



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA

RICARDO SILVA DE SOUZA

**MÉTODO DE DETECTAR E VALIDAR BORDAS DE CORPOS HÍDRICOS
UTILIZANDO IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO E PONTOS DE CONTROLE
POR GPS**

Recife

2018

RICARDO SILVA DE SOUZA

**MÉTODO DE DETECTAR E VALIDAR BORDAS DE CORPOS HÍDRICOS
UTILIZANDO IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO E PONTOS DE CONTROLE
POR GPS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Dr. Prof. João Rodrigues Tavares Junior

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

S729m Souza, Ricardo Silva de.
Método de detectar e validar bordas de corpos hídricos utilizando imagens de alta resolução e pontos de controle por GPS / Ricardo Silva de Souza - 2018.
42 folhas, il., tabs. e sigl.

Orientador: Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Graduação em Engenharia Cartográfica, 2018.
Inclui Referências.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Borda. 3. Sobel. 4. Roberts. 5. RTK. I. Tavares Junior, João Rodrigues (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-447

RICARDO SILVA DE SOUZA

**MÉTODO DE DETECTAR E VALIDAR BORDAS DE CORPOS HÍDRICOS
UTILIZANDO IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO E PONTOS DE CONTROLE
POR GPS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Dr. João Rodrigues Tavares Junior (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho ao meu Pai (in memorian), minha mãe pelo apoio que sempre dispensou para comigo, às minhas irmãs, sobrinhos e minha esposa por ter ficado sempre só eu lado e me dando incentivo para ir até o fim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e a graça concedida em poder concluir este curso nessa instituição de ensino conceituada a nível internacional. Agradeço ao meu pai (in memoriam) e minha mãe pelo apoio e incentivo ao longo de todos esses anos de trajetória na UFPE, as minhas irmãs e sobrinhos pelo carinho e paciência para comigo. Agradeço à minha esposa, por pelo carinho, respeito e apoio dado nas horas de dificuldades na trajetória percorrida até aqui, receba meu muito obrigado, te amo.

Ao Departamento de Engenharia Cartográfica na pessoa de Sua Coordenadora, Prof^o Dr^a. Simone Sayuri Sato, bem como a todos os professores que contribuíram na minha formação. Agradeço em particular a todos os professores que me deram a mão quando em momentos de dificuldades, a saber: Prof^a Dr^a. Ana Lúcia Bezerra Candeias, Prof^a. Dr^a. Andrea Flávia Tenório Carneiro, Prof^a. Dr^a. Andrea de Seixas, Prof. Dr^o. Carlos Alberto Borba Schuler, Prof^a. Dr. Francisco Jaime Bezerra Mendonça, Prof. Ph.D. João Rodrigues Tavares Júnior, Prof. Dr. José Luiz Portugal, Prof^a. Dr^a. Lucilene Antunes Correia Marques de Sá, Prof^a. Dr^a. Simone Sayuri Sato, Prof^a. Dr^a. Maria de Lourdes de Aquino Macedo Gonçalves, Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves e Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés, Prof. Dr. Cezário de Oliveira Lima Júnior e Prof

Agradeço principalmente, com toda força do meu coração ao meu orientador, Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior por toda a paciência para comigo, por sua valiosíssima e habitual atenção, obrigado por cada conselho, por cada dica, por todas as correções que foram feitas, e por toda a exigência aplicada durante as atividades desse trabalho, e acima de tudo pelo ombro amigo que sempre me ofereceu. Muito obrigado meu amigo, sou-lhe grato por tudo.

Agradeço também, à banca examinadora na pessoa da Prof^a. Dr. Ana Lúcia Bezerra Candeias pela atenção, carinho e respeito. Obrigado pelo apoio e incentivo para que eu chegasse até aqui. Obrigado, por fazer parte da minha história aqui na UFPE. Não poderia deixar de agradecer ao meu amigo e parceiro doutorando, MSc. Leonardo Barbosa pela ajuda na ida ao campo para executar o RTK.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para que este trabalho fosse realizado.

RESUMO

A utilização de imagens de satélites vem a cada dia se tornando unânime nos processos de validação de dados nas áreas das Geociências, mas, mesmo com todo o avanço tecnológico, e com todas as melhorias nas engenharias, na física, no avanço nos hardware e software, a análise de dados para detecção de bordas de corpos hídricos, sejam de grandes dimensões, ou pequenos reservatórios, ainda é um problema complexo de se resolver. O presente trabalho apresenta uma análise espacial sobre a detecção de bordas onde foi utilizada imagem georreferenciada em UTM-WGS84, obtida do Google Earth do Lago do Cavouco (nascente do Riacho do Cavouco), um afluente da margem direita do Rio Capibaribe, situado dentro da área do Campus Joaquim Amazonas da UFPE. Inicialmente foi realizado um trabalho de levantamento de campo com um GPS e usado o método RTK, e depois de processados os dados poder-se mapear a borda de Granito do Lago. Na fase de processamento das imagens foram aplicados os filtros de Roberts e de Sobel e, por serem filtros do tipo passa-alta, as bordas ficaram evidenciadas. Por fim, foi feita a análise espacial métrica e estatística para determinar as discrepâncias entre as bordas criadas por filtragem, e alguns pontos da borda por vetorização automática a partir dos dados do RTK. Os resultados demonstraram que as diferenças espaciais e estatísticas entre os pontos RTK e os pontos homólogos das bordas dos filtros foram muito pequenas.

Palavras-chave: Borda. Sobel. Roberts. RTK.

ABSTRACT

The use of satellite imagery comes every day becoming unanimous in the processes of data validation in the Geosciences areas, but even with all technological advancement, and with all improvements in engineering, physics, advancement in hardware and software, the analysis of data for the detection of borders of water bodies, whether large or small reservoirs, is still a complex problem to solve. The present work presents a spatial analysis on edge detection using a UTM-WGS84 georeferenced image obtained from Google Earth from Cavouco Lake, a tributary of the right bank of the Capibaribe River, located within the area of the UFPE Joaquim Amazonas Campus. Initially a field survey was carried out with a GPS and the RTK method was used, and after the data was processed the map of the Lake Granite border could be mapped. In the image processing phase, the Roberts and Sobel filters were applied and, because they were high pass type filters, the edges were evident. Finally, we performed the metric and statistical spatial analysis to determine the discrepancies between the edges created by filtering, and some edge points by automatic vectorization from the RTK data. The results showed that the spatial and statistical differences between the RTK points and the homologous points of the filter edges were very small.

Keywords: Edge. Sobel. Roberts. RTK.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Modelos de bordas.....	16
Figura 2 –	Conceito de DGPS.....	18
Figura 3 –	Localização da Área de Estudo	22
Figura 4 –	Situação atual da área de estudo em 26/11/2018	23
Figura 5 –	Fluxograma das Etapas Utilizadas.....	25
Figura 6 –	Fluxograma da Metodologia.....	26
Figura 7 –	Imagem Original (a), Imagem em escala de cinza (b)	26
Figura 8 –	Análise Espectral dos Alvos nas bandas RBG.....	29
Figura 9 –	Bordas geradas pelo filtro de Roberts.....	30
Figura 10 –	Bordas geradas pelo filtro de Sobel.....	31
Figura 11 –	Detalhes dos pontos amostrais para análise.....	32
Figura 12 –	Imagem mostrando os pontos para análise por RTK.....	32
Figura 13 –	Detalhes dos pontos amostrais para análise.....	33
Figura 14 –	Imagens dos Trabalhos de Campo.....	34
Figura 15 –	Falha na borda por RTK devido à cobertura vegetal.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Análise Espectral níveis de cinza da água.....	27
Tabela 2 –	Análise Espectral níveis de cinza de construção.....	27
Tabela 3 –	Análise Espectral níveis de cinza de solo exposto.....	28
Tabela 4 –	Análise Espectral níveis de cinza de plantações.....	28
Tabela 5 –	Valores médios dos alvos das Tabelas 1, 2, 3 e 4.....	28
Tabela 6 –	Dados dos marcos geodésicos – UFPE / Recife.....	30
Tabela 7 –	Precisão do GPS e precisão do Levantamento do RTK.....	30
Tabela 8 –	Coordenadas dos Pontos pelo RTK.....	36
Tabela 9 –	Coordenadas dos Pontos pelo Filtro de Roberts.....	36
Tabela 10 –	Discrepâncias entre os filtros de Sobel e Sobel.....	37
Tabela 11 –	Distâncias Euclidianas e Desvio Padrão.....	37
Tabela 12 –	Discrepâncias entre as distâncias Euclidianas e Desvio Padrão.	37
Tabela 13 –	Discrepâncias entre os dois filtros.....	37
Tabela 14 –	Discrepâncias entre os ΔE e ΔN	38

LISTA DE SIGLAS

CTG	CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DGPS	DIFFERENTIAL GLOBAL POSITIONING SYSTEM
DoD	AMERICAN DEPARTMENT OF DEFENSE
GPS	GLOBAL POSITIONING SYSTEM
FOV	INSTANTANEOUS FIELD OF VIEW
INPE	INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA
IONEX	IONOSPHERE EXCHANGE FORMAT
LAGEO	LABORATÓRIO DE GEODÉSIA
LAMBDA	LEAST- SQUARES AMBIGÜITY DECORRELATION ADJUSTMENT
LASENSO	LABORATÓRIO DE SENSORIAMENTO REMOTO
OTF	ON THE FLY
PAN	BANDA PANCROMÁTICA
RTK	REAL TIME KINEMATIC
RTPPP	REAL TIME PRECISE POINT POSITIONING
SA	SELECTIVE AVAILABILITY
SIRGAS	SISTEMA INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA PARAS AS AMÉRICAS
UFPE	UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
UTM	UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
WGS84	WORLD GEODETIC SYSTEM

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO GERAL.....	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.3	JUSTIFICATIVA.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	DETECÇÃO DE BORDAS	15
2.2	FILTROS DE ROBERTS E SOBEL	16
2.3	COMPORTAMENTO ESPECTRAL	17
2.4	POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO (RTK).....	17
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1	MATERIAIS.....	24
4.2	RECURSOS TECNOLÓGICOS E HARDWARE.....	24
4.3	FLUXOGRAMA.....	25
5	METODOLOGIA	26
5.1	ESCOLHA E AQUISIÇÃO DAS IMAGENS.....	26
5.2	APLICAÇÃO DOS FILTROS.....	26
5.3	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL.....	27
5.4	PRECISÃO DO RTK.....	29
5.5	CÁLCULO DAS DISTÂNCIAS EUCLIDIANA E FILTRAGEM.....	31
6	PROBLEMAS ENFRENTADOS	34
7	RESULTADOS OBTIDOS	35
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

O uso de imagens orbitais de alta resolução espacial para o mapeamento da borda de lagos naturais e reservatórios de hidrelétricas, requer estudos sobre as limitações das imagens em gerar mapas precisos das bordas, e das especificações de cada sistema sensor. Considerando o mapeamento de borda com diferentes sensores e diferentes escalas, a qualidade dos mapeamentos de bordas depende da consideração de vários fatores, entre os quais, as diferentes resoluções espaciais, espectrais e radiométrica de sensores orbitais, além da geometria de aquisição dos sensores.

O problema central de detecção de distintas bordas é separar a região de transição entre água e solo ou borda construída, considerando que a água tem comportamentos espectrais que mudam conforme vários parâmetros, a exemplo da variação do nível da água, dos sólidos em suspensão, plantas aquáticas, profundidades, transparências. A borda construída pode ser de tijolos ou concreto, podendo ser sinalizada com pintura. O solo junto da borda de alvenaria pode ser arenoso, argiloso, e conter minerais escuros e claros, que mudam sua cor e comportamento espectral.

Diversos métodos sobre a detecção de bordas de corpos hídricos têm sido desenvolvidos e testados como observado em GUILLOU, (2016), apresentou uma análise de bordas de reservatório utilizando múltiplos sensores: estudo de caso: reservatório de Itaparica-PE, tema também discutido em SANTOS (2012), foi feita uma análise de múltiplas imagens de detecção de bordas do Reservatório de Sobradinho, Bahia. Segundo MAIA e PORFÍRIO (2002) o tema foi disposto numa abordagem computacional para o algoritmo de Canny.

Para a Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, é de grande importância desenvolver e testar um método de quantitativamente avaliar a qualidade do mapeamento de borda e suas limitações, usando imagens orbitais de alta resolução espacial, e pontos de controle obtidos por GPS de alta precisão, servindo tais pontos como a referência espacial para as bordas mapeadas com as imagens orbitais.

Este trabalho reuni diversos temas do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, como Geodésia (pelo fato do uso do GPS através do método de RTK para comparação das bordas com os filtros), ajustamento geodésico (porque os

dados do levantamento por RTK precisou ser ajustado, onde levou-se em consideração os parâmetros da antena do GPS, máscara de elevação do satélite além do método de ajustamento propriamente dito), Cartografia Temática, porque o resultado final desse trabalho pode auxiliar em temas como análise de linha de costa, delimitação de barragem, uso do solo, controle de desmatamento entre outros. A análise espacial, espectral, e temporal da imagem são tópicos de Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagem que foram aplicados nesse trabalho, além dos dados estatísticos que são importantes para uma avaliação melhor fundamentada.

O presente trabalho de graduação mostrou que o processo de geração e validação da borda, por meio da reambulação, feito antes da coleta dos dados brutos por RTK é uma ferramenta excelente, e que deve ser levada em consideração para a obtenção de um resultado mais preciso possível, visto que as bordas geradas por meio automático foram satisfatórias, no que tange à sua acurácia espacial, isso levando em conta que o instrumento GPS – Topcon Hiper V do LAGEO, Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, nos dá uma precisão para RTK de 5mm + 0.5ppm na horizontal e 10mm + 0.8ppm na vertical. Com base nessas informações o erro obtido no final desse trabalho foi de 02mm + 0,5ppm na horizontal e 04mm + 0,8ppm na vertical.

Para este trabalho de graduação foi escolhida uma depressão da superfície física terrestre, preenchida por água em determinadas épocas, localizado dentro do Campus Joaquim Amazonas da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco. O objeto de estudo é a linha de blocos de granito do Lago do Cavouco que define o limite da água, em imagens quando o lago está cheio. O Lago Cavouco está localizado entre o Departamento de Engenharia Química e o Colégio de Aplicação da UFPE. As bandas da imagem orbital do Google Earth se referem a época em que o Lago Cavouco estava parcialmente cheio, onde a borda construída continha os limites do lago. O Lago Cavouco atualmente está seco (junho de 2018), onde foram obtidas as coordenadas UTM-WGS84 da borda de granito, usando equipamento GPS Topcon Hiper V do LAGEO.

O recorte da imagem utilizada neste trabalho está georreferenciada no Sistema Geodésico de Referência WGS84 (*World Geodetic System 1984*, elipsoide GRS80) e no sistema de projeção UTM (Universo Transverso de Mercator) em

metros, e escala nominal de 1:1100. Os softwares utilizados foram o SPRING 5.3.4 e o QGIS 2.14.18, que atenderam as necessidades de PDI e SR deste trabalho. Foram usados recorte de imagem do Google Earth, resolução espacial de 20cm. A escolha das bandas RGB da imagem do Google Earth, se deve a necessidade de avaliar a qualidade do mapeamento de borda usando os filtros, em relação aos pontos de controle obtidos pelo GPS através do método RTK.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a borda de granito do Lago Cavouco no Campus Joaquim Amazonas, obtida com pontos RTK, e as bordas obtidas com filtros Sobel e Roberts

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Analisar as diferenças em metros entre alguns pontos da borda de granito nas bandas RGB do Google Earth do Lago Cavouco e a borda obtida com o método RTK.
- ✓ Comparar as diferenças estatísticas entre alguns pontos da borda construída de granito do Lago Cavouco da imagem do Google Earth do Lago Cavouco em relação a borda de referência gerada pelo método RTK, e os pontos homólogos dos filtros Sobel e Roberts.

1.3 JUSTIFICATIVA

O Mapeamento de bordas de lagos e reservatórios artificiais é um procedimento importantíssimo para a Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, e sua aplicação pode ser diversa, a saber, na delimitação das linhas de costa, no controle de desmatamento, no monitoramento de áreas de risco, na gestão de imóveis rurais e urbano bem como no gerenciamento cadastral, observando as alterações que ocorrem ao longo de um determinado tempo. Alinhado aos métodos de detecção de bordas por imagens de satélites de alta precisão, o método de RTK trouxe maior robustez qualitativa e quantitativa aos resultados apresentados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os itens a seguir detalham a fundamentação teórica usada e os processos técnicos-metodológicos para a obtenção do resultado final.

2.1 DETECÇÃO DE BORDAS

Segundo Guillou, (2016) um problema não trivial de solução que envolvem Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens é o de detecção de bordas, visto que envolvem não apenas a questão visual das feições, mas também sua composição físico-química. Diversas nuances devem ser analisadas cuidadosamente, por exemplo: se a água é limpa ou poluída; o tipo de vegetação, se arbórea, rasteira ou arbustiva; o tipo de relevo, se plano ou acidentado, entre tantas outras variações o meio físico que devem ser levadas em conta antes de um tipo de análise. Outros fatores são as nuvens (espalhamento atmosférico, oclusão e sombreamento da superfície por nuvens), sombra da vegetação, reflexo da água, enfim, são elementos de suma importância no estudo de detecção de bordas.

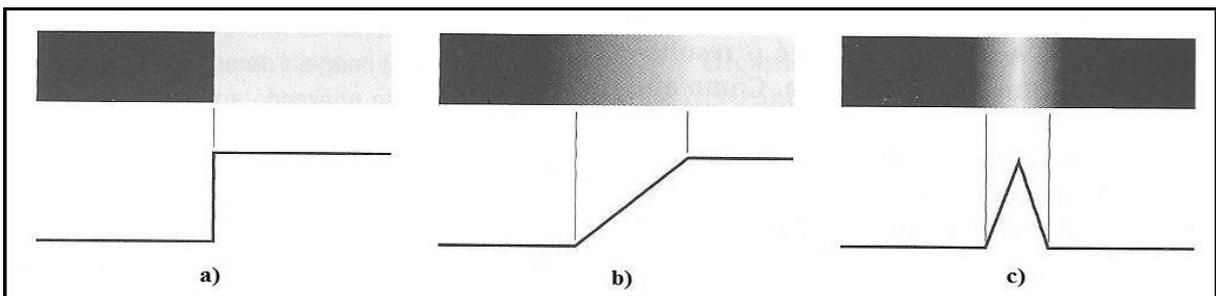
Segundo Ziou e Tabbone (1998), a detecção de bordas tem como principal objetivo fornecer informações sobre a descontinuidade das propriedades espectrais, espaciais e radiométricas do objeto da imagem. Essas propriedades estão associadas a características físicas, químicas e geométricas dos alvos, além da atmosfera. Essas informações são detectadas pelas descontinuidades dos níveis de cinza da imagem, que dependem intrinsecamente da resolução radiométrica das imagens (número de bits), além da resolução espectral e espacial da imagem do sistema sensor.

Gonzalez e Woods (2010) classificam os modelos de bordas de acordo com seus perfis de intensidade, podendo ser do tipo degrau, rampa ou em forma de telhado (Figura 1). Na Figura 1-a o degrau envolve uma transição entre dois níveis de intensidade que ocorrem com distância de um pixel, sendo de longe o mais comum tipo de borda encontrado. Esse tipo de borda da Figura 1-a resulta quando um alvo se sobrepõe a outro ou quando há uma sombra na superfície, e ocorre geralmente entre duas regiões homogêneas, mas com diferentes níveis de cinza. Na Figura 1-b um perfil de rampa é modelado a partir de bordas que são desfocadas e ruidosas, onde o grau de indefinição está determinado pelas limitações no mecanismo de focalização e o nível de ruído pelos componentes eletrônicos do

sistema de imagens. Neste caso quanto maior a inclinação da rampa, menor será o grau de indefinição da borda. Na Figura 1-c o modelo em forma de telhado são linhas através de uma região, com a largura da borda determinada pela espessura e nitidez da linha. Quando, por exemplo, a largura é de um pixel, este tipo de borda será uma linha com um pixel de espessura que atravessa a imagem. As bordas em forma de telhado aparecem rotineiramente em características finas das imagens de satélite, como rodovias e rios.

Uma ressalva feita no presente trabalho é que e que a água está perto da borda de blocos de granito, detalhe observado quando o lago está cheio, e como serão utilizadas recortes de imagem do Google Earth, então temos a situação de que tanto a água quanto a borda de granito (que pode estar pintada de branco), influencia espectralmente e espacialmente o mapeamento da borda).

Figura 1 - Modelos de bordas. a) Degrau; b) Rampa; c) Em forma de telhado



Fonte: Gonzalez e Woods (2010).

2.2 FILTROS DE ROBERTS E SOBEL

No processo de detecção de bordas são utilizados filtros passa-alta com máscaras de 2x2 ou 3x3, na literatura encontramos, em linhas gerais as máscaras 3x3 como sendo: primeira linha contendo Z_1 , Z_2 e Z_3 , na segunda linha Z_4 , Z_5 e Z_6 , na terceira linha Z_7 , Z_8 e Z_9 .

$$\begin{bmatrix} Z_1 & Z_2 & Z_3 \\ Z_4 & Z_5 & Z_6 \\ Z_7 & Z_8 & Z_9 \end{bmatrix}$$

Segundo (DIAS et al., 2011; GONZALEZ e WOODS, 2000) o filtro de Roberts é o mais simples algoritmo de detecção de bordas. Utiliza um par de matrizes 2x2 deslocados de um ângulo de 90° para encontrar as mudanças nas direções x e y.

estas máscaras são desenhadas para ter resposta máxima com bordas orientadas em 45°.

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} G_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (Z_9 - Z_5) \quad (1.1)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} G_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (Z_8 - Z_6) \quad (1.2)$$

O filtro de Sobel utiliza duas máscaras deslocadas 90° para encontrar os gradientes e horizontal das bordas. O operador Sobel é muito menos sensível ao ruído devido às máscaras serem de 3X3 ao invés de 2X2 (GONZALEZ e WOODS, 2000).

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} G_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3) \quad (2.1)$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} G_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (Z_3 + 2Z_6 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_4 + Z_7) \quad (2.2)$$

2.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL

Em Sensoriamento Remoto faz-se necessário o conhecimento do comportamento espectral dos alvos porque, para fazer a extração de das informações a partir de imagens digitais, é fundamental conhecer quais os fatores que interferem neste comportamento.

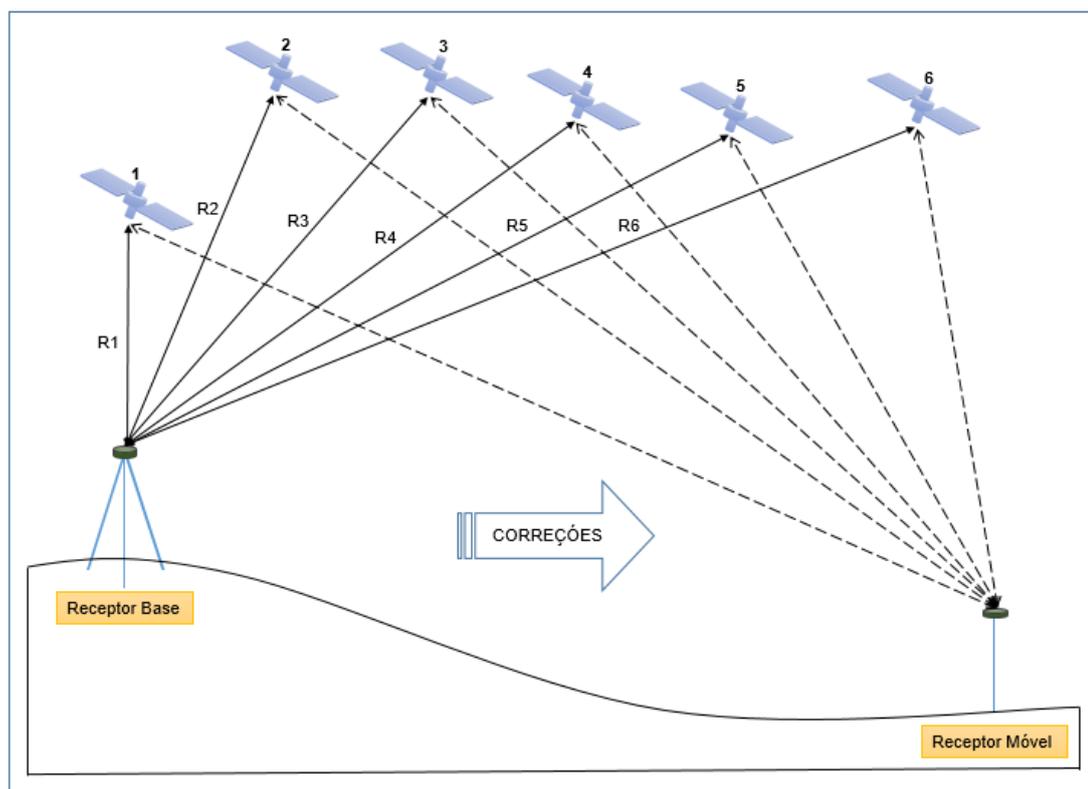
O comportamento espectral é basicamente a correlação entre o grau de reflectância em que determinado alvo assume e a faixa do espectro eletromagnético em que se encontra. Portanto, se a reflectância de um objeto pudesse ser medida em faixas espectrais adjacentes e estreitas ao longo da região reflexiva do espectro, torna-se possível construir um gráfico chamado assinatura espectral (NOVO, 2010).

2.4 POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO (RTK)

O DGPS foi desenvolvido para contornar a degradação da acurácia do posicionamento absoluto (Posicionamento por Ponto Simples) por causa da ativação do código ou técnica de segurança de degradação *Selective Availability* (SA) (em 25

de março de 1990) imposto pelo *Department of Defense* (DoD) dos Estados Unidos da América. É baseado no uso de dois receptores, um base e outro móvel, o receptor base é instalado numa estação (ponto) de coordenadas conhecidas e calcula-se correções das pseudodistâncias com base no conhecimento da distância geométrica (ρ_r^s) entre o receptor e os satélites num instante (t). Estas diferenças passam a ser chamadas de correções diferenciais, e elas são enviadas por telemetria por meio um sistema de comunicação para a estação móvel (Figura 2) que as aplica, melhorando consideravelmente (até 97%) a precisão do posicionamento em tempo real (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER E COLLINS, 1994).

Figura 2 - Conceito de DGPS



Fonte: O autor, 2018

Um caminho para a realização do posicionamento DGPS seria calcular as correções das pseudodistâncias ($V_{PR}^{S_i}$) do receptor base (R) medidas a cada um dos satélites (S_i), obtidas em uma época (t), (Equação 3), aplicar às correções da base as correspondentes pseudodistâncias observadas no receptor móvel e obter a

posição por um ajustamento pelo método dos mínimos quadrados, a fim de obter as coordenadas da antena rover e o erro do relógio do receptor.

$$V_{PR}^{S_i}(t) = \rho_R^{S_i}(t) - PR_R^{S_i}(t) \quad (3)$$

Quando as correções são da fase da onda portadora, o posicionamento passa a ser denominado de *Real Time Kinematic* (RTK). Este tipo de posicionamento vem sendo muito empregado por permitir determinar a posição do receptor rover (antena), em tempo real e de forma acurada, sendo um dos mais avançados no posicionamento do Sistema global de Navegação por Satélite (MONICO, 2008).

O RTK se baseia no posicionamento relativo, com erro de poucos centímetros. Utiliza as correções da fase da portadora recebidas do receptor base (colocado numa estação de coordenadas conhecidas), via link de rádio em frequências normalmente UHF, em algoritmos de resolução de ambiguidades em tempo real (*On The Fly – OTF*) no ajustamento sequencial (ou recursivo) das observáveis. Em geral, procede-se a combinação linear da dupla diferença de fase, podendo, dependendo da estratégia de implementação computacional, se utilizar de recursos de combinações lineares entre as portadoras. No posicionamento usando o RTK, com exceção dos desenvolvedores de algoritmos e softwares, os usuários ficam limitados a solução adotada pelos fabricantes dos receptores, os quais inserem suas soluções nos chips das coletoras ou de certos modelos de receptores, permitindo a verificação em tempo real se as ambiguidades foram resolvidas ou não (GARNÉS, 2001; SEEBER, 2003; COSTA et al., 2009).

Em relação a resolução de ambiguidades GPS duas estratégias são as mais utilizadas; uma com realização de busca no espaço das coordenadas usando a função de ambiguidade, Equação (4) (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER e COLLINS, 1994); (GARNÉS, 2001) e outra, com busca no espaço das ambiguidades, Equação (5), (TEUNISSEN, et al., 1995); (GARNÉS, 2001).

$$f_{amb} = \sqrt{\left[\sum_{j=1}^n \cos\left(\varphi_{AB}^j - \frac{2\pi}{\lambda} \rho_{AB}^j\right) \right]^2 + \left[\sum_{j=1}^n \text{sen}\left(\varphi_{AB}^j - \frac{2\pi}{\lambda} \rho_{AB}^j\right) \right]^2} \quad (4)$$

Onde: f_{amb} - função de ambiguidade a ser maximizada;

φ_{AB}^j - Simples diferença de fase em ciclos;

ρ_{AB}^j - Simples diferença de distâncias entre os receptores A e B e satélite j.

$$\min_{a \in \mathbb{Z}^l} \Omega(a) = (a - \hat{x}_2)^T Q_{\hat{x}_2}^{-1} (a - \hat{x}_2) \quad (5)$$

Onde

$\Omega(a)$: função quadrática das ambiguidades a ser minimizada;

\hat{x}_2 : vetor das ambiguidades reais;

a: vetor das ambiguidades inteiras;

$Q_{\hat{x}_2}$: matriz cofatora das ambiguidades reais estimadas por Mínimos Quadrados.

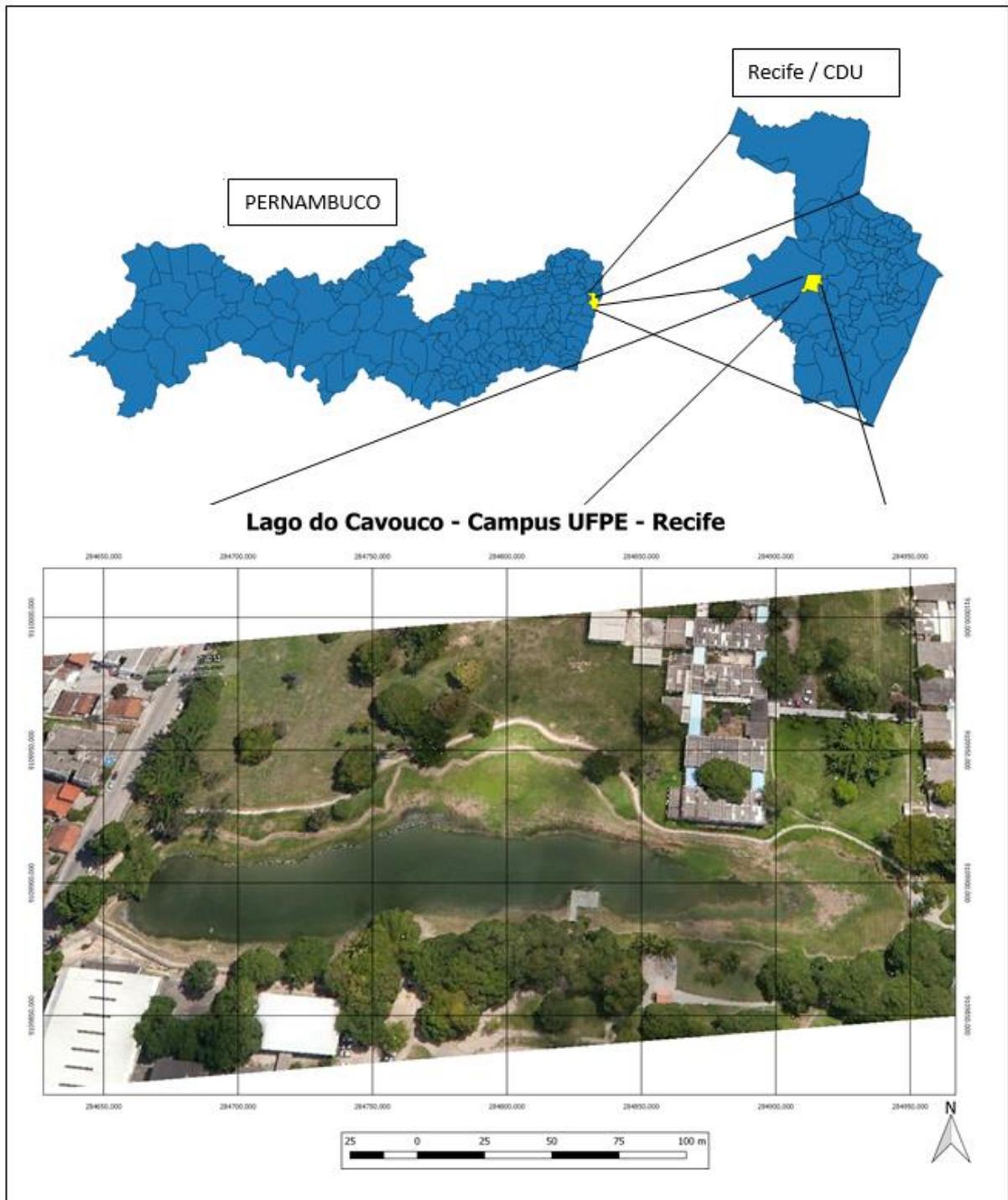
Um dos métodos mais populares para resolução da ambiguidade foi proposto por Teunissen (1993) e denominado de *Least-Squares Ambiguity Decorrelation Adjustment* (LAMBDA). A resolução das ambiguidades GPS é a essência para o posicionamento preciso RTK, tendo como fator decisivo para seu sucesso a mudança da geometria dos satélites e a eliminação de erros sistemáticos nas observáveis. O RTK iniciado com aplicações usando apenas um receptor base e um móvel, foi expandido para uso em rede, aproveitando com isso, a vantagem da eliminação de alguns erros sistemáticos principalmente os provenientes das refrações troposféricas, ionosféricas e erros do estado dos relógios dos satélites em relação ao tempo GPS.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As imagens a seguir ilustram a atual situação do Lago do Cavouco (nascente do Riacho do Cavouco), um afluente da margem direita do Rio Capibaribe, situado dentro da área do Campus Joaquim Amazonas da UFPE. A escolha desta área foi feita levando em conta o fato de o lago ter bom acesso.

A Figura 3 ilustra a localização da área de estudo, e a Figura 4, fotografias terrestres da área de estudo no dia do levantamento por RTK.

Figura 3 - Localização da Área de Estudo. Data da imagem: 24/07/2013, obtida na ferramenta do Google Earth “Imagens históricas”.



Fonte: O autor, 2018

Figura 4 - Situação atual da área de estudo em 26/11/2018



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: O autor, 2018

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos adotados serão abordados nos itens a seguir a seguir

4.1 MATERIAIS

A seguir são listados os materiais utilizados neste trabalho:

- ✓ Recorte de imagem Google Earth com Pixel de 20 cm
- ✓ Shapefile do Estado de Pernambuco e sua divisão político administrativa
- ✓ Shapefile do Município de Recife e sua divisão político administrativa

4.2 RECURSOS TECNOLÓGICOS E HARDWARE

O desenvolvimento deste trabalho foi feito no LASENSO-CTG-UFPE, (Laboratório de Sensoriamento Remoto do Departamento de Engenharia Cartográfica no Centro de Tecnologias e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco), e para elaboração deste trabalho, os recursos tecnológicos empregados foram:

- ✓ Software SPRING 5.3 para todos os processamentos de imagens realizados;
- ✓ Microsoft Office Home and Student 2016 para geração de gráficos e tabelas bem como toda a produção textual;
- ✓ Softwares QGIS para Georreferenciamento das imagens;
- ✓ Software Topcon Tools e Topcon Link para o pós-processamento dos dados brutos do GPS;
- ✓ GPS Topcon Hiper V para aquisição dos dados brutos;
- ✓ Hardware: PC com sistema operacional Windows 8 de 64 bits;
- ✓ Processador Intel(R) Corel (TM) i7-4790 CPU @ 3.60GHze memória RAM de 8 GB.

4.3 FLUXOGRAMA

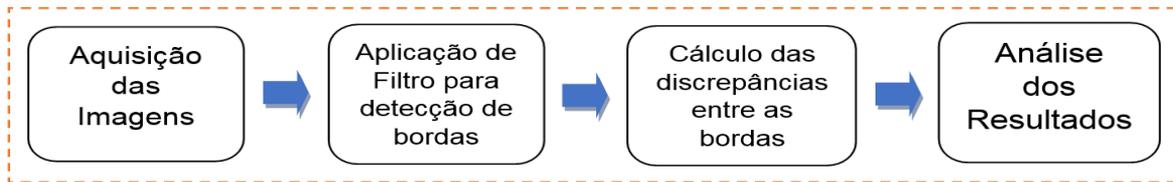
Figura 5 - Fluxograma das etapas utilizadas.



Fonte: O autor, 2018

5 METODOLOGIA

Figura 6 - Fluxograma da Metodologia



Fonte: O autor, 2018

5.1 ESCOLHA E AQUISIÇÃO DAS IMAGENS

- ✓ A escolha da imagem Google Earth levou em consideração o fator custo, pelo fato da possibilidade de se obtê-las gratuitamente
- ✓ Escolhida numa época sem nuvens para o melhor processamento, e o fato da nitidez da imagem foi outro fator levado em consideração, além da data da imagem para poder visualizar bem a borda de granito do Laguinho.

5.2 APLICAÇÃO DOS FILTROS

O funcionamento dos filtros de detecção de bordas exige que a imagem esteja em escala de cinza para a aplicação dos filtros de Sobel e Roberts, para isso foi utilizado o software Spring 5.2.7 e a ferramenta “Filtragem > tipos: Não Linear > Detecção de Bordas > Sobel”. Esse processo se repetiu para as três bandas R, G e B da imagem. Analogamente também foi feito “Filtragem > tipos: Não Linear > Detecção de Bordas > Roberts”. Para que os filtros fossem aplicados fez-se necessário o uso da imagem em escala de cinza, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Imagem Original (a), Imagem em escala de cinza da Banda B (b).



(a)

(b)

Fonte: Google Earth, 2013

5.3 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL

Foram identificados na imagem quatro alvos distintos para que se pudesse fazer uma análise, a saber: água, edificações, solo exposto e vegetação.

A metodologia se deu da seguinte forma: foram escolhidas três amostras para cada alvo por meio da ferramenta leitura de pixel do Software, Spring utilizando uma máscara com matriz de 21x21, tendo sido calculada a média no Software Excel e formuladas as tabelas 1, 2, 3 e 4.

Água: A Tabela 1 mostra que os níveis de cinza variaram de 50,38 na banda 2 a 84,15 na banda 3.

Tabela 1 - Análise Espectral dos níveis de cinza da Água.

Alvo	Amostra	Banda R	Banda G	Banda B
Água	1	58,77	72,52	54,23
	2	55,28	68,46	50,38
	3	72,23	84,15	61,14
	Média	62,09	75,05	55,25

Fonte: O autor, 2018

Construção: A Tabela 2 mostra que os níveis de cinza variaram de 143,99 na banda 2 a 242,78 na banda 3.

Tabela 2 - Análise Espectral dos níveis de cinza de Construção.

Alvo	Amostra	Banda R	Banda G	Banda B
Construção	1	242,58	242,78	234,82
	2	227,76	220,05	210,90
	3	162,76	155,66	143,99
	Média	211,03	206,16	196,57

Fonte: O autor, 2018

Solo Exposto: A Tabela 3 mostra que os níveis de cinza variaram de 143,64 na banda 1 a 222,94 na banda 3.

Tabela 3 - Análise Espectral dos níveis de cinza de Solo Exposto.

Alvo	Amostra	Banda R	Banda G	Banda B
Solo Exposto	1	189,46	170,15	143,64
	2	214,75	190,12	167,06
	3	222,94	199,24	175,00
	Média	209,05	186,50	161,90

Fonte: O autor, 2018

Plantações: A Tabela 4 mostra que os níveis de cinza variaram de 34,41 na banda 2 a 97,66 na banda 3.

Tabela 4 - Análise Espectral dos níveis de cinza de Plantações.

Alvo	Amostra	Banda R	Banda G	Banda B
Plantações	1	76,37	87,03	39,55
	2	84,47	97,66	51,08
	3	49,34	64,43	34,41
	Média	70,06	83,04	41,68

Fonte: O autor, 2018

A Tabela 5 foi criada para a elaboração do gráfico para melhor descrever quantitativamente o comportamento espectral dos alvos, ilustrado na Figura 8.

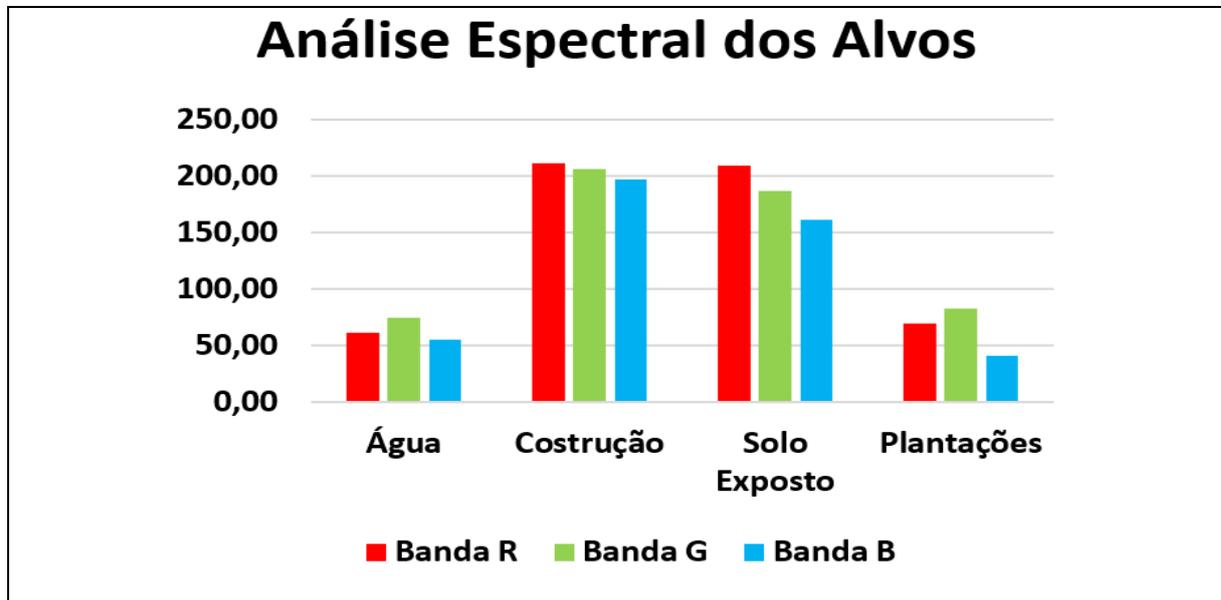
Tabela 5 - Valores Médios dos Alvos das Tabelas 1, 2, 3 e 4.

Alvo	Banda R	Banda G	Banda B
Água	62,09	75,05	55,25
Construção	211,03	206,16	196,57
Solo Exposto	209,05	186,50	161,90
Plantações	70,06	83,04	41,68

Fonte: O autor, 2018

A partir dos dados mostrados na Tabela 5 foi criado um gráfico mostrando as variações dos níveis de cinza dos alvos água, construção, solo exposto e plantações nas bandas 01, 02 e 03 que são respectivamente as bandas R, G e B da imagem.

Figura 8 - Análise Espectral dos Alvos nas Bandas RGB.



Fonte: O autor, 2018

Após o processo da análise ocorreu a etapa de filtragem, onde foram utilizados os filtros de Roberts e Sobel, nos dois resultados a imagem ficou escura e para solucionar isso foram aplicados às bandas com filtro uma equalização do histograma, e também o negativo para uma melhor visualização dos resultados. O que ficou evidenciado nas Figura 9 e 10 para os Filtro de Roberts e Filtro de Sobel, respectivamente. A Figura 9 (a), (b), (c) e (d) mostra o resultado do filtro na banda R utilizando o filtro de Roberts às bandas R, G, B e composição RGB, respectivamente. A Figura 9 (a), (b), (c) e (d) mostra o resultado do filtro na banda R utilizando o filtro de Sobel às bandas R, G, B e composição RGB, respectivamente.

5.4 PRECISÃO DO RTK

O Instrumento GPS Topcon Hiper V tem uma precisão nominal já embutida internamente, como mostra a Tabela 6. Foram coletados 410 pontos e deixando a base configurada no marco geodésico do Campus Joaquim Amazonas da UFPE-Recife EPS02, que após o processamento e ajustamento no software Topcon Tools. Para o ajustamento foi usado também marco geodésico do Campus-UFPE-Recife EPS01, como é mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados dos Marcos Geodésicos – UFPE, Recife.

MARCO GEODÉSICO	E (m)	N(m)	H (Geom)
EPS01	285297,190	9109864,811	2,787
EPS02	284814,681	9109960,583	4,332

Fonte: O autor, 2018

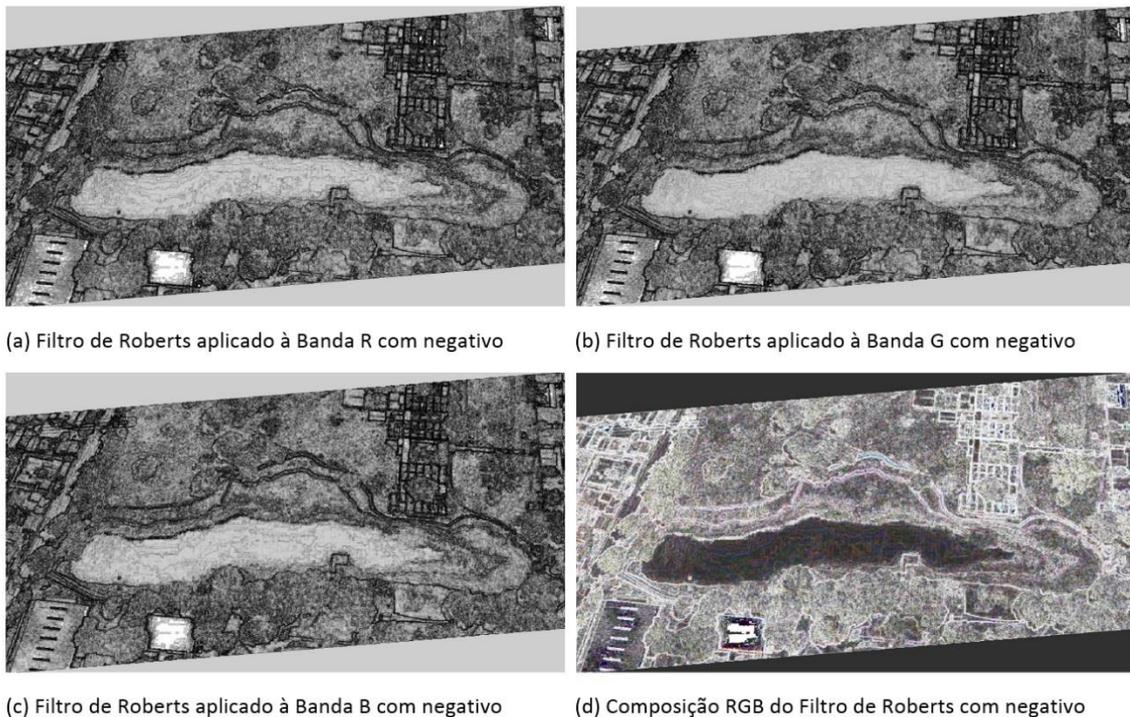
Tabela 7 - Precisão Nominal e Precisão do Levantamento.

Precisão Nominal - Topcon Hiver V		
Métodos	Horizontal (H)	Vertical (V)
Estático / Estático Rápido	3.0 mm + 0.4 ppm	5.0 mm + 0.5 ppm
Estático	3.0 mm + 0.1 ppm	3.5 mm + 0.4 ppm
RTK (L1+L2)	5 mm + 0.5 ppm	10 mm + 0.8 ppm

Precisão do Levantamento Lago Cavouco		
Métodos	Horizontal (H)	Vertical (V)
RTK (L1+L2)	7 mm + 0.5 ppm	14 mm + 0.8 ppm

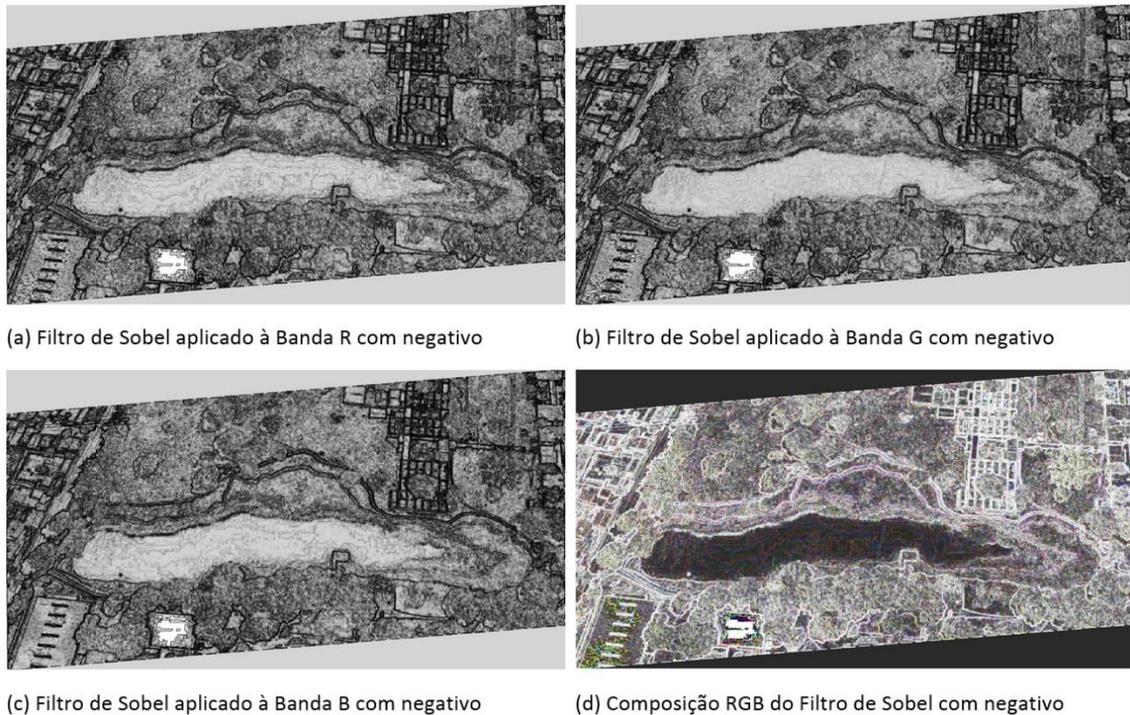
Fonte: O autor, 2018

Figura 9 - Bordas geradas pelo filtro de Roberts em 4 situações.



Fonte: O autor, 2018

Figura 10 - Bordas geradas pelo filtro de Sobel em 4 situações.



Fonte: O autor, 2018

5.5 CÁLCULO DA DISTÂNCIAS EUCLIDIANAS E FILTRAGEM

O software SPRING 5.2.7 também foi utilizado para o cálculo da distância Euclidiana, a partir da ferramenta “Operações Métricas > opção: Distância Euclidiana”. Para a análise comparativa entre os filtros em relação à borda gerada RTK por GNSS foram escolhidos 5 pontos amostrais, a saber, A, B, C, D e E, como mostra a Figura 11 foram calculadas as discrepâncias através as coordenadas de cada ponto comparando a borda gerada pelo RTK e pelas bordas geradas pelos filtros de Sobel e Roberts.

Estes pontos foram escolhidos, como mostra a Figura 11 para uma melhor análise, os pontos “A, B, C, D, E”, pelo fato pertencerem à borda de granito, e foram verificados partindo do ponto A para os demais como ilustra a Figura 12, calculando suas distâncias, e fazendo comparações entre si.

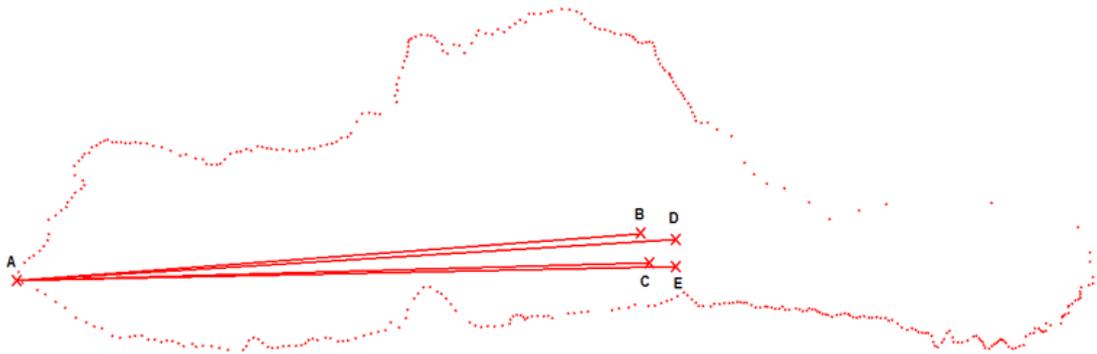
A Figura 13 mostra a marcação dos pontos na imagem por RTK (a), a marcação dos pontos na imagem por Roberts (b) e a marcação dos pontos na imagem por Sobel (c).

Figura 11 - Detalhes dos pontos amostrais para análise.



Fonte: O autor, 2018

Figura 12 - Imagem mostrando os pontos para análise por RTK.

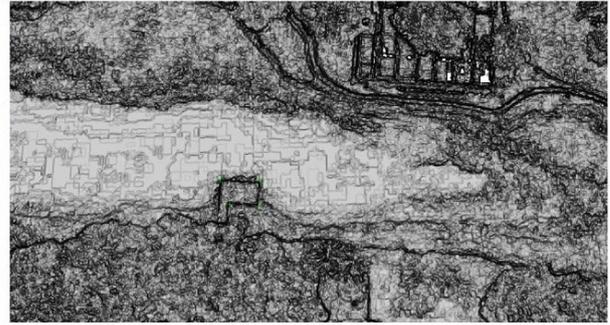


Fonte: O autor, 2018

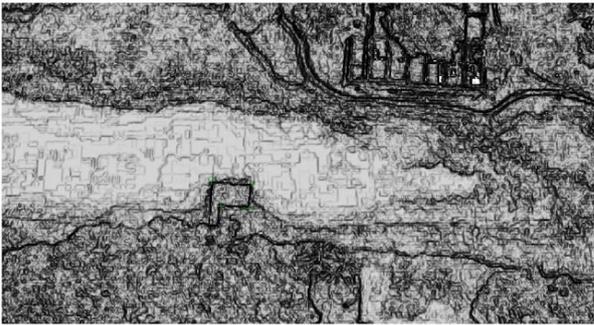
Figura 13 - Detalhes dos pontos amostrais usados na análise.



(a) Recorte da imagem original com os pontos por RTK



(b) Recorte da Banda R dos pontos com o Filtro de Roberts



(c) Recorte da Banda R dos pontos com o Filtro de Sobel

Fonte: O autor, 2018

6 PROBLEMAS ENFRENTADOS

Durante a coleta dos dados em campo pelo método RTK um pequeno trecho da borda de granito não estava visível tanto por cobertura vegetal quanto por solo exposto e isto resultou em um trecho com falha quando da geração da borda durante o processamento por RTK. Exemplificado na Figura 14 (a) onde ficou claro que a borda em granito não pode ser visualizada e, portanto, eliminando a chance da construção de uma borda com um melhor ajuste à realidade no campo, esse fato ocorreu principalmente porque nessa área do Lago do Cavouco foi feita uma requalificação da área e foi colocado sobre a borda uma quantidade grande de resíduo que cobriu o contorno de granito.

Figura 14 - Imagens dos Trabalhos de Campo, (a) Cobertura vegetal sobre a borda, (b) configuração da Base, (c) Coleta dos pontos na borda.



(a)

(b)

(c)

Fonte: O autor, 2018

Figura 15 - Falha na borda por RTK devido à cobertura vegetal.



Fonte: O autor, 2018

Na Figura 14 (a) mostra o trecho onde não se consegue ver a borda em granito, e isso se verificou na Figura 15 na região demarcada pela elipse. Isso ocorreu pelo fato de exatamente nesse local ter havido uma requalificação onde sedimentos foram colocados sobre o contorno de granito, impossibilitando assim a visualização da borda.

7 RESULTADOS OBTIDOS

Os métodos RTK e filtros de Sobel e Roberts aplicados ao processamento das bandas da imagem do Google Earth permitiram avaliar a filtragem com pontos de controle RTK. Na Tabela 8 está ilustrado quantitativamente os valores das coordenadas dos pontos amostrais geradas a partir das bordas criadas pelo RTK. Na Tabela 9 está ilustrado quantitativamente os valores das coordenadas dos pontos amostrais geradas a partir das bordas criadas pelo Filtro de Roberts. Na Tabela 10 está ilustrado quantitativamente os valores das coordenadas dos pontos amostrais geradas a partir das bordas criadas pelo filtro de Sobel. As Tabelas 11, 12 e 13 apresentam respectivamente: as distâncias euclidianas e desvio padrão, discrepâncias entre as bordas por meio dos filtros e RTK e seus respectivos desvios e discrepâncias nas distâncias entre os filtros.

Tabela 8 - Coordenadas dos Pontos pelo RTK.

COORDENADAS DOS PONTOS			
MÉTODO	PONTO	E (m)	N (m)
RTK	A	284652,7990	9109890,1997
	B	284824,0590	9109897,5290
	C	284834,4939	9109897,7700
	D	284833,8770	9109890,3161
	E	284826,5117	9109890,7169

Fonte: O autor, 2018

Tabela 9 - Coordenadas dos Pontos pelo Filtro de Roberts.

COORDENADAS DOS PONTOS			
MÉTODO	PONTO	E (m)	N (m)
Filtro de Roberts	A	284652,8001	9109890,2015
	B	284824,0520	9109897,5090
	C	284834,4950	9109897,7980
	D	284833,8997	9109890,2997
	E	284826,5001	9109890,7059

Fonte: O autor, 2018

Tabela 10 - Coordenadas dos Pontos pelo Filtro de Sobel.

COORDENADAS DOS PONTOS			
MÉTODO	PONTO	E (m)	N (m)
Filtro de Sobel	A	284652,8009	9109890,2014
	B	284824,0590	9109897,5007
	C	284834,5089	9109897,8010
	D	284833,9010	9109890,3088
	E	284826,5010	9109890,7017

Fonte: O autor, 2018

Tabela 11 - Distâncias Euclidianas e Desvio Padrão.

Distâncias Euclidianas e Desvio Padrão				
Método	A_B (m)	A_C (m)	A_D (m)	A_E (m)
RTK	171,4168	181,8525	181,0780	173,7135
Sobel	171,4077	181,8536	181,0996	173,7007
Roberts	171,4136	181,8669	181,1001	173,7008
Desvio Padrão	0,0046	0,0080	0,0126	0,0073

Fonte: O autor, 2018

Tabela 12 - Discrepâncias entre as distâncias Euclidianas e Desvio Padrão.

Discrepâncias entre as distâncias pelo RTK e pelos Filtros e Desvio Padrão				
Método	A_B (m)	A_C (m)	A_D (m)	A_E (m)
Sobel	0,0090	-0,0011	-0,0216	0,0127
Roberts	0,0032	-0,0143	-0,0221	0,0126
Desvio Padrão	0,0041	0,0093	0,0004	0,0001

Fonte: O autor.

Tabela 13 - Discrepâncias entre os dois filtros.

Discrepâncias entre as distâncias entre os Filtros de Roberts e Sobel				
Sobel // Roberts	A_B (m)	A_C (m)	A_D (m)	A_E (m)
	-0,0058	-0,0132	-0,0005	-0,0001

Fonte: O autor, 2018

Tabela 14 - Discrepâncias entre os ΔE e ΔN .

DISCREPÂNCIAS ENTRE OS ΔE e ΔN ENTRE AS BORDAS					
RTK_ROBERTS		RTK_SOBEL		ROBERTS_SOBEL	
ΔE	ΔN	ΔE	ΔN	ΔE	ΔN
0,0011	0,0018	0,0019	0,0017	0,0008	-0,0001
-0,0070	-0,0200	0,0000	-0,0283	0,0070	-0,0083
0,0011	0,0280	0,0150	0,0310	0,0139	0,0030
0,0227	-0,0164	0,0240	-0,0073	0,0013	0,0091
-0,0116	-0,0110	-0,0107	-0,0152	0,0009	-0,0042

Fonte: O autor, 2018

Fazendo uma comparação entre os resultados dos métodos utilizados nesse trabalho verificou-se consistência do ponto de vista da acurácia posicional levando em conta que o levantamento obteve um erro de 7mm + 0,5ppm (ver Tabela 7). Os ΔE e ΔN se mostraram bastante relevantes, onde os valores entre RTK e Roberts / RTK e Sobel deram próximos, mostrando que o processamento da imagem foi bastante condizente com o real. O melhor resultado se deu através da comparação dos ΔE e ΔN entre os filtros de Roberts e Sobel onde se verificou as menores discrepâncias chegando a valores praticamente nulos.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método de detecção de borda dos filtros de Roberts e Sobel e RTK reúne Sensoriamento Remoto, Processamento de Imagens e Sistema de Posicionamento Global (GPS), pode ser utilizado para gerar mapas para a Cartografia Temática, para alimentar SIG na elaboração de Layers e Shapefile, muito útil também na área de Cadastro, entre outros.

A análise espacial a partir da Distância Euclidiana mostrou uma resposta bastante satisfatória comparando os resultados das bordas dos filtros e da borda gerada por RKT, visto que a precisão do levantamento realizado foi de 7mm +0,5ppm na horizontal conforme a Tabela 6, e as discrepâncias das distâncias mostradas, quando comparada entre Sobel e Roberts, são muito pequenas. Foi visto que o erro obtido no final desse trabalho foi de 2mm + 0,5ppm na horizontal e 4mm + 0,8ppm na vertical. Olhando em valores absolutos, observou-se que a discrepância entre a borda gerada por RTK e a borda gerada por Sobel foi menor quando comparada com a discrepância entre a borda gerada por RTK e Roberts. Quando comparadas as discrepâncias entre Sobel e Roberts variou, (em valores absolutos) entre 0,0082 e 0,0469.

Nesse trabalho foram utilizados para análise apenas dois filtros, mas recomenda-se, em trabalhos futuros, que sejam aplicados outros filtros que a literatura dispõe a fim de ampliar o horizonte das análises. O ponto alto desse trabalho foi incluir o GPS utilizando o método de RTK foi bastante enriquecedor, pois além do ponto de vista das características da imagem, resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal. Fez-se necessário levar em conta precisão nominal do equipamento e a precisão do levantamento do RTK feito *in loco*, sempre observando que a quantidade de satélites disponíveis e visíveis faz muita diferença, por isso deve-se observar na configuração do equipamento, que a máscara de elevação do satélite deve ficar entre 10° até 15°. Um outro fator importante é que área de estudo é visível, evitando por fim o espalhamento atmosférico e oclusão por nuvens.

A borda gerada por meio do RTK, em um trecho pequeno da borda de granito que contorna a depressão do Lago Cavouco, não foi coerente à borda real, visto que no momento da coleta dos pontos a área estava coberta por vegetação nativa e

solo exposto devido a uma requalificação na área, um trabalho desenvolvido pela administração do Campus Joaquim Amazonas da UFPE, e isso impossibilitou a visualização da borda de granito. No mais, os resultados do RTK foram bem coerentes, dando controle posicional as bordas filtradas.

Recomenda-se sempre fazer uma reambulação da área de estudo, visando evitar situações como a que ocorreu nesse trabalho. A reambulação é realizada executando previamente os filtros na imagem e, com a borda mapeada por filtros, ir ao local e fazer uma verificação, com o objetivo de revalidar as informações, e só posteriormente realizar o método RTK.

Portanto, a união adequada de métodos de processamento de imagens de sensoriamento remoto para detecção de borda construída (os filtros de Roberts e Sobel), visita de campo para verificação visual e com fotografias terrestres da borda construída, e o posicionamento da borda gerada por RTK, proporcionou a realização de um trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

REFERÊNCIAS

- ALVES, D. B. M. **Posicionamento Baseado em Redes de Estações de Referência GPS Utilizando o Conceito de Estação Virtual**. 2008. 160 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2008. Disponível em: <http://www2.fct.unesp.br/pos/cartografia/docs/teses/t_alves_dbm.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2018
- COSTA, S. M. A.; LIMA, M. A. A.; JÚNIOR, N. J. M.; ABREU, M. A.; SILVA, A. L.; FORTES, L. P. S. **RBMC em tempo real via NTRIP e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS**. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Buenos Aires, p. 135-141, 2009.
- DO VALE, GIOVANE MAIA; DAL POZ, ALUIR PORFÍRIO. **PROCESSO DE DETECÇÃO DE BORDAS DE CANNY**. Boletim de Ciências Geodésicas, [S.l.], dez. 2002. ISSN 1982-2170. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/1421>>. Acesso em: 14 Jul. 2018
- GARNÉS, S. J. A. **Resolução das ambiguidades GPS para linhas de base curta: análise dos algoritmos de otimização**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001. 204 p.
- MORAES, **fundamentos de sensoriamento remoto (INPE)**, 2002 Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf> acesso em: 02 Jul. 2018
- GONZALEZ, R. F.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens digitais**. 3ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- GUILLOU, Alexandre Normande. **Análise de bordas de reservatório utilizando múltiplos sensores: estudo de caso: reservatório de Itaparica-PE**. Recife, 2016, Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.
- HOFMANN - WELLENHO F. B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **Global positioning system: theory and practice**. 3.ed. New York: Springer-Verlag Wien, 1994. 355 p.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. Ed São Paulo: Unesp, 2008. 476p.
- NOVO, E. M. L. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**.4.ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2010.
- KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Curitiba, 1996. 267 f. Tese (Doutorado em Geodésia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, 1996. 267 p.

ROSA, G.P.S. **Análise de Séries Temporais de Coordenadas Estimadas com GPS: Uma Proposta Metodológica para Eliminação de Efeitos Sazonais.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008. 106 p.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods, and applications.** 2 ed. Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, 2003. 589 p.

TAVARES JUNIOR, João Rodrigues; SANTOS, Jhonathan Gomes dos; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra. **Análise de múltiplas imagens para detecção de bordas do Reservatório de Sobradinho, Bahia.** Eng. Sanit. Ambient. [online]. 2018, vol.23, n.2, pp.253-262. ISSN 1413-4152. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018146952>.

TEUNISSEN, P. J. G.; JONGE, P. J. de; TIBERIUS, C. C. J. M. 1995. **A new way to fix carrier-phase ambiguities.** *GPS World*, v. 6, n. 4, p. 58-61, abr. 1995.
INPE, **Sobre o CBERS**, disponível em: < <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/index.php>>
Acesso em: 02 jul. 2018.

ZIOU D., TABBONE S. **Edge Detection Techniques - An Overview.** International Journal of Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 8, No. 4, pp. 537-559, 1998. Technical Report, No. 195, Dept. Math. Et Informatique, Université de Sherbrooke, 41p., 1997.