

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO**

ALAN PEREIRA DA SILVA FALCÃO MENDES

**METODOLOGIA PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS E
ATUALIZAÇÃO DE IMAGENS FOTOGRAFÉTRICAS PARA CADASTROS
TERRITORIAIS MULTIFINALITÁRIOS (CTM)**

PORTO ALEGRE

2020

ALAN PEREIRA DA SILVA FALCÃO MENDES

**METODOLOGIA PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS E
ATUALIZAÇÃO DE IMAGENS FOTOGAMÉTRICAS PARA CADASTROS
TERRITORIAIS MULTIFINALITÁRIOS (CTM).**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Área de Concentração: Sensoriamento Remoto Aplicado.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Capella Zanotta.

PORTO ALEGRE

2020

CIP - Catalogação na Publicação

Pereira da Silva Falcão Mendes, Alan
METODOLOGIA PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS E ATUALIZAÇÃO
DE IMAGENS FOTOGRAMÉTRICAS PARA CADASTROS TERRITORIAIS
MULTIFINALITÁRIOS (CTM) / Alan Pereira da Silva Falcão
Mendes. -- 2020.

70 f.

Orientador: Daniel Capella Zanotta.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em
Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Programa de
Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre,
BR-RS, 2020.

1. Sensoriamento Remoto Urbano. 2. Gestão
Territorial. 3. Sistema de Informação Geográfica. 4.
Processamento Digital de Imagens. I. Zanotta, Daniel
Capella, orient. II. Título.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO

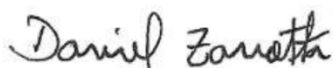
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR)
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPRSM)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Porto Alegre, RS, Brasil.

Aprovada em: 18/09/2020.

Homologada em: ____/____/2020.

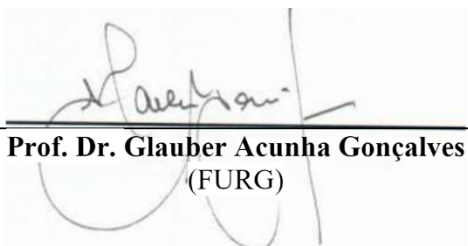
Pela Banca Examinadora:

Por:

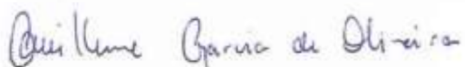


Prof. Dr. Daniel Capella Zanotta
Orientador

Prof. Dr. Guilherme Garcia de Oliveira
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto



Prof. Dr. Glauber Acunha Gonçalves
(FURG)



Prof. Dr. Guilherme Garcia de Oliveira
(PPGSR/UFRGS)



Prof. Dr. Clódis de Oliveira Andrades Filho
(UFRGS)

*Dedico a todos os estudantes e cientistas que
vieram antes de mim, à minha mãe Lina
Amélia e à minha vó Dalva (in memoriam),
mulheres fortes, sim senhor!*

AGRADECIMENTOS

É inegável que no Brasil de minha época, a conclusão de um mestrado/doutorado é uma dádiva estendida à cada vez menos pessoas. A nossa pós-graduação é hoje extremamente elitizada, pouco inclusiva, cega, apática, ausente e por consequência contribuinte direta das desigualdades do país. A isenção ao próximo é uma opulência que não deveria existir principalmente neste ambiente, pois, se a ciência não é para todas e todos, como podemos reclamar do obscurantismo crescente? Dito isso, admito que chegar até aqui no depósito final desta pesquisa é resultado de inúmeros PRIVILÉGIOS, acontecimentos, esforços individuais e coletivos aos quais em forma de agradecimentos, falivelmente honrá-lo-eis alguns aqui:

Primeiramente agradeço a minha amada família que sempre apoiou minha carreira científica e que me deu, na medida do possível, total apoio familiar, estrutural e financeiro para que eu pudesse me mudar para o RS. Aos quais também peço perdão por não ter estado presente pra retribuir tudo quando mais precisaram de mim.

À CAPES pelo financiamento integral desta pesquisa, condição ímpar para tal, que através de suas bolsas de demanda social (mesmo muito defasadas) permitem hoje milhares de pesquisadores a contribuir de alguma forma com o avanço da humanidade.

À UFRGS pela superestrutura, auxílio financeiro e assistência universitária que é dada sem distinção aos pesquisadores de pós-graduação da universidade. Inegavelmente pude usufruir do melhor de conquistas por lutas passadas.

Ao PPGSR e CEPSSRM pelo também apoio estrutural, financeiro e assistencial que é ofertado aos seus discentes.

Aos professores que tive a oportunidade de conhecer e desfrutar de seus conhecimentos e experiência científica e acadêmica, em especial a profa. Dra. Denise C. Fontana, pessoa inspiradora que gentilmente me acolheu junto ao seu laboratório e atividades, e ao prof. Dr Glauber por nos ajudar na coleta de dados tão importante para realização desta pesquisa.

Ao meu orientador prof. Dr. Daniel Capella Zanotta pela orientação, ideias, grandes contribuições, cafezinhos e conversas que tivemos ao longo desse período.

À Alexandra Elbakyan, por sua imensurável contribuição na quebra de barreiras para difusão do conhecimento científico, à qual sem sua iniciativa muitas pessoas menos favorecidas não teriam acesso.

Aos meus amigos que amo e que tanto me apoiam, guerreiros do meu dia a dia que sabem mais de mim do que eu mesmo. No Piauí: Márcio, Débora, Felipe e Lineardo. No mundo:

Nunes e Gian, Marco e Caco, Leonardo Becker, Fabiane, Giu e família Sfredo, Douglas, Felipe, Samuel e Laura. Amigos, vocês foram fundamentais para a conclusão dessa etapa da minha vida! Também à turma 2018 pelos calorosos momentos proporcionados.

Agradeço em especial à Grazieli, com quem em apenas 2 anos tive a honra e o prazer de dividir lágrimas, risos, medos, aprendizados, incertezas, fúrias, viagens, fotos, textos imensos, muito doces, roles, filosofias, amizades, protestos, caminhadas, prêmios, laboratórios e até mesmo a família. Obrigado por tudo e principalmente por contribuir não somente para o meu crescimento intelectual, mas muito também para o espiritual, como amigo, pessoa e humano nessa planetinha que ousamos chamar de nosso!

Enfim, meu **muito obrigado** a todos vocês! <3

“Nothing in all the world is more dangerous than sincere ignorance and conscientious stupidity.”
Martin Luther King Jr.

“One child, one teacher, one pen and one book can change the world.”
Malala Yousafzai

“Only justice will bring peace!”
Avatar Kyoshi

RESUMO

A implementação de cadastros urbanos e bases de dados geográficos é uma atividade complexa e que exige demandas específicas de investimento na construção ou atualização da base cartográfica. A desatualização das bases de dados georreferenciadas municipais, sejam elas digitais ou analógicas, é crítica e causa inúmeros impactos na administração e planejamento espacial tanto urbano quanto rural. Entretanto, a reposição frequente da base de dados torna-se onerosa principalmente para administrações municipais que não contam com grandes arrecadações. O objetivo dessa pesquisa foi desenvolver uma metodologia semiautomática para detecção e atualização de dados base em cadastros territoriais multifinalitários para municípios. Para isso, a proposta metodológica da pesquisa concentrou-se em duas partes, onde primeiro desenvolveu-se uma aplicação executável em linguagem Matlab, para detecção de áreas com obsolescência no mosaico original, seguida da substituição sistemática dos dados aerofotogramétricos existentes pelo uso de plataformas não tripuladas com sobrevoo da região delimitada com VANT obedecendo critérios padronizados. Para a realização de testes a área de aplicação compreendeu-se parte da região urbana do município de Rio Grande – RS. A aplicação detectou mudanças no perímetro urbano de Rio Grande do ano de 2017 para 2019, como uma região com nuvens na porção direita inferior do bairro Cassino, a linha de costa da Praia do Cassino. A mesma recebeu processamento de normalização, limiarização e filtragem/dilatação. Mudanças efetivas foram observadas nos lotes da região industrial indicando a movimentação de cargas e mercadorias, mudanças no perímetro da FURG e seu entorno, na região do novo terminal rodoviário, na região do bairro vila Santa Tereza, além das mudanças de conjuntos menores e isolados de pixels indicando possíveis mudanças de cobertura de pequenos imóveis, praças e etc. Conclui-se que o estudo demonstrou a aplicabilidade e os potenciais da metodologia alternativa de baixo custo que tem papel fundamental na gestão urbana e deve ser utilizada para manutenção e sobrevivência das bases de imagens aerofotogramétricas dos cadastros territoriais municipais, evitando que as administrações sejam forçadas a atualizar o cadastro inteiro por obsolescência precoce, sobretudo nas gestões de municípios que carecem de maiores arrecadações para planejar seu espaço e fazer uso das tecnologias da geoinformação.

Palavras-chave: *Sensoriamento Remoto Urbano, Gestão Territorial, Sistema de Informação Geográfica, Processamento Digital de Imagens.*

ABSTRACT

The implementation of urban cadastres and geographical databases is a complex activity that requires specific investment demands in the construction or updating of the cartographic base. The out-of-date of municipal georeferenced databases, whether digital or analog, is critical and causes numerous impacts on both urban and rural administration and spatial planning. However, frequent replenishment of the database becomes costly especially for municipal administrations that do not have large collections. The aims of this research was to develop a semi-automatic methodology for detecting and updating data based on multifunction territorial cadastres for municipalities. To this end, the methodological proposal of the research focused on two parts, where first an application executable in Matlab language was developed to detect areas with obsolescence in the original mosaic, followed by the systematic replacement of existing aerophotogrammetric data by the use of unmanned platforms with overflight of the region delimited with UAV following standardized criteria. For testing, the application area included part of the urban region of the municipality of Rio Grande - RS. The application detected changes in the urban perimeter of Rio Grande from 2017 to 2019, as a region with clouds in the lower right portion of the Casino district, the coastline of Praia do Cassino. It received normalization, thresholding and filtering/dilation processing. Effective changes were observed in the lots of the industrial region indicating the movement of cargo and goods, changes in the perimeter of FURG and its surroundings, in the region of the new highway terminal, in the region of the village of Santa Tereza, besides the changes of smaller and isolated sets of pixels indicating possible changes in the coverage of small properties, squares and etc. It is concluded that the study demonstrated the applicability and potential of the low-cost alternative methodology that plays a fundamental role in urban management and should be used for maintenance and survival of the aerophotogrammetric image bases of municipal territorial cadastres, avoiding that administrations are forced to update the entire cadastre due to early obsolescence, especially in the management of municipalities that lack greater collections to plan their space and make use of geoinformation technologies.

Key-words: *Urban Remote Sensing, Territorial Management, Geographic Information System, Digital Image Processing.*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização	14
1.2	Objetivos	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Sensoriamento remoto urbano.....	18
2.2	Detecção de mudanças	22
2.3	Cadastro Territorial Multifinalitário	24
2.3.1	<i>Geotecnologias e atualização cadastral</i>	26
2.3.2	<i>Estudos de casos</i>	27
3	METODOLOGIA	30
3.1	Produção da aplicação de detecção de mudanças urbanas.....	30
3.1.1	<i>Subtração de imagens</i>	31
3.1.2	<i>Normalização e Limiarização</i>	32
3.1.3	<i>Filtragem dos pontos espúrios</i>	33
3.2	Atualização da base de dados com VANT.....	35
4	EXPERIMENTO	37
4.1	Área de estudo.....	37
4.2	Detecção de mudanças	39
4.3	Integração de dados.....	42
5	RESULTADOS	47
6	CONCLUSÕES	56
	BIBLIOGRAFIA	57
	APÊNDICE A	65
	APÊNDICE B	71

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração da relação entre sensoriamento remoto de materiais urbanos, cobertura da terra e uso da terra. Fonte: adaptado de Weng e Lu (2009).....	19
Figura 2 - Trabalhos anteriores sobre crescimento urbano e expansão, e mudanças na cobertura e uso do solo. Traduzido de: Kadhim, Mourshed e Bray (2016).....	22
Figura 3 - Visão geral de integração entre as duas partes metodológicas.	30
Figura 4 - Fluxograma de ações da aplicação de detecção de mudanças. Fonte: O autor.....	31
Figura 5 – Exemplo de operação de normalização do histograma da imagem diferença. Fonte: O autor.	33
Figura 6 - (A) Imagem de quadrados de tamanho 1,3,5,7,9 e 13 pixels ao lado. (B) Erosão de "A" com um elemento estruturador quadrado de 13 pixels de I no lado. (C) Dilatação de "B" com o mesmo elemento estruturante. Fonte: Adaptado de Gonzalez e Woods (2002).....	34
Figura 7 - Esquema metodológico proposto para a atualização da imagem base. Fonte: O autor.	36
Figura 8 - Fotoíndice do aerolevanteamento convencional com destaque em amarelo para localização das imagens utilizadas nesse trabalho.	37
Figura 9 - Mapa da área urbana do município de Rio Grande - RS, a qual foi utilizada como área teste. Fonte: Adaptado de PMRG (2018).....	38
Figura 10 - Interface da aplicação desenvolvida para realizar a detecção de mudanças urbanas. Fonte: O autor.....	40
Figura 11 - Normalização do histograma da imagem diferença entre os anos de 2017 e 2019, A) distribuição antes e B) distribuição depois. Fonte: O autor.	41
Figura 12 - Exemplo de utilização da barra de rolagem na definição dos limiares 0, 5, 10 ,15 e seus resultados respectivamente. Fonte: O autor.....	41
Figura 13 - Testes de erosão e dilatação utilizando diferentes combinações de limiares e filtragem. Fonte: O autor.	42
Figura 14 - Mosaico das imagens de aerolevanteamento convencional compreendendo apenas a região de testes. Fonte: O autor.	44
Figura 15 - Mosaico realizado a partir do aerolevanteamento por VANT. Fonte: O autor.	45
Figura 16 - Junção do mosaico de aerolevanteamento convencional com o mosaico de aerolevanteamento por VANT. Fonte: O autor.....	46
Figura 17 - Mudanças detectadas e de localizações conhecidas: Nuvens (setas azuis), linha de costa (setas amarelas), região industrial (seta verde), região da FURG (seta laranja), região do	

novo terminal rodoviário (seta roxa), região do porto/vila Santa Tereza (seta cinza), e área de teste (seta vermelha). Fonte: O autor.....	48
Figura 18 - Desempenho da aplicação de detecção de mudanças na área de experimentação. Fonte: O autor.....	49
Figura 19 - (A) Imagem de VANT sobreposta a Convencional, com diferença do tamanho entre os pixels e pixels de borda; (B) Mosaico das duas imagens anteriores com a reamostragem para 10 cm e alguns pixels de borda com valores desconexos. Fonte: O autor.	50
Figura 20 - Áreas com maiores discrepâncias entre os dois levantamentos (Primeira linha); demais áreas de bordas (duas últimas linhas). Fonte: O autor.	53
Figura 21 - Mapa final da metodologia de integração dos dados aerofotogramétricos. Fonte: O autor.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aplicações do sensoriamento remoto em ambientes urbanos. Fonte: Adaptado de Venugopala et al. (2010).	18
Quadro 2 - Sensores remotos orbitais utilizados em aplicações urbanas. Fonte: Adaptado de Kadhim, Mourshed e Bray (2016).	21
Quadro 3 - Dados Landsat 8 OLI utilizados na etapa de detecção de mudanças. Fonte: O autor.	39
Quadro 4 - Dados utilizados na atualização da base cadastral. Fonte: O autor.	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AVHRR – *Advanced Very-High-Resolution Radiometer*
- CNIR – Cadastro Nacional de Imóveis Rurais
- CTM – Cadastro Territorial Multifinalitário
- C3 – Centro de Ciências Computacionais
- ETM – *Enhanced Thematic Mapper*
- ETM+ – *Enhanced Thematic Mapper Plus*
- FIG – *Fédération Internationale des Géomètres*
- FURG – Universidade Federal do Rio Grande
- INDE – Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
- IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano
- LTGEO – Laboratório de Tecnologia da Geoinformação
- MBI – *Morphological Building Index*
- MODIS – *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*
- MNDWI – *Modified Normalized Difference Water Index*
- NDBI – *Normalized Difference Built-up Index*
- NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*
- NDWI – *Normalized Difference Water Index*
- PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica
- PMRG – Prefeitura Municipal do Rio Grande

- RMSE – *Root-Mean-Square Error*
- RPA – *Remotely Piloted Airbone*
- RRCM – *Redes de Referência Cadastral Municipal*
- SAVI – *Soil-Adjusted Vegetation Index*
- SGB – *Sistema Geodésico Brasileiro*
- SIG – *Sistema de Informação Geográfica*
- SPOT – *Satellite Pour l'Observation de la Terre*
- TM – *Thematic Mapper*
- VANT – *Veículo Aéreo Não Tripulado*
- USGS – *United States Geological Survey*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Conhecer o espaço vai além de saber onde cada ponto de interesse está localizado. A informação espacial está diretamente ligada à gestão dos acontecimentos no espaço planimétrico, no que comumente chama-se de ‘superfície’, que por sua vez tem ligação direta com a resolução de problemas, seus custos, benefícios, metas e planejamento futuro. Para Antunes (2017), a informação cadastral corresponde a uma importante ferramenta para subsidiar a intervenção planejada tanto no âmbito rural quanto no âmbito urbano. Ter uma base de dados qualificada e confiável pode representar o melhor direcionamento dos recursos, equilíbrio no processo de tributação e fiscalização, bem como embasar estratégias de atuação em situações adversas. Esse tipo de informação é importante e vantajosa para quem tem o papel de governar e gerir, tanto em esferas locais (como empresas, bairros e prefeituras) quanto globais (estados, países e etc.) o que culminou numa recente demanda pelo consumo de dados georreferenciados.

Com o avanço das tecnologias computacionais nas últimas quatro décadas e seu crescente poder de produção e processamento, a busca e utilização de informações georreferenciadas foi rapidamente inserida no cotidiano da nossa sociedade. Hoje somos consumidores assíduos de dados georreferenciados e a consistência desse tipo de informação é substancial para o seu uso. Por isso, é fundamental que essas bases estejam atualizadas, precisas e condizentes com a realidade espacial do ambiente estudado.

Jensen e Cowen (1999) afirmam que existe um número significativo de empresários, profissionais e organizações públicas com necessidades de informações atualizadas sobre a cidade e os subúrbios devido a infraestrutura urbana que esses profissionais administram ou desenvolvem ser de valor monetário significativo. Todavia, a totalidade dessas informações ser obtida através de pesquisas *in situ*, obriga as agências regionais, municipais, estaduais e federais, bem como empresas privadas, a investirem recursos vultuosos a cada ano na manutenção da base cadastral, o que muitas vezes inclui a aquisição de imagens atualizadas e outras formas de dados para extrair as informações urbanas necessárias.

O Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) é uma ferramenta para o planejamento, por conjunto de dados que contém informações setoriais sobre temas específicos, os quais são inter-relacionados espacialmente. Os dados de um CTM devem conter a maior precisão possível, tanto em termos métricos quanto em consistência com a atualidade, considerando que este tem

a finalidade de ser um sistema basilar para auxiliar na cobrança de impostos, na legislação urbana, no ordenamento territorial e oferecimento de serviços, além de auxiliar no monitoramento de todo o cenário urbano ao longo dos anos. De acordo com Batty e Howes (2001), a combinação de dados que usualmente não são relacionados possibilita novas verificações da exatidão e precisão, métodos inovadores para o fornecimento de dados ausentes a partir de fontes alternativas e até previsões de dados fora do domínio imediato de interesse. Eles afirmam que com isso pesquisadores e planejadores urbanos desenvolvem tipos de aplicações inéditas e permitem que novas teorias da forma e funcionamento urbanos sejam formuladas e testadas (BATTY e HOWES, 2001).

A administração pública direta é, sem dúvida, um dos principais usuários dessas plataformas de conhecimento, que por meio dos dados podem buscar um planejamento estratégico e tomada de decisões que reflitam sua comunidade e atenda seus anseios. No Brasil, a implementação de cadastros detalhados e que contam com modernas bases de dados vem acontecendo de forma gradativa, pois à medida que os municípios se desenvolvem, tornam-se mais complexos gerando demandas específicas, o que exige investimento na confecção ou atualização de suas bases cartográficas. Da mesma forma, o avanço tecnológico oferece materiais e métodos mais eficientes, acessíveis, e com custos moderados.

A implementação dos cadastros georreferenciados nem sempre resulta em resolução total e imediata dos problemas dos gestores públicos, pois como essas técnicas e tecnologias são relativamente recentes, o modelo organizacional de gestão da maioria dos municípios (municípios de pequeno a médio porte) não está adequado a fazer uso desses produtos, estando carente de profissionais capacitados da área e de estrutura especializada. Esse despreparo tem impactos diretos nos dados contratados, pois eles tendem a ficar obsoletos mais rapidamente por não haver um protocolo rígido de atualização, perdendo assim sua fidelidade, levando a insegurança por parte dos usuários finais.

Uma pesquisa preliminar realizada no âmbito deste trabalho sobre da situação dos CTM em municípios brasileiros, Mendes e Zanotta (2019) mostra que quando municípios percebem a necessidade de ter um CTM, ainda sofrem com o acesso e uso de geotecnologias que garantem a manutenção e uso prologado dessa base. O estudo foi realizado por meio da aplicação de um questionário *on-line* enviado para diversas secretarias municipais do país. Contato telefônico foi também feito para reforçar o pedido de preenchimento do formulário, que serviu como um estudo de demanda para a presente pesquisa de mestrado. De acordo com as informações tabuladas, é bastante comum a ocorrência de duas situações: (1) o município dispõe de nenhuma ou mínima base cartográfica e necessita de confeccionar tudo do início; ou, (2) o município já

tem um CTM, mas não confia mais em seus dados devido a falta de atualização. Ambos os casos exigem de seus gestores considerável investimento financeiro, o que muitas vezes impede a continuidade do CTM.

Nessa mesma pesquisa, diagnosticaram que 64% dos municípios estudados possuíam essa ferramenta entre 1 ou mais de 5 anos e que 55% afirmaram utilizá-la bastante, apontando interesse dos gestores municipais em manter ativa essa base. Os principais motivos apontados para tal interesse foram fator tributário e a consequente atualização da base de dados para tomada de decisão, visto que a utilização desta contempla várias finalidades de gestão (Mendes e Zanotta, 2019).

A desatualização das bases de dados georreferenciadas municipais, sejam elas digitais ou analógicas, é crítica e causa inúmeros impactos na administração e planejamento espacial tanto urbano quanto rural. Por outro lado, a aquisição frequente de novos dados torna-se onerosa principalmente para administrações municipais pequenas que não contam com grandes arrecadações. No Brasil, quase metade dos municípios que possuem CTM sofrem algum tipo de problema, seja de ordem técnica, tecnológica ou financeira, mas o principal desafio apontado é a questão da falta de recurso para implantar ou para manter atualizadas suas bases de dados (Costa e Vieira, 2015; Mendes e Zanotta, 2019).

Atualmente, diversas alternativas metodológicas tem sido estudadas na implantação de CTMs de baixos custos. Um dos métodos mais utilizado é a aplicação de imagens de altíssima resolução espacial, seja elas de plataformas orbitais ou aerotransportadas. Isso graças a evolução tecnológica e da popularização dos VANTs (Veículos Aéreo Não Tripulado) / RPAs (*Remotely Piloted Airborne*), em particular nos últimos dez anos quando estes se tornaram mais acessíveis no mercado, e o desenvolvimento até mesmo de satélites miniaturizados (como os CubeSat), com custos de construção, operação e comercialização de dados reduzidos (Pegoraro, 2013).

Dentre as metodologias alternativas, o trabalho desenvolvido por Pimentel (2011), utilizou-se de uma fotografia aérea em formato *raster* fornecido pela Força Área Brasileira na escala de 1:15.000, uma gama de outros dados próprios do município estudado e o *software* livre TerraView para gerenciar os mesmos. Entretanto, verificou-se por final que as informações eram desatualizadas e incompletas, tornando o CTM pouco confiável e impreciso, fato este que corrobora com a necessidade de atualização e sobrevida das imagens.

Nesse entendimento, Ali, Tuladhar e Zevenbergen (2012) proporam a utilização de um conjunto de dados composto por; dados GPS, mapas cadastrais e imagens de alta resolução *QuickBird* pancromáticas de 0,6 metros de resolução e imagem colorida de 2,4 metros para

atualiza os dados da cidade de Zormandi e Shalman (Paquistão). Dessarte, observou-se em seus resultados que os mapas utilizando esta abordagem podem ser facilmente reproduzidos, atualizados e recuperados, tendo redução de custo e o tempo. Entretanto é recomendado atenção especial na realização da coleta de pontos de controle no solo e ortorretificação das imagens devido esse ser o elementos-chave dessa abordagem.

Em estudo semelhante, porém aplicado a realidade brasileiras, Souza e Amorin (2013), utilizaram classificação em imagens fusionadas do *Quickbird*, com diferença de um ano entre si, em uma região de teste com consideráveis mudanças. Concluíram que apesar de otimistas quanto essa aplicação, todos os temas apresentaram ruídos devido as diferenças de capturas, como climáticas e condições de iluminação diferentes, que não foram tratados durante os processamentos.

Estudos como esses, tendem a trazer sempre o que é de mais tecnológico para o público, como a utilização de imagens de alta resolução. Todavia, a utilização somente desse tipo de produto carrega consigo o desafio de acesso, devido a disponibilidade geralmente ser apenas por meios comerciais e proibitivamente caras (Hu *et al.* 2016), além da alta sensibilidade a pequenas mudanças. Perante ao narrado, essa dissertação vai ao encontro das necessidades de gestão urbana se atentando aos desafios práticos do tema, sugerindo um ritual metodológico de atualização a partir da identificação semiautomática de regiões com desatualização na base cartográfica através de imagens de média resolução espacial, e sua posterior atualização a partir de levantamentos por VANT.

1.2 Objetivos

Geral:

Desenvolver uma ferramenta semiautomática para detecção de mudanças e atualização de dados de imagem fotogramétrica em cadastros territorial multifinalitários para municípios.

Específicos:

- Elaborar um método semiautomático para criação de alertas para mudanças em zonas urbanas baseado em imagens de média resolução espacial tomadas por satélites.
- Propor uma estratégia de atualização periódica das zonas alteradas a partir de imagens coletadas por VANT/RPA.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sensoriamento remoto urbano

Com o aumento das populações urbanas e movimentos migratórios do campo para as cidades, ou mesmo entre elas, os aglomerados urbanos têm se tornado ambientes altamente mutáveis para atender as necessidades de ocupação em seu espaço. Desse modo, a utilização de sensoriamento remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG) voltada a esses ambientes têm crescido e novas abordagens têm sido desenvolvidas para lidar com as diferenças encontradas nessas regiões.

De acordo com Venugopala *et al.* (2010), os dados de sensoriamento remoto descrevem a localização espacial de várias atividades e permitem analisar as ligações entre atividades, podendo ter as seguintes aplicações:

Plano de Perspectivas / Preparação do Plano de Desenvolvimento	Planejamento de infraestrutura	Planejamento Ambiental
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso atual da terra (exigência legal) ▪ Rede de infraestrutura (estradas, ferrovias e assentamentos) ▪ Características hidrológicas (rio / córrego, lagos) ▪ Paisagem em nível regional ▪ Atualização de mapas base ▪ Expansão urbana, mudança no uso da terra e crescimento populacional ▪ Plano diretor / propostas de plano regional 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alinhamento da estrada ▪ Planejamento de serviços públicos (estação de tratamento de esgoto, seleção de local de lixão, obras de água) ▪ Planejamento de rede e conectividade rodoviária ▪ Localização dos centros de crescimento 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Indicadores de uso da terra urbana e avaliação de impacto ▪ Desenvolvimento do Sistema de Informação Urbana ▪ Sistema de Suporte à Decisão ▪ Desenvolvimento do Observatório de Indicadores Urbanos ▪ Sistema de Informação Municipal ▪ Mapeamento de parâmetros ambientais (cobertura verde, massas de água de superfície rede de drenagem e esgoto)

Quadro 1 - Aplicações do sensoriamento remoto em ambientes urbanos. Fonte: Adaptado de Venugopala et al. (2010).

A principal diferença entre o sensoriamento remoto urbano e as demais aplicações é que as áreas urbanas são complexas, apresentando heterogeneidade espacial e espectral podendo ser compostas por um conjunto diversificado de materiais (concreto, asfalto, metal, plástico, telhas

de madeira, vidro, água, grama, vegetação arbustiva, árvores e solo) dispostos de maneira complexa pela sociedade para a construção de habitação, sistemas de transporte, estabelecimentos de comércio e serviços, instalações industriais e áreas recreacionais (Lu *et al.* 2008; Jasen, 2009).

Além da informação espectral, que leva em consideração as variabilidades intraclases e separabilidade espectral, Weng (2020) defende que o mapeamento da cobertura do solo e a análise de classes de uso da terra seria quase impossível apenas com informações espectrais. Para o mesmo cada tipo de cobertura pode possuir propriedades de superfície únicas, precisando considerar características além daquelas provenientes do material e requisitos de análise diferentes para cada finalidade (Figura 1).

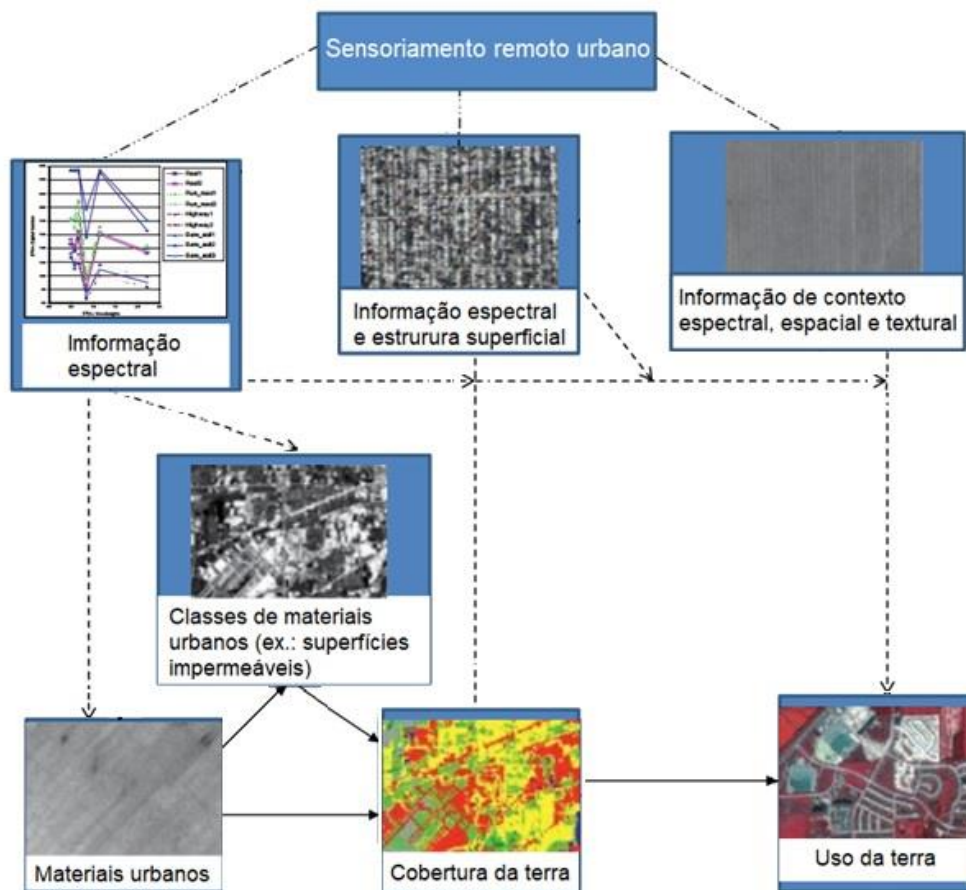


Figura 1 - Ilustração da relação entre sensoriamento remoto de materiais urbanos, cobertura da terra e uso da terra. Fonte: adaptado de Weng e Lu (2009).

Para diferenciação, consideram-se dados de cobertura da terra aqueles documentam quanto de uma região é coberto por áreas urbanas, florestas, pântanos, superfícies impermeáveis, agricultura e outros tipos de terra e água, enquanto os de uso da terra mostra como as pessoas

usam a paisagem - seja para desenvolvimento, conservação ou usos mistos. Isto é, o uso da terra é caracterizado pelos arranjos, atividades e insumos que as pessoas empreendem em um determinado tipo de cobertura da terra para produzi-la, alterá-la ou mantê-la (FAO, 2000; NOAA, 2020).

Assim, o monitoramento da paisagem urbana com imagens Landsat por exemplo, apresenta muitos desafios que incluem a mistura espectral de diversos tipos de cobertura da terra em pixels e confusão espectral com outros tipos de cobertura da terra, como campos agrícolas em pousio (Guindon, Zhang e Dillabaugh, 2004).

Para isso, Zha, Gao e Ni (2003) propuseram o índice de construções por diferença normalizada ou *Normalized Difference Built-Up Index* (NDBI) (equação 1), que se beneficia das respostas espectrais únicas das áreas com construções e de outras áreas de cobertura para mapear automaticamente os espaços urbanos. O método posteriormente foi aprimorado por He *et al.* (2010), com uma abordagem de segmentação semiautomática, contudo, a abordagem proposta não pode separar inteiramente solos expostos e áreas construídas por conta do caráter espectral semelhante em imagens Landsat do sensor *Enhanced Thematic Mapper* (ETM).

(1)

$$NDBI = \frac{((SWIR - NIR))}{((SWIR + NIR))}$$

Nesse mesmo sentido, Huang e Zhang (2018) afirmam que a detecção de mudanças em áreas urbanas pode ser implementada também medindo a semelhança de histogramas de vários índices na frequência e arranjo espacial de elementos primários urbanos (por exemplo, edifícios, vegetação e água, podem ser extraídas automaticamente pelo *Morphological Building Index* (MBI) (equação 2), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (equação 3) e *Normalized Difference Water Index* (NDWI) (equação 4), respectivamente) entre imagens multitemporais.

(2)

$$MBIs = (i, j) \frac{d_{max} - d(i, j)}{d_{max} - d_{min}}$$

Onde:

MBIs = representam os vários índices construídos;

(i, j) = denota a linha e coluna de um bloco;

d = é a distância do recurso;

dmax e dmin = são os máximos e mínimos de distância, respectivamente.

$$NDVI = \frac{((NIR - Red))}{((NIR + Red))}$$

(3)

$$NDWI = \frac{((Green - NIR))}{((Green + NIR))}$$

(4)

O modo de aquisição dos dados com resolução compatível com o mapeamento urbano sempre representou um desafio para a realização de cadastros. Há poucas décadas, as duas únicas formas de aquisição desses dados eram através de satélites de alta resolução espacial, envolvendo altos custos do dado, ou através de aviões tripulados, que, de certa forma, também envolviam custos relativamente altos, equipamentos caros e logística complicada.

Desde o seu início, o sensoriamento remoto urbano tem-se utilizado de diversas fontes de dados para trabalhos nas áreas de avaliação, monitoramento e planejamento da sustentabilidade urbana. Isso inclui dados provenientes tanto de sensores alta e altíssima resolução, quanto de média e baixa resolução a depender do tipo de estudo (Kadhim, Mourshed e Bray, 2016). O quadro 2 demonstra algumas características de sensores remotos usados para estudar o meio urbano.

Sistemas de baixa e média resolução espacial				
Lançamento/Ano	Satélite	Sensor	Resolução espacial	Escala de Mapeamento
1999	Landsat-7	ETM+	30 metros	1: 2.500 a 1: 100.000
2002	SPOT-5	2 HRGs	10 metros	1:10.000 a 1: 100.000
2013	Landsat-8	OLI	15/30 metros	1:2.500 a 1:100.000
Sistemas de alta e altíssima resolução espacial				
1999	IKONOS		04 metros	1:2.500
2001	<i>QuickBird</i>		0,61 metros	1:2.000
2007	<i>WorldView-1</i>		0,5 metros	1:1.500
2012	SPOT-6		06 metros	1:5.000
2014	<i>WorldView-3</i>		1,24 metros	1:500 a 1:2500

Quadro 2 - Sensores remotos orbitais utilizados em aplicações urbanas. Fonte: Adaptado de Kadhim, Mourshed e Bray (2016).

Ainda segundo Kadhim, Mourshed e Bray (2016), em análise de resgate bibliográfico, é possível perceber que os trabalhos de sensoriamento remoto urbano são abrangentes e podem ser separados em três categorias de características principais; em relação a fonte de dados usada; ao método aplicado e a seus objetivos finais (Figura 2).

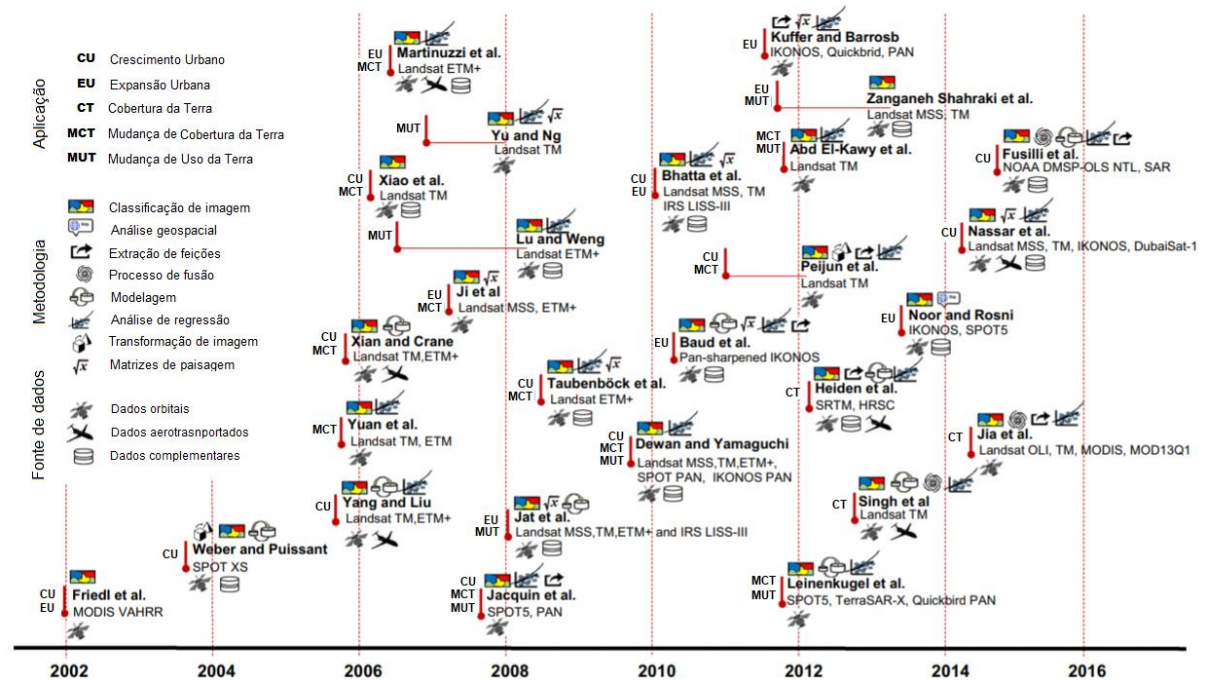


Figura 2 - Trabalhos anteriores sobre crescimento urbano e expansão, e mudanças na cobertura e uso do solo. Fonte: traduzido de Kadhim, Mourshed e Bray (2016).

Dessa maneira, nota-se que na última década o sensoriamento remoto urbano sofreu grandes mudanças de paradigmas com a inserção das plataformas imaginadoras não tripuladas, que possuem baixo custo e manipulação relativamente simples, e com o avanço computacional e de processamentos no desenvolvimento de suas metodologias.

2.2 Detecção de mudanças

Detecção de mudanças é o termo utilizado quando se aplica a técnica de comparação de duas ou mais imagens de um mesmo local obtidas em datas distintas. Segundo Coppin e Bauer (1996), a detecção digital de mudanças compreende basicamente a quantificação de fenômenos temporais a partir de imagens que são comumente adquiridas por sensores multiespectrais baseados em satélite.

Para Hussain *et al.* (2013), o principal aspecto por trás do uso de dados de sensoriamento remoto para detecção de mudanças é saber separar as alterações no comportamento espectral do objeto de interesse (valor de refletância ou textura local) das alterações causadas por fatores externos (por exemplo, condições atmosféricas, iluminação e ângulos de visão, e umidade do solo).

Um bom dado para esse tipo de aplicação é a série temporal Landsat, que conforme Henits, Jürgens e Mucsi (2016), fornece acesso gratuito a mais de 40 anos de imageamento, permitindo mapear e examinar continuamente as mudanças na cobertura da terra.

Conforme Xiao *et al.* (2016), as técnicas de detecção de mudanças avançaram com o aumento da resolução espacial das imagens de sensoriamento remoto, onde segundo o mesmo, dados de baixa resolução espacial como MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) e AVHRR (*Advanced Very-High-Resolution Radiometer*) são usadas para mapeamentos globais e nacionais, enquanto Landsat e SPOT (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*) de resolução espacial moderada, são amplamente aplicados à detecção de alterações nas escalas locais e até urbanas, dependendo do caso.

Mesmo diante da crescente variedade de dados, Ezimand *et al.* (2018) afirmam que muitos pesquisadores ainda usam apenas uma combinação de bandas visíveis e de infravermelho próximo para a extração de áreas construídas. Essa informação será de grande relevância para o estabelecimento da metodologia do presente trabalho.

Além da ampla utilização de índices espectrais, como a utilização do NDVI e NDBI por Zhang, Odeh e Han (2009), na identificação de alterações urbanas com a finalidade de revelar as relações entre índices e temperatura da superfície do solo em estudos sobre ilhas de calor urbano, o uso de Processamento Digital de Imagens (PDI) é um grande aliado na manipulação e extração de informações das imagens.

Segundo Burger e Burge (2016), usando as ferramentas, técnicas e conhecimentos fundamentais disponíveis hoje, é possível não apenas resolver muitos problemas, mas criar aplicativos robustos, confiáveis e rápidos para trabalhar com os atributos de imagens.

Canty (2018), explica que uma maneira simples de detectar mudanças em duas imagens multiespectrais adequadamente corrigidas e co-registradas, basta simplesmente aplicar a operação aritmética de subtração banda por banda e depois examinar as imagens de diferença. Pequenas diferenças de intensidade indicam nenhuma mudança, geralmente associadas a imperfeição no registro ou correção radiométrica (Jensen, 2015). Por outro lado, mudanças mais substanciais tendem a representar alterações reais ocorridas na cena. Essa abordagem é

conhecida como não supervisionada, e costuma apontar mudanças sem revelar a natureza da mesma.

O método supervisionado é bastante parecido com o não supervisionado no que se refere à origem do dado: são utilizadas imagens adquiridas antes e depois do evento a ser estudado. A diferença reside no modo utilizado para identificar as alterações, que primeiro classifica as duas cenas e depois faz uma análise de classes entre as duas. Nesse caso, é possível identificar o tipo de mudança ocorrida.

É sempre desejável que as imagens sejam adquiridas em épocas próximas do ano, assim, minimizando a influência do ângulo sazonal do sol e por exemplo, assim como diferenças fenológicas de plantas que podem negativamente impactar um projeto de detecção de alterações (Chen, 2012).

Na complementação dessas técnicas tem-se a análise de imagens por operadores morfológicos, que trabalha a partir da suposição de que uma imagem consiste em estruturas que podem ser tratadas pela teoria dos conjuntos. Isso incluem erosão, dilatação, abertura, filtros de classificação de fechamento (incluindo filtros de mediana) e transformações de cartola (Pesaresi e Benediktsson, 2001; Tsoeleng, Odindi e Mhangara, 2020).

Essas técnicas são desenvolvidas com base na concatenação de operações matemáticas alicerçadas em um conjunto de operações como união, interseção, complementação e traduções, e exploram o domínio espacial em imagens usando várias técnicas baseadas na teoria dos conjuntos para estimar e medir muitas características geométricas úteis, como forma, tamanho e conectividade (Soile e Pesaresi, 2002; Zingman, Saupe e Lamber, 2012).

2.3 Cadastro Territorial Multifinalitário

De acordo com a FIG (*Fédération Internationale des Géomètres*) (1995), o CTM consiste num sistema de informação territorial atualizado, baseado em parcelas, contendo um registro de interesses relacionados ao território (por exemplo, direitos, restrições e responsabilidades). Esse sistema pode ser estabelecido para propósitos fiscais, legais, auxílio administrativo do uso da terra e no desenvolvimento sustentável e a proteção ambiental (FIG, 1995).

Williamson (2001), afirma que os modernos cadastros digitais evoluíram dos cadastros europeus dos séculos XVIII e XIX. No entanto, só no último século o mundo de língua inglesa "descobriu" os cadastros e começou a aceitar e aplicar sistematicamente os princípios cadastrais aos seus sistemas de administração de terras. Uma das histórias mais antigas sobre os cadastros modernos ocorreu durante o reinado de Napoleão III, onde segundo Larsson (1996), foi

realizado um levantamento do território francês para fins estratégicos e de tributação dos imóveis, a pedido do então imperador.

No Brasil, um marco para gestão territorial ligada ao cadastro territorial rural foi a promulgação da lei 4.504 no Estatuto da Terra em 1964, devido a necessidade de levantamento de todas as terras brasileiras com a intenção da implantação de políticas e reforma agrária (BRASIL, 1964). Em 1988, com a implantação da Constituição Federal, foi designado aos governos municipais ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes, o que ajudou na autonomia e atendimento as necessidades individuais dos municípios (BRASIL, 1988).

Para nortear os levantamentos cadastrais brasileiros, em 1998 foi instituída a norma NBR 14.166 que trata do planejamento e implantação de redes municipais referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). A norma conta com indicadores de procedimentos técnicos de apoio geodésico e topográfico para implantação de Redes de Referência Cadastral Municipal (RRCM), georreferenciadas ao SGB como referência única para as coordenadas dos limites das parcelas territoriais (ABNT, 1998). Tal norma trouxe melhorias na classificação entre imóveis urbanos e rurais, além de uma referência na precisão e exatidão das parcelas.

Outros marcos de amadurecimento do CTM no Brasil foram as publicações da Lei 10.257 de 10/07/2001 denominada Estatuto da Cidade; da Lei 10.267 de 28/08/2001 do novo Cadastro Nacional de Imóveis Rurais (CNIR) e seu decreto regulamentar 4.449; do decreto 6.666 de 27/11/2008 que institui na esfera do Poder Executivo federal a INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais); e por último, mas não menos importante, a Portaria Nº 511 que estabeleceu as diretrizes para o CTM (BRASIL, 2001; BRASIL, 2001; BRASIL, 2002; BRASIL, 2008; BRASIL, 2009).

Embora o tema “cadastro territorial/técnico” esteja em discussão e construção conceitual a bastante tempo, a realidade do seu alcance real e prático ainda não chegou à maioria dos municípios. De acordo com Antunes (2017), a sua implementação no âmbito municipal tem sido extremamente difícil, estando essas dificuldades associadas aos seguintes fatores:

- a) Cartografia cadastral municipal deficitária, com escala e representação cartográfica inadequada, baseada em croquis, rabiscos, cartogramas, rascunhos, esboços traçados e/ou medidos sem nenhum rigor geométrico e, portanto, não amarrados ao Sistema Geodésico Brasileiro e sem observância às normas cartográficas/geodésicas;
- b) Falta de procedimentos claros e metódicos que permitam a atualização do banco de dados;
- c) Recursos humanos com formação técnica deficiente na área de CTM.

Piorando a situação, tirando as exceções, a equipe responsável pelo CTM geralmente é aquém das necessidades mínimas municipais cadastrais e/ou da cartografia cadastral. Essa condição acaba dando margem para subutilização, desatualização e ineficiência dos dados já trabalhados e implementados.

2.3.1 Geotecnologias e atualização cadastral

Desde o seu surgimento, as geotecnologias são grandes aliadas na resolução e/ou mitigação dos problemas humanos. Entretanto, é recomendado que sempre busque-se adequar o uso da tecnologia ideal à realidade e finalidade pretendida. De acordo com Rosenfeldt (2012), a escolha de um determinado tipo de sensor, por exemplo, está diretamente ligada às necessidades de informação que se deseja obter e principalmente ao seu custo unitário.

Nesse sentido, é importante eliminar os possíveis gastos com serviços desnecessários naquele momento para o município. Para tanto, faz-se necessário conhecer a fundo a área alvo do cadastro e a finalidade do cada produto a ser contratado. Como sugere Cesare e Cunha (2010), é essencial que o serviço de levantamento seja criteriosamente planejado e que os dados coletados sejam processados conforme padrões técnicos pré-definidos. Então, a cartografia deve ser planejada para otimizar os recursos já disponíveis, eliminando possíveis retrabalhos e ajustando os dados para que seja realizada uma única vez a cada período, evitando a ocorrência da repetição.

Um ponto importante na caracterização dos produtos de cadastro é a escala de produção e seu respectivo controle de precisão. O decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 fixou que 90% dos pontos definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) estabelecido (Brasil, 1984).

O decreto supracitado divide a precisão cartográfica em três classes, devendo os levantamentos buscar atender o padrão Classe A. Como no Brasil não dispõe de um modelo-base a ser empregado em áreas urbanas, a maioria dos municípios acabam contratando levantamentos 1:1000 devido melhor custo-benefício, tendo eles que atender as seguintes exigências;

1. PEC - Planimétrico: 0,5 mm, na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.
2. PEC - Altimétrico: metade da equidistância entre as curvas-de-nível, sendo de um terço desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.

Entretanto, Cesare e Cunha (2010), defendem que a maior dificuldade técnica do CTM está na sua operacionalização, que nada mais é que o conjunto das atividades administrativas que implicam na interpretação e manutenção dos dados armazenados, incluindo principalmente preocupações com:

- a) Utilização de novas tecnologias;
- b) Estratégias para monitoramento do crescimento da cidade e alternativas de baixo custo para a atualização cadastral;
- c) Estimativa das perdas decorrentes da desatualização; e,
- d) Dimensionamento, formação e qualificação de equipe de trabalho.

Mais do que apenas perda com arrecadação de impostos, a desatualização cadastral traz prejuízo no âmbito ambiental, social, urbano e das políticas públicas em todas as esferas de governanças. Esse cenário tende a provocar um aumento de moradias em situação de precariedade e ilegalidade, seja jurídica, urbanística ou ambiental caracterizada pela segregação socioeconômica da população ali residente (CLICHEVSKY, 2006).

2.3.2 Estudos de casos

Algumas pesquisas têm se concentrado em apontar metodologias de atualização cadastral à custos reduzidos. Em concordância com Lang e Blaschke (2009), o desenvolvimento tecnológico do sensoriamento remoto e do SIG expandiram as possibilidades de levantamento e integração de informações sobre o território. Usando essas tecnologias, é possível ter uma análise mais completa com rapidez e menor custo comparado aos métodos de levantamento tradicionais (Wang *et al.*, 2008).

Visando a utilização de imagens de satélite de alta resolução espacial para a atualização de dados de atributos do cadastro urbano, Souza e Amorim (2012) utilizaram duas imagens *QuickBird* de anos diferentes para detecção de mudanças na malha urbana. A metodologia apresentou resultados positivos quanto à detecção, porém não excluiu a necessidade de conferência em campo. Os mesmos autores já haviam investigado o uso conjunto de imagens *Ikonos* e *QuickBird* em metodologia semelhante, alcançando resultado adequado ao que foi proposto (Souza e Amorim, 2007).

Em metodologia semelhante, Xu (2007) propôs uma técnica para extrair características de terrenos urbanos das imagens Landsat *Thematic Mapper* (TM) e *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), tomando duas cidades no sudeste da China como exemplos. O estudo selecionou três índices; NDBI, índice de água por diferença normalizada modificado (MNDWI - *Modified*

Normalized Difference Water Index) (equação 5) e Índice de Vegetação Ajustada pelo Solo (SAVI - *Soil-Adjusted Vegetation Index*) (equação 6) para representar três grandes classes de uso da terra: urbana e construída, corpos d'água abertos e vegetação, respectivamente. Como resultado os terrenos urbanos construídos foram extraídos com precisão geral variando de 91,5 a 98,5%, tornando a técnica eficaz e confiável (Xu, 2007).

(5)

$$MNDWI = \frac{((Green - SWIR 1))}{((Green + SWIR 1))}$$

(6)

$$SAVI = \frac{((NIR - Red))}{((NIR + Red + 0,5))} \times 1,5$$

Beppler e Antunes (2009) também estudaram as potencialidades da utilização de uma imagem de satélite *QuickBird* como fonte de extração de dados à atualização do cadastro urbano. Eles chegaram à conclusão favorável ao seu uso, com o adendo de que a mesma se confere, segundo a PEC, como Classe A para uma escala 1:5.000.

Propondo investigar o uso de imagens de alta resolução *GeoEye* na identificação das áreas passíveis de atualização cadastral, Santos *et al.* (2015) usou classificação orientada a objetos e propôs uma metodologia dirigida onde busca-se atualizar apenas as áreas que apresentaram mudanças positivas. O estudo recomendou o uso de dados *laser scanner* para distinguir edifícios em meio urbano e sua respectiva volumetria.

Green, Kempka e Lackey (1994), usando imagens orbitais, trabalharam no desenvolvimento de um método para avaliar a mudança da cobertura da terra ao longo do tempo, e obtiveram sucesso no desenvolvimento de técnicas de processamento de imagens que identificaram mudanças na área metropolitana de Portland (USA).

Herold, Scepan e Clarke (2002), retrataram uma técnica para quantificar padrões urbanos espaciais a partir de dados de sensoriamento remoto óptico de alta resolução, e usaram-na para descrever estruturas e mudanças no uso do solo urbano.

Para atualizar a situação cadastral imobiliária de um loteamento em Monte Carlos - MG, Leite *et al.* (2018) utilizaram imagens *QuickBirb* e *WoldView II* fazendo uso de vetorização e fointerpretação. Eles constataram que houve mudanças no tipo de uso e na quantidade de

lotes, e que isso representaria um acréscimo de 7,5% no valor total de arrecadação do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) da área estudada.

No viés metodológico de baixo custo, Antunes e Hollartz (2015) verificaram o uso de imagens obtidas de câmera digital de pequeno formato a bordo de VANT e a possibilidade de extração de limites das propriedades, a fim de compor o CTM. A pesquisa, que foi realizada na escala de 1:2.000, mostrou-se eficaz para oferecer informações cartográficas até o nível B da NBR 14.666.

Observa-se que, ainda que seja possível executar o levantamento de determinado município, é crítico que a administração consiga manter a base cartográfica atualizada a fim de poder utilizar os resultados de forma efetiva. No entanto, devido seus tamanhos, nem todos os municípios possuem receita reservada para sistematizar esse processo com novos levantamentos de rotina (Mendes e Zanotta, 2019).

3 METODOLOGIA

A proposta metodológica da pesquisa está dividida em duas partes, onde primeiro aborda-se a aplicação de detecção de mudanças urbanas e posteriormente a substituição dos dados aerofotogramétricos existentes (Figura 3).

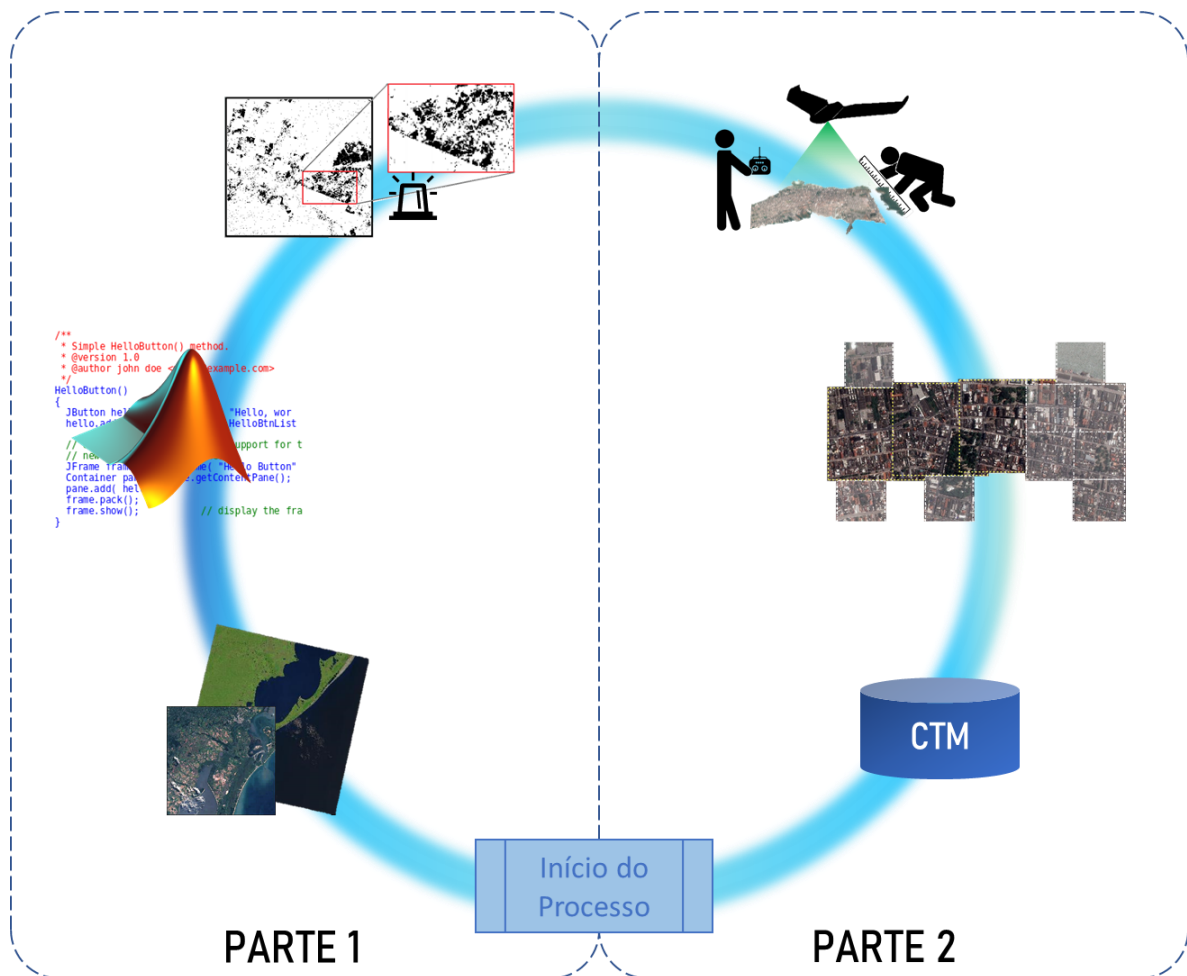


Figura 3 - Visão geral de integração entre as duas partes metodológicas.

3.1 Produção da aplicação de detecção de mudanças urbanas

A detecção de mudanças tem como objetivo a indicação de quais locais sofreram mudanças em escala de interesse. Para tanto, imagens de média resolução espacial da banda pancromática do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite Landsat 8 são utilizadas. A banda pancromática compreende toda a faixa do visível e os dados são adquiridos a cada 16 dias. Essa janela temporal é suficiente para detectar mudanças em escala urbana assim que as mesmas

ocorrem. Dado o tipo de imagem utilizado, o método deve apontar variações com área mínima de até 225 m² (área de um pixel na banda pancromática do sensor OLI Landsat 8. No caso, apenas mudanças com certa importância para a administração serão consideradas. Pequenas reformas residenciais ou edificações de pequena escala não serão detectadas. O processo se dá por meio de uma aplicação executável em linguagem Matlab, de fácil e intuitiva manipulação para que mesmo usuários com conhecimentos básicos consigam manipular e gerar os resultados esperados. O algoritmo desenvolvido para a aplicação encontra-se no apêndice A. Basicamente, a modelagem computacional obedece ao seguinte fluxo de execução (Figura 4).

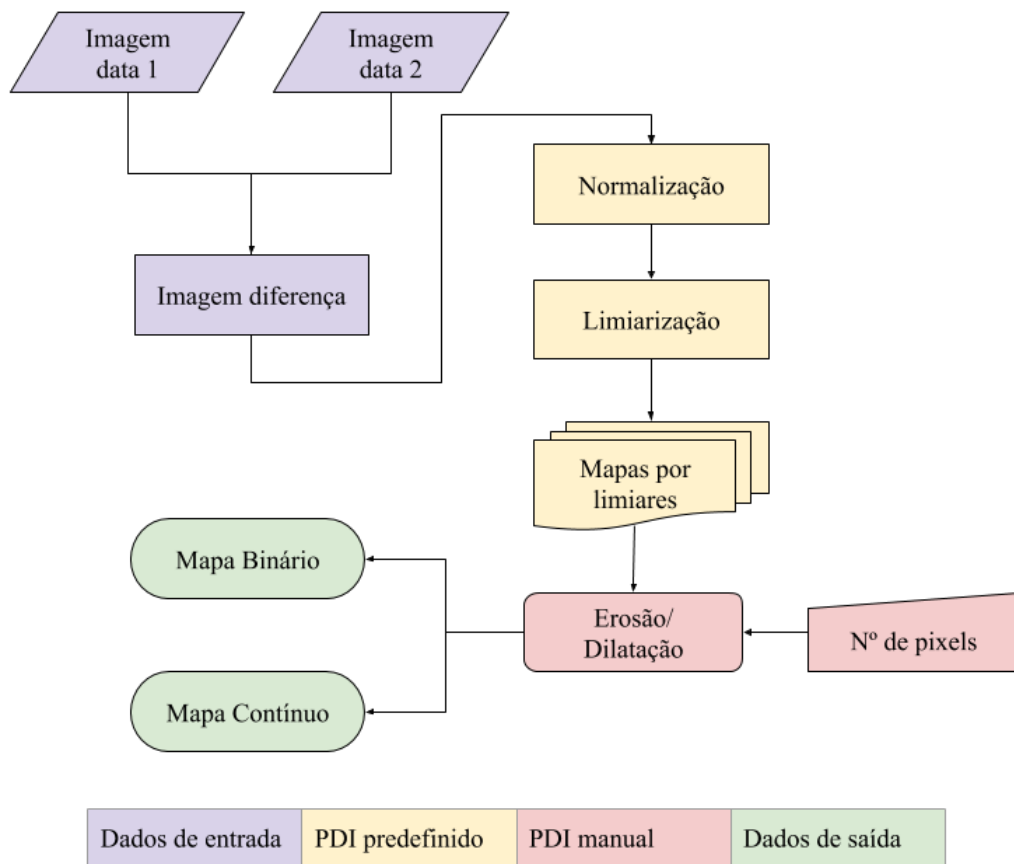


Figura 4 - Fluxograma de ações da aplicação de detecção de mudanças. Fonte: O autor.

Propõe-se utilizar nessa etapa imagens gratuitas de média resolução espacial. As imagens não podem ser utilizadas para fins cadastrais, mas podem servir para apontar onde houve mudanças sensíveis para posterior atualização da base. A seguir, serão detalhadas cada uma das fases da etapa de detecção.

3.1.1 Subtração de imagens

O primeiro passo do processo envolve a subtração das duas imagens pela técnica de diferença simples, onde é subtraído pixel a pixel de duas imagens adquiridas sobre um mesmo local, mas em datas distintas de tempo 1 (t_1) e tempo 2 (t_2) (equação 7).

$$\text{Imagem diferença} = \text{imagem } t_2 - \text{imagem } t_1 \quad (7)$$

As imagens do sensor OLI/Landsat 8 da banda 8 pancromática com 15 metros de resolução, compreendendo o espectro visível de $0,50\mu$ à $0,68\mu$, são adquiridas da coleção 1 nível 1 (*Collection 1 Tier 1*) disponibilizada pelo *United States Geological Survey* (USGS) em seu site *Earth Explorer*. A faixa espectral garante a detecção de mudanças que ocorrem na faixa espectral do visível, o que é adequado para alvos urbanos. Essa configuração assegura a mais alta qualidade espacial dos dados Landsat e são consideradas adequadas para análise de séries temporais, possuindo radiometria bem caracterizada intercalibrados nos diferentes instrumentos Landsat, com registro geométrico consistente e dentro das tolerâncias de até no máximo 12 metros de raiz do erro médio quadrático (RMSE) (USGS, 2019).

3.1.2 Normalização e Limiarização

Depois de feita a imagem diferença, é realizada a normalização do histograma da imagem, onde é aplicado a distribuição normal ou de Gauss (equação 8) no histograma.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \text{ ou } z = \frac{x-\mu}{\sigma} \quad (8)$$

Apesar de haver registro espacial e correção radiométrica fina, as imagens ainda podem apresentar problemas de normalização radiométrica, podendo ser corrigidos a partir de uma translação forçada (*shift*) diretamente pela subtração entre a média total das cenas (Figura 5). Essa operação assume que poucas mudanças tenham ocorrido na cena entre as duas datas analisadas ($< 1\%$), justificando então a aplicação da média para normalização radiométrica fina. Assim, a simples operação que força as duas imagens a ter a mesma média é suficiente para alcançar bons resultados na normalização radiométrica.

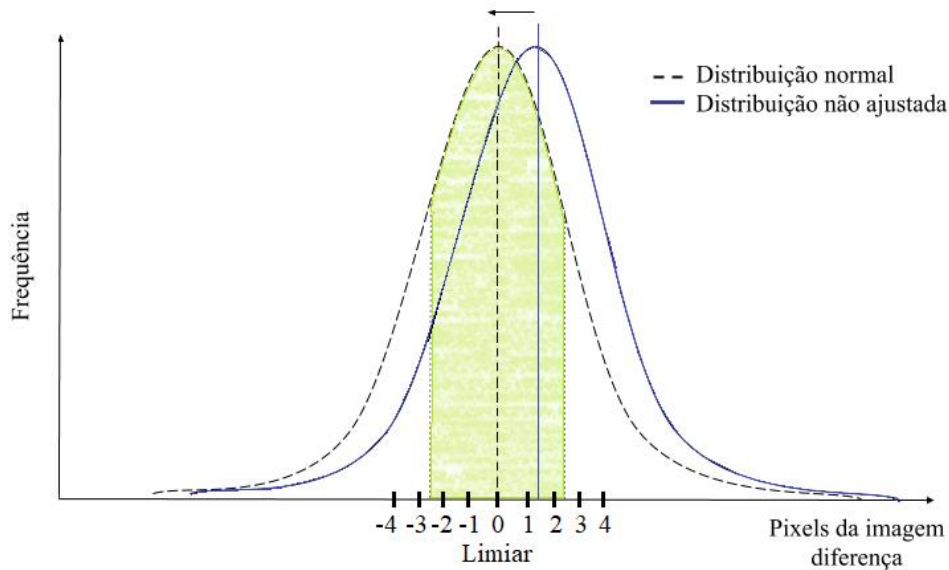


Figura 5 – Exemplo de operação de normalização do histograma da imagem diferença. Fonte: O autor.

O passo seguinte é a definição de limiares onde, durante o ajuste de limiar, é importante serem feitos testes afins de chegar em um número ideal para cada aplicação. Cada área de aplicação terá um valor ideal e específico para ela, cabendo o usuário encontra-lo. Nesse sentido, deve-se buscar o limiar estabelecido irá separar, em valores absolutos, tudo aquilo que será considerado mudança na imagem de diferenças. Alguns fatores devem ser levados em consideração nessa definição, como imperfeita correção radiométrica, problemas sutis no registro da imagem e mudanças reais na imagem, mas que não são de interesse prático. Em uma situação ideal, o limiar poderia ser considerado como zero, uma vez que correção geométrica e radiométrica teriam sido realizadas com perfeição. No caso hipotético, tudo aquilo que apresente diferença entre as duas datas seria considerado como mudança real. Entretanto, na realidade as imperfeições na correção levam a definição do limiar citado a fim de desconsiderar variações que possam ter sido causadas por diferença radiométrica e geométrica.

A limiarização foi configurada para deixar todos os valores entre o intervalo dos limiares como zero (preto), enquanto todos os valores fora dos limiares (esquerda ou direita) são definidos como um (branco), gerando então um mapa binário de mudanças.

3.1.3 Filtragem dos pontos espúrios

O último processamento da primeira etapa compreende filtragem de elementos de mudança isolados e que não necessariamente correspondem a mudanças de interesse prático. No presente

estudo, esse processo realizou-se a partir de operadores morfológicos de erosão/dilatação. Não se objetiva aplicar uma regra específica para a diminuição de alertas isolados, apenas uma redução dos pontos que normalmente estão espalhados uniformemente ao longo da área. Dependendo do caso, o usuário poderá optar por uma janela de aplicação grande ou pequena. A decisão será norteada pela aparência geral do mapa binário e pelo desempenho dos métodos anteriormente aplicados.

A entrada é manual de valores para a erosão/dilatação diretamente na aplicação. Essa etapa serve para destacar os pixels de interesse, onde na erosão cada pixel do objeto que possua um pixel vizinho de fundo passa a pertencer ao fundo e na dilatação, para cada pixel do objeto, todos os seus pixels vizinhos de fundo passam a pertencer ao objeto (Figura 6). Assim como no limiar, deve-se fazer testes para buscar o melhor resultado para cada área a ser aplicado, ou seja, eliminando os demais pixels e deixando apenas aqueles considerados com tamanho relacionado ao objeto de interesse, ou no sentido deste trabalho, que sinalize mudanças reais. A figura 6 apresenta uma simulação da aplicação dos operadores morfológicos e o seu resultado esperado, onde em 5A tem-se a imagem inicial com elementos de tamanhos variados, em 5B elementos são eliminados da cena usando a regra de erosão, e em 5C a regra de dilatação faz o caminho inverso agrando pixels aos elementos que sobreviveram à erosão. Percebe-se que apenas as regiões maiores do mapa binário são mantidas no mapa final e que essa operação torna a interpretação do mapa mais simples e direta para o analista.

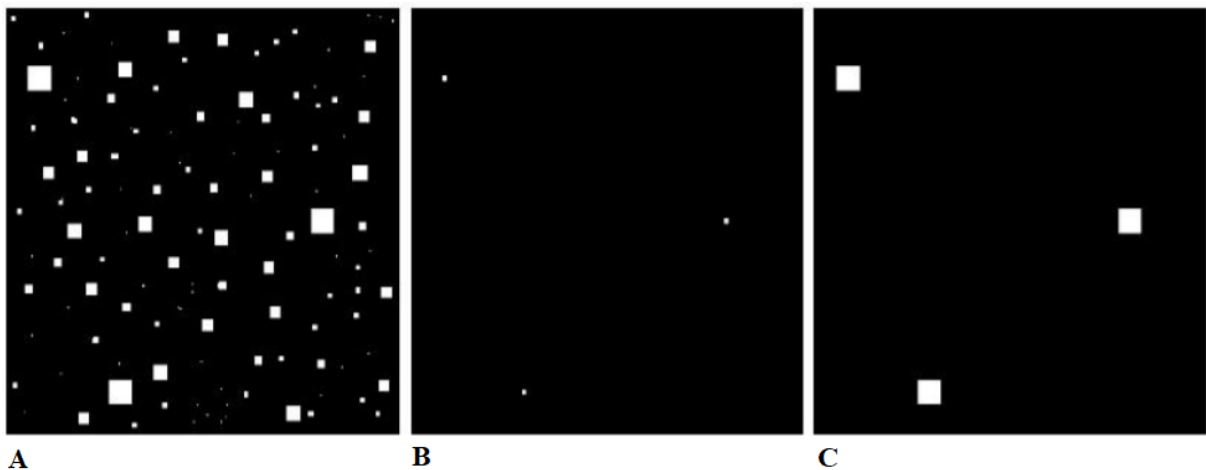


Figura 6 - (A) Imagem de quadrados de tamanho 1,3,5,7,9 e 13 pixels ao lado. (B) Erosão de "A" com um elemento estruturador quadrado de 13 pixels de I no lado. (C) Dilatação de "B" com o mesmo elemento estruturante. Fonte: Adaptado de Gonzalez e Woods (2002).

Por fim, é gerada a imagem final que foi exportada nos modos contínuo e/ou binário. No modo contínuo a imagem segue numa escala de cinza caracterizando a intensidade das

mudanças, já no modo binário o produto de saída é uma imagem com pixels contendo apenas dois valores representando somente mudança ou não mudança. De posse dos produtos de detecção de mudança, deu-se início a segunda etapa da metodologia, que consistiu na atualização do mosaico de aerolevanteamento nas áreas com mudanças reconhecidas.

3.2 Atualização da base de dados com VANT

A intenção desta etapa é fazer uma compatibilização dos dados por meio do georreferenciamento onde, após realizada a detecção das regiões com mudanças significativas é realizado o trabalho de reconhecimento de campo não intrusivo *in loco* onde é feita a constatação parcial das mudanças registrada pelo sistema de alerta. Diante da comprovação da necessidade de atualização, é feito o sobrevoo da região delimitada em escritório. O voo realizado com VANT deve obedecer a critérios adotados desde a primeira atualização para manter o sistema compatibilizado (horário da tomada das imagens, condições meteorológicas, precisão do georreferenciamento etc.) bem como ortorretificado na RRCM.

A definição clara desses critérios visa obter resultados com imagens os mais semelhantes possíveis, independente das datas de tomadas, garantindo a sobrevida almejada. Entretanto, é sabido que mesmo tomando todos os cuidados, pode ser que ainda seja necessário adotar algumas medidas de análises das imagens para garantir a menor diferença entre os recortes novo e antigo. São eles; observar que a resolução do novo aerolevanteamento por VANT seja sempre menor ou igual à da base de dados aerofotogramétrico convencional, isso faz com que no momento da realização do mosaico, os dados de VANT seja reamostrados sem comprometer a resolução do trabalho todo; analisar a semelhança de cores e a necessidade de normalização radiométrica, para que no futuro, após operação de inúmeras atualizações, sejam minimizadas as diferenças visuais entre os vários voos concretizados, fenômeno aqui chamado de “colcha de retalhos”; outra forma de diminuir esse efeito é aplicando a técnica de casamento de histogramas, onde se melhora o brilho e o contraste de uma imagem usando outra como referência, fazendo com que as duas imagens tenham o mesmo histograma ou o mais aproximado possível; e por fim deve-se analisar se o registro espacial do novo aerolevanteamento está de acordo e atende a futura junção entre imagens.

Depois de atendido os critérios básicos de similaridade é feita a substituição, no mosaico original, de todo o perímetro da nova área do aerolevanteamento por VANT e posteriormente realizada a junção entre o mosaico antigo e a área nova (Figura 7).

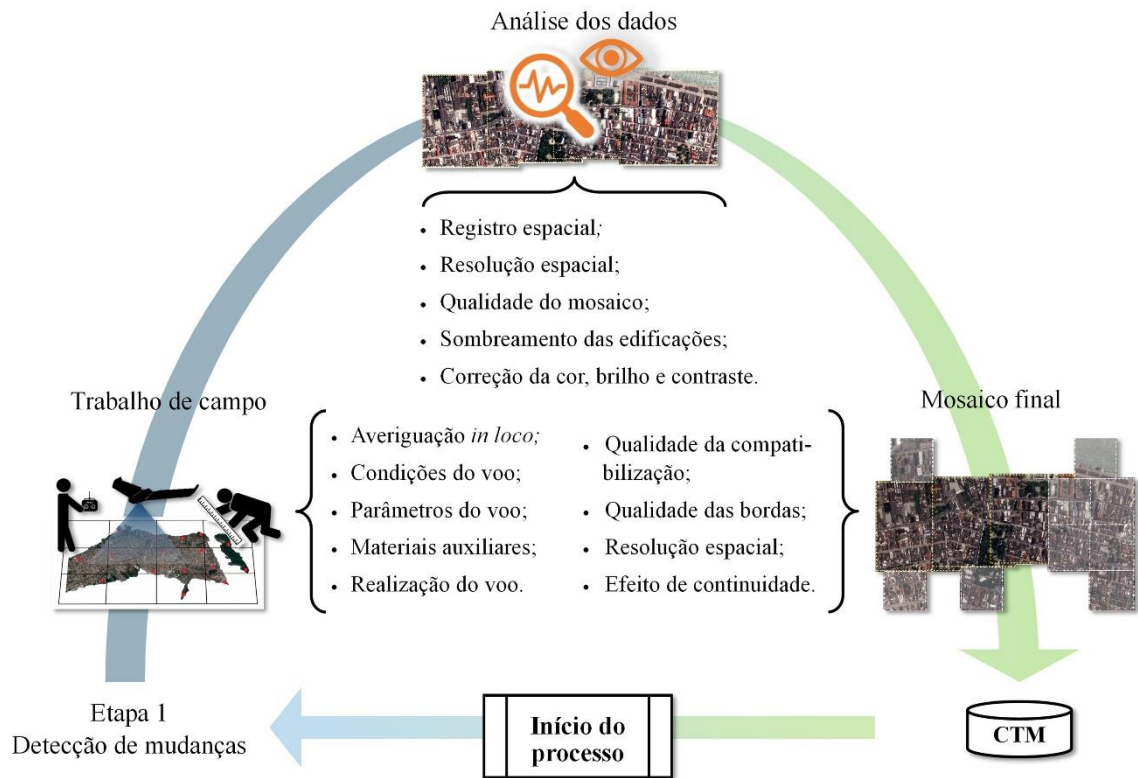


Figura 7 - Esquema metodológico proposto para a atualização da imagem base. Fonte: O autor.

4 EXPERIMENTO

4.1 Área de estudo

A fim de testar a aplicação desenvolvida e exemplificar sua execução, utilizou-se como base aerofotogramétrica um levantamento com resolução espacial de 10 cm feito pela empresa Hiparc® em dezembro de 2018 na parte urbana do município de Rio Grande, contratados pela Prefeitura Municipal do Rio Grande (PMRG) (Figura 8).

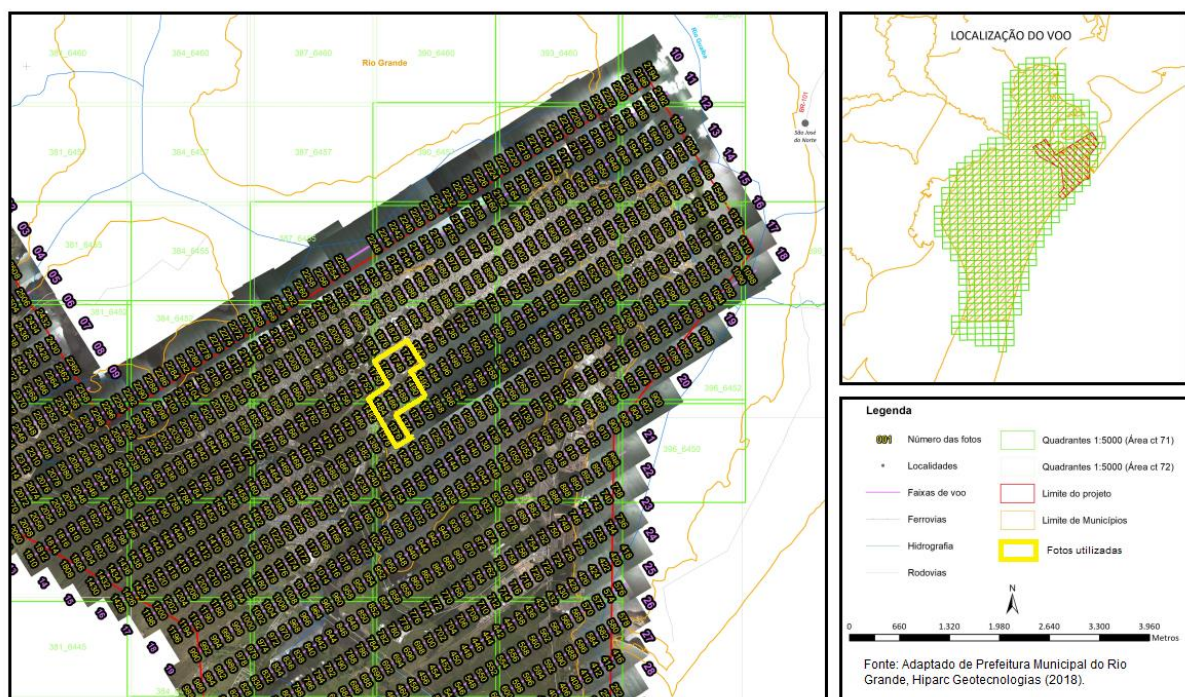


Figura 8 - Fotoíndice do aerolevanteamento convencional com destaque em amarelo para localização das imagens utilizadas nesse trabalho.

Localizado na porção extremo sul do estado do Rio Grande do Sul distando 317 km da capital Porto Alegre, sobre coordenadas $32^{\circ} 2' 6''$ de latitude sul e $52^{\circ} 5' 56''$ de longitude oeste de Greenwich (Figura 9), o município de Rio Grande - RS possui área territorial de aproximadamente 2.708,375 km² e população estimada em 210.005 habitantes (IBGE, 2018).

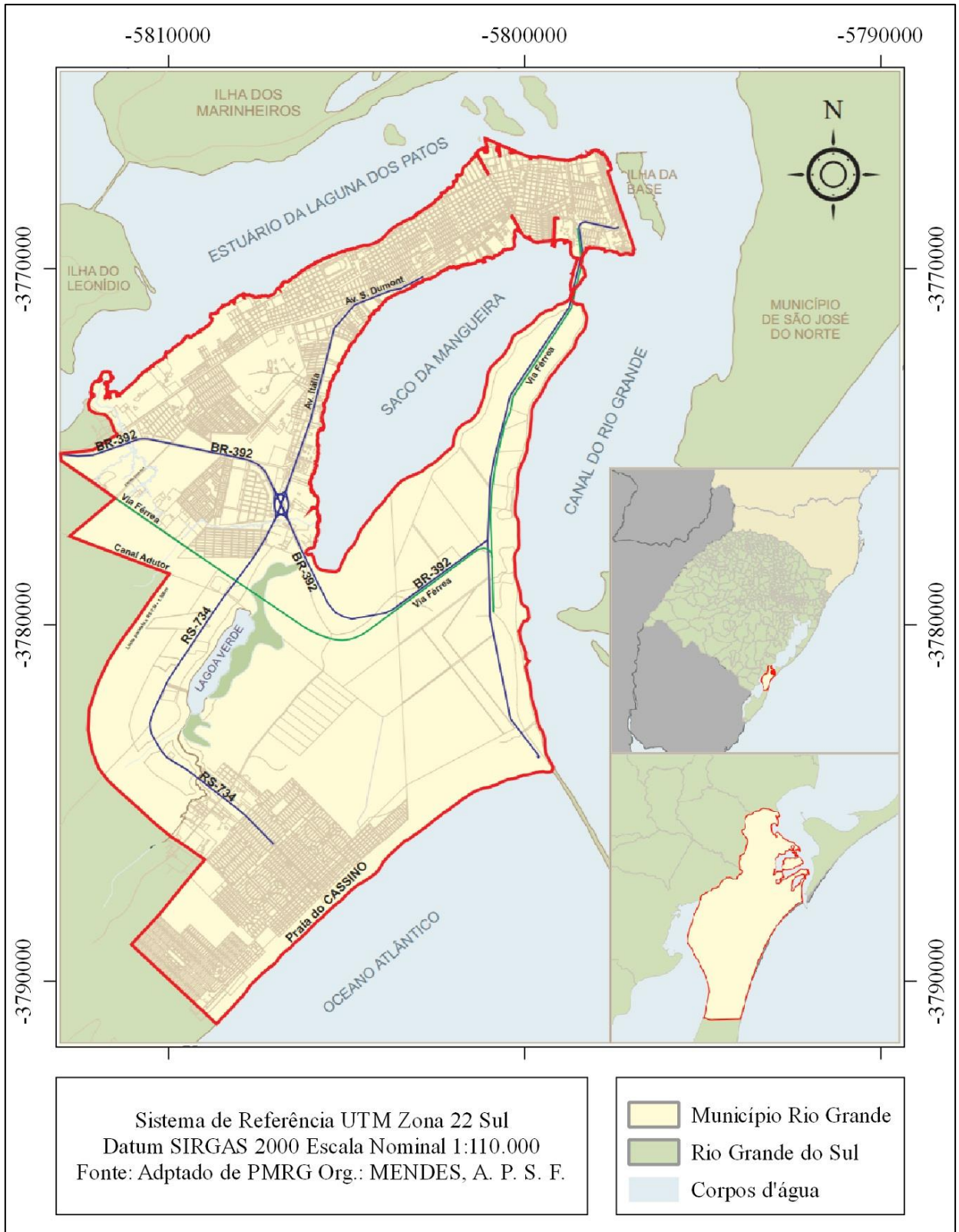


Figura 9 - Mapa da área urbana do município de Rio Grande - RS, a qual foi utilizada como área teste. Fonte: Adaptado de PMRG (2018).

O mesmo tem sua sede municipal às margens do canal do rio grande, onde se concentra o núcleo urbano principal foco das aplicações deste estudo, mais um bairro balneário

descentralizado na praia do Cassino conectado pela RS-734, além de povoados e localidades na zona rural. Pouco mais de dois anos depois, parte da base cartográfica já possuía certa desatualização, como será demonstrado nos experimentos.

4.2 Detecção de mudanças

As datas e cenas do Landsat 8 escolhidas levaram em conta a data de aquisição dos dados de aerolevante contratado pela PMRG que foram entre 29/05/2018 e 14/11/2018, bem como a menor cobertura de nuvens disponível (Quadro 3).

Código do produto	Data de aquisição
LC08_L1TP_221082_20171113_20171122_01_T1	13/11/2017
LC08_L1TP_221082_20181015_20181030_01_T1	15/10/2018
LC08_L1TP_221082_20191119_20191203_01_T1	19/11/2019

Quadro 3 - Dados Landsat 8 OLI utilizados na etapa de detecção de mudanças. Fonte: O autor.

O desenvolvimento da aplicação em Matlab resultou na interface DMU - Detecção de Mudanças Urbanas. A interface foi configurada para ser de simples manipulação, então é dividida em apenas quatro partes:

- Dados - onde é indicado o diretório dos dados manipulados, que são os arquivos de imagem Tiff/GeoTiff;
- Processamento - onde há botões que levam à janelas de definição dos parâmetros de processamento de Normalização e Limiarização;
- Filtragem - onde é definido e visualizado as interações dos operadores morfológicos de Erosão e Dilatação;
- Saída - onde é configurado o tipo de produto final gerado que será salvo no mesmo formato do dado de entrada.

De posse da aplicação de produção dos alarmes (Figura 10), foi inserida no campo Imagem data 1, um recorte da região urbana de Rio Grande para o ano de 2017 (ano anterior ao aerolevante convencional) e num segundo teste o mesmo recorte de uma cena do ano de 2018. Já no campo Imagem data 2 foi inserido em todos os testes o recorte de maior data, no caso de 2019 para obter a correta subtração. O recorte da área urbana foi obtido de arquivos oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

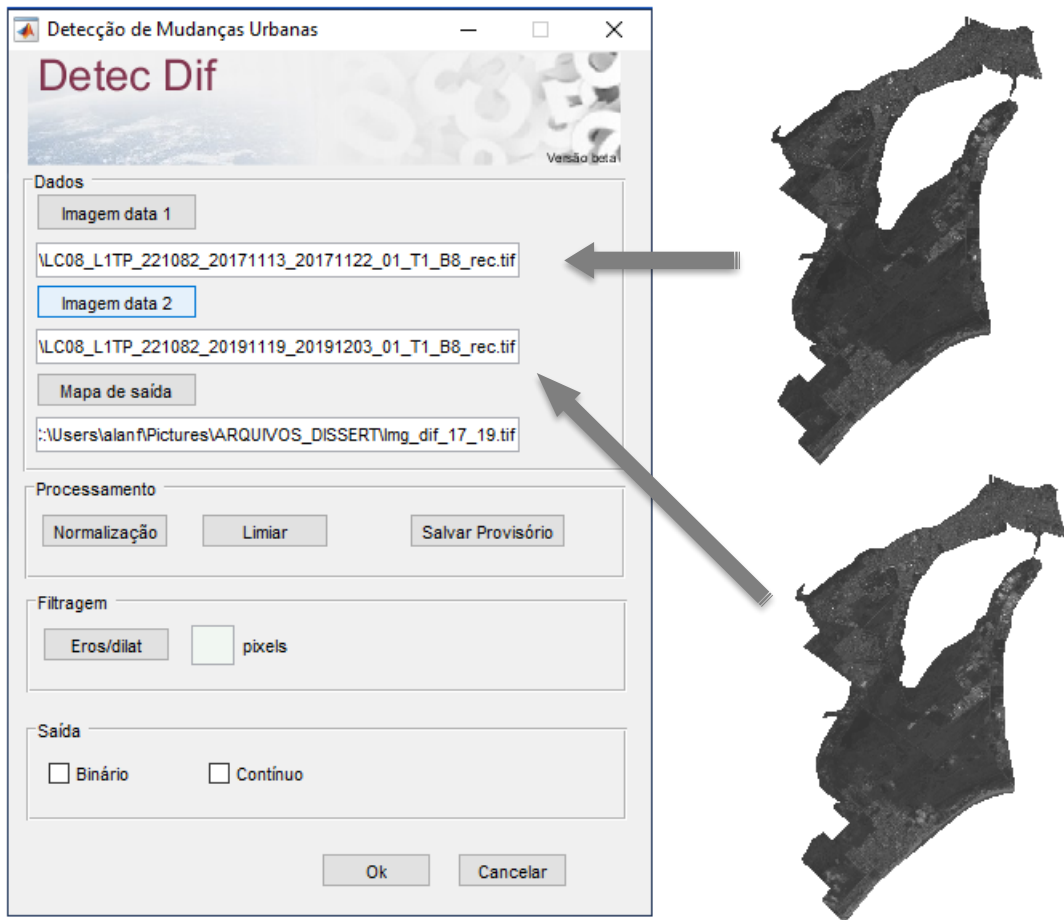


Figura 10 - Interface da aplicação desenvolvida para realizar a detecção de mudanças urbanas. Fonte: O autor.

Depois de gerado o Mapa de saída (imagem diferença bruta), é dado início aos processamentos da imagem. Seguindo a ordem de processamento, primeiro foi feita a Normalização onde foi contabilizado o valor de média 0,94502 o qual foi aplicado na distribuição o histograma (Figura 11).

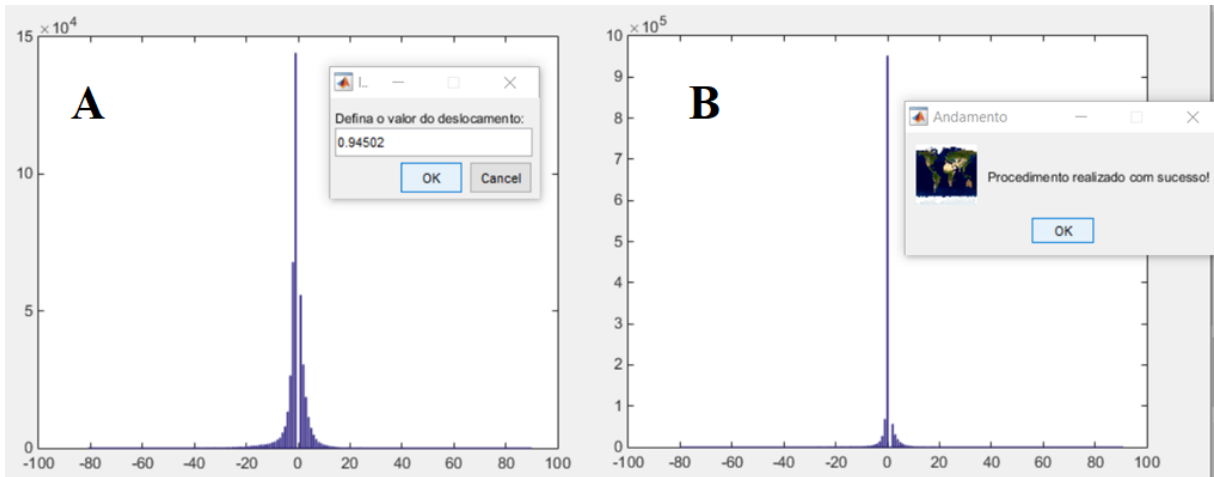


Figura 11 - Normalização do histograma da imagem diferença entre os anos de 2017 e 2019, A) distribuição antes e B) distribuição depois. Fonte: O autor.

No passo seguinte foi a vez da manipulação do histograma. Nessa etapa é aberta uma janela de visualização instantânea dos valores de limiar aplicado e sua interferência no conjunto de dados considerado mudança e não mudança. Por meio da ferramenta de barra de rolagem, é possível ajustar os limites dos dados que serão considerados como diferenças entre as cenas de 2017 e 2019. Quanto maior o valor de limiar, mais altos serão os valores considerados como mudança, e por consequência somente as diferenças mais substanciais serão representadas nas imagens (Figura 12). O limiar estabelecido funciona tanto para o lado positivo quanto o negativo em torno da origem (zero).

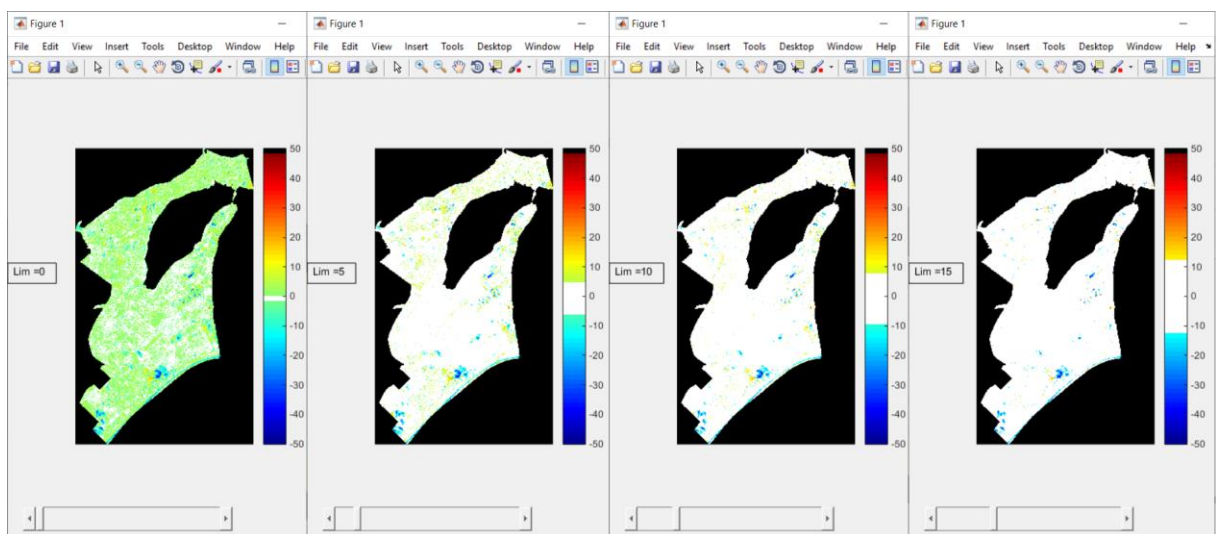


Figura 12 - Exemplo de utilização da barra de rolagem na definição dos limiares 0, 5, 10, 15 e seus resultados respectivamente. Fonte: O autor.

Finalizadas as etapas de detecção, foram realizados testes de filtragem dos pontos espúrios, onde novamente experimenta-se valores diversos para diagnosticar a melhor contribuição da dilatação/erosão aos limiares usados na etapa anterior (Figura 13). Nesse contexto foi possível dar ênfase aos pixels que continham vizinhos com valores muito diferentes dos seus, diminuindo os pontos espúrios e destacando-os por meio das diferentes combinações, subsidiando assim a escolha e análise de áreas mais importantes e localizadas dentre todas as alterações diagnosticadas.

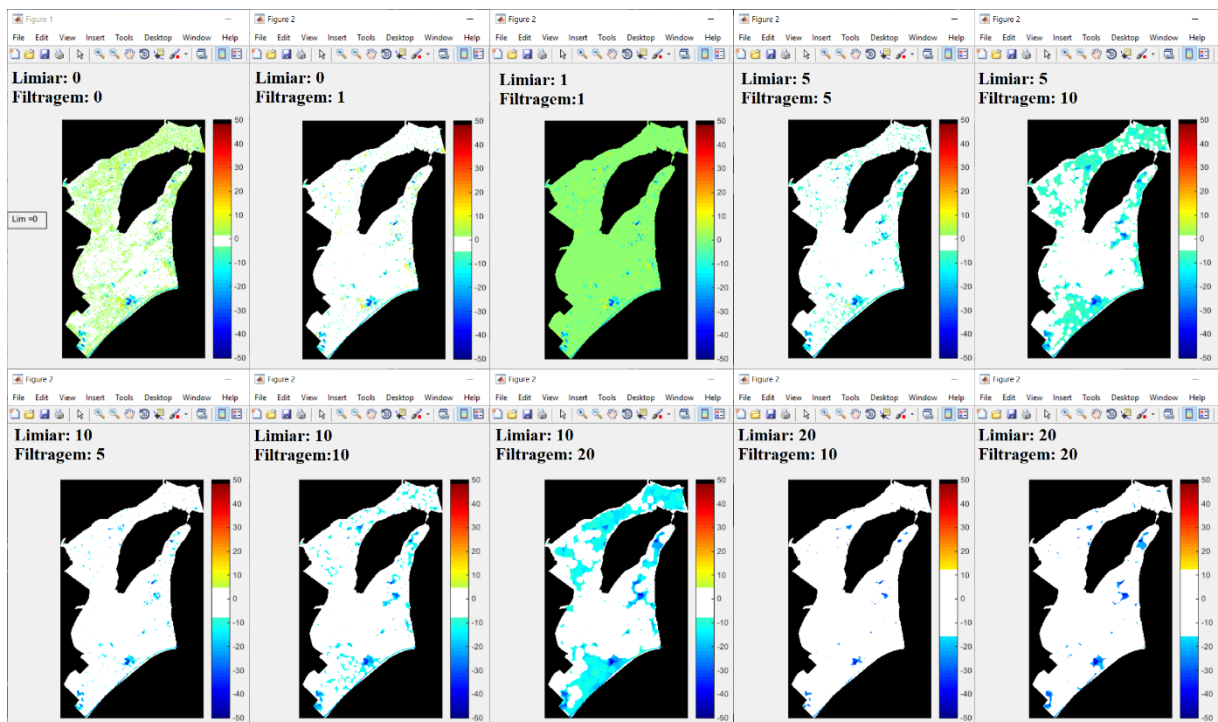


Figura 13 - Testes de erosão e dilatação utilizando diferentes combinações de limiares e filtragem. Fonte: O autor.

4.3 Integração de dados

Para essa etapa utilizou-se de dados provenientes de aerolevanteamento convencional cedidos cordialmente por cortesia pela PMRG e de aerolevanteamento por VANT adquirido e cedido pelo Laboratório de Tecnologia da Geoinformação (LTGEO) do Centro de Ciências Computacionais (C3) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG) (Quadro 4).

Características	Convencional	VANT
-----------------	--------------	------

Aeronave	Piper Seneca PA-34 Embraer Piper Aircraft PA-23 Azteca	Phantom 4 Advanced
Sensor	Câmera Digital VEXCEL UltraCam LP (RGB)	Dji CMOS 1” 20mp (RGB)
Escala de voo	10cm (1:16.667)	10cm (1/41.455)
Escala da ortofoto	1:1.000	1:1.000

Quadro 4 - Dados utilizados na atualização da base cadastral. Fonte: O autor.

Diante da disponibilidade de cobertura de todo o município pelo aerolevante convencional e do cunho avaliativo do experimento, para os dados de VANT levou-se em consideração área com significativa mudança reconhecida *in loco*, não sendo necessária apenas nesse caso posterior equipe de visita de campo citada na metodologia aqui proposta, bem como uma melhor logística de aquisição dos dados. Assim escolheu-se sobrevoar a região do cruzamento da avenida Itália com a rua Padre Nilo Gollo, onde ocorre a implantação de um empreendimento de grande porte com intensa mudança na paisagem local no último ano de estudo (2019).

Da base de dados aerofotogramétrica da PMRG, foi necessário a utilização de apenas seis arquivos de imagens, o que também garantiu redução dos custos computacionais, das quais realizou-se mosaico cobrindo toda a área de teste por meio da reamostragem de pixels “vizinho mais próximo” (Figura 14) É recomendável ainda a busca pelo melhor ordenamento das imagens para que as diferenças de ângulos e sombras sejam reduzidas ou pelo menos deixadas para os cantos do mosaico.

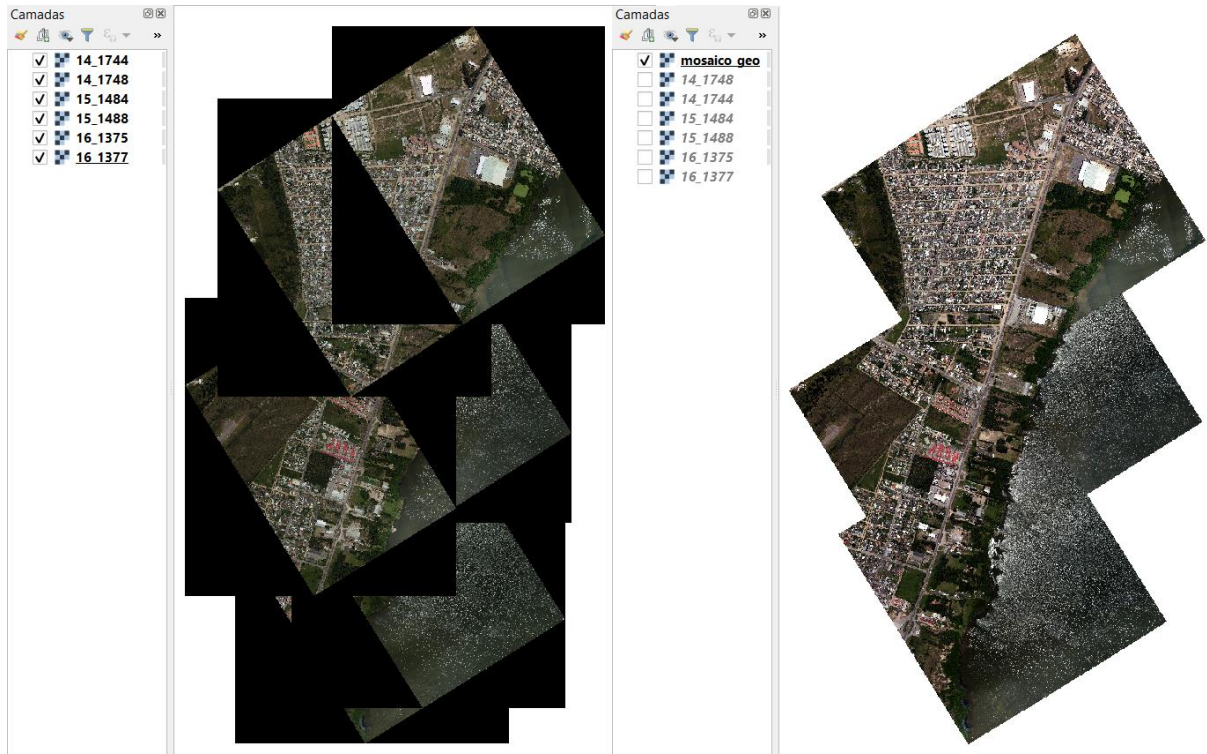


Figura 14 - Mosaico das imagens de aerolevante convencional compreendendo apenas a região de testes. Fonte: O autor.

O voo por VANT resultou em 66 imagens JPG, que após a coleta gerou-se um mosaico GeoTIFF processado no *software* Agisoft® *PHOTOSCAN*, licenciado para o LTGEO/C3/FURG. Os pontos de controle foram selecionados sobre feições notáveis, e o levantamento de coordenadas foi realizado por ocupação GNSS RTK, com base sobre o marco FURG Campus Carreiros, a não mais de 1 km da região de interesse (Figura 15).



Figura 15 - Mosaico realizado a partir do aerolevanteamento por VANT. Fonte: O autor.

Em termos técnicos, houve pouca diferença de cor devido a boa iluminação solar no momento do voo, e devido a utilização da técnica de realizar o aerolevanteamento no horário de “sol a pino”, que é quando o sol está em zênite, a perspectiva dos objetos pouco mudou em relação ao aerolevanteamento convencional, com sombras curtas projetadas para o sentido sudeste. Não houve prejuízo no aproveitamento do dado atualizado.

Na integração dos dois dados utilizou-se o software livre de SIG QGIS versão 3.10 em que foi realizado um novo mosaico por meio da ferramenta “Mesclar” (Figura 16). Os parâmetros

de reamostragem utilizados foram os padrões da própria ferramenta GDAL que não permite modificações por parte do usuário.

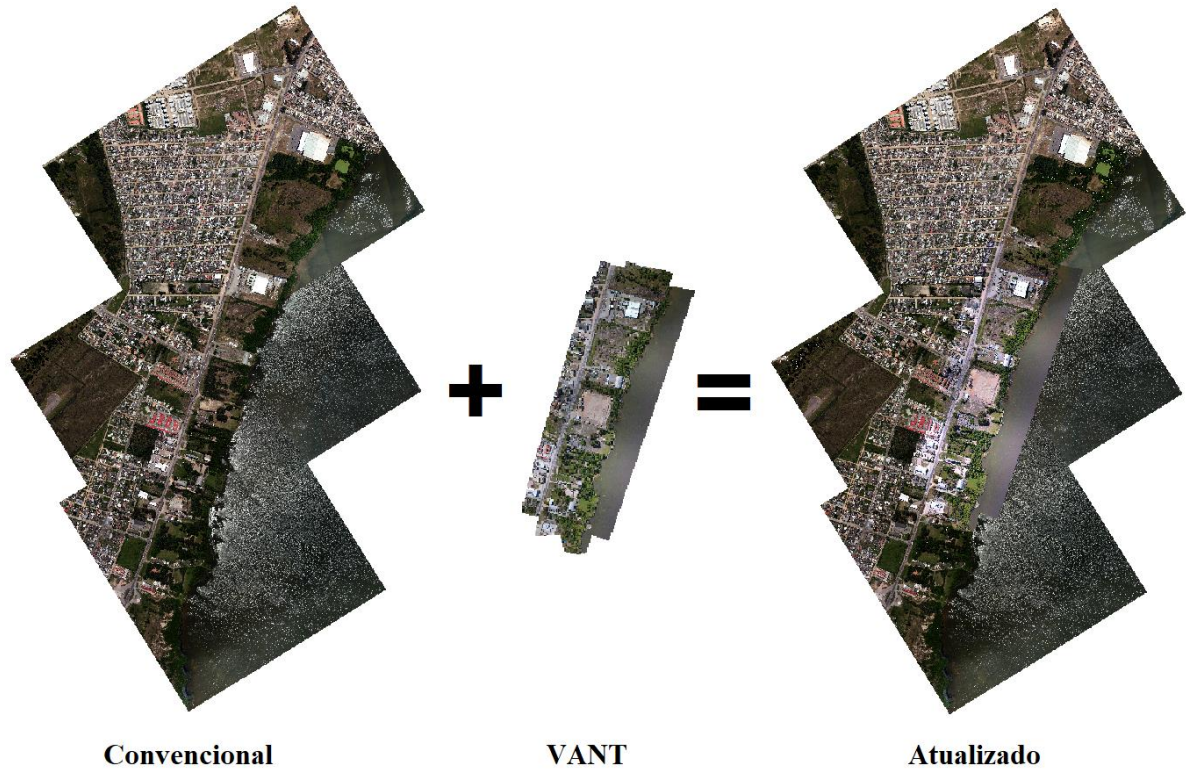


Figura 16 - Junção do mosaico de aerolevanteamento convencional com o mosaico de aerolevanteamento por VANT. Fonte: O autor.

5 RESULTADOS

Diante da utilização do DMU, mudanças efetivas foram observadas nos lotes da região industrial indicando a movimentação de cargas e mercadorias, mudanças no perímetro da FURG e seu entorno, na região do novo terminal rodoviário, na região da vila Santa Tereza, além das mudanças de conjuntos menores e isolados de pixels indicando possíveis mudanças de cobertura de pequenos imóveis, praças e etc. (Figura 17). É possível perceber que a detecção de mudanças resultou em várias detecções no perímetro urbano de Rio Grande do ano de 2017 para 2019, apresentando alguns ruídos esperados como uma região com nuvens na porção direita inferior do bairro Cassino, a linha de costa da Praia do Cassino.

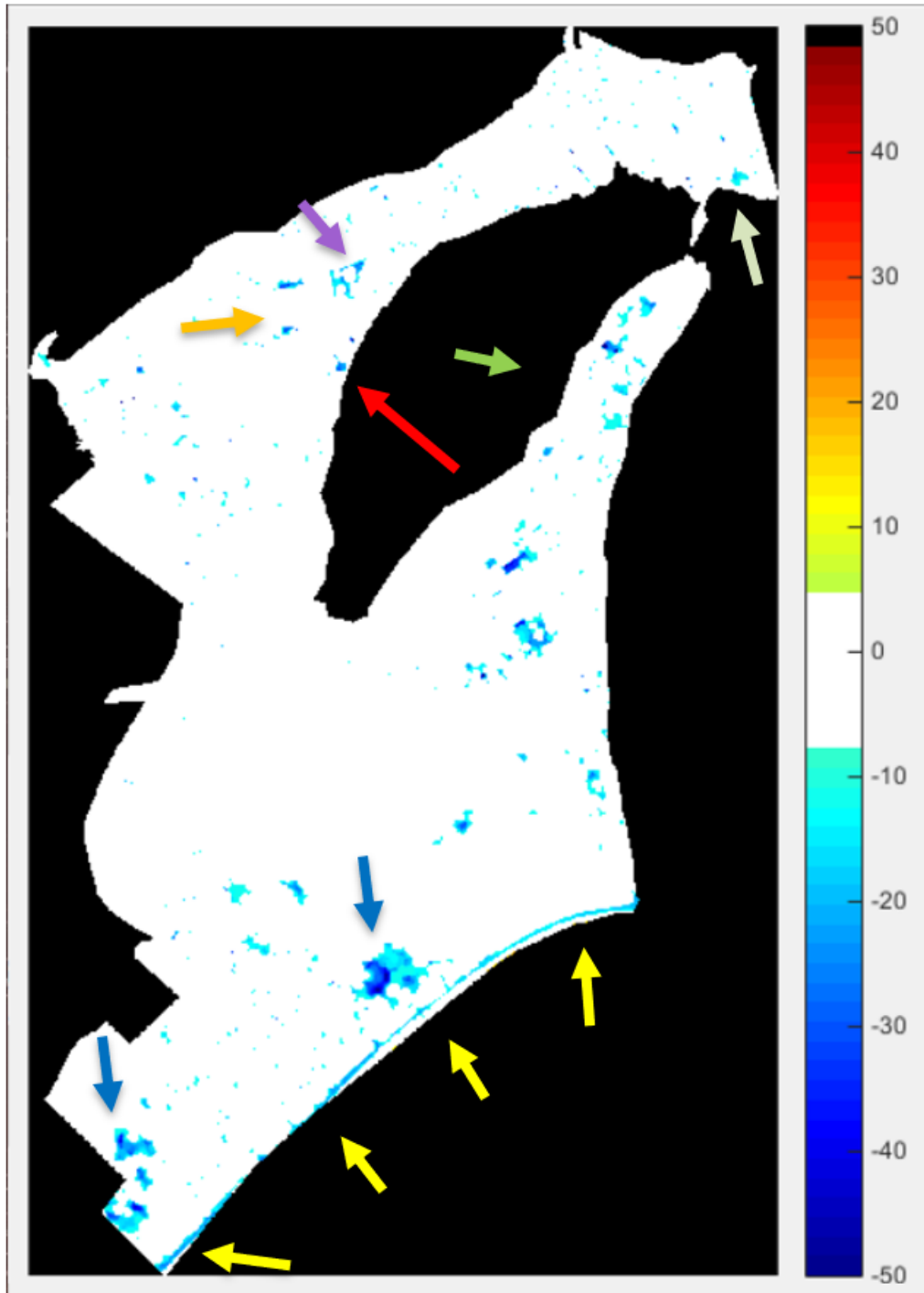


Figura 17 - Mudanças detectadas e de localizações conhecidas: Nuvens (setas azuis), linha de costa (setas amarelas), região industrial (seta verde), região da FURG (seta laranja), região do novo terminal rodoviário (seta roxa), região do porto/vila Santa Tereza (seta cinza), e área de teste (seta vermelha). Fonte: O autor.

No Apêndice B é possível rever com detalhes esses principais pontos de diferenças utilizando imagens de alta resolução dos meses de novembro de 2017 e novembro de 2019 pelo *software Google Earth Pro*. Entretanto, ressalta-se que esses dados não fazem parte da

metodologia e é apenas um auxílio ao entendimento do leitor que não pode visitar a região pessoalmente.

Dando enfoque na região de sobrevoo, a aplicação desenvolvida teve bons resultados, onde depois da manipulação do limiar e filtro, o mesmo resultou em mudanças reais na paisagem, retirando os efeitos da atmosfera e das mudanças sutis como da vegetação, por exemplo (Figura 18).

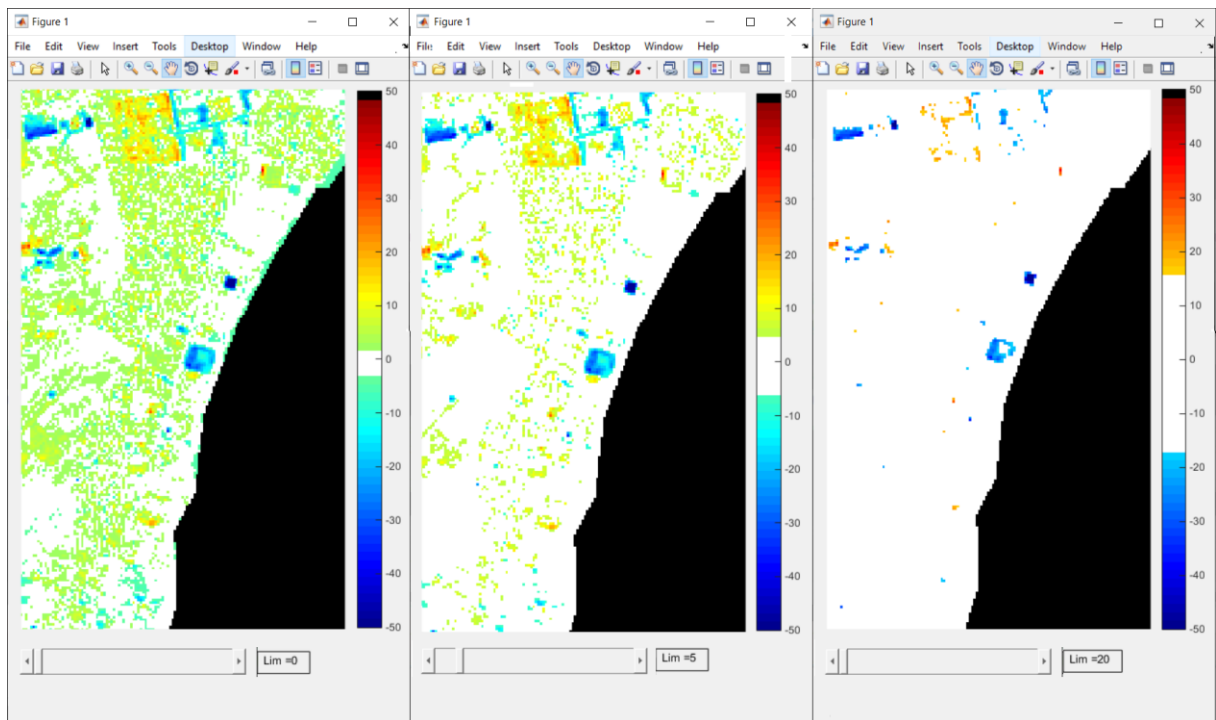


Figura 18 - Desempenho da aplicação de detecção de mudanças na área de experimentação. Fonte: O autor.

O mosaico aerofotogramétrico atualizado atendeu bem o propósito de integração de dados, ao ponto que em realizar a junção dos dois mosaicos, os pixels da imagem VANT que mediam 8 cm foram reamostrados para o tamanho dos pixels da imagem de aerolevanteamento convencional com 10 cm. Com isso foi possível perceber também a apresentação de pixels com valores desconexos nas bordas do perímetro atualizado (Figura 19), devido ao mosaico de VANT já carregar consigo tal efeito, mas que pode ser contornado com um recorte prévio para exclusão dos pixels que não estejam dentro do perímetro das bordas.

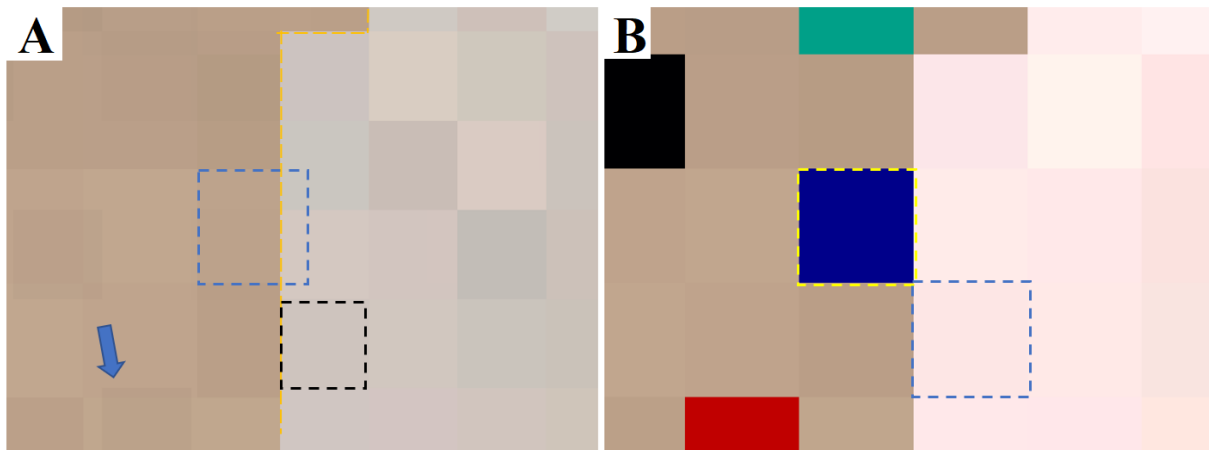


Figura 19 - (A) Imagem de VANT sobreposta a Convencional, com diferença do tamanho entre os pixels e pixels de borda; (B) Mosaico das duas imagens anteriores com a reamostragem para 10 cm e alguns pixels de borda com valores desconexos. Fonte: O autor.

Para o presente trabalho não houve necessidade de correção no registro espacial, entretanto é importante comentar que caso necessário é recomendável que a escolha dos pontos de controle seja baseada em feições conhecidas e fácil identificação visual em ambos levantamentos, em quantidade maior que 9 de pontos e bem distribuídos pela imagem, com grau de polinômio de 1º grau levando em consideração a pré-existência do registro espacial anterior.

Todavia, apesar dessa mudança não houve declínio da qualidade visto que o *raster* de pixels maiores era o convencional e que foi substituído, não ocasionando também incompatibilidade com o restante da base de dados em atualizações futuras, desde que sejam obedecidos em atualizações futuras os mesmos parâmetros da primeira atualização.

Analisando as discontinuidades nas bordas, onde houve a junção das duas imagens, é possível notar que as mesmas variam de acordo com a localização (Figura 20). Sabe-se que no próprio conceito de georreferenciamento de imagens, há um aumento das distorções à medida que vai se afastando do centro da imagem. Não obstante, de acordo com análise de medições na imagem, essa diferença que aparece apenas em locais isolados tem variação sempre inferior a 1 metro, o que não invalida o produto nem justifica sua troca por um novo aerolevanteamento.





Figura 20 - Áreas com maiores discrepâncias entre os dois levantamentos (Primeira linha); demais áreas de bordas (duas últimas linhas). Fonte: O autor.

Por fim, tem-se o produto resultante da integração de dados proposta, que serve como modelo a ser adotado continuamente em todas as demais áreas à medida que forem necessitando de atualização (Figura 21).



Figura 21 - Mapa final da metodologia de integração dos dados aerofotogramétricos. Fonte: O autor.

Outra questão de bastante importância é o efeito “colcha de retalhos”, ou seja, o limite de quanto tempo ou número de atualizações máximo feitas no mesmo levantamento original. É provável e compreensivo que com elevada carga de atualizações, com o tempo decorrido do mapeamento original e o tamanho das atualizações, as distorções e contrastes presentes sejam grandes e surja a necessidade de um novo levantamento aéreo levando em conta a área total.

Porém, essa questão se revelou um aspecto muito particular de cada aplicação, onde estima-se que o tempo necessário para um novo aerolevamento total vá depender do modo e velocidade de desenvolvimento individual de cada município, cada região e até mesmo de cada bairro, visto que as áreas em desenvolvimento consolidadas tendem a ter uma velocidade de mudança menor que as áreas em expansão. Sendo assim, é necessário o acompanhamento constante da paisagem urbana afim de melhor adequar os períodos de checagem, detecção das mudanças, sobrevida máxima e substituição total para um novo ciclo de atualizações.

6 CONCLUSÕES

Com as constantes modificações na paisagem, a sobrevida das bases cadastrais tem sido um dos grandes problemas na gestão municipal. Os dados de aerolevantamentos agravam essa situação visto que são produtos onerosos e estáticos no tempo com atualização limitada, seguindo na maioria das vezes ao desuso por defasagem

A metodologia aqui proposta mostrou uma rotina eficaz de manutenção constante em ajudar os gestores municipais a manter suas bases de dados cadastrais atualizadas, tendo assim um retorno direto no planejamento regional e dos vários âmbitos da sociedade.

A aplicação mostrou-se eficaz nos testes detectando diversas mudanças facilmente reconhecidas entre os anos estudados.

Em termos práticos, os resultados apontaram que este estudo satisfaz as exigências técnicas dos cadastros e não causa prejuízo para a precisão e utilização dos dados provenientes deste, como também são compatíveis com a precisão e escala dos dados originais.

Importante ressaltar que o presente estudo propôs uma alternativa de baixo custo para manutenção e sobrevida das bases aerofotogramétricas dos cadastros técnicos municipais, evitando que as administrações sejam forçadas a atualizar o cadastro inteiro por obsolescência precoce. Sendo assim, é sugerido que os produtos derivados dessa atualização, possíveis consequências positivas, bem como os tempos de checagem, atualização e sobrevida sejam investigadas no futuro, já que requerem um tempo maior de estudo e por isso não foram foco deste, tendo os abordados apenas de forma alusiva.

De todo modo, o estudo da padronização de atributos fotogramétricos comum, aplicável em diferentes áreas de estudos e contextos, devem tornar essas aplicações mais robustas e trazer boas consequências para a área da fotogrametria e CTM. Também é sugerido o estudo de máscara de nuvens, para caso onde haver presença das mesmas, a aplicação reconhecer de antemão e remover do resultado de mudanças, evitando confusões ao operador.

BIBLIOGRAFIA

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.166 - Normas para Rede de Referencia Cadastral Municipal**. Rio de Janeiro, 1998.

ALI, Z; TULADHAR, A; ZEVENBERGEN, J. An integrated approach for updating cadastral maps in Pakistan using satellite remote sensing data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 18, 386-398. 2012. doi:10.1016/j.jag.2012.03.008

ANTUNES, A. F. B. Elementos de Cadastro Territorial Multifinalitário. **Cadastro técnico rural e urbano**. Curso de Engenharia Cartográfica e Agrimensura. Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná. 2017.

ANTUNES, A. F. B; HOLLATZ, R. C. V. Cadastro Técnico Multifinalitário de baixo custo utilizando VANT (veículo aéreo não tripulado). In **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. João Pessoa, PB, 2015, p. 5858-5864.

BATTY, M.; HOWES, D. Predicting temporal patterns in urban development from remote imagery. In J. P. Donnay, M. J. Barnsley, & P. A. Longley (Eds.), **Remote sensing and urban analysis** (p. 185–204). Taylor and Francis. London, 2001.

BEPPLER, M; ANTUNES, A. F. B. Estudo da potencialidade do uso de imagem Quick Bird para atualização do cadastro urbano. In **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, RN, 2009, p. 593-599.

BRASIL - Ministério das Cidades. **Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros**. Portaria nº 511, de 07 de dezembro de 2009.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Art. 182 e 183. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em: 29 fev. 2019.

BRASIL. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE. **Decreto nº 6.666**, de 27 de novembro de 2008. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6666.htm>. Acesso em: 28 fev. 2019.

BRASIL. Cadastro Nacional de Imóveis Rurais - CNIR. **Lei nº 10.267**, de 28 de agosto de 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10267.htm>. Acesso em: 28 fev. 2019.

BRASIL. Regulamenta a Lei 10.267/2001. **Decreto nº 4.449**, de 30 de outubro de 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4449.htm>. Acesso em: 28 fev. 2019.

BRASIL. Normas Técnicas da Cartografia Nacional **Decreto nº 89.817**, de 20 de junho de 1984. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em: 28 fev. 2019.

BRASIL. Estatuto da Cidade. **Lei nº. 10.257**, de 10 de julho de 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 02 mar. 2019.

BRASIL. Estatuto da Terra. **Lei nº. 4.504**, de 30 de novembro de 1964. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4504compilada.htm>. Acesso em: 03 mar. 2019

BURGER, W; BURGE, M. J. **Digital Image Processing, Texts in Computer Science**. Springer-Verlag. Londres, UK. 2016. doi:10.1007/978-1-4471-6684-9_3

CESARE, C. M; CUNHA, E. M. P. **Questões Cadastrais: discussão, análise e identificação de soluções para problemas e casos práticos**. Brasília, Ministério das Cidades - Programa Nacional de Capacitação das Cidades. 2010. 100p

CHEN, G; HAY, G. J; CARVALHO, L. M. T; WULDER, M. A. **Object-based Change Detection**. International Journal of Remote Sensing, 33(14):4434–4457. 2012.

CLICHEVSKY, N. Regularizando la informalidad del suelo na América Latina y el Caribe. Una evaluación sobre la base de 13 países y 71 programas. **Publicación de las Naciones Unidas**. Santiago do Chile, 2006.

COPPIN, P. R., BAUER, M. E. Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. **Remote Sensing Reviews**, 13(3-4), 207–234. 1996.
doi:10.1080/02757259609532305

COSTA, S. M. F.; VIEIRA, J. Cadastro Urbano e sua Importância para os pequenos municípios da Amazônia: Uma proposta metodológica. In **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, PB, Brasil, 2015

EZIMAND, K; KAKROODI, A. A; KIAVARZ, M. The development of spectral indices for detecting built-up land areas and their relationship with land-surface temperature. **International Journal of Remote Sensing**. 1–22. 2018.
doi:10.1080/01431161.2018.1488282

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nation. In: **Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual**. By Antonio Di Gregorio and Louisa J.M. Jansen. Disponível em <
http://www.fao.org/3/x0596e/X0596e00.htm#P-1_0>. Acesso em: 01 mar. 2020.

FIG – INTERNATIONAL FEDERATION OF SURVEYORS. The FIG Statement on the Cadastre. **FIG Publication** n. 11, 1995. Disponível em
<<http://www.fig.net/pub/figpub/pub11/figpub11.htm#Introduction>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

GONZALES, R. C; WOOD, R. E. **Digital image processing**. Ed. Pearson. New York, NY. 2002. ISBN 9780133356724. 797p.

GREEN, K; KEMPKA, D; LACKEY, L. Using Remote Sensing to Detect and Monitor Land-Cover and Land-Use Change, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 60: 1994, 331-337.

- GUINDON, B., ZHANG, Y., & DILLABAUGH, C. Landsat urban mapping based on a combined spectral–spatial methodology. **Remote Sensing of Environment**, 92(2), 218–232. 2004. doi:10.1016/j.rse.2004.06.015
- HE, C.; SHI, P.; XIE, D.; ZHAO, Y. Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. **Remote Sensing Letters**. 1(4), 213–221. 2010. doi:10.1080/01431161.2010.481681
- HENITS, L; JÜRGENS, C; MUCSI, L. Seasonal multitemporal land-cover classification and change detection analysis of Bochum, Germany, using multitemporal Landsat TM data. **International Journal of Remote Sensing**. 1–16. 2016. doi:10.1080/01431161.2015.1125558
- HEROLD, M; SCEPAN, J; CLARKE, K. C. The Use of Remote Sensing and Landscape Metrics to Describe Structures and Changes in Urban Land Uses. **Environment and Planning A**. 34(8), 1443–1458. 2002. doi:10.1068/a3496
- HU, T; YANG, J; LI, X; GONG, P. Mapping Urban Land Use by Using Landsat Images and Open Social Data. **Remote Sensing**, 8(2), 151. 2016. doi:10.3390/rs8020151
- HUANG, X; ZHANG, T. Chapter 3 Morphological Building Index (MBI) and Its Applications to Urban Areas. in **Urban remote sensing**. Org. por Weng, Q. Quattrochi, D. A. Gamba, P. Second edition. Boca Raton, Florida. CRC Press, ISBN 9781138054608. 2018.
- HUSSAIN, M; CHEN, D; CHENG, A; WEI, H; STANLEY, D. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. 80, 91–106. 2013. doi:10.1016/j.isprsjprs.2013.03.006
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2017**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/rio-grande/pesquisa/15/11863>> Acesso em: 15 mar. 2019.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades - história & fotos**. 2018. Disponível em: <

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/rio-grande/panorama>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Analysis: A Remote Sensing Perspective**. Prentice Hall. 2015.

JENSEN, J. R.; COWEN, D. C. Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 65(5), 611– 622, 1999.

KADHIM, N; MOURSHED, M; BRAY, M. Advances in remote sensing applications for urban sustainability. **Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration**. 2016. doi:10.1007/s41207-016-0007-4

LANG, S.; BLASCHKE, T. Análise da paisagem com SIG. Oficina de Textos. São Paulo, 2009.

LARSSON, G. **Land registration and cadastral systems: tools for land information and management**. England: Longman Group UK Limited, 1996. 175p

LEITE, M. E; RODRIGUES, H. L. A; BORGES, M. G. Atualização do Cadastro Imobiliário por Sensoriamento Remoto e os Impactos Fiscais. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**. V4, n13, 2018, p. 07-25.

LU, D; TIAN, H; ZHOU, G; GE, H. Regional mapping of human settlements in southeastern China with multisensor remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**. 112 (9): 3668–3679. 2008. doi:10.1016/j.rse.2008.05.009

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. In: What is the difference between land cover and land use? Disponível em:

<<https://oceanservice.noaa.gov/facts/lclu.html>> Acesso em: 24 jun. 2020.

MENDES, A. P. S. F; ZANOTTA, D. C. Diagnóstico de uso e situação de cadastros técnicos multifinalitários em municípios brasileiros. In: **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos. Anais eletrônicos... São José dos Campos, INPE, 2019.

PEGORARO, A. J. **Estudo do potencial de um veículo aéreo não tripulado/quadróptero, como plataforma na obtenção de dados cadastrais.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p 217, 2013.

PESARESI, M.; BENEDIKTSSON, J.A. A new approach for the morphological segmentation of high-resolution satellite imagery. **IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing.** 39, 309–320, 2001.

PIMENTEL, J. S. **Estruturação das bases para um cadastro territorial multifinalitário em município de pequeno porte.** Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p117, 2011.

PMRG. Prefeitura Municipal de Rio Grande. Mapa do Plano diretor - Cidade. Disponível em: <http://www.riogrande.rs.gov.br/consulta/arquivos/secretaria_servico/plano_diretor/Mapas_do_Plano_Diretor/MAPA-02_PERIMETRO_URBANO_CIDADE.pdf> Acesso em: 23 out. 2019.

ROSENFELDT, Y. A. Z. **Regularização Fundiária e o Cadastro Técnico Multifinalitário.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2012. 158p

SANTOS, T; PELEGRINA, M; JULIÃO, R. P. Atualização cadastral dirigida, utilizando imagens de satélite de alta resolução espacial. **Revista Brasileira de Cartografia.** N0 67/2, 2015. 435-444

SOILLE, P.; PESARESI, M. Advances in mathematical morphology applied to geoscience and remote sensing. **IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing.** 2002, 40, 2042–2055.

SOUZA, G. G. B; AMORIM, A. Atualização de cadastro urbano a partir de imagens Quick Bird. **Revista Brasileira de Cartografia.** N0 65/2, 2012. 361-374

SOUZA, G. G. B; AMORIM, A. Utilização de imagens de satélite na atualização cadastral. In **Anais...** Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Presidente Prudente, SP, 2007, ISSN 1981-6251, p. 619-625

TEO, T.A; SHIH, T.Y. Lidar-based change detection and change-type determination in urban areas. **International Journal of Remote Sensing**, 34(3), 968–981. (2013).
doi:10.1080/01431161.2012.714504

TSOELING, L.T.; ODINDI, J.; MHANGARA, P. A Comparison of Two Morphological Techniques in the Classification of Urban Land Cover. **Remote Sensing**. 2020, 12, 1089.

USGS. Landsat Collection. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-collection-1?>> Acesso em: 19 set. 2019.

VENUGOPALA RAO, K; RAMESH, B; BHAVANI S.V.L; KAMINI, J. Urban and Regional Planning. In **Remote Sensing Applications**. Org.: ROY, P. S; DWIVEDI, R.S; VIJAYAN, D. National Remote Sensing Centre, Hyderabad, India. ISBN 978-81-909460-0-1. 2010. p409

XIAO, Z; LIANG, S; WANG, J; XIANG, Y; ZHAO, X; SONG, J. Long-Time-Series Global Land Surface Satellite Leaf Area Index Product Derived from MODIS and AVHRR Surface Reflectance. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. 54(9), 5301–5318. 2016. doi:10.1109/tgrs.2016.2560522

XU, H. Extraction of Urban Built-up Land Features from Landsat Imagery Using a Thematic oriented Index Combination Technique. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. Vol. 73, No. 12, p. 1381–1391. 2007.

WANG, Q.; CHEN, J.; TIAN, Y. Remote sensing image interpretation study serving urban planning based on GIS. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Vol. XXXVII. Part B\$. Beijing, 2008.

WENG, Q. **Techniques and Methods in Urban Remote Sensing**. IEEE Press. ISBN 9781118217733. Piscataway - NJ. 2020. 375p

WENG, Q; LU, D. Landscape as a continuum: an examination of the urban landscape structures and dynamics of Indianapolis city, 1991–2000. **International Journal of Remote Sensing**. 30 (10): 2547–2577. 2009.

WILLIAMSON, I. The evolution of modern cadastres. In Conference on new technology in a new century. **FIG Working Week**, Seoul, Korea, 2001

ZHANG, Y; ODEH, I. O. A; HAN, C. Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. 11 (4):256–264. 2009. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2009.03.001>.

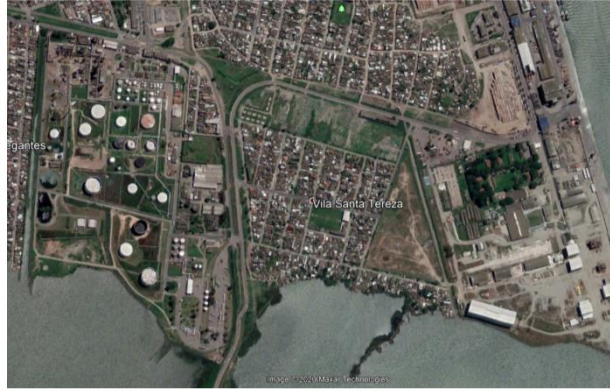

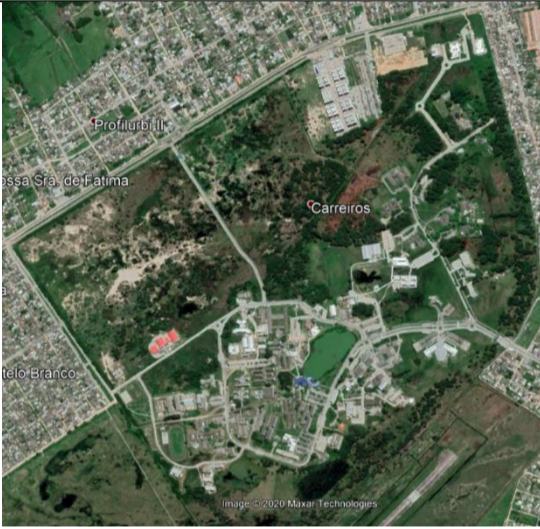

ZHA, Y.; GAO, J; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**. 24(3), 583-594. 2003. doi:10.1080/01431160304987

ZINGMAN, K.I.; SAUPE, D.; LAMBER, S. Morphological operators for segmentation of high contrast textured regions in remotely sensed imagery. In **Proceedings** of the 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Munich, Germany, 22–27 July 2012.

APÊNDICE A

As páginas 65 a 70 estão temporariamente embargadas pelo autor.

APÊNDICE B

	Região do novo terminal rodoviário	Campus FURG Carreiros	Vila Santa Tereza
Novembro de 2017			
Novembro de 2019			
	Região Industrial	Ponta da região industrial	Acesso FURG pela av. Itália
Novembro de 2017			
Novembro de 2019			