impactos à sociedade e ao meio ambiente. As informações obtidas e analisadas através do sensoriamento remoto devem ser verificadas em campo para conferir a veracidade destas informações” (ROSSI, 2010).

Para se classificar as imagens de satélite, deve-se assumir que alvos/objetos distintos apresentam propriedades espectrais diferentes e que cada ponto pertence a uma única classe. Além disso, os pontos representativos de certa classe devem possuir padrões próximos de

tonalidade, de cor e de textura (FIGUEIREDO, 2005). As diferentes estruturas físico-químicas dos objetos da superfície terrestre tendem a modificar o seu grau de reflectância conforme varia o comprimento de onda do espectro eletromagnético, determinando seu comportamento espectral ou assinatura espectral. Este comportamento espectral dos objetos sofre também interferências da atmosfera e da relação geométrica entre a energia incidente e o ângulo de visada do sensor. O estabelecimento de um padrão de comportamento espectral das áreas é dificultado, também, pela diversidade de objetos no ambiente (JENSEN, 1983).

A análise de dados espaciais envolve um conjunto de técnicas e métodos, que dependem da localização e dos atributos dos objetos, fornecendo desde simples medidas descritivas dos padrões dos eventos até testes estatísticos complexos de um conjunto de eventos gerados por processos específicos e bem definidos (GOODCHILD et al., 1992).

Segundo Moreira (2005), a interpretação visual de imagens orbitais incide na extração de informações sobre objetos da superfície terrestre, tendo por referência suas respostas espectrais. Além disso, as particularidades que são distinguidas nas imagens dependem da resolução espacial do sensor, dessa forma podem representar até a menor feição existente na imagem passível de detecção (NOVO, 2010).

Pode-se descrever as imagens de satélite de alta resolução como sendo aquelas que apresentam uma escala menor, onde se consegue verificar uma maior quantidade de detalhes e pode-se fazer uma distinção maior de alvos terrestres, assim como também, de objetos e elementos urbanos, tais como casas, ruas, quadras, automóveis, vegetação, entre outros. Figueiredo (2005) descreve-as como imagens de maior resolução espacial, ou seja, com menor dimensão dos pixels que formam a imagem.

Roper e Dutta, (2005) afirmam que o uso do sensoriamento remoto e do sistema de informação geográficas potencializam a detecção de mudanças, pois permite uma melhor frequência de obtenção de informação ordenada e ferramentas que permitem a integração e análise dos dados espaciais. Portanto, essas técnicas de sensoriamento remoto contribuem e auxiliam o monitoramento de dutovias. Isso também ocorre, pela crescente disponibilidade de imagens orbitais de alta resolução espacial (igual ou menor a 1m), adquiridos por sistemas de satélite (Ikonos, QuikBird, GeoEye, OrbView, RapidEye, Eros, entre outros), viabilizando a utilização destes produtos como principal fonte de informação para o tipo de monitoramento.

3.3.1. Sistemas Sensores

3.3.1.1 Imagem de alta resolução

As imagens utilizadas, são respectivamente dos sistemas sensores Ikonos II e do RapidEye, estas imagens apresentam várias diferenças, no entanto, são consideradas imagens de alta resolução espacial e de muita qualidade. O satélite Ikonos II, (Advanced Earth Observing Satellite), foi o primeiro programa espacial a gerar imagens com resolução espacial com 1 metro para imagens pancromáticas. Está em órbita e ativo desde 2000 e é operado pela Empresa GeoEye, possui sensores que operam no visível e no infravermelho próximo, consegue obter imagens multiespectrais de 4 metros e sua resolução espectral é de 11 bits. Sua órbita é sol-síncrona, tem o sentido descendente, tem velocidade de 7 Km/s, tendo o horário de passagem as 10 horas e 30 minutos antes do meridiano. A altitude do satélite é de 680 km do solo, na inclinação de 98,1°. As bandas espectrais do Ikonos II são Pan 0.45 – 0.90 μm , Azul 0.45 – 0.52 μm , Verde 0.52 – 0.60 μm , Vermelho 0.63 – 0.69 μm e a Infra vermelho próximo 0.76 – 0.90 μm . O Imageamento do satélite é de 13 Km na vertical, sendo um cena de 13 km x 13Km, com capacidade de aquisição de imagens nas faixas de 11 Km x 1000 Km, os mosaicos contém até 12.000 Km², e tem-se, aproximadamente, uma área de 20000 Km imageada em apenas uma passagem. A frequência de revisita é de 2.9 dias (resolução temporal) a 1 metro de resolução para as altitudes que se aproximam de 40° (EMBRAPA, 2009).

O programa RapidEye, faz parte do sistema sensor REIS (RapidEye Earth Imaging System), é um conjunto de cinco micro-satélites em órbita e ativos, lançados em 2008 e operados pela empresa RapidEye AG. A diferença do RapidEye é a capacidade de produzir conjuntos de imagens de qualquer ponto da Terra em pouco tempo, onde essas imagens podem ser utilizadas para o monitoramentos de eventos e fenômenos no espaço geográfico. As características da órbita desse satélite são: Sol-síncrona, de altitude de 630 Km, com inclinação de 97,8°, com presença de sensor multi-espectral. Seu horário de passagem no Equador é as 11 horas antes do meridiano e o período de revisita é de um dia (resolução temporal). Apresenta resolução espacial de 6,5 m (nadir) e 5 m para ortoimagens e a resolução radiométrica é de 12 bits. Suas bandas espectrais são: Azul 0.44 - 0.51 μm , Verde 0.52 – 0.59 μm , Vermelho 0.63 – 0.69 μm , Red-edge 0.69 – 0.73 μm e Infra vermelho próximo 0.76 – 0.88 μm . A largura da faixa imageada é de 77 Km e o armazenamento de dados é de até 1500 Km de dados de imagem por órbita, com capacidade de captura de imagem de 4 milhões de Km²/dia (EMBRAPA, 2009).

3.3.2 Análise digital – Classificação de imagens

Segundo Bernardi et al. (2007), há dois métodos de classificação de imagens, o primeiro é a classificação supervisionada, onde o usuário deve identificar alguns dos pixels da imagem, pertencentes às classes desejadas e deixa a função ao computador de localizar todos os demais pixels pertencentes àquelas classes pré-definidas, baseado em alguma regra estatística preestabelecida. O segundo método consiste na classificação não supervisionada, na qual o próprio computador, sem o auxílio usuário e com base em regras estatísticas, o próprio computador decide quais são as classes a serem separadas e quais os “pixels” pertencentes a cada uma.

De acordo com Polizel (2011), a classificação digital de imagens se baseia na criação de diferentes classes de comportamentos espectrais distintos, essas classes permitirão a classificação automatizada nas imagens. O desenvolvimento desse processo se dá através do uso de classificadores que irão selecionar feições de interesse a partir de um espaço multidimensional, que é constituído, na maioria das vezes, por bandas da imagem orbital, criando um único nível de informação temática.

Existem alguns métodos de classificação de imagem, de acordo com a unidade de análise, que são denominados por: pixel a pixel, que classifica apenas e diretamente o pixel da imagem e a baseada ao objeto atua sobre segmentos de pixels e objetos de acordo com atributos pré-definidos e não apenas no pixel.

3.3.2.1. Classificação pixel a pixel

A metodologia de classificação pixel a pixel leva em consideração a informação espectral de maneira isolada, pixel por pixel da imagem orbital, atribuindo, portanto, cada pixel da imagem em uma classe temática diferente. Esse processo acontece através da observação da resposta espectral do próprio pixel em relação dos seus pixels vizinhos (POLIZEL, 2011). Essa técnica baseia-se no agrupamento de valores de intensidade espectral, que são caracterizados de acordo com os números digitais que estão implícitos na imagem, podendo dessa forma, apresentar resultados positivos na indicação dos atributos da cobertura diferenciados unicamente por variações de intensidade (CRÓSTA, 1992).

Segundo (CRÓSTA, 1992), o processo de classificações digitais de imagem é composto pelos classificadores supervisionados e pelos não supervisionados, sendo que o primeiro é elaborado por meio de dados fornecidos pelo usuário, a partir de amostragens de treinamento que informam a variação espectral de cada classe. No entanto, a segunda

maneira, a não supervisionada, utiliza-se de algoritmos para delimitar e classificar os objetos ou regiões em formas de segmentos na imagem.

Contudo, para Pinho et al. (2005), com a necessidade de se usar imagens de alta resolução para determinados fins como meios urbanos complexos e junto disso, pretendendo obter aproveitamento das classificações digitais nessas, é necessário impor novos desafios de classificação, já que as análises tradicionais, realizadas pixel a pixel, apresentam-se limitadas em imagens de maior resolução espacial, que fornecem maior detalhes para a análise e maior heterogeneidade, com grande variação interna de classes, acarretando na sobreposição de classes no espaço de atributos. Então, é indicada nos casos de classificações com imagens de melhor resolução, a exploração de ferramentas alternativas que não se prendem somente nos atributos espectrais. Destaca-se para isso, a análise orientada a objetos, ferramenta que possibilita a inclusão do conhecimento do técnico analista e a utilização de parâmetros de cor, forma, textura e relações de vizinhança na classificação de imagens (PINHO et al., 2005).

3.3.2.2. Classificação baseada a objetos

A classificação baseada a objetos, segundo Gonzales apud Ribeiro et al. (2002), orienta-se no fundamento de não analisar apenas um pixel isoladamente na imagem, e sim fragmentar a mesma em vários pequenos segmentos, que são nomeados como objetos da imagem. Esses são gerados através do processo de segmentação da imagem e logo após são analisados como unidades, considerando forma, textura, compacidade, entre outras variantes espaciais que não são considerados na classificação pixel a pixel. Existem vários softwares que classificam imagens através da abordagem baseada a objetos, porém o mais evidente desses, é o eCognition, que desenvolve o método desde a segmentação, até a classificação total da imagem.

Para o desenvolvimento eficaz de interpretação das classes de cobertura da terra em imagens sensores de alta resolução é elaborada através da abordagem baseada no objeto, utilizando a associação das características espectrais, geométricas e de contextos dos objetos da superfície, a partir dos algoritmos de classificação disponíveis no software eCognition 8.0 (DEFINIENS, 2009).

Para uma classificação orientada ao objeto, uma das etapas mais importante e fundamental ao processo, é a segmentação. É através desta técnica que serão delimitados os objetos e posteriormente classificados em alguns níveis de detalhe (PINHO et al., 2005). A segmentação possibilita a obtenção de grupos de pixels ou segmentos que tem características parecidas e estão próximos, porém ela leva em consideração, também, as informações

contextuais da imagem estudada, aceitando não apenas a dimensão espectral, mas igualmente a dimensão espacial e a escala dos objetos. A partir da segmentação é possível criar categorias de características homogêneas (espectrais ou radiométricas) para que a partir de então, se possam classificar as imagens levando em conta a delimitação de objeto (NÓBREGA, 2007).

Os objetos são feições do terreno que podem ser reconhecidas no domínio da imagem. A análise de imagens baseada em objetos requer uma metodologia preliminar de segmentação para a criação dos objetos (PINHO et al, 2005). Após este procedimento, é preciso a definição de classes e de suas inter-relações, a definição dos atributos e parâmetros de classes e, finalmente, a classificação da imagem.

3.4. Sistema de Informação Geográfica

De acordo com Ferreira (2009), os Sistemas de Informações Geográficas, mas comumente conhecidos por SIG, tiveram início no Canadá por volta do ano de 1964. Essa tecnologia surgiu junto da evolução dos computadores, possibilitando uma sofisticação e novas funcionalidades. Além disso, o SIG tem como propósito, atuar como ferramenta que auxilia na tomada de decisão pautada nas informações espaciais, atendendo, dessa maneira, diversas ciências e áreas do conhecimento (BONHAM-CARTER, 1994).

O avanço e a disseminação da informática possibilitaram a criação do sistema de informação geográfica (SIG), através de um conjunto de instrumentos, no qual é capaz de coletar dados, armazenar, para posteriormente, transformá-los em representações georreferenciadas de dados de fenômenos ocorrentes na superfície da Terra em um conjunto de propósitos particulares (BURROUGH, 1996).

O SIG como ferramenta, possibilita ao usuário uma visão única e integrada para seu trabalho específico, sendo que nele, as informações variadas e dados disponíveis relacionados com o assunto estudado estarão no alcance do usuário, além de poder inter-relaciona-las através da localização geográfica (CÂMARA, 2005). Essa ferramenta ainda se sobressai a outras, pela capacidade de armazenar a geometria de dados geográficos, além de atributos descritivos dos mesmos. Dessa forma, o SIG permite que haja integração entre dados de variadas fontes, e também facilita análises complexas automatizando funções que antigamente eram manuais (CÂMARA, 2005).

O SIG é um grande aliado do monitoramento das faixas de dutos, pois este oferece agilidade nos resultados, análises de forma ampla já que, através das imagens, podem avaliar e diagnosticar diversas temáticas ao longo da dutovia e suas áreas de influência e também, o baixo custo. Pois sem o sistema de informação geográfica, o monitoramento seria feito a pé

ou de automóveis percorrendo a faixa de duto ou por aeronaves tripuladas, sendo que esses modos requerem mais tempo e mais financiamento.

3.5. O espaço urbano

A área de estudo selecionada para o trabalho se trata de um espaço urbano, escolhido propositalmente para que se pudesse estabelecer parâmetros da análise do sensoriamento remoto e do geoprocessamento em imagens de alta resolução espacial, contudo, cabe lembrar a importância das análises sócio-espaciais através de geotecnologias para a compreensão e análise dos sítios urbanos, possibilitando entender seu funcionamento, sua ordem, entre outras questões sociais complexas, como a divisão e segregação espacial de acordo com a classe econômica. De acordo com cena da imagem juntamente com a bibliografia podemos observar que as moradias que ocupam a área de estudo são de populações menos providas de capital (IBGE, 2010). Como os locais perto das faixas de dutos e da refinaria são mais periféricos da cidade e apresentam risco para a população que mora ao redor, essa área se torna mais acessível financeiramente aos cidadãos. Segundo Corrêa (2001), a criação dos núcleos urbanos ou o desenvolvimento das funções que ocorrem neles é reflexo da complexidade da herança econômica e cultural, sendo que o padrão espacial e a ordem funcional são indícios do processo de transformação da sociedade e da sua organização no espaço.

Segundo Marques (2005):

“Desta forma, o espaço urbano pode ser abordado como um espaço fragmentado, caracterizado por diferentes paisagens e usos da terra, apresentando um núcleo central, área periférica do centro, áreas industriais, subcentros terciários, áreas residenciais distintas (em termos de forma e ocupação) e áreas de especulação esperando futura expansão. A fragmentação espacial é decorrente de diversas ações dos agentes modeladores que produzem e consomem o espaço urbano, gerando mudanças de ocupação e/ou das formas das áreas, surgindo novos padrões de fragmentação do espaço urbano. O espaço urbano é simultaneamente fragmentado e articulado, sendo a expressão espacial de processos sociais e reflexo das ações realizadas no presente, como as realizadas no passado, que são identificadas nas formas espaciais presentes. Através da fragmentação do espaço urbano identifica-se diferenças das condições de existência e reprodução social” (MARQUES, 2005, p. 32).

Villaça (1998) discute que o espaço urbano poderia ser usado apenas para caracterizar o espaço da cidade em si, no entanto, esse conceito é muito envolvido com o elemento urbano como espaço regional, pois o desenvolver da urbanização brasileira e a concepção da rede urbana são fundamentais para a estruturação do espaço regional brasileiro.

Então, para o estudo do ambiente urbano, deve-se pensar em classificações para mapeamentos de uso, ocupação e cobertura da terra. Para Jensen (2009), a cobertura da terra representa os materiais biofísicos oferecidos sobre a superfície terrestre. Uso da terra é o conceito usado para caracterizar o modo como a terra é utilizada pelo homem. Nos ambientes urbanos, os dados obtidos sobre a cobertura e uso da terra são essências para ampla variedade de aplicações, que abarcam a escolha de locais para instalações residenciais, comerciais e industriais (JENSEN, 2009).

O espaço urbano trabalhado através das ferramentas de SIG e SR pode ganhar diversas formas de análises espaciais, que permitem a organização, o ordenamento e o planejamento do mesmo, levando em consideração a necessidade das populações e do meio ambiente.

3.6. Dutos

As malhas dutoviárias estão presentes ao longo de todo o Brasil transportando para todas as regiões do país, através dos dutos, materiais naturais derivados do petróleo, gás natural e outros tipos de combustíveis que são utilizados na maioria das vezes como fonte de energia para diversos motivos. Por causa desse fato, as dutovias se tornam meios de transportes importantes, pois possibilitam à população, cidades e empreendimentos o uso desses materiais.

Os dutos ou dutovias são caracterizados como condutos fechados, dedicados ao transporte ou transferência de petróleo e seus derivados, gás natural, álcool e produtos químicos por grandes distâncias. Dessa forma, de acordo com o tipo de material transportado no duto, as dutovias podem ser chamadas de: Oleoduto, gasoduto ou poliduto (CETESB, 2009). As dutovias são obras lineares muito superficiais, que envolvem, quase sempre, somente o horizonte de solo e a rocha decomposta (POLIZEL, 2011). Por tanto, apesar desse empreendimento se mostrar alto nível de segurança é necessário que se faça o monitoramento das faixas de duto, para que não ocorra nenhum acidente.

Segundo Terzian (2005), as estruturas responsáveis pelo abastecimento de petróleo e seus derivados, fazem uma interligação, por meio das diversas modalidades de transportes, entre três pontos diferentes, que são: as fontes de produção, os centros de consumo e as refinarias, que entre os três é o único ponto que pode ter sua posição definida por estudos logísticos. As faixas de dutos tem preferência entre outros tipos de transportes, pelo fato de atender diretamente o abastecimento das refinarias, assim como também, suprir as carências dos grandes centros de consumidores dos derivados. Então, por meio de técnicas de SR e SIG,

faz necessário o acompanhamento dos dutos já que esses são fundamentais para o funcionamento do país.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Serão expostos a seguir os materiais utilizados para a realização do trabalho e suas descrições, assim como as metodologias usadas no mesmo e seus desenvolvimentos.

4.1. Materiais

Utilizou-se os seguintes materiais para a realização do trabalho: Imagem orbital do sistema sensor IKONOS (Advanced Earth Observing Satellite), imagem orbital do sistema sensor REIS (RapidEye Earth Imaging System), Software eCognition 8 Developer, Software Arcgis 10 (ESRI, 2010) e Excel.

A imagem RapidEye foi adquirida na data 09/09/2011, com as propriedades de ângulo de elevação do imageamento em 86,63°, com azimute do imageamento de 2,79°, ângulo de elevação solar de 84,12° e azimute solar de 2,47°. Já a imagem Ikonos foi adquirida na data de 25/11/2011 com as características como ângulo de elevação do imageamento em 86,28°, com azimute do imageamento de 115,05°, ângulo de elevação solar de 68,39° e azimute solar de 87,25°. A tabela 1 mostra algumas das propriedades das imagens

Tabela 1. Propriedades das imagens utilizadas.

Data	Ângulo de elevação do imageamento	Azimute do imageamento	Ângulo de elevação solar	Azimute solar
09/09/2011	86,63	2,79	84,12	2,47
25/11/2011	86,28	115,05	68,39	87,25

O eCognition Developer 8.0 é um software desenvolvido para ser aplicado em tarefas de sensoriamento remoto, especialmente na criação de mapas temáticos de uso, ocupação e cobertura da terra. Por isso, foi usado o eCognition 8.0 para se classificar as imagens Ikonos e RapidEye na abordagem baseada a objetos.

No Arcgis 10, software criado para a análise e produção de informações espaciais e de sensoriamento remoto através de mapas, cartas e imagens de satélite, foi utilizado seu apêndice ArcMap para o diagnóstico de acerto da classificação de cobertura da terra feita no eCognition e também para a elaboração dos mapas.

4.2. Métodos

Com a intenção de avaliar a classificação de diferentes imagens de alta resolução espacial aplicadas em áreas de faixa de duto em regiões urbanas, foi escolhida a metodologia de classificação baseada a objeto, o desenvolvimento da aplicação desse processo será descrito nos itens a seguir.

4.2.1. Pré-processamento das imagens

Para a interpretação e análise das imagens digitais torna-se necessário compreender o comportamento espectral dos objetos que compõe a área de estudo. As técnicas de tratamento digital das imagens viabilizam o reconhecimento e interpretação das informações espaciais.

O pré-processamento foi realizado apenas para a imagem Ikonos II, pois a RapidEye já vem ortorretificada, com um nível muito bom de correção. Portanto, para a Ikonos foi feita a correção geométrica, que consiste no processo de ortorretificação, que acontece pela transformação da rotação e translação da imagem com finalidade de que ela se ajuste nos parâmetros de uma imagem já registrada. Com isso, selecionam-se pontos de controle na imagem a ser registrada e na que já está ortorretificada, depois disso aplica-se modelos matemáticos computacionais para finalizar (JENSEN, 1996).

Além do registro da imagem foi aplicada também a técnica de fusão, que consiste na combinação de imagens distintas com finalidade de se obter um produto resultante da síntese das imagens de qualidade superior (PINHO, 2006). Então uni-se as bandas multiespectrais de 4m com as bandas pancromáticas de 1m, possibilitando a imagem com bandas de 1m de resolução espacial.

Para o fim dessa primeira etapa, foi feito o recorte da área de estudo (Figura 2 e 3) nas imagens RapidEye e Ikonos, escolhendo a área que melhor se encaixava nos parâmetros do trabalho, como as faixas de duto e as áreas de intensa ocupação urbana.

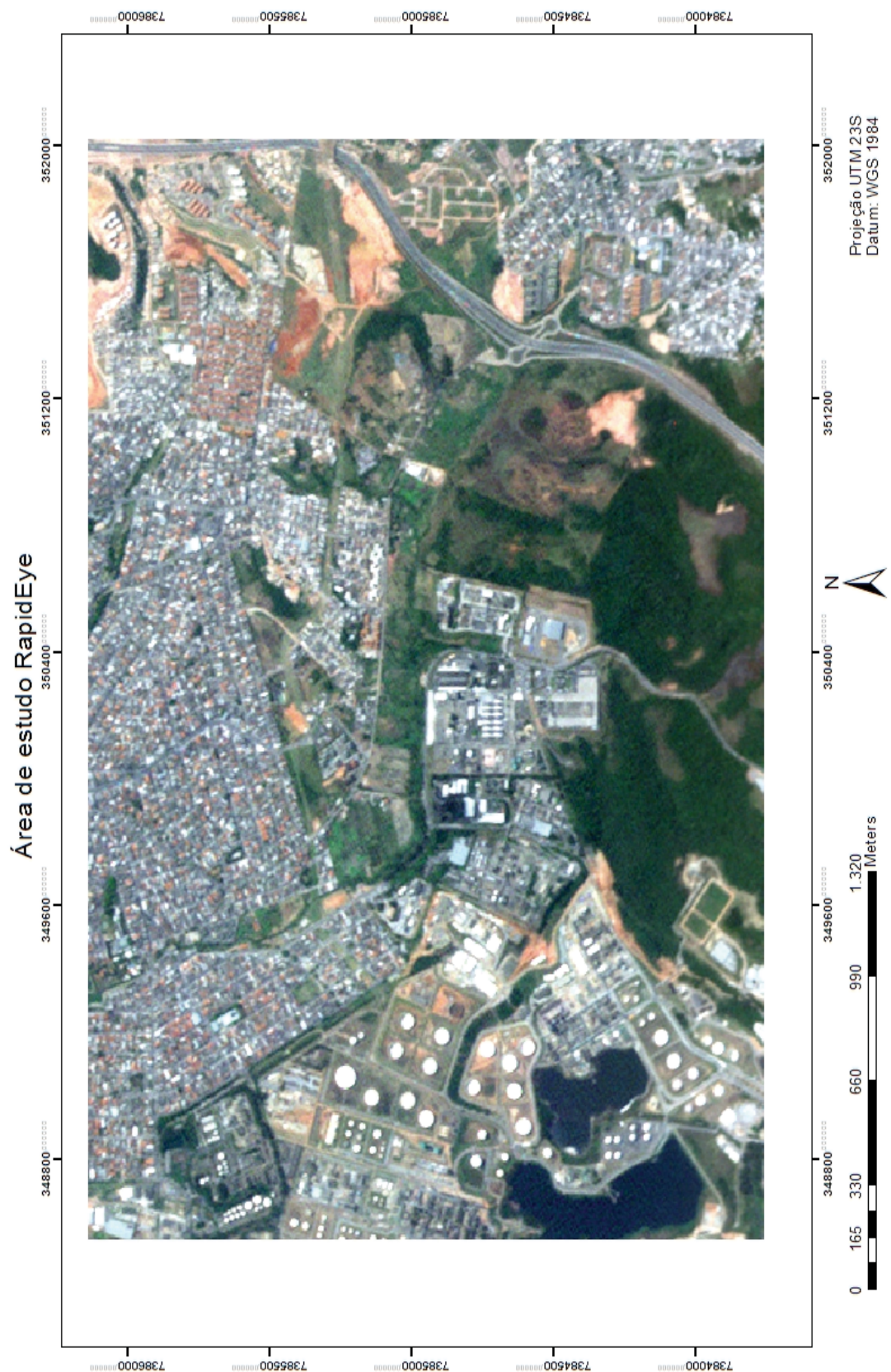


Figura 2. Recorte da área de estudo da Imagem RapidEye.

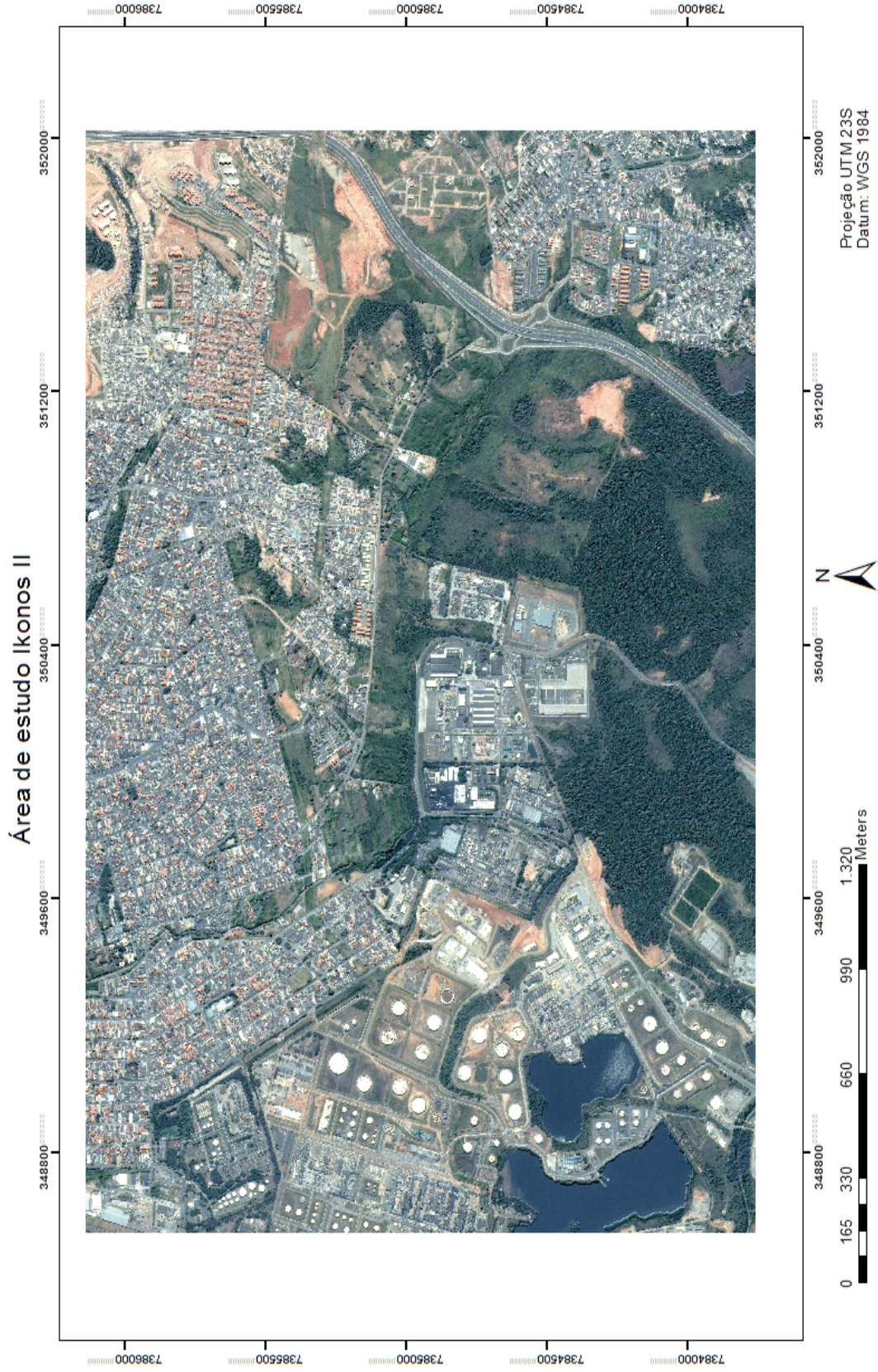


Figura 3. Recorte da área de estudo da Imagem Ikonos II.

4.2.2. Classificação de imagens com diferentes resoluções

4.2.2.1. Segmentação

A segmentação para as imagens Ikonos II e RapidEye foram feitas pelo algoritmo de segmentação multiresolução, do software eCognition 8.0. Essa permite a criação de objetos da imagem em diferentes escalas de detalhamento. Este procedimento se pauta no crescimento de regiões, na qual regiões adjacentes são ajuntadas através do parâmetro de similaridade que pondera a heterogeneidade intrínseca às mesmas. Na definição da similaridade é necessário fornecer os parâmetros de escala, forma, tonalidade, compacidade, suavidade, bandas espectrais (BAATZ e SCHÄPE, 2000). A segmentação foi realizada para as imagens RapidEye e Ikonos II com as características dos parâmetros descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros do processo de segmentação

Imagens RapidEye			
Parâmetros	Nível I	Nível II	Nível III
Escala	20	40	80
Forma	0,4	0,4	0,4
Cor	0,6	0,6	0,6
Compacidade	0,5	0,5	0,5
Suavidade	0,5	0,5	0,5
Imagens Ikonos			
Parâmetros	Nível I	Nível II	Nível III
Escala	10	20	40
Forma	0,4	0,4	0,4
Cor	0,6	0,6	0,6
Compacidade	0,5	0,5	0,5
Suavidade	0,5	0,5	0,5

A seguir, nas Figuras 4 e 5 é visto o resultado da segmentação do Nível III para as Imagens RapidEye e Ikonos II.

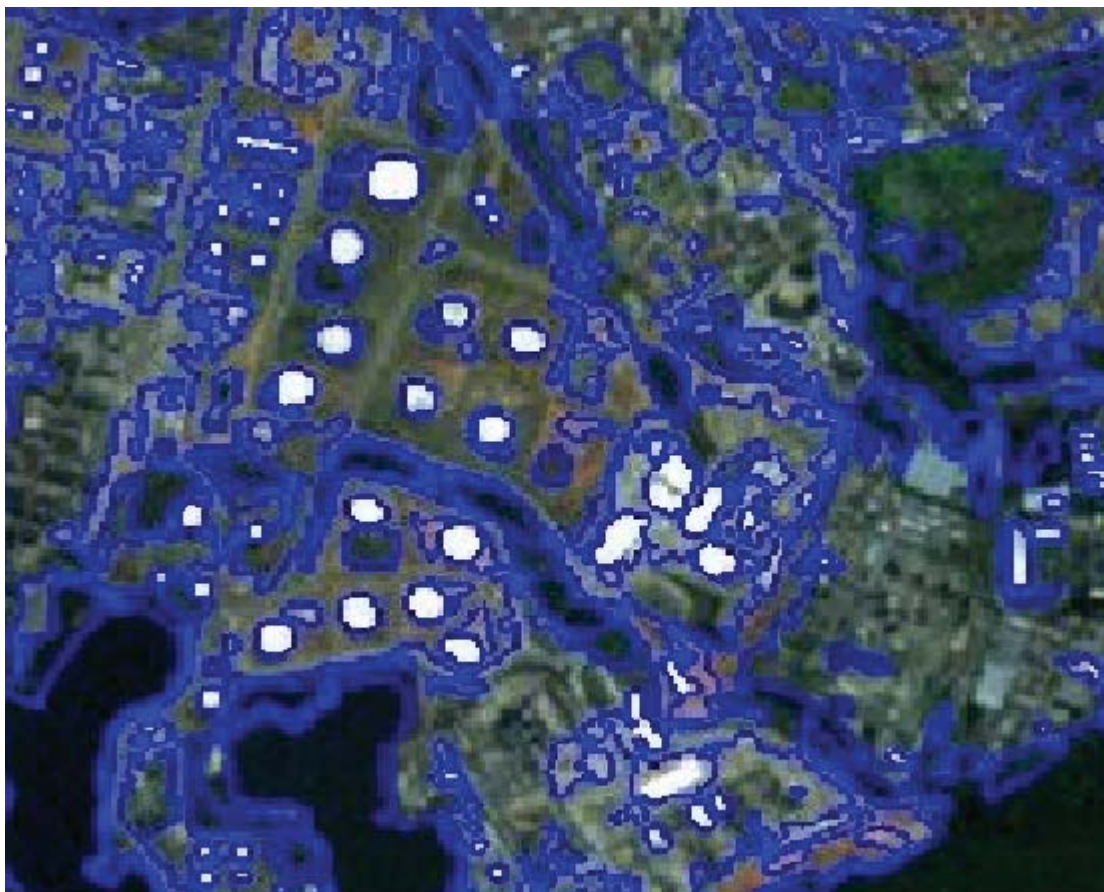


Figura 4. Segmentação na imagem RapidEye

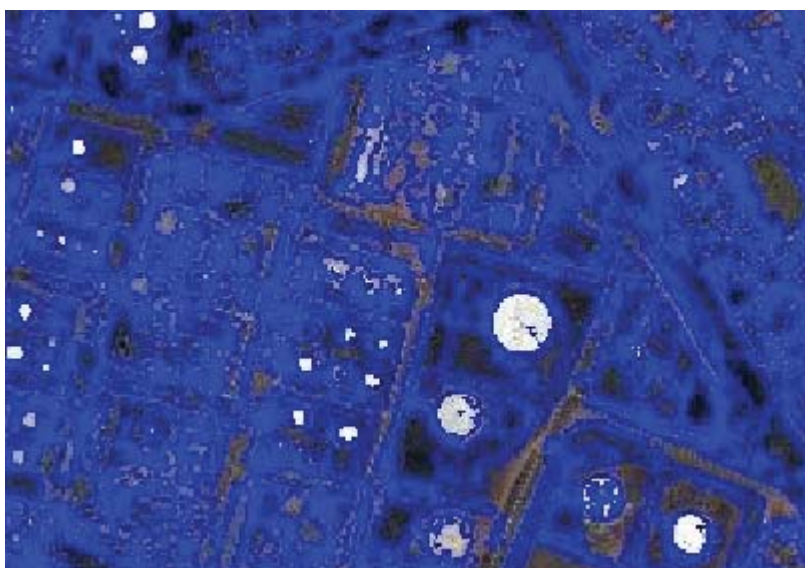


Figura 5. Segmentação na imagem Ikonos II.

4.2.2.2. Classes e classe hierarquia

Para esse trabalho, foram criadas diversas classes de acordo com o tipo de característica apresentadas na área de estudo, com intenção de se mapear a cobertura da terra. Com isso, foram criadas 16 classes agrupadas de acordo com seus atributos semelhantes na classificação da cobertura da terra.

Após a criação das classes, separou as mesmas de acordo com suas hierarquias, como apresentado na Figura 6. Seguiu-se também essa hierarquia para se classificar as imagens Ikonos e RapidEye no software eCognition 8.0. O processo de classificação baseada a objeto nas imagens Ikonos II e RapidEye foi realizado pela ferramenta Assign Class.

Inicialmente separou-se a classe Água da classe Não Água, dentro da classe Água adicionou-se a classe Rios e Reservatórios, dentro na classe Não Água, colocou-se todas as classes restantes. Após essa primeira etapa, separou-se Não Vegetação de Vegetação, onde continha em Não Vegetação as classe: Claro, dividida em Cobertura Branca e Solo Exposto Claro; Escuro, contendo as classes Asfalto, Cobertura Escura (Concreto) e Solo Exposto Escuro e a classe Médio que contém apenas a classe Solo Exposto Médio (Vermelho). Dentro da classe vegetação se encontra Vegetação Arbórea e Vegetação Rasteira.

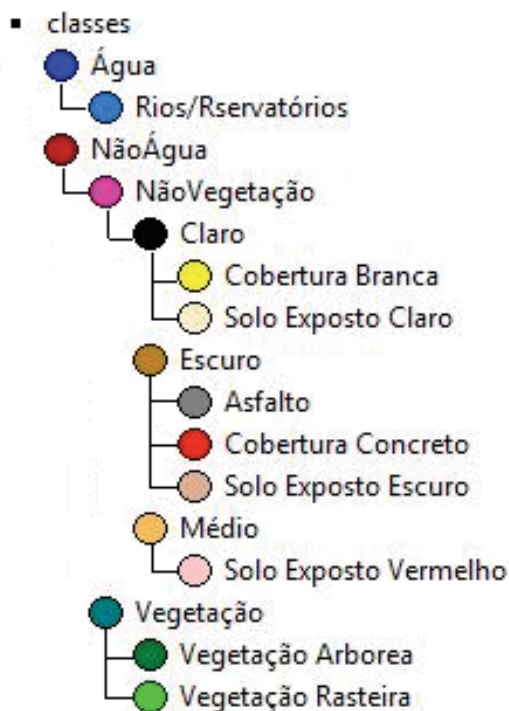


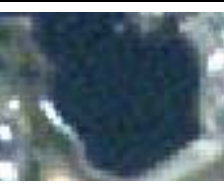
Figura 6. Classe hierárquica para as imagens RapidEye e Ikonos II.

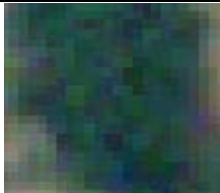
4.2.2.3. Definição de amostras

De acordo com a estrutura hierárquica de classes, foram selecionadas amostras de cada classe de cobertura da terra definidas na etapa anterior, tanto na imagem Ikonos quanto na RapidEye. A amostragem é fundamental para a descrição das classes e para o contexto que estão inseridas, quanto mais amostras se selecionar nas imagens, mais possibilidades de acertos na classificação, pois aumenta a abrangência de cores e isso quando analisado deixará mais fácil a separação dos parâmetros, dessa forma, através da ferramenta Sample Editor, do eCognition 8.0, se faz a análise dos histogramas de atributos que são geradas pelo Editor de amostras.

A seguir, na Tabela 3, encontram-se amostras de cada classe definida para o mapeamento de cobertura da terra, diferenciando-se em cada imagem orbital.

Tabela 3. Comparação das amostras de classes das imagens Ikonos II e RapidEye

Classes	Amostra Ikonos II	Amostra RapidEye
Asfalto		
Cobertura Branca		
Cobertura Escura		
Rio/Reservatórios		
Solo Exposto Claro		

Solo Exposto Escuro		
Solo Exposto Médio		
Vegetação Arbórea		
Vegetação Rasteira		

4.2.2.4. Definição de valores dos parâmetros de classificação

Os valores dos parâmetros de classificação da cobertura da terra foram definidos através da ferramenta Sample Editor, depois de feitas as análises dos gráficos das amostras coletadas nas imagens orbitais, no Editor de amostras.

Como exemplo, a Figura 7 mostra os gráficos das classes específicas, Vegetação e Não Vegetação; na ferramenta Sample Editor, do eCognition 8.0. Onde através desses gráficos eram definidos os valores para separar as classes quando fosse gerada a classificação.

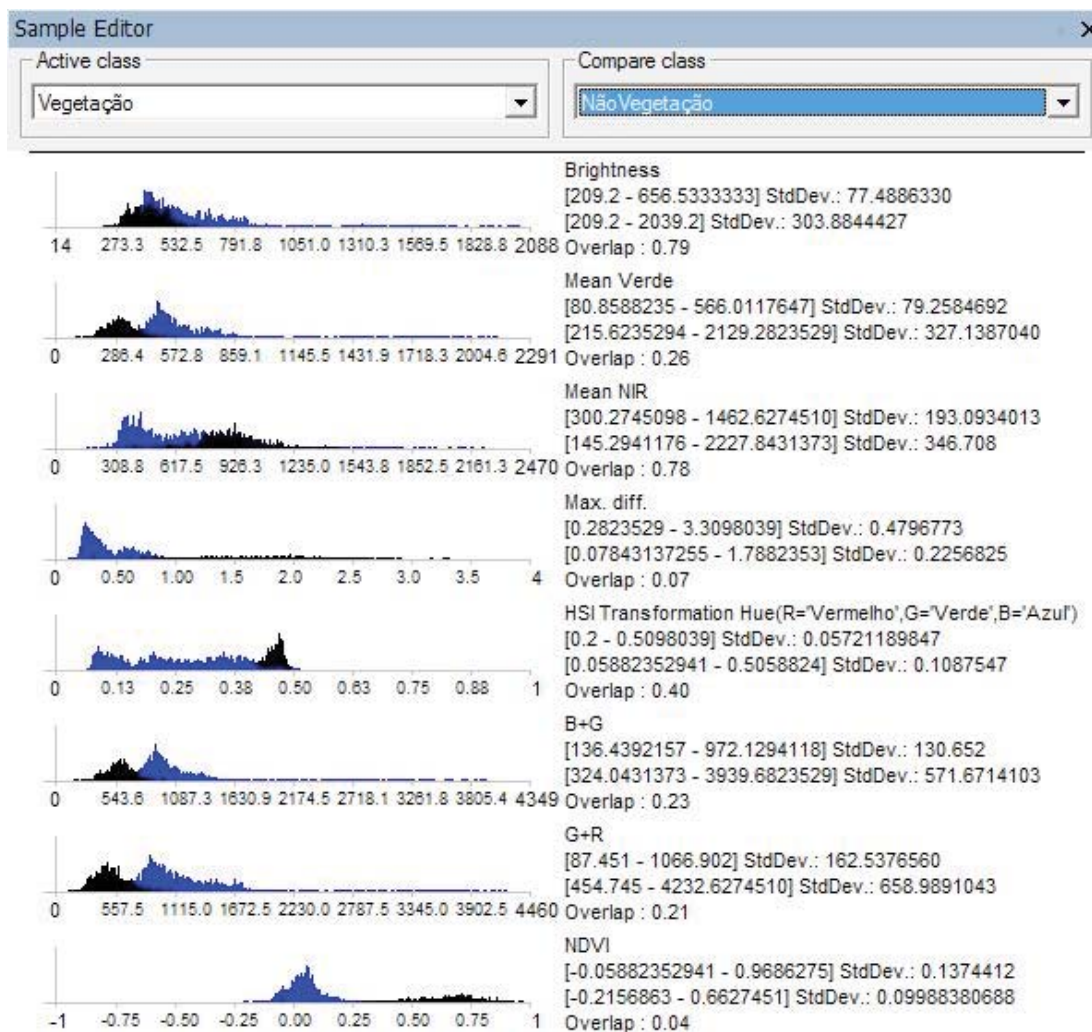


Figura 7. Valores dos parâmetros de classificação das classes específicas

4.2.2.5. Criação do mapa temático de cobertura da terra

Após as etapas já descritas foi executado o procedimento para a geração dos mapas de cobertura da terra classificados através do software eCognition 8.0 pela abordagem baseada a objeto.

4.2.3. Avaliação estatística das classes nas imagens com diferentes resoluções

4.2.3.1. Método Kappa e Matriz de erros

Após os mapas de cobertura da terra serem gerados, esses foram exportados para o ArcMap 10, onde se comparou os resultados dos mesmos com 450 pontos coletados, cinquenta pontos para cada classe, nas imagens orbitais Ikonos e RapidEye.

Posteriormente, para se fazer a comparação de acertos e erros da classificação do mapa, foram utilizados métodos estatísticos, a partir da matriz de erros e do índice Kappa. Depois da visualização dos resultados da estatística, foi feita a edição dos mapas de cobertura

da terra em comparação e sobreposição com as imagens de sensores, com o objetivo de corrigir erros de alguns segmentos de determinada característica que se encontravam em classes erradas. Com o mapa editado fez-se novamente a análise dos erros através da: Matriz de erros e Kappa.

Foram classificadas as classes e os resultados dos mapas de cobertura da terra através da proposta de Landis e Koch (1977), representada na Tabela 4:

Tabela 4. Qualidade da classificação associada ao índice Kappa.

Índice Kappa	Desempenho da Classificação
$0 < K \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < K \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < K \leq 0,6$	Bom
$0,6 < K \leq 0,8$	Muito bom
$0,8 < K \leq 1,0$	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da classificação baseada no objeto, gerada no software eCognition 8.0 Developer, em imagens de alta resolução espacial, aplicados no monitoramento da faixa de dutos, foram apresentados em formas de mapa e analisados de acordo com a matriz de erros e o coeficiente de concordância Kappa.

O mapa de cobertura da terra da imagem RapidEye, apresentado na Figura 8, teve o valor de acerto, de acordo com a matriz de erro, de 64% e o coeficiente de concordância Kappa foi de 0,59. Por tanto, segundo a caracterização dos valores propostos por Landis e Koch (1977), a classificação baseada no objeto na imagem RapidEye foi boa, representando uma adequada precisão das classes expostas na cena.

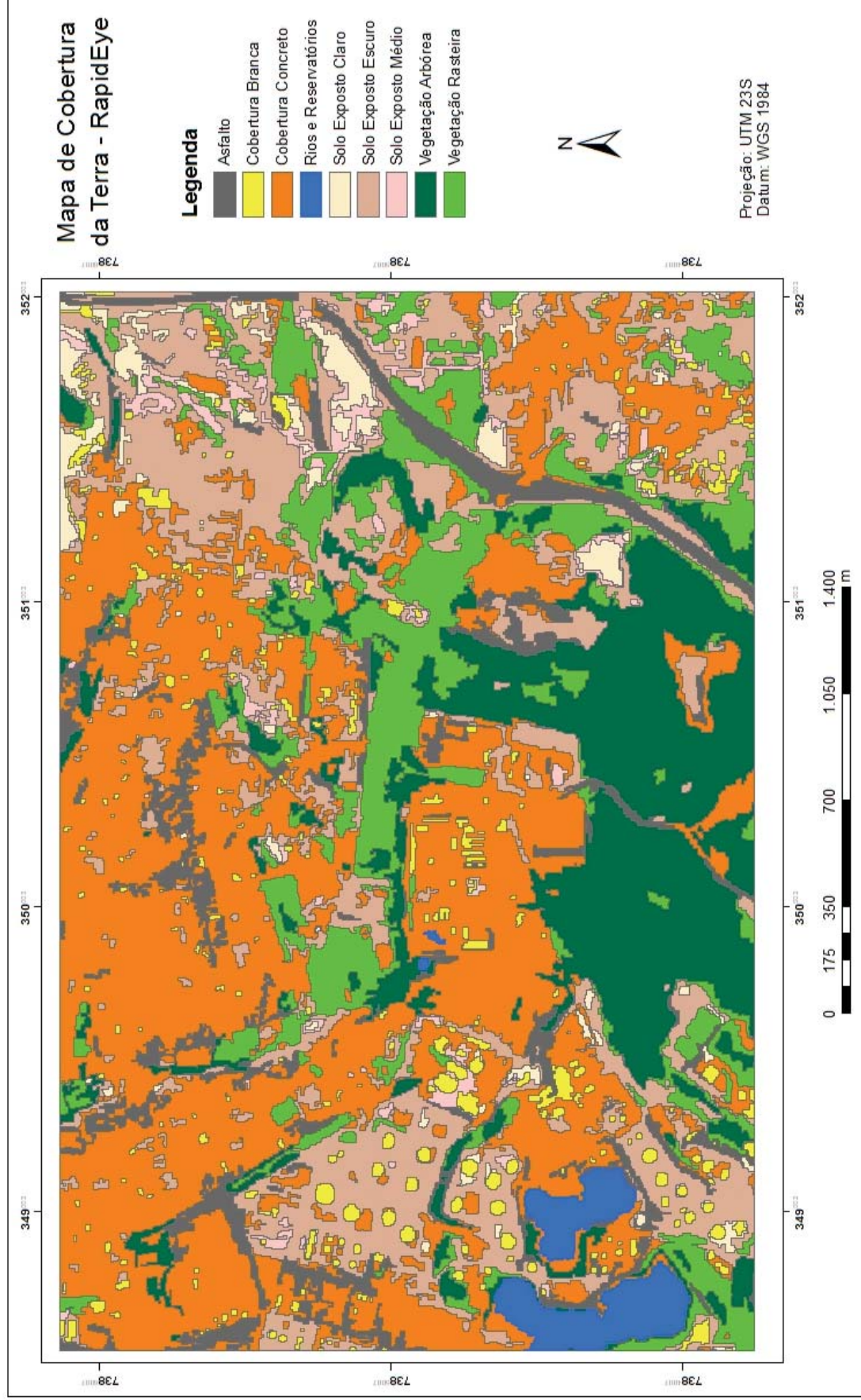


Figura 8. Mapa da cobertura da terra na imagem RapidEye.

Na tabela de Matriz de erros, Tabela 5 pode-se perceber que a melhor classificação foi obtida pela classe Rios/ Reservatórios, tendo um acerto de 92%, a partir de dados selecionados corretamente, sendo que os 8% restante foram classificados em outras duas classes 46 dados selecionados corretamente e apenas 4 em outras duas classes (4% em Asfaltos e 4% em Cobertura Escura), resultando em um acerto da acurácia do usuário em 100% e na acurácia do produtor em 92% mostrados na Tabela 6. Em valores de Kappa isso significa, 1,00 para o Kappa do usuário e 0,91 para o Kappa do produtor. No entanto, a classe Solo Exposto Médio mostrou o pior resultado da tabela, tendo apenas um total de 28% de acertos dos pontos da matriz de erros em sua própria classe, sendo que 20% foram considerados Solo Exposto Claro e 52% Solo Exposto Escuro, isso acontece por essa classe estar no intervalo de outras duas classes, sendo que essas três juntas, representam uma classe maior: Solo Exposto. Além disso, o limiar de valores para definição dos parâmetros de classificação apresentados no eCognition são muito semelhantes, apesar da delimitação dos valores e a coleta de amostras nas imagens terem sido feitas da melhor maneira possível, alguns dos segmentos do Solo Exposto Médio, foram classificados em outras classes.

Tabela 5. Matriz de erro da classificação da cobertura da terra pela imagem RapidEye

Dado de Referência										
Dado Classificado	Asfalto	Cobertura Branca	Cobertura Escura	Solo Exp. Claro	Solo Exp. Médio	Solo Exp. Escuro	Vegetação Arbórea	Vegetação Rasteira	Rios e Reservatórios	Total
Asfalto	21	1	3	1	0	2	3	1	2	34
Cobertura Branca	0	45	0	12	0	0	0	0	0	57
Cobertura Escura	18	4	34	0	0	12	6	6	2	82
Solo Exp. Claro	0	0	0	22	10	2	0	0	0	34
Solo Exp. Médio	0	0	0	7	14	1	0	0	0	22
Solo Exp. Escuro	8	0	13	8	26	29	0	3	0	87
Vegetação Arbórea	1	0	0	0	0	1	38	2	0	42
Vegetação Rasteira	2	0	0	0	0	3	3	38	0	46
Rios e Reservatórios	0	0	0	0	0	0	0	0	46	46
Total	50	50	50	50	50	50	50	50	50	450

Acerto geral =64%

Kappa = 0,59

Tabela 6. Kappa condicional das classes de cobertura da terra pela imagem RapidEye

Classe de Cobertura da terra	Acurácia do usuário (%)	Kappa (usuário)	Acurácia do produtor (%)	Kappa (produtor)
Asfalto	62	0,57	42	0,37
Cobertura Branca	79	0,76	90	0,89
Cobertura Escura	41	0,34	68	0,61
Solo Exposto Claro	65	0,60	44	0,39
Solo Exposto Médio	64	0,59	28	0,24
Solo Exposto Escuro	33	0,25	58	0,48
Vegetação Arbórea	90	0,89	76	0,74
Vegetação Rasteira	83	0,80	76	0,73
Rios e Reservatórios	100	1,00	92	0,91

Em geral, as classes que apresentaram mais discordância de acerto foram a dos Solos Expostos, as demais classes apresentaram um bom nível de acerto para a classificação do mapa da cobertura do solo.

Para a imagem Ikonos II, o mapa de cobertura da terra, apresentado na Figura 9, teve os valores de 61 % de acerto geral na matriz de erros e 0,56 no coeficiente de concordância. Apesar dos valores mais baixos que o mapa de cobertura a terra feito através da imagem RapidEye, o resultado para a imagem Ikonos de acordo com a tabela Landis e Koch (1977), é também a de uma boa classificação.

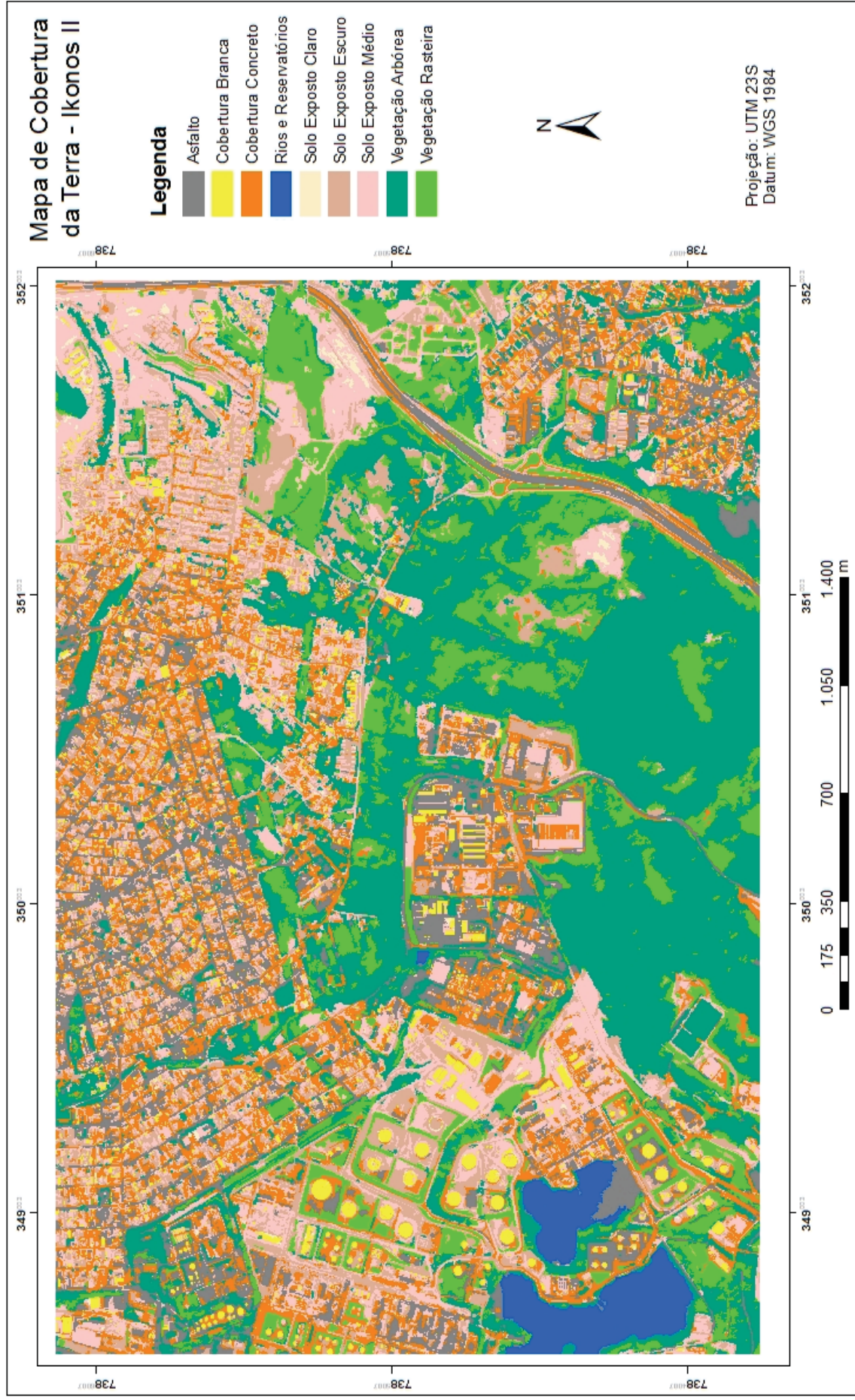


Figura 9. Mapa da cobertura da terra na imagem Ikonos II.

Na tabela de Matriz de erros, as classes que apresentaram menos acertos, também foram as de Solos Expostos, havendo muita alteração de segmentos entre essas três classes, como mostrado na Tabela 7. A classe que mais se destaca por acertos é a Vegetação Arbórea, apresentando um acerto geral de 98% dos pontos coletados, com a acurácia do produtor de 98% e o Kappa do produtor de 0,98, como segue na Tabela 8. No entanto, na acurácia do usuário é apresentado o valor de 62% e o Kappa com valor de 0,66, pois foram adicionados a Classe Vegetação Arbórea 21 segmentos de outras duas classes, 19 objetos da Vegetação Rasteira e 2 da classe Rios e Reservatórios. As outras classes utilizadas para o mapeamento se apresentaram com um bom acerto geral.

Tabela 7. Kappa condicional das classes de cobertura da terra pela imagem IkonosII

Dado de Referência										
Dado Classificado	Asfalto	Cobertura Branca	Cobertura Escura	Solo Exp. Claro	Solo Exp. Médio	Solo Exp. Escuro	Vegetação Arbórea	Vegetação Rasteira	Rios e Reservatórios	Total
Asfalto	39	0	15	0	0	1	0	0	16	71
Cobertura Branca	0	44	0	3	0	0	0	0	0	47
Cobertura Escura	10	0	11	0	0	2	0	0	1	24
Solo Exp. Claro	0	1	2	12	0	0	0	0	0	15
Solo Exp. Médio	0	0	0	35	27	13	0	0	0	75
Solo Exp. Escuro	1	5	22	0	23	32	0	0	0	83
Vegetação Arbórea	0	0	0	0	0	0	49	19	2	70
Vegetação Rasteira	0	0	0	0	0	2	1	31	0	34
Rios e Reservatórios	0	0	0	0	0	0	0	0	31	31
Total	50	50	50	50	50	50	50	50	50	450

Acerto geral =61%

Kappa = 0,56

Tabela 8. Kappa condicional das classes de cobertura da terra pela imagem IkonosII

Classe de Cobertura da terra	Acurácia do usuário (%)	Kappa (usuário)	Acurácia do produtor (%)	Kappa (produtor)
Asfalto	55	0,49	78	0,74
Cobertura Branca	94	0,93	88	0,87
Cobertura Escura	46	0,39	22	0,18
Solo Exposto Claro	80	0,78	24	0,21
Solo Exposto Médio	36	0,28	54	0,45
Solo Exposto Escuro	39	0,31	64	0,56
Vegetação Arbórea	70	0,66	98	0,98
Vegetação Rasteira	91	0,90	62	0,59
Rios e Reservatórios	100	1,00	62	0,59

Com a intenção de melhorar a acurácia da classificação dos mapas de cobertura da terra feitos nas imagens Ikonos II e RapidEye, foi feita a edição desses no Software ArcGis, alterando, dessa forma, a classificação dos polígonos dos objetos que se encontravam em classes erradas, modificando-os para as classes que deveriam estar.

Os resultados obtidos na edição do mapa de cobertura da terra, apresentado na Figura 10, da imagem RapidEye foram de 70% de acerto geral e 0,65 para o coeficiente Kappa, como é mostrado na Tabela 9. Esses resultados atuais ganham uma nova classificação, de acordo com a definição de Landis e Koch (1977), a classificação caracterizada antes como boa, após a edição passa a ser considerada muito boa. A única classe que ainda permanece com o número baixo de acertos na própria classe é a de Solo Exposto Médio que cai o número de acertos de 14 para 13, com o resultado da acurácia do usuário em 65% e acurácia do produtor em 26%, como descrito na Tabela 10. No entanto, as duas outras classes de solos exposto aumentam o os acertos classificados dentro das suas classes.

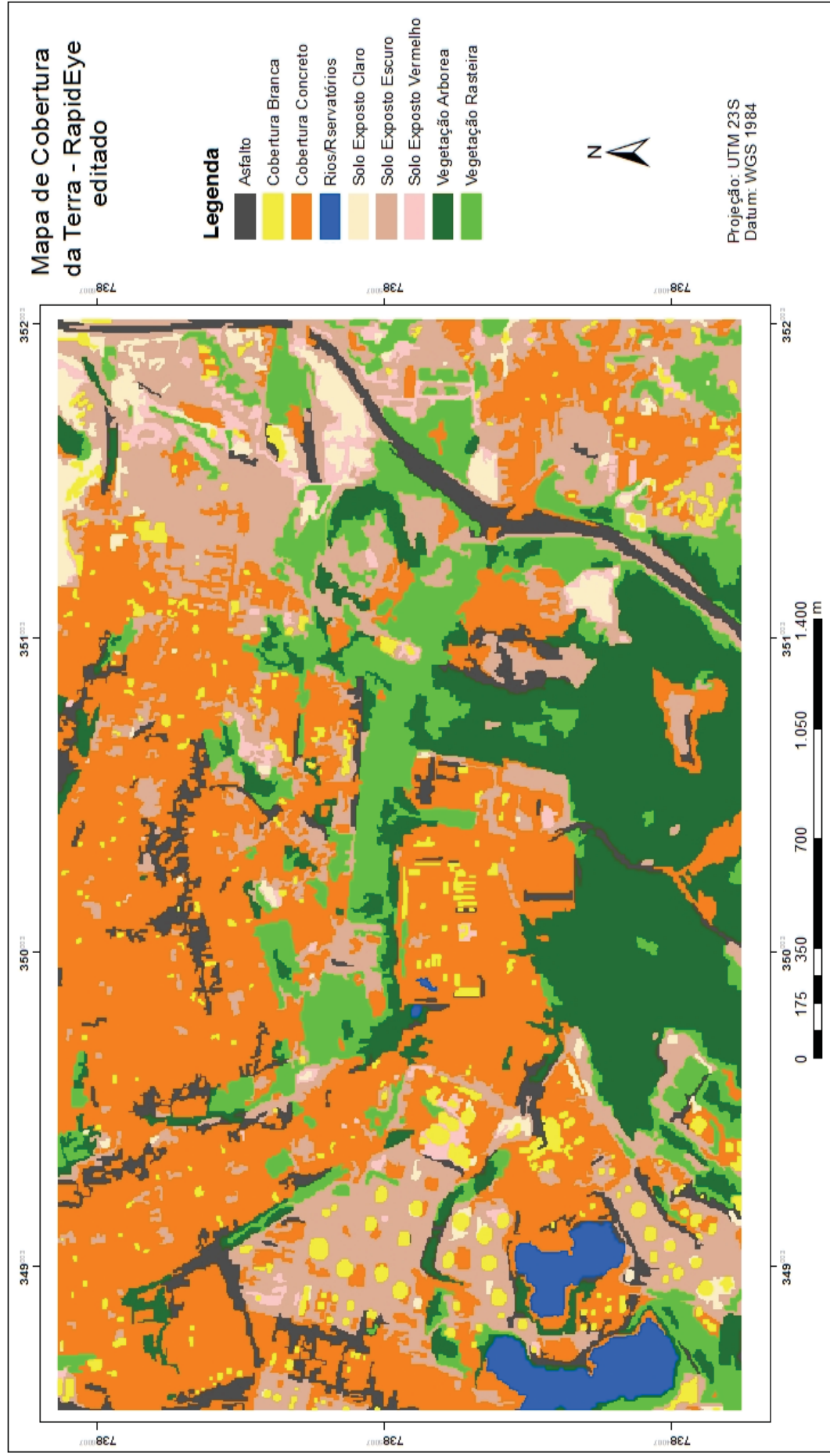


Figura 10. Mapa da cobertura da terra na imagem RapidEye editado

Tabela 9. Kappa condicional das classes de cobertura da terra pela imagem RapidEye editada

Dado de Referência										
Dado Classificado	Asfalto	Cobertura Branca	Cobertura Escura	Solo Exp. Claro	Solo Exp. Médio	Solo Exp. Escuro	Vegetação Arbórea	Vegetação Rasteira	Rios e Reservatórios	Total
Asfalto	21	1	2	1	0	0	3	1	1	30
Cobertura Branca	0	45	0	6	0	0	0	0	0	51
Cobertura Escura	17	4	38	0	0	4	6	5	1	75
Solo Exp. Claro	0	0	0	31	11	2	0	0	0	44
Solo Exp. Médio	0	0	0	6	13	1	0	0	0	20
Solo Exp. Escuro	9	0	10	6	26	40	0	3	0	94
Vegetação Arbórea	1	0	0	0	0	1	38	2	0	42
Vegetação Rasteira	2	0	0	0	0	2	3	39	0	46
Rios e Reservatórios	0	0	0	0	0	0	0	0	48	48
Total	50	50	50	50	50	50	50	50	50	450

Acerto geral =70%

Kappa = 0,65

Tabela 10. Kappa condicional das classes de cobertura da terra pela imagem RapidEye editada

Classe de Cobertura da terra	Acurácia do usuário (%)	Kappa (usuário)	Acurácia do produtor (%)	Kappa (produtor)
Asfalto	70	0,66	42	0,38
Cobertura Branca	88	0,87	90	0,89
Cobertura Escura	51	0,45	76	0,71
Solo Exposto Claro	70	0,67	62	0,58
Solo Exposto Médio	65	0,61	26	0,23
Solo Exposto Escuro	43	0,35	80	0,75
Vegetação Arbórea	90	0,89	76	0,74
Vegetação Rasteira	85	0,83	78	0,75
Rios e Reservatórios	100	1,00	96	0,96

Com a edição aplicada no mapa da cobertura da terra, feito sobre a imagem RapidEye, foi possível alcançar um aumento de 6% na veracidade do mesmo com o real. Apesar da classificação ter subido do nível bom para o muito bom segundo a comparação de Landis e Koch (1977), a edição só não foi melhor porque, os polígonos gerados na imagem após feito o processo de segmentação no eCognition, são maiores que muitas coberturas da terra representadas na imagem. Ou seja, apesar de se ter buscado a melhor segmentação para a imagem RapidEye, essa apresentou polígonos que abrangiam mais de uma classe. Na amostragem, já se tentou fazer a melhor definição e separação da representação de cobertura da terra em cada classe de sua característica, com o resultado do mapa vimos que apesar da amostragem, houveram erros, no entanto, na correção e edição desses, foram poucos os polígonos que puderam ser mudados sem que afetassem outras classes, pelo fato do tamanho dos segmentos criados.

Na edição da classificação da imagem Ikonos, foi gerado um novo mapa, Figura 11, no qual se percebeu mais mudanças do que na edição da classificação da outra imagem. Isso ocorre porque a resolução espacial do sensor Ikonos é maior e melhor que a do RapidEye, pois apresenta menor escala o que permite fazer uma maior distinção dos alvos terrestres. Dessa forma, quando a imagem Ikonos foi segmentada ela se fragmentou em objetos bem menores que as da imagem RapidEye, separando melhor as coberturas da terra representadas na imagem, permitindo uma coleta mais eficiente das amostras para a definição dos valores.

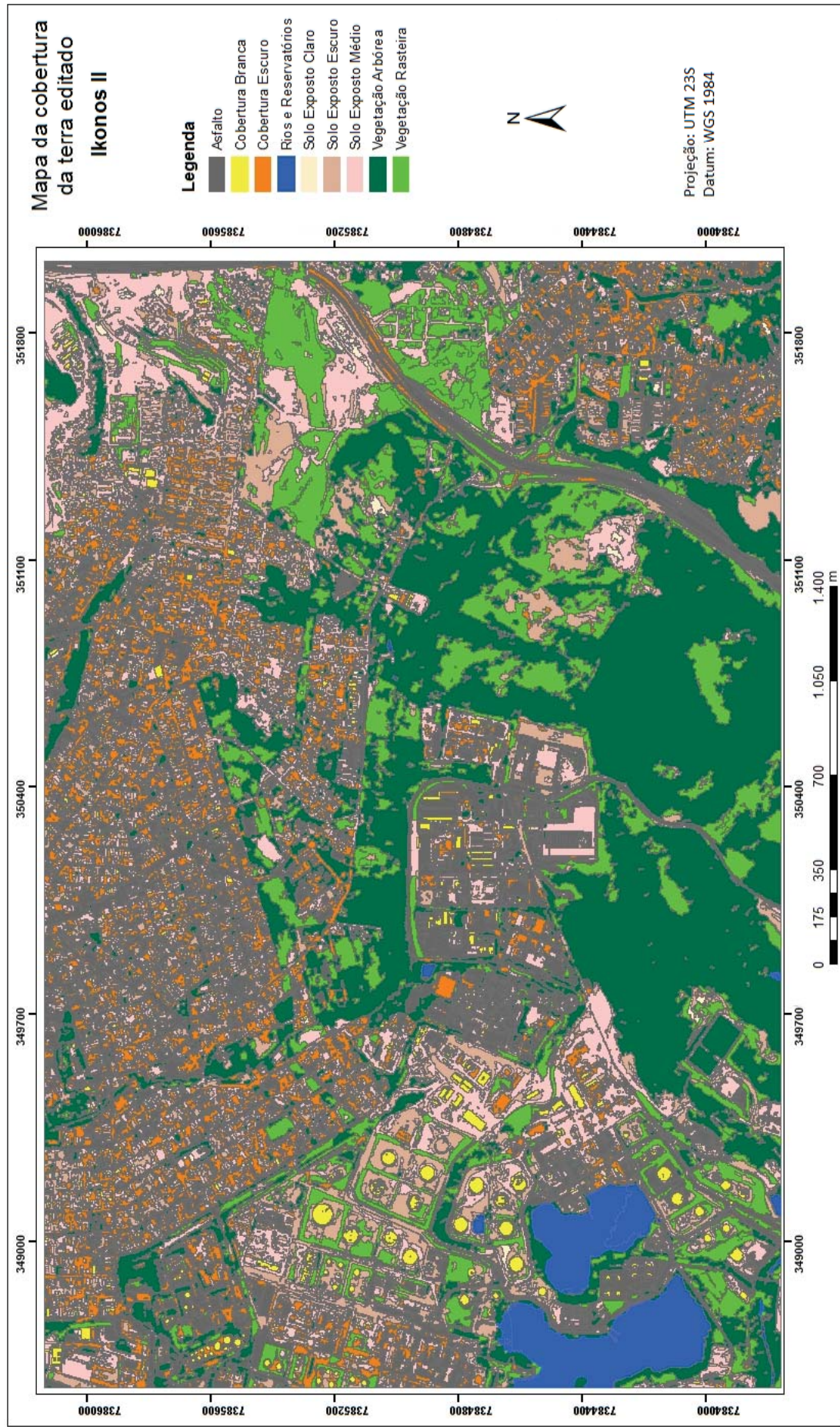


Figura 11. Mapa da cobertura da terra na imagem Ikonos II editado.

Então, após a edição notou-se que a definição da classificação do mapa de cobertura da terra passou de 61% de acerto geral na matriz de erro para 67% e o parâmetro de Kappa passou de 0,56 para 0,63 como aparece na Tabela 11. Portanto, também subiu a qualidade da classificação desde mapa após adição, passando de bom para muito bom.

As classes em geral também aumentaram seus acertos como mostrado na Tabela 12, no entanto, a Cobertura Escura se confunde com a classe Asfalto e com o Solo Exposto Médio, já que dentro dessa classe há valores dos espectros terrestres muito semelhantes. Essa confusão de valores também ocorre para as classes de Solo Exposto, pois estes apresentam características muito parecidas.

Tabela 11. Kappa condicional das classes de cobertura da terra pela imagem IkonosII editada

Dado de Referência										
Dado Classificado	Asfalto	Cobertura Branca	Cobertura Escura	Solo Exp. Claro	Solo Exp. Médio	Solo Exp. Escuro	Vegetação Arbórea	Vegetação Rasteira	Rios e Reservatórios	Total
Asfalto	43	0	15	0	0	1	0	0	3	62
Cobertura Branca	0	44	0	2	0	0	0	0	0	46
Cobertura Escura	6	0	13	0	0	1	0	0	0	20
Solo Exp. Claro	0	3	0	17	0	0	0	0	0	20
Solo Exp. Médio	0	3	15	31	27	13	0	0	0	89
Solo Exp. Escuro	1	0	7	0	23	33	0	0	0	64
Vegetação Arbórea	0	0	0	0	0	0	48	17	2	67
Vegetação Rasteira	0	0	0	0	0	2	2	33	0	37
Rios e Reservatórios	0	0	0	0	0	0	0	0	45	45
Total	50	50	50	50	50	50	50	50	50	450

Acerto geral =67%

Kappa = 0,63

Tabela 12. Kappa condicional das classes de cobertura da terra pela imagem IkonosII editada

Classe de Cobertura da terra	Acurácia do usuário (%)	Kappa (usuário)	Acurácia do produtor (%)	Kappa (produtor)
Asfalto	69	0,66	86	0,84
Cobertura Branca	96	0,95	88	0,87
Cobertura Escura	65	0,61	26	0,23
Solo Exposto Claro	85	0,83	34	0,31
Solo Exposto Médio	30	0,22	54	0,43
Solo Exposto Escuro	52	0,46	66	0,60
Vegetação Arbórea	72	0,68	96	0,95
Vegetação Rasteira	89	0,88	66	0,63
Rios e Reservatórios	100	1,00	90	0,89

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após as análises dos resultados pode-se considerar que a classificação baseada no objeto aplicada em imagens de alta resolução espacial, se apresentou como uma eficaz metodologia, principalmente quando as imagens são de áreas complexas como a presença de espaços urbanos. Dessa forma, fica evidente a contribuição das geotecnologias para a análise sócio-espacial em espaços urbanos, assim como, para o monitoramento de dutos. Esse tipo de abordagem baseada no objeto pode ser utilizada juntamente de outros métodos para melhor monitoramento e acompanhamento de mudanças na superfície da terra, como por exemplo, o monitoramento temporal, pois esse apresentará não apenas a caracterização do fenômeno; ocupação e pressão antrópica nas faixas de dutos; no espaço, mas dará também a espacialidade das mudanças que esse fenômeno causa.

Com relação ao emprego das imagens de alta resolução espacial no monitoramento de faixa de dutos, deve-se considerar que a imagem RapidEye apresentou melhores resultados nos métodos estáticos de Matriz de erros e no coeficiente Kappa, apesar dessa ter uma escala maior que a imagem Ikonos, ou seja, sua resolução espacial não é tão boa quanto a Ikonos, mesmo assim, foi capaz de apresentar mais eficiência na classificação do mapa da cobertura da terra.

Contudo, cabe destacar que a imagem Ikonos apresenta muito mais detalhes espaciais e espectrais que a RapidEye, possibilitando uma melhor análise do real na imagem, porém, a classificação da mesma se torna muito mais difícil e complexa. Para futuros trabalhos recomenda-se, grande atenção para se fazer a classificação da imagem Ikonos.

Sugere-se também que, quando aplicado o método de classificação baseado no objeto na imagem Ikonos II, deve-se criar mais classes, separando essas nas determinadas ordens e

hierarquias, pois essa imagem apresenta uma grande quantidade de detalhes e quando esses não são separados em diversas classes, podem atrapalhar na criação do mapa de cobertura da terra, confundindo valores parecidos que não são pertencentes à mesma classe.

7. REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. **Os Nascimentos de São Paulo**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2ª Ed. 2004.

Atlas de Uso e Ocupação do Solo do Município de Mauá – Governo do Estado de São Paulo. 20 p. Março, 2006.

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. **Multi resolution segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation**. In: XII Angewandte Geographische Informationsverarbeitung, Wichmann-Verlag, Heidelberg, 2000.

BERNARDI, H. V. F., DZEDZEJ, M., CARVALHO, L. M. T., ACERBI JÚNIOR, F. W. **Classificação digital do uso do solo comparando os métodos “pixel a pixel” e orientada ao objeto em imagem QuickBird**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. INPE. 2007.

BONHAM-CARTER, G.F. **Geographic Information Systems for geoscientists: Modelling with GIS**. Ottawa: Pergamon, 1994.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1996.

CÂMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. In: CASANOVA, M. et al (Ed.). **Bancos de dados geográficos**. São Jose dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - INPE, 2005.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Dutos no estado de São Paulo**. 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 30 ago. 2012.

CORRÊA, R. L. **Trajetórias Geográficas**. 2 ed. Bestrand, Rio de Janeiro, Brasil, 2001.

COSTA, N. R. **Utilização de geotecnologias no monitoramento de processos erosivos e movimentos de massa em trecho da faixa de dutos Rio de Janeiro – Belo Horizonte**. 2010. 91f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental)

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Rio Claro, Rio Claro, 2010.

COSTA, S. M. F. **Metodologia Alternativa para o Estudo do Espaço Urbano, Integrando as Tecnologias de SIG e Sensoriamento Remoto - Aplicação à Área Metropolitana de Belo Horizonte**. Tese (Doutorado em Informação Espacial) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CPRM. **Projeto Rio de Janeiro**. Relatórios Técnicos. Brasília, CPRM - Serviço Geológico do Brasil Departamento de Recursos Minerais – DRM – RJ, 2000.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas. Editora UNICAMP. 1992. 170 p.

DEFINIENS - **eCognition user guide version 8.0**, Definiens Imaging GmbH, Munich, Germany, 2009. HAUSAMANN, D.; ZIRNIG, W.; SCHREIER, G.; STROBL, P. Monitoring of gas pipelines - a civil UAV application. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, v.77, n.5, p.352-360, 2009.

EMBRAPA, Monitoramento por Satélite. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Satélite Ikonos. <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>> 2009. Disponível no site <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/ikonos.htm>>. Acesso em 10 de março de 2012.

EMBRAPA, Monitoramento por Satélite. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Satélite RapidEye. <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>> 2009. <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/rapideye.htm>>. Acesso em 10 de março de 2012.

FERREIRA, M. V. **Análise das Pressões do Uso e Ocupação da Terra Sobre Trecho da Faixa de Dutos Rio – Belo Horizonte**. Dissertação de Mestrado, UNESP, RC. 2009.

FIGUEIREDO, D. **Apostila de Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. <<http://www.conab.gov.br>> Setembro de 2005. Disponível no site <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf>. Acesso em 2 de março de 2012.

GASPARINI, A. **Transporte Dutoviário e Meio Ambiente. O Controle da Rede de Dutos Terrestres da Petrobrás Operadas pela Transpetro**. André Gasparini. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

GOODCHILD, M.; HAINING, R.; WISE, S. **Integrating GIS and spatial data analysis: problems and possibilities**. *International Journal Geographical Information Systems*, v. 6, n. 5, p.407-423, 1992.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Senso 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acessado em: 12 de ago. 2012.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 2ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R.; SANTOS, A. R.; RUDORFF, B. F. T.; ALMEIDA, C. M.; GALVÃO, L. S. (Tradução). São José dos Campos: Parêntese. 2009.

- JENSEN, J. R. Urban/Suburban Land Use and Analysis. In: COWELL, R. N. **Manual of Remote Sensing**. Falls Church: American Society of Photogrammetry, cap.30, v. 2, p.1571-1666. 1983.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. **The measurement of observer agreement of categorical data**. *Biometrics*, 33 (1), 159-174, 1977.
- MARQUES, M. L. **Metodologias para Estimativa da Dimensão Fractal do Crescimento de Aglomerados Urbanos: Uma Contribuição ao Estudo da Expansão Urbana da Região Metropolitana de São Paulo entre 1905 e 2001**. Tese de doutorado. Mara Lúcia Marques, Rio Claro, SP, 2005.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ª Ed. Viçosa: Ed. UFV, 305 p. 2005.
- NÓBREGA, R. A. de A. **Deteção da Malha Viária na Prefeitura Urbana de São Paulo Utilizando Imagens de Alta Resolução Espacial e Classificação Orientada a Objetos**. R. A. de A. Nóbrega. ed. ver.- São Paulo, 166 p. 2007.
- NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- PINHO, C. M. D. **Análise Orientada a Objetos de Imagens de Satélite de Alta Resolução Espacial Aplicada na Classificação de Cobertura do Solo no Espaço Intra-Urbano: O Caso de São José dos Campos**. Dissertação de Mestrado, INPE. 2006.
- PINHO, C. M. D. FEITOSA, F. da F. KUX, H. **Classificação Automática de Cobertura do Solo Urbano em Imagem IKONOS: Comparação Entre a Abordagem Pixel-a-pixel e Orientada a Objetos**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4217 – 4224. 2005.
- POLIZEL, S. P. **Aplicação de Técnicas de Geoprocessamento para avaliação da Expansão Urbana no Município de Duque de Caxias (RJ) como Subsídio ao Monitoramento de Dutos: Trecho da Faixa de Dutos Rio de Janeiro – Belo Horizonte**. Silvia Palotti Polizel. Rio Claro, SP, 2011.
- RIBEIRO, S. R. A., SANTOS, D. R., CENTENO, J. S. **Aplicação da Metodologia de Dados Orientados a Objeto na Classificação de Uma Área Urbanizada, Utilizando Uma Imagem Digital Obtida Por Meio da Tecnologia do Laser Scanner**. Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente - SP, p.144-149. 2002.
- RODRIGUEZ, S.K. **Geologia Urbana da Região Metropolitana de São Paulo**. Tese (Doutorado em 1998 no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo), 171p, mapas. 1998.
- ROPER, W. DUTTA, S. **Remote Sensing and GIS Applications for Pipeline Security Assessment**. In: ESRI User Conference Proceedings, 2005, San Diego. Disponível em: <<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc05/papers/pap1762.pdf>>. Acesso em: 25 março 2012.
- ROSSI, E. **Utilização de técnicas de geoprocessamento para monitoramento de atividades de mineração ao longo de dutos: poliduto Rio de Janeiro/Minas Gerais**. 2010.

63f. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Rio Claro, Rio Claro, 2010.

SÃO PAULO (Secretaria dos Transportes Metropolitano – Governo do Estado de São Paulo). **Regiões Metropolitanas – Municípios RMSP – Mauá**. 2009. Disponível em: <http://www.stm.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2024&Itemid=201> Acesso em: 15 de ago. 2012.

SÃO PAULO (SMA). **RIMA – Relatório de Impacto Ambiental Plano Diretor de Dutos de São Paulo (PDD/SP)**. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo: Petrobrás, 1 p. 2007.

TERZIAN, R. L. **Conceitos e metodologias de gestão de projeto e sua aplicação ao caso da Integridade da malha dutoviária**. (Dissertação de metrado em Engenharia Industrial). Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 130 p. 2005.

VILLAÇA, F. **Espaço Intra-urbano no Brasil**. Sao Paulo: Studio Nobel: FAPESP: Lincoln Institute, 1998.