

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

RENAN DOZZO FARIAS

ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE POSICIONAMENTO GNSS PARA O
MAPEAMENTO DA LINHA DE COSTA

RECIFE, JUNHO DE 2014.

RENAN DOZZO FARIAS

**ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE POSICIONAMENTO GNSS PARA O
MAPEAMENTO DA LINHA DE COSTA**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Cartográfica como parte dos requisitos exigidos para obtenção do grau de Engenheiro Cartógrafo.

Orientador:

Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves, Departamento de Engenharia Cartográfica, Laboratório de Cartografia Costeira, CTG – Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE.

UFPE

RECIFE, PE.

2014

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves (orientador)

Departamento de Engenharia Cartográfica, Laboratório de Cartografia Costeira, CTG – Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE

Prof. Dr. Francisco Jaime Bezerra Mendonça

Departamento de Engenharia Cartográfica, Laboratório de Cartografia Costeira, CTG – Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE

Prof. Dr. Haroldo Antonio Marques

Departamento de Engenharia Cartográfica, CTG – Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE

Prof. Dr. Carlos Alberto Pessoa Mello Galdino

Departamento de Engenharia Cartográfica, Laboratório de Cartografia Costeira, CTG – Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE

UFPE

RECIFE, JUNHO DE 2014.

AGRADECIMENTOS

“Chegar até ao cimo da montanha e contemplar o imenso vazio do cume pode ser gratificante. Mas nada é superior à árdua caminhada desde o baixo terreno e às dificuldades percorridas nessa viagem, para superar os percalços da subida”.

Esta podia ser uma frase retirada de um qualquer livro ou referência de um outro qualquer autor. Mas não, achei pertinente começar de forma mais literária este meu relatório de graduação. Nem só de coisas concretas se escreveram os anos de estudos passados na Universidade Federal de Pernambuco, nem se explica o que se aprendeu com tamanha experiência.

A caminhada feita neste médio período foi, sem dúvida, a experiência mais enriquecedora que alguma vez tive no âmbito da formação profissional, não desprezando contudo todo o trabalho desenvolvido anteriormente.

Aos que me acompanharam durante este último ano agradeço o apoio e a ajuda por me aguentarem euforias e desgostos. Por serem portos de abrigo nas alturas em que quis desistir e nos momentos em que não vi mais nada a não ser o curso de Engenharia Cartográfica. Em especial deixo o meu maior agradecimento aos meus pais que, foram-me instigando a lutar pelo sonho de sempre.

Se não fossem essas barreiras e contrariedades, penso que não era tão saborosa esta satisfação de chegar até aqui.

Depois, sem querer deixar hierarquias definidas, agradeço em geral aos meus colegas de curso os bons momentos passados, as partilhas feitas nas aulas e fora delas.

Muito Obrigado,

Renan Dozzo.

RESUMO

Os métodos de levantamento de dados em campo se desenvolveram nos âmbitos da praticidade, agilidade e precisão, principalmente com o surgimento do GNSS (*Global Navigation Satellite System*), que tem como seus componentes o GPS (*Global Positioning System*) e o GLONASS (*Global Navigation Satellite System*). Um dos usos práticos do GNSS é o levantamento costeiro da feição chamada de linha de costa, sendo ela uma das feições cartográficas mais dinâmicas em um ambiente costeiro. O objetivo deste trabalho foi utilizar o levantamento geodésico GNSS para determinar as coordenadas (trajetória) da posição espacial da linha de costa em um determinado instante de tempo aplicado ao estudo de caso na praia de Boa Viagem em Recife-PE. Para isto existem alguns métodos de posicionamento, por exemplo, o posicionamento por ponto preciso (PPP) e o posicionamento relativo. Neste estudo, utilizaram-se o PPP, o levantamento cinemático relativo e o levantamento diferencial RTK (*Real Time Kinematic*). A partir dos sinais enviados dos satélites para os receptores geodésicos, foram aplicados ajustamentos e métodos para determinar as coordenadas geodésicas (latitude e longitude), em seguida foram delimitadas as posições das linhas de costa, e por fim foram processados e comparados estatisticamente a trajetória gerada pelos três métodos de levantamento geodésico. Os resultados mais satisfatórios foram oriundos da solução RTK, apresentando a precisão média aproximadamente igual a 11 mm, por sua vez, o método cinemático conseguiu atingir uma precisão de 11 cm e o que obteve a pior precisão foi pelo método do PPP que conseguiu atingir 15 cm. Outro fator estatístico importante que se analisou foi o desvio padrão das precisões horizontais onde foi obtido 6 mm para o RTK, 19 cm para o cinemático e 2,4 cm para o PPP. Posteriormente, verificou-se a aplicabilidade dos métodos voltados para o levantamento geodésico da linha de costa.

Palavras chaves: linha de costa, GNSS, posicionamento geodésico, monitoramento costeiro.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1. OBJETIVOS	10
1.2. JUSTIFICATIVA	10
2. ÁREA DE ESTUDO	11
3. EMBASAMENTO TEÓRICO	13
3.1. LINHA DE COSTA	13
3.2. GNSS	14
3.3. GPS	15
3.3.1. SEGMENTO ESPACIAL	16
3.3.2. SEGMENTO DE CONTROLE	18
3.3.3. SEGMENTO DE USUÁRIOS	19
3.4. GLONASS	20
3.5. MÉTODOS DE POSICIONAMENTO POR GNSS	21
3.5.1. MÉTODO DIFERENCIAL RTK	22
3.5.2. MÉTODO CINEMÁTICO RELATIVO	23
3.5.3. MÉTODO PELO POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1. MATERIAIS	25
4.2. MÉTODOS	26
5. RESULTADOS OBTIDOS	32
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS	37
7. CONCLUSÕES	39
8. DIFICULDADES ENCONTRADAS	40
9. RECOMENDAÇÕES	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das alterações da posição da linha de costa, dos avanços e recuos do oceano, torna-se mais de que um tópico de curiosidade científica. A região metropolitana de Recife tem várias ocorrências de erosão costeira. Em meados da década de 1990, ocorreram diversos fenômenos naturais ocasionando uma destruição na parte do calçadão da praia de Boa Viagem. A área afetada estendeu-se por mais de dois quilômetros, sendo que atualmente, essa região encontra-se protegida por um enrocamento de pedras, onde se percebe o desaparecimento de areias nesse trecho da praia, descrito em MENDONÇA (2005).

Existem várias definições para linha de costa, entre tais, pode-se dizer que ela é o referencial entre as águas e as áreas secas, quando recua causa a conhecida erosão costeira e quando avança aumenta a área da praia, visto em MENDONÇA (2005). Em outras palavras, a linha de costa é o limite água-terra que varia segundo uma faixa mais ou menos estreita determinada pelas baixas e altas marés que aí ocorrem e pelo relevo da costa. Ela é uma das feições cartográficas mais dinâmicas em um ambiente costeiro. Existem alguns indicadores de como efetuar seu mapeamento, principalmente relacionado com o instante da preamar. Detalhes descrevendo a importância do monitoramento e técnicas de extração da linha de costa podem ser encontrados em BOAK e TURNER (2005).

Segundo GONÇALVES (2010), o monitoramento de linha de costa se beneficia do estado da arte do posicionamento global GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) através de levantamentos geodésicos usando o sistema americano GPS (*Global Positioning Systems*); o sistema russo GLONASS (*GLObal NAVigation Satellite System*); e em breve o sistema europeu Galileo e o sistema chinês Beidou (Compass) entre outros.

Um dos usos práticos do GNSS é o levantamento costeiro da feição explicitada anteriormente, a linha de costa. Este levantamento geodésico tem como objetivo determinar a trajetória, a partir das coordenadas, da posição espacial da linha de costa em um determinado instante de tempo. Para isto existem alguns métodos de posicionamento, por exemplo, o posicionamento por ponto preciso (PPP) e o posicionamento relativo. Neste estudo, utilizaram-se o PPP, o levantamento cinemático relativo e o levantamento diferencial RTK (*Real Time Kinematic*).

O método de Posicionamento Relativo tem sido o principal método de posicionamento com GNSS, quando se deseja obter resultados com razoável qualidade e acurácia posicional. Nos últimos anos, no entanto, o método de Posicionamento por Ponto Preciso tem alcançado maior

popularidade entre os usuários, pois necessita apenas de um receptor geodésico e este pode ser processado por vários serviços gratuitos disponibilizados pelo mundo. No caso do Brasil, de forma gratuita através do site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). O serviço do IBGE-PPP é realizado de forma *online* fazendo o uso do programa CSRS-PPP (GPS *Precise Point Positioning*) desenvolvido pelo *Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada* (NRCan). Os dados GPS que são aceitos pelo serviço são os que foram rastreados a partir do dia 25 de fevereiro de 2005, pois foi quando o sistema de referência SIRGAS2000 foi adotado oficialmente no Brasil. Esse serviço utiliza-se de vários modelos para o processamento das observações GNSS, são eles: o modelo de carga oceânica FES2004, que estão relacionados com as correções das cargas oceânicas; o modelo de velocidades VEMOS2009, que é utilizado para transportar ou reduzir as coordenadas planimétricas (latitude e longitude) calculadas na data em que os dados foram coletados para época 2000,4, ou seja, época do SIRGAS2000; e o modelo de ondulação geoidal MAPGEO2010, que é utilizado para a transformação das altitudes geométricas em altitudes ortométricas atualmente o serviço também passou a processar dados GLONASS.

Embora empregado com sucesso desde a década passada (ZUMBERGE *et al.*, 1997), o uso do PPP se limitava aos usuários cujos aplicativos computacionais eram de cunho mais científico. Contudo, nos últimos anos, inclusive no Brasil, o método PPP passou a ser empregado de modo mais amplo conforme a afirmação de vários autores (MONICO, 2000; PEREZ *et al.*, 2003; ABREU e FONSECA JUNIOR, 2005).

O método do posicionamento por ponto é o mais simples que se pode aplicar, e é determinado por alguns autores de posicionamento absoluto. Ele pode ser utilizado com as técnicas estáticas (antena GNSS estática) ou cinemáticas (antena GNSS em movimento), e o resultado é uma navegação, independentemente de haver ou não movimento, descrito por MONICO (2008).

O PPP tem como o seu ponto central a utilização das efemérides e correções dos relógios dos satélites contidos na mensagem de navegação e caracteriza-se por ser um posicionamento por ponto com dados pós-processados, mais informações em MONICO (2008).

Um posicionamento relativo caracteriza-se pela observação simultânea dos satélites em no mínimo dois receptores. Um receptor deve ser instalado em uma estação de coordenadas conhecidas, denominada de base e o outro aparelho é instalado no local onde se deseja obter as coordenadas geodésicas, denominado de estação móvel ou itinerante (SEEBER, 2003; MONICO 2008).

O posicionamento relativo cinemático pós-processado é baseado em um receptor

ocupando uma estação de coordenadas conhecidas enquanto o outro se desloca sobre as feições de interesse, sendo necessário um processamento por meio de softwares especializados para fazer os ajustamentos e realizações de outros métodos para gerar o produto final, as coordenadas dos pontos em estudo.

O princípio do método diferencial consiste no posicionamento de uma estação móvel através das correções diferenciais geradas na estação de referência. Essas correções são enviadas em tempo real por meio de um sistema de comunicação (rádio de transmissão, linha telefônica ou satélites de comunicação) e dentro de um formato apropriado (SEEBER, 2003; MONICO 2008).

Conforme RAMOS (2007), para que a ambiguidade tenha uma boa solução se faz necessário que pelo menos cinco satélites sejam rastreados pelas estações. Vale salientar que para bases curtas, com até aproximadamente 10 km, a estação de referência e o receptor móvel podem rastrear simultaneamente a mesma constelação de satélites, formando certa correlação entre os erros em ambas as estações, pois além da eliminação dos erros dos relógios, são considerados semelhantes nas estações os efeitos atmosféricos e os erros nas órbitas, tornando efetivas, no receptor móvel, as correções geradas da estação de referência. Nesse estudo, o levantamento foi realizado a partir da tecnologia do GNSS (GLONASS e GPS), sendo usados em média oito satélites GPS e sete satélites GLONASS, informações obtidas a partir do relatório do levantamento.

No que se refere aos levantamentos geodésicos com o uso de receptores GNSS, KRUEGER *et al.*, (2009) descrevem que esta forma de levantamento tem sido eficaz e acurada para pequenas áreas de estudo como no caso do balneário de Matinhos e Ilha do Mel que tem sido objeto de monitoramento no estado do Paraná.

As questões referentes ao posicionamento geodésico e avaliações de diferentes métodos de processamento de dados GPS utilizando diferentes estações bases e técnicas com aplicações em áreas costeiras podem ser encontradas em TANAJURA (2008).

Em ZEFERINO (2007) faz-se uma comparação utilizando diferentes receptores GPS demonstrando suas limitações e precisões encontradas em um experimento prático para o mapeamento da linha de costa.

SOUZA (2002) avalia variações volumétricas temporais utilizando levantamentos GPS para uma determinada área costeira localizada no istmo da Ilha do Mel no Paraná.

Diversas pesquisas científicas vêm sendo realizadas na área costeira do litoral de Pernambuco entre elas encontram-se: MENDONÇA (2005) utilizando a tecnologia GNSS para medir a linha de costa; MALLMANN (2008) pesquisando a vulnerabilidade nas praias do litoral Sul de Pernambuco; ROLLNIC (2008) analisando a dinâmica das ondas e da circulação e

transporte na zona costeira das praias da região metropolitana de Recife, em GREGÓRIO (2009) foi analisado a evolução da linha de costa da cidade do Recife e na dissertação de SILVA (2013) foi feita uma modelagem *fuzzy* como subsídios para a espacialização da vulnerabilidade costeira à erosão.

Neste contexto, o presente projeto de TCC visa analisar a aplicabilidade dos levantamentos geodésicos cinemáticos da posição da linha de costa utilizando diferentes métodos de posicionamento geodésicos por GNSS e processamentos de dados tendo como área de estudo o ambiente costeiro compreendendo a praia de Boa Viagem.

1.1. OBJETIVOS

- Determinar a trajetória da linha de costa na área de estudo pelo método de levantamento cinemático relativo.
- Determinar a trajetória da linha de costa na área de estudo utilizando o levantamento diferencial RTK (Real Time Kinematic).
- Determinar a trajetória da linha de costa na área de estudo utilizando o posicionamento por ponto preciso.
- Processar e comparar estatisticamente a trajetória gerada pelos três métodos de levantamento geodésico.
- Verificar a aplicabilidade dos métodos voltados para o levantamento geodésico da linha de costa.

1.2. JUSTIFICATIVA

Prevendo a preservação e valorização do ambiente costeiro, o governo do estado de Pernambuco publicou em 23 de dezembro de 2010 a nova Lei de Gerenciamento Costeiro sob nº14.258, visando promover e apoiar a conservação, recuperação e o controle de áreas que sejam representativas dos ecossistemas da zona costeira. Como também incentivar o desenvolvimento de atividades que respeitem as limitações e as potencialidades dos recursos ambientais e promover um constante controle da posição da linha de costa.

A zona costeira concentra grande potencial econômico e turístico, por sua importância a

Lei de Gerenciamento Costeiro do Estado de Pernambuco (2010) que trata dos instrumentos e ocupação da zona costeira em seu capítulo V, artigo 10 inciso 2º, propõe que para as áreas urbanizadas não será permitido qualquer tipo de instalações de novas construções, urbanização ou outra forma de utilização do solo na zona costeira, na faixa de 33 m (trinta e três metros), considerada como “*non aedificandi*”, ou valor superior a este quando comprovado em estudo técnico, medidos perpendicularmente em direção ao continente, a partir da linha de preamar máxima da sizígia atual.

Desta forma, estudar as técnicas de mapeamento costeiro e sua respectiva acurácia torna-se fundamental para dar suporte ao mapeamento de linha de costa como é o caso deste estudo.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Zona Costeira do Estado de Pernambuco possui 187 km de extensão e abrange 21 municípios (Macrodiagnóstico da Zona Costeira do Brasil na Escala da União, 1996) e, é o mais importante aglomerado populacional do Estado, concentrando 44% de sua população. Ela apresenta baixa altitude, chegando a atingir, em vários pontos, cotas inferiores ao nível médio do mar. Sendo o litoral do Recife, localizado na costa do Nordeste Brasileiro, uma região que se encontra atualmente bastante urbanizada, onde se pode observar com frequência a ocupação da pós-praia e da praia (estirâncio), relatado em MENDONÇA (2010). A Figura 1 apresenta um mapa de localização da cidade do Recife no Estado de Pernambuco.

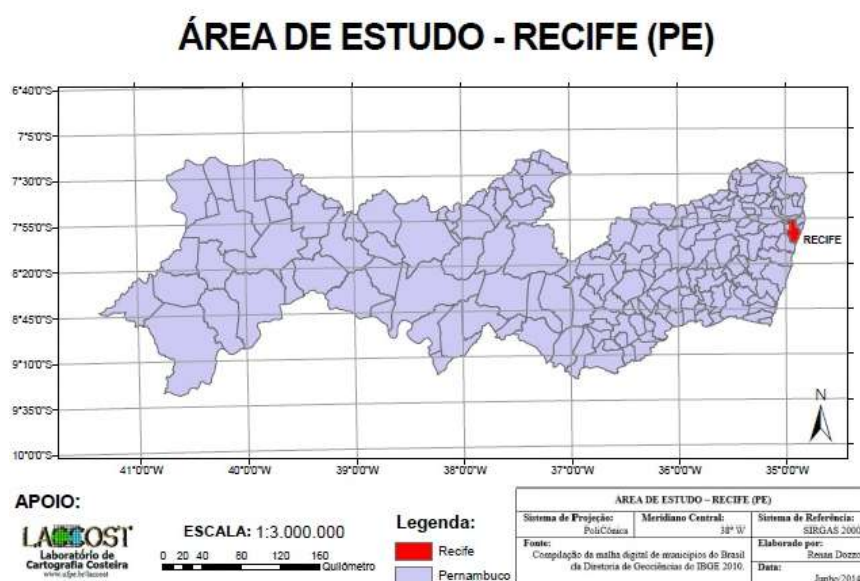


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

O litoral recifense nas últimas décadas vem sofrendo um grande processo de erosão costeira, que por sua vez tem merecido atenção de alguns setores do poder público e a população atingida, que tem adotado medidas emergenciais e descontínuas, na maioria das vezes pouco eficazes (LIRA, 1997). Em alguns trechos houve forte intervenção pública para controle da erosão costeira.

Segundo os dados do censo de 2010, Recife possui uma população de 1.537.704 habitantes e apresenta uma superfície territorial de 218.498 km². As praias que formam a faixa litorânea do Recife são as do Pina (tem uma faixa litorânea de 6,16 km e uma população residente de 27.422 habitantes em todo bairro) e a de Boa Viagem (tem uma faixa litorânea de 7,3 km e uma população residente de 100.388 habitantes em todo bairro).

A área de estudo foi selecionada por ser uma das áreas de maior aglomeração populacional do município, além de outras particularidades é uma área costeira residencial e comercial. Ela se estende pela praia de Boa Viagem (Recife), onde se desenvolve trabalhos de monitoramento e pesquisa pelo Laboratório de Cartografia Costeira (LACCOST) da UFPE. A figura 2 mostra uma vista aérea do bairro de Boa Viagem.



Figura 2: Vista aérea de parte do bairro de Boa Viagem.
Foto: Eduardo Ferreira.

A praia de Boa Viagem se situa na zona sul da cidade do Recife e é limitada pela praia do Pina e pela praia de Piedade (tem uma faixa litorânea de 4,5 km), sendo banhada pelo Oceano Atlântico. Ela é uma das praias mais famosas da cidade, cujo nome deriva da igreja de Nossa Senhora da Boa Viagem, sendo sua maior parte protegida por cordões de arenito (*beachrocks*) paralelos a costa. Na maré baixa, formam-se várias piscinas naturais ao longo da praia, sendo possível andar sobre os recifes, que são relativamente planos, largos e escorregadios. Quando a

maré sobe, os recifes ficam completamente cobertos pela água, observados em MENDONÇA (2010).

COSTA, *et. al.*(2008), relatam que a praia de Boa Viagem e seu segmento mais ao norte, a praia do Pina, chegaram a ser consideradas Unidades de Conservação (58ha) pela Prefeitura da Cidade do Recife em 2000 e que a construção de uma avenida beira-mar (pistas de rolamento, calçada, mureta, quiosques, banheiros e infraestrutura de lazer) teve forte influência na impermeabilização do terreno e imobilização das dunas, podendo ter levado a um sério deslocamento do frágil balanço sedimentar para o lado da erosão da praia.

O deslocamento do balanço sedimentar também pode ter levado a um aumento da vulnerabilidade da praia a tempestades e ressacas. Como consequências, um enrocamento aderente foi instalado emergencialmente em cerca de 2 km da praia em 1996. Os fenômenos como ressacas e tempestades apresentam uma tendência recente de aumento de sua frequência e intensidade. Sendo assim a praia poderá estar mais vulnerável a erosão do que a uma mudança (elevação) do nível do mar propriamente dita, (COSTA, *et. al.*, 2008).

A figura 3 apresenta a proteção costeira em Boa viagem, percebe-se a proteção feita pelos cordões de arenito (*beachrocks*) e pelo enrocamento.



Figura 3: Maio de 2014 às 14h.
Foto: O orientador.

3. EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1. LINHA DE COSTA

É de fundamental relevância para um adequado gerenciamento dos espaços costeiros ter o conhecimento da posição geográfica da linha de costa. A linha de costa é uma das feições geomorfológicas mais dinâmicas do nosso planeta. Sua determinação e monitoramento são

indispensáveis para a conservação do ambiente costeiro, nos quais as erosões, usualmente, resultam da combinação de fatores naturais, tais como as tempestades, as correntes marinhas e a geomorfologia da praia e de fatores induzidos pelo homem, como as explorações costeiras e as atividades de engenharia (ESTEVEVES *et al.*, 2003).

Em DOLAN *et al.* (1978) é explicitado uma simples definição para a linha de costa, sendo ela a “linha que representa as bordas de um corpo d’água”. No entanto, as variações à que estão sujeitas esses ambientes aquáticos e suas interfaces fazem com que essa linha seja extremamente dinâmica, apresentando mudanças de posicionamento diárias, sazonais e de longo período, sendo a definição de sua localização um pouco mais complexa.

O LACCOST (Laboratório de Cartografia Costeira) da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco) vem empregando a seguinte definição para linha de costa: é o limite entre o continente e a porção adjacente ao mar onde não há efetiva ação marinha no alcance máximo das ondas, concretizando-se pela presença de falésias, no limite entre a vegetação e a praia, ou nos costões rochosos, ou por qualquer outra feição que marque o início da área continental (SUGUIO, 1992).

MENDONÇA (2005) exprime de forma sucinta que a posição da linha de costa é resultado de interações morfodinâmicas, controlada basicamente pelas características das ondulações geradas pelos sistemas meteorológicos e pelo balanço hídrico e sedimentar resultante entre o aporte continental e marinho, sabendo-se que quando a mesma recua causa a conhecida erosão costeira e quando avança aumenta a área da praia. A erosão costeira é um processo natural e torna-se um problema quando o seu recuo atinge referenciais fixos construídos, do tipo: calçadões, prédios, residências e outras intervenções antrópicas. A erosão só acaba com praia arenosa quando encontra um obstáculo, em locais sem construções a praia arenosa, somente recua e a sua capacidade recreativa permanece. Somam-se à isso, as variações do nível do mar (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995), a influência da morfologia da antepraia nas ondulações, tectonismo, transporte sedimentar costeiro, dinâmica da zona de arrebentação, entre outros.

3.2. GNSS

Um Sistema Global de Navegação por Satélites é formado por uma constelação de satélites com cobertura global que envia sinais de posicionamento e tempo real para usuários localizados em solo, aeronaves, ou transporte marítimo. O GNSS é composto pelo GPS (sistema Norte-americano), GLONASS (sistema Russo), e também outros sistemas que estão em estado

de implantação e próximo de se tornar disponível como o Galileo (sistema Europeu) e o Beidou/Compass (sistema Chinês).

Em MAIA e MAZUR (2008), percebe-se a importância da utilização do GNSS para trabalhos costeiros, através da organização de dados temporais obtidos por GPS de campanhas e projetos de pesquisa anteriores em uma determinada área de estudo no litoral paranaense que vem sofrendo problemas erosivos e com o monitoramento contínuo da área foi possível, por meio de levantamentos geodésicos com GPS, analisar as variações na posição da linha de costa e delimitar locais de risco assim como estimar velocidades a curto prazo de variações da linha de costa.

3.3. GPS

O sistema GPS, designação extraída da simplificação de *NAVigation System with Time and Ranging Global Positioning System* (NAVSTAR GPS), um sistema de rádio navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos – DoD (*Departamento of Defense*), é uma constelação de satélites baseados em rádio navegação (SEEBER, 2003), que foi desenvolvida em princípio para atividades militares, e atualmente vêm sendo de grande importância para as atividades civis, entre elas pode-se destacar seu valor aos estudos relacionados à hidrografia e ao meio ambiente.

O sistema foi criado em 1973 para suprir as limitações dos sistemas anteriores de navegação. A constelação de satélites GPS iniciou sua operação em Dezembro de 1993. Consiste de 24 satélites organizados em 6 planos orbitais (4 satélites por plano que fornecem serviços em todo o mundo) com uma inclinação de 55 graus e uma altitude de 22.200 Km. Os satélites GPS transmitem informações em duas frequências denominadas L1, a 1.575,42 MHz, e L2, a 1.227,6 MHz, usando o protocolo de comunicação *Code Division Multiple Access* (CDMA). Atualmente, já se transmite a nova portadora, designada L5, com frequência igual a 1.176,45 MHz. A informação transmitida pelos satélites é usada para calcular a posição de receptores no momento da transmissão do sinal, abordado em MONICO (2008).

Vale ressaltar que o fundamento básico de navegação pelo GPS consiste na medida de distâncias entre o usuário e, no mínimo, quatro satélites, ver Figura 4. MONICO (2008) descreveu que ao conhecer as coordenadas dos satélites em um sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referência dos satélites. A existência de um quarto satélite torna-se vital no cálculo de posicionamento, pois eles permitem a determinação da posição (x,y,z) e do tempo (dtr).

Para limitar a precisão do sistema GPS foram impostos dois mecanismos: o *Selective Availability* (SA) que consiste em deturpar as informações relativas a órbita e ao estado do relógio dos satélites, e o *Anti-Spoofing* (AS) que consiste em substituir o código P, mais preciso que o CA (*Coarse Acquisition*) e reconhecido pela maioria dos receptores, por um código γ apenas reconhecido por receptores militares. Segundo PRATES (2004), O *Selective Availability*, que provoca uma incerteza padrão nas distâncias próxima dos trinta metros, encontra-se atualmente desativado.

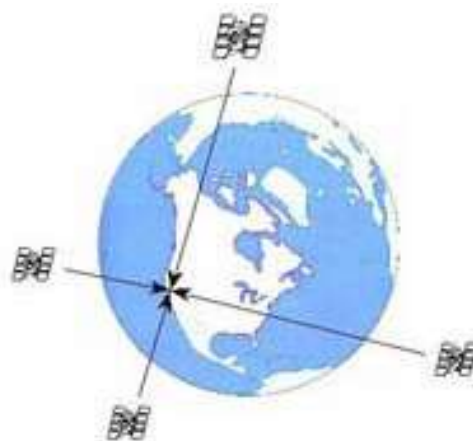


Figura 4: Número de satélite disponível 24 horas por dia.
Fonte: <http://www.allgps.com>

Nas atividades costeiras, o GPS vem sendo utilizado com sucesso para a definição de linhas de costa e em seu monitoramento, os quais são consequência do aumento da ocupação da zona costeira e de sua variação natural, como pode ser verificado em RIBEIRO (2005), BAPTISTA *et al.* (2008), LEATHERMAN (2003) entre outros autores.

O GPS é dividido em três segmentos: o segmento espacial (satélites GPS), o segmento de controle (estações de terreno localizado em torno da Terra) e o segmento de usuário (receptores e seus usuários).

3.3.1. SEGMENTO ESPACIAL

O segmento espacial contempla de no mínimo 24 satélites MEO (*Medium Earth Orbits* – Satélites em Órbitas médias) distribuídos em 6 planos orbitais igualmente espaçados, com 4 satélites em cada plano em uma altitude de 20200 km aproximadamente (Figura 5). Esses planos orbitais estão inclinados a 55° em relação ao Equador e o período orbital de aproximadamente 12 horas siderais. Com esta configuração, torna-se garantido a visibilidade de no mínimo 4 satélites na superfície da Terra e qualquer horário do dia.

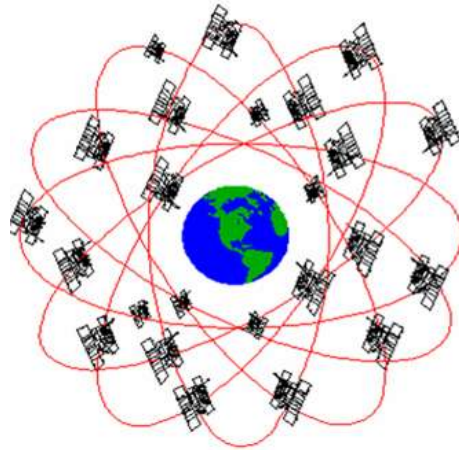


Figura 5: Constelações de satélites GPS.

Fonte: http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html

Esse segmento é constituído pelos satélites, possuindo várias funcionalidades como manter uma escala de tempo bastante precisa, para isso os satélites podem possuir: dois relógios de césio e de rubídio, somente relógios de rubídio ou somente relógios de césio. Emite dois sinais ultra-sensíveis em frequência, modulados em fase através dos códigos denominados pseudo-aleatórios. Como também, recebe e armazena as informações oriundas do segmento de controle, e efetua manobras orbitais para guardar a sua posição definida na constelação ou para substituir um outro satélite defeituoso, e por fim, retransmitir informações (mensagens de navegação) ao solo. Vale complementar que os satélites GPS utilizados para comunicações não são geostacionários, isto é, não permanecem numa posição fixa em relação à Terra, acompanham-se a sua rotação, visto em (SEEBER, 2003).

Atualmente o sistema dispõe de uma constelação de 32 satélites, com 31 em operação, essas informações foram publicadas no site do governo norte-americano para educar o público sobre o GPS. Mais conteúdo sobre esse tema pode ser observado no site www.gps.gov (*Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics*).

O programa de modernização do sinal de GPS oferece um conjunto de sinais para usuários civis e militares para garantir medidas com maior exatidão e confiabilidade. Quatro sinais foram inseridos: dois sinais para usuários civis nas frequências L2 e L5 e dois sinais militares código M nas portadoras L1 e L2. Este novo sinal L5, à semelhança do L1, é protegido mundialmente para uso em radionavegação aeronáutica e dá suporte em aplicações na aviação, assim como a usuários terrestres (agricultura, recreação, rodovias e marítima), essas informações foram obtidas a partir de MONICO (2008) e complementadas pelo site norte-americano

(www.gps.gov). A Figura 6 mostra, de forma simplificada, a estrutura básica dos sinais GPS emitidos atualmente e também o modernizado L5.

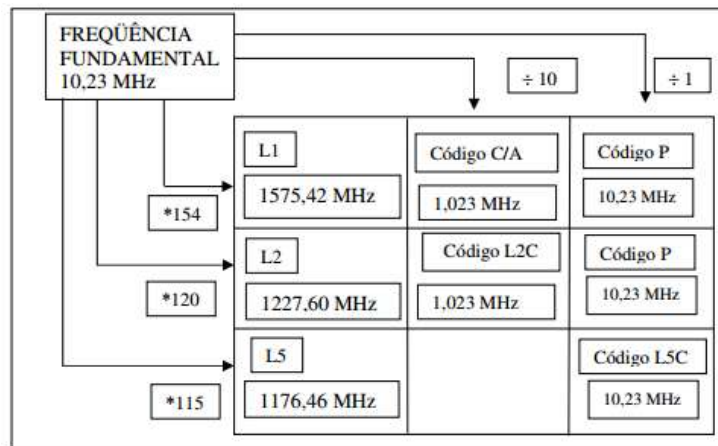


Figura 6: Estrutura básica do sinal GPS modernizado.
Fonte: Modificado de Monico (2000, p.273).

3.3.2. SEGMENTO DE CONTROLE

Segundo SEEBER (2003), o segmento de controle distribuído em torno da Terra, próximas do Equador, tem como finalidade o monitoramento e controle contínuo dos satélites, a determinação do tempo GPS, calcular suas posições, transmitir os dados e executar a supervisão necessária para o controle de todos os satélites do sistema, prever as efemérides dos satélites calculando as correções dos respectivos relógios e atualizar sistematicamente as mensagens de navegação de cada satélite. Os componentes desse segmento do sistema GPS são: estação de controle central, estações de monitoramento e controle de antenas terrestres, pode ser visualizado na figura 7.

Com relação ao monitoramento do sistema de controle, pode-se dizer que ele é constituído por uma estação de controle central (MCS - *Master Control Station*), localizada em Colorado Springs, Colorado; cinco estações monitoras (Hawaii, Colorado Springs, Ascension Island, Diego Garcia e Kwajalein), sendo que as 3 últimas possuem antenas para transmissão de dados para os satélites. As cinco estações de monitoramento pertencem à AAF (*American Air Force*), explicitado no site norte-americano (www.gps.gov).



Figura 7: Localização das Estações de Controle no mundo.
Fonte: <http://www.gps.gov/>

3.3.3. SEGMENTO DE USUÁRIOS

O segmento dos usuários está completamente relacionado às aplicações do sistema. Refere-se a tudo que se associa com a comunidade usuária, os inúmeros tipos de receptores e os métodos de posicionamento por eles utilizados. Em outras palavras, esse segmento está diretamente associado aos receptores GPS, os quais devem ser apropriados para os propósitos a que se destinam, como navegação, geodésia, agricultura ou outra atividade, citado em SEEBER (2003).

Em MONICO (2008), relata-se que a categoria de usuários pode ser dividida em civil e militar. A categoria civil constitui o segmento mais abrangente e que continua a aumentar. Hoje em dia, torna-se comum encontrar receptores móveis GPS, sendo possível observá-los em smartphones e carros. Vale enfatizar que a precisão dos dados depende do tipo de equipamento utilizado, variando desde milímetros até metros.



Figura 8: Alguns modelos de receptores da Trimble.
Fonte: <http://www.trimble.com>

3.4. GLONASS

Diferentemente do GPS o GLONASS foi desenvolvido pela antiga União Soviética, na década de 70. Com um sistema bastante similar ao GPS, o GLONASS, a respeito do PRN (*pseudo range noise*), possui dois: os códigos CA e o P (*Precise or Protect* – Preciso ou Protegido). Sendo assim temos o código CA disponível para a usuários civis, modulados na portadora L1 e o código P restrito aos usuários autorizados, modulados pela portadora L2. Para que seja possível essa diferenciação os códigos possuem frequências distintas, sendo o CA de frequência 0,511 MHz e o P de 5,11 MHz (quase a metade do GPS), ou seja, desse modo temos que, teoricamente, a acurácia das pseudo-distâncias GLONASS é inferior quando comparada com a do GPS, mas diferentemente do GPS, os sinais GLONASS nunca foram degradados de modo intencional. Os códigos PRN são os mesmos para todos os satélites, com isso a identificação dos satélites se dá pela frequência do sinal, técnica essa denominada de FDMA (*Frequency Division Multiple Access* – Múltiplo Acesso pela Divisão da Frequência) (MONICO, 2008). Da mesma maneira que o GPS, o GLONASS também é composto por três segmentos, com o ressalvo de que o segmento de usuários é bem menor que o do GPS. Informações adicionais sobre o GLONASS podem ser obtidas em <http://www.GLONASS-ianc.rsa.ru>.

Atualmente, o sistema GLONASS possui uma constelação de 30 satélites, sendo 24 satélites utilizados para tais fins, 1 na fase de comissionamento, 2 estão sobre investigação do Designer chefe, 2 estão em peças e 1 em fase de teste de voo. O último satélite colocado em órbita foi em abril de 2014 e o último lançado foi em junho de 2014, este está na fase de comissionamento. O usuário hoje dispõe de 62 satélites somando os dois sistemas de posicionamento (GPS e GLONASS), mas são 55 satélites que estão sendo utilizados em órbita, sendo 24 do sistema GLONASS e 31 do sistema GPS. Todas essas informações foram extraídas no site (www.glonass-iac.ru) do Centro de Informação Analítica (IAC), que foi fundado em 1995, sob as ordens do Diretor-Geral da Agência Espacial Russa. A Tabela 1 mostra as principais características do GPS e GLONASS.

	GLONASS	GPS
Número de satélites em constelação	30	32
Números de satélites usados	24	31
Número de planos orbitais	3	6
Inclinação dos planos orbitais	64,8°	55°
Semi-eixo maior da órbita	25510 km	26560 km
Frequência Fundamental	5,11 MHz	10,23 MHz
Técnica de separação de sinal	FDMA	CDMA
Efemérides transmitidas pelos satélites	Coordenadas Cartesianas e suas derivadas	Elementos orbitais keplerianos e seus fatores de perturbação
Tempo de referência	UTC (SU)	UTC (USNO)
Sistema de referência	PZ-90	WGS-84

Tabela 1: Principais características do GLONASS e GPS.

Fonte: Monico, 2008 adaptado pelo site <http://glonass-iac.ru/>.

3.5. MÉTODOS DE POSICIONAMENTO POR GNSS

O GNSS tem sido cada vez mais utilizado para realizar posicionamento. Empregando essa tecnologia pode-se realizar o PP (posicionamento por ponto), PPP (posicionamento por ponto preciso), DGPS (GPS diferencial), relativo ou posicionamento baseado em redes. Métodos que possuem características distintas (SEEBER, 2003) com suas respectivas vantagens e desvantagens. Por sua vez, MONICO (2007) expressiu que o método de posicionamento pode ser classificado como absoluto (também conhecido como posicionamento por ponto), quando as coordenadas de um objeto estão associadas diretamente ao geocentro, e relativo, quando as coordenadas são determinadas em relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas.

No PP ou PPP o conceito básico é a utilização de apenas um receptor para realizar o posicionamento. Esses métodos se diferenciam pelas observáveis empregadas e a acurácia alcançada. Enquanto no PP a acurácia gira em torno de metros, o PPP pode alcançar acurácia centimétrica. Hoje, o PPP em tempo real representa o estado da arte no posicionamento por ponto. Para mais detalhes consulte, por exemplo, ZHANG *et al.* (2011) e MARQUES (2012).

Um método bastante empregado é o DGPS, que pode proporcionar acurácia métrica (SEEBER, 2003), ou até mesmo submétrica. Mas, devido à decorrelação espacial dos erros, a

distância entre a base e o usuário é limitada. Para sanar essa limitação, outra possibilidade é o DGPS em rede (ALVES *et al.*, 2011).

Tem outra maneira que se pode dividir os métodos de posicionamento, é quando se refere ao estado do objeto: se o objeto a ser posicionado encontra-se em repouso, diz-se que o método é estático, caso contrário, o objeto estará em movimento e o método é cinemático.

Outra informação relevante no que se refere ao posicionamento geodésico é o conceito de posicionamento em tempo real e o pós-processado. No primeiro caso, a estimativa da posição da estação de interesse ocorre praticamente no mesmo instante em que as observações são coletadas. No pós-processado, as posições dos pontos em que dados foram coletados são estimativas num processamento posterior à coleta (HOFMANN-WELLENHOF *et. al*, 1997).

Para cada um desse método existem as vantagens e desvantagens para a sua funcionalidade, cabe ao profissional responsável escolher o método mais apropriado para tais fins, como por exemplo, é inevitável que as posições sejam disponibilizadas em tempo real. Em outra ocasião com que se refere a uma rede geodésica, faz-se necessário a aplicação de técnicas mais rigorosas de controle de qualidade, por isso permite-se que os dados sejam pós-processados, visto em ZHANG *et al.* (2011).

No posicionamento com GPS surgiram vários métodos intermediários entre posicionamento estático e cinemático, explorando a capacidade do sistema em fornecer coordenadas altamente precisas depois de um breve período de coleta de dados, ou mesmo com o receptor em movimento. Diante disso, surgiram várias denominações para os métodos rápidos desenvolvidos (MONICO, 2008). Dentre os vários termos surgidos temos: estático rápido, semicinemático, pseudocinemático, cinemático puro ou contínuo, cinemático rápido, pseudo-estático, “*stop and go*”, etc.

3.5.1. MÉTODO RTK

Em algumas aplicações que necessitam o conhecimento das coordenadas da antena do receptor em tempo real e para que esse objetivo seja alcançado, faz-se necessário que o receptor em movimento receba e aplique correções transmitidas por uma estação de referência, o que requer um *link* de rádio para essa finalidade. Essas correções são enviadas em tempo real por meio de um sistema de comunicação (rádio de transmissão, linha telefônica ou satélites de comunicação) e dentro de um formato apropriado (SEEBER, 2003; MONICO 2008).

No método de Posicionamento RTK, como as ambiguidades são solucionadas praticamente em tempo real, o usuário tem a sua disponibilidade distâncias entre o receptor e o

satélite com precisão da ordem de poucos milímetros, o que permite o posicionamento da ordem de poucos centímetros (MONICO, 2008).

No posicionamento relativo, um método bastante empregado é o RTK, devido à alta produtividade e a acurácia centimétrica proporcionada. Mas, para que isso ocorra, o comprimento das linhas base deve ser curto, inferior a 10 km, dependendo principalmente das condições ionosféricas. No entanto, à medida que a distância entre essas estações (linha de base) aumenta, os erros que anteriormente eram semelhantes, passam a ser cada vez mais não correlacionados, o que acarreta uma degradação progressiva da precisão (PRADO e KRUEGER, 2003).

Na literatura internacional RUGGIERO *et al.* (1999) destacam a importância do monitoramento da linha de costa para o planejamento urbano utilizando o levantamento diferencial RTK.

3.5.2. MÉTODO CINEMÁTICO RELATIVO

Utilizam-se no mínimo dois receptores, um mantido fixo (a base) e os outros móveis permitindo determinar a posição do ponto de interesse durante o deslocamento dos outros receptores (VASCONCELLOS, 1995).

Os métodos cinemáticos de levantamento se caracterizam pelo fato do receptor incumbido da coleta dos dados estarem em pleno movimento, determinando assim as coordenadas de uma trajetória (SEEBER, 2003).

O nível de precisão do método de levantamento cinemático com pós-processamento é de 10 cm podendo alcançar poucos centímetros caso as condições sejam favoráveis (cobertura de satélites, ausência de multicaminho, etc) (SEEBER, 2003)

Um posicionamento relativo é caracterizado pelo rastreamento simultâneo dos satélites em no mínimo dois receptores, para a determinação de uma trajetória. É importante mencionar que um receptor geodésico deve ser instalado em uma estação de coordenadas conhecidas, denominada de base e o outro aparelho é instalado no local onde se deseja obter as coordenadas geodésicas, denominado de estação móvel ou itinerante (SEEBER, 2003; MONICO 2008).

Diferentemente do método RTK, que permite o fornecimento de coordenadas em tempo real, para este tipo de levantamento faz-se necessário a realização de um pós-processamento dos dados em laboratório onde pode ser aplicando técnicas de controle de qualidade.

3.5.3. MÉTODO PELO POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO

Segundo LEICK (2004), o PPP refere-se ao posicionamento com GPS mediante utilização dos dados de apenas um receptor. A precisão do PPP varia da ordem do centímetro, quando se considera o modo estático e um longo período de coleta de dados, até a ordem de alguns decímetros, no modo cinemático.

Outro aspecto importante e requisito fundamental do PPP é o uso de efemérides e correções dos relógios dos satélites, ambos com alta precisão (MONICO, 2008; WITCHAYANGKOON, 2000), cujas informações têm sido produzidas e disponibilizadas pelo IGS e centros associados, sem nenhum custo. Atualmente, o IGS produz três tipos de efemérides e correções para o relógio dos satélites, denominadas de efemérides IGS, IGR e IGU, cuja descrição detalhada pode ser obtida em MONICO (2008). A maioria desses produtos tem cada um dos elementos disponibilizados (coordenadas X, Y e Z e erro do relógio de cada satélite) em intervalos de 15 minutos, um intervalo adequado para realizar interpolações das coordenadas dos satélites, entretanto, nem sempre para as correções dos relógios (MONICO, 2008).

A qualidade das coordenadas estimadas no PPP e seus efeitos estão relacionados, principalmente, aos erros considerados no processamento dos dados, cuja remoção parcial ou completa é realizada com a aplicação de modelos matemáticos (ROSA, 2008).

O Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) é um pós-processamento das observáveis incluindo a estimativa das efemérides precisas e as correções para os relógios dos satélites possibilitam que a acurácia no posicionamento absoluto passe de metros ao nível de poucos centímetros. A evolução da tecnologia GNSS, fez com que a quantidade de dados para processamento aumentasse, possibilitando o aparecimento de serviços específicos de processamento de dados. Com o intuito de facilitar o processamento dos dados, algumas agências e instituições passaram a oferecer gratuitamente serviços de processamento on-line, via internet (ABREU; FONSECA JR, 2005).

Com o advento da tecnologia, surgiu uma maneira de processamento mais viável aos usuários, a disponibilização via internet dos serviços de processamento do PPP, fazendo com que esse método forneça soluções para os mais diversos problemas geodésicos, chegando ao alcance da comunidade em geral. Os usuários do PPP *on-line* têm a possibilidade de realizar o processamento de dados GNSS, a partir de uma única estação, obtendo posições com acurácia na ordem de poucos centímetros e com grande facilidade de acesso ao serviço.

Neste tipo de serviço, um arquivo de dados no formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) ou Hatanaka, compressão específica para arquivos em formato RINEX, é enviado através da página na internet do serviço oferecido. Quando o processamento é completado, os resultados são enviados para o usuário através do endereço eletrônico informado ou para baixar da própria página.

Existe atualmente o Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), estático ou em tempo real, com precisões decimétricas obtidas através de correções consistentes (KOUBA, 2001) para as órbitas e erros dos relógios dos satélites, modelos troposféricos, combinações lineares livres do efeito ionosférico, erros do centro de fase da antena, além de correções das marés terrestres e carga dos oceanos (para posicionamentos mais precisos).

Esse serviço de pós-processamento de dados GPS *on-line* relatado nos parágrafos anteriores é disponibilizado pelo site do IBGE, permitindo ao usuário obterem coordenadas de boa precisão no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e no *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF). O IBGE-PPP possibilita o processamento de dados GPS que foram coletados no modo estático ou cinemático de receptores de uma ou duas frequências. Permitindo apenas a aceitabilidade de dados GPS que foram rastreados após 25 de fevereiro de 2005, pois foi quando o SIRGAS2000 foi adotado oficialmente no Brasil.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item são apresentados todos os materiais utilizados nesse estudo e a descrição detalhada dos métodos.

4.1. MATERIAIS

Nesse trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Um par de receptores GNSS: Topcon Hiper Lite Plus e um receptor GNSS: Leica Viva GNSS GS15;
- Equipamentos diversos: trena, tripé, bastões, etc.
- Imagem de satélite Geoeye (2011);
- Software AutoCAD® 2014;
- Software ArcGIS 10;
- Software Leica GeoOffice 8.2

- Software Magnet Tools v2.0;
- Software ProGRID 2010;
- Tool Detect Shifting Toolbox® para ArcGIS;
- Windows 8 x64 bits;

A seguir é mostrado o receptor geodésico instalado na base utilizada no levantamento para o método do RTK, onde se encontra o receptor geodésico Topcon Hiper Lite Plus, ver Figura 9.



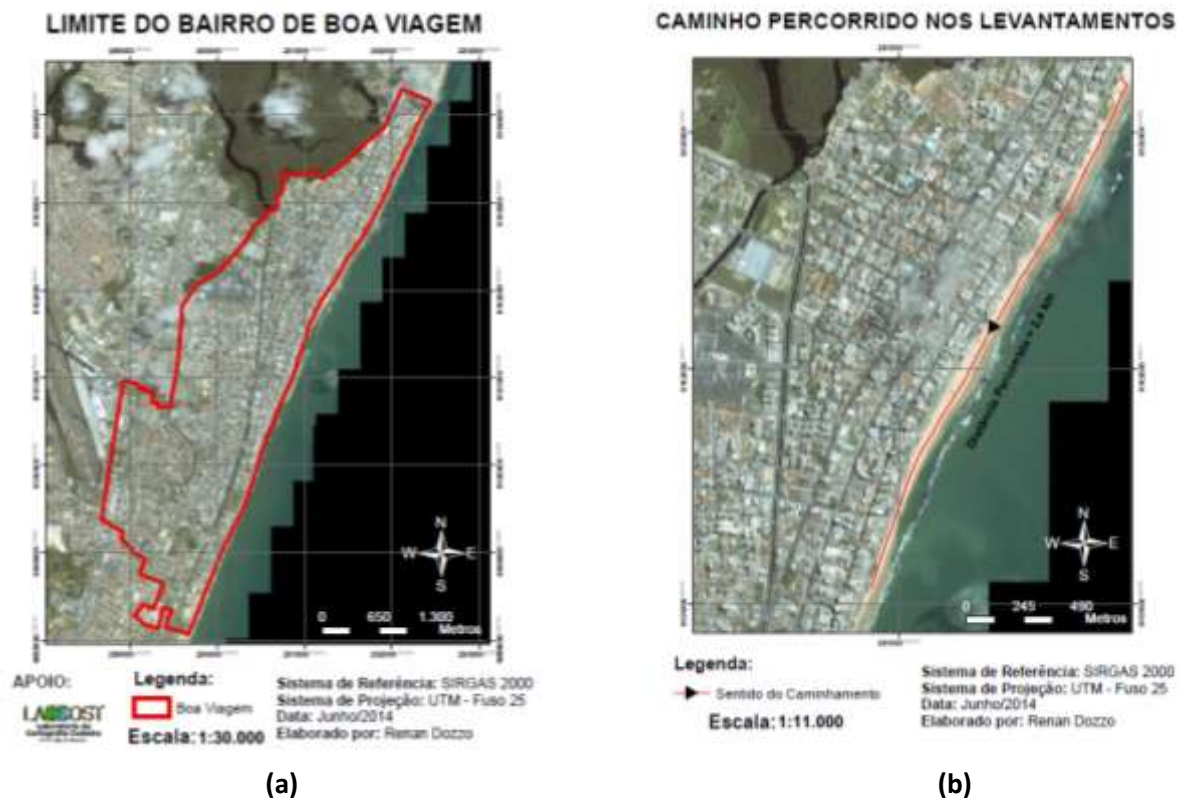
Figura 9: Receptor GNSS Topcon Hiper Lite Plus.

Fonte: O autor

4.2. MÉTODOS

Inicialmente tornou-se necessário selecionar a área de estudo que vem sendo monitorada pelo Laboratório de Cartografia Costeira da UFPE para efetuar o experimento proposto compreendendo a praia de Boa Viagem (Recife).

Os levantamentos geodésicos foram realizados no dia 29 de Janeiro, com a realização da medição da Linha de Costa da área de estudo, iniciando-se o caminhar a partir do Terceiro Jardim de Boa Viagem, levando em consideração o planejamento feito com relação a amplitude de preamar, até o início do enrocamento da praia de Boa Viagem. A Figura 10 apresenta a imagem de satélite de 2011 da área escolhida, sendo que em (a) é possível identificar um polígono representando os limites do bairro de Boa Viagem e em (b) o sentido do caminhar referente aos levantamentos realizados e explicitando o quanto foi percorrido.



Os equipamentos utilizados foram três receptores GNSS geodésicos, um par foi do modelo *Topcon Hiper Lite+* e o outro receptor foi do modelo *Leica Viva GS15*. Vale ressaltar que para o levantamento pelo método RTK foram utilizados os modelos da Topcon, enquanto que o levantamento cinemático relativo foi utilizado o modelo da Leica.

Para a medição da linha de costa, o receptor da Topcon, que serviu como base, ficou instalado em um marco geodésico da Prefeitura do Recife, localizado no Terceiro Jardim de Boa Viagem (Avenida Boa Viagem, no canteiro em frente ao prédio nº 1958), e o outro receptor Topcon considerado como móvel, seguiu se deslocando em modo RTK no sentido de caminhamento para Boa Viagem (Norte - Sul). Esse marco utilizado neste estudo é do tipo concreto tronco piramidal, medindo 20x30x60cm, encimado por Chapa metálica. Foi implantado pela empresa de engenharia ENGEFOTO no ano de 2007 (Obra 819/07).

A figura 11 mostra a equipe técnica responsável pelo levantamento fazendo a instalação dos equipamentos nas suas respectivas bases que serviram para a medição.



Figura 11: Equipe técnica instalando os receptores nas bases.
Fonte: O autor

A tabela 2 representam os valores das coordenadas UTM, em SIRGAS2000, do marco. A monografia de marcos completa com informações mais detalhadas pode ser obtida no site da ENGEFOTO (www.engefoto.com.br).

	Coordenadas UTM
E:	291946.791 m
N:	9103236.979 m
H (Ortométrico):	4.533 m

Tabela 2: Coordenadas UTM da Base.

A equipe de campo foi constituída por seis integrantes: o orientador, o orientado e quatro alunos voluntários da graduação de Engenharia Cartográfica. Vale salientar que todos os alunos responsáveis pelo levantamento foram previamente treinados, capacitados e assistidos pelo orientador na hora de efetuar o levantamento geodésico. É relevante ressaltar que todas as medidas foram tomadas buscando a minimização de erros grosseiros e sistemáticos nas medições, tais como processos de centragem, calagem e aferição da altura do instrumento.

Antes de ir a campo para a realização das medições, fez-se um planejamento para o levantamento ser realizado em um dia de maré máxima no mês em questão. Essas informações foram obtidas por meio do site da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), que é uma organização militar da marinha do Brasil, e observou-se na tabela de marégrafos do porto de Recife que no dia 29 de janeiro teria uma maré de amplitude de 2,5 metros. A figura 12 mostra os dados diários referentes as marés máximas e mínimas.

	WED 29/01/2014	02:34	2.3
		08:47	0.3
		14:53	2.5
		21:15	0.0
☉	THU 30/01/2014	03:21	2.4
		09:34	0.1
		15:39	2.6
		22:02	-0.1
	FRI 31/01/2014	04:08	2.5
		10:17	0.1
		16:24	2.7
		22:49	-0.1

Figura 12: Dados diário das marés máximas e mínimas.

Fonte: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/30645Jan2014.htm>

Após efetuado o levantamento de campo, os dados foram organizados e processados. Os dados do levantamento RTK, correspondendo as coordenadas da linha de costa não precisaram de pós-processamento. O software *Magnet Tools* v2.0 (figura 13) foi utilizado apenas para a conversão do formato .mjf (formato padrão de dados da Topcon) para o formato .dwg (um dos formatos padrões do AutoCAD), para a geração do relatório do levantamento e para fazer a verificação se os dados oficiais (contidos na monografia de marcos) das coordenadas da base foram inseridos corretamente na coletora, varrendo a possibilidade de quaisquer erros grosseiros na hora da inserção dos valores.

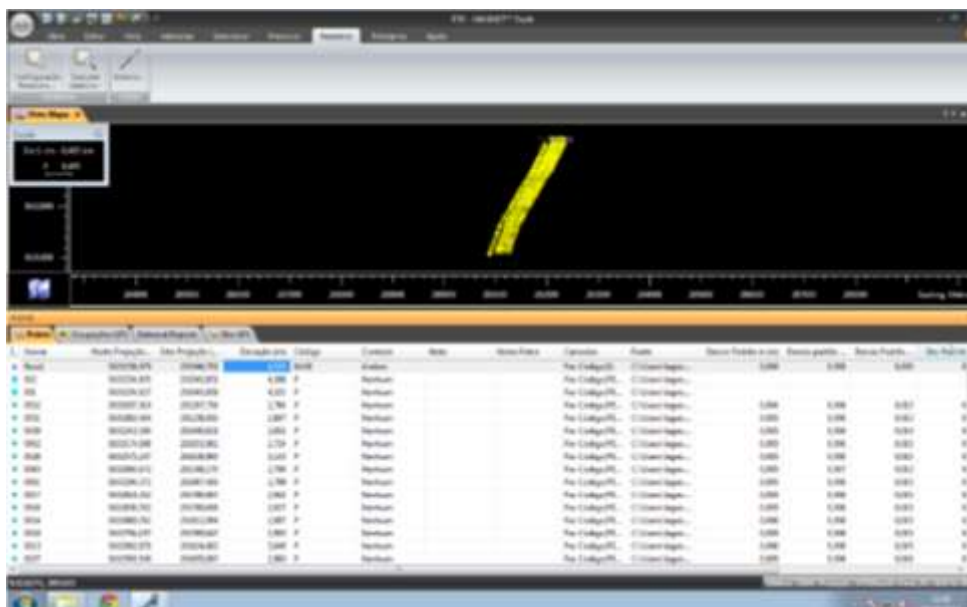


Figura 13: Software Magnet Tools v2.0 rodando numa plataforma Windows 8 x64 bits

Por sua vez, os dados provenientes do levantamento cinemático, com o outro

equipamento (receptores Leica) utilizado no estudo, necessitaram de um pós-processamento em laboratório, sendo utilizado para este procedimento o software Leica GeoOffice. Nesse software foram feitos: o processamento dos dados, geração do relatório e por fim, exportação dos dados para o formato .dwg. Com relação ao processamento dos dados, fez-se necessário a utilização da base RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) do IBGE que fica na UFPE, sendo a sua denominação definida de RECF. As informações sobre esse marco são obtidas a partir do site do IBGE (www.ibge.gov.br), que para ter acesso a esses dados faz-se um cadastro e em seguida seleciona-se a estação juntamente com o dia do trabalho em campo, neste caso foi no dia 29 de janeiro de 2014, numa quarta-feira. A tabela 3 refere-se as coordenadas da estação RECF.

	Coordenadas UTM
E:	284931,043 m
N:	9109554.895 m
H (Ortométrico):	25.6096 m

Tabela 3: Coordenadas UTM da Base RECF.

Na figura 14, pode-se observar uma linha amarela que significa a linha da Base da praia de Boa viagem até a RBMC que fica na Cidade Universitária dentro do Campus da UFPE. Essa distância corresponde aproximadamente a 9440,84m. Também é mostrada na figura uma linha vermelha que corresponde à linha de costa levantada.

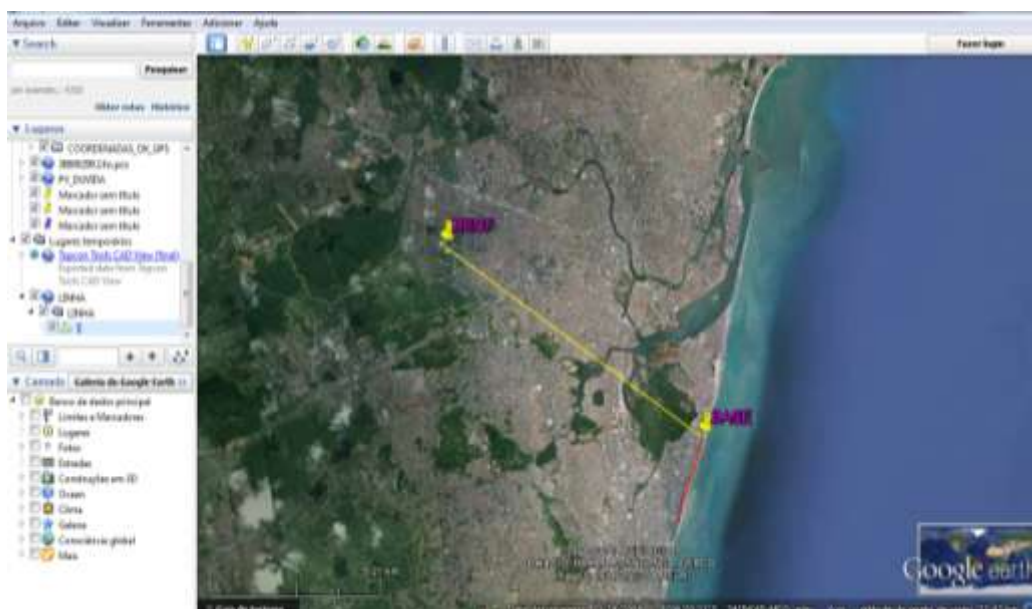


Figura 14: Representação da distância entre as duas bases (em amarelo) e a linha de costa levantada (em vermelho) a partir do software Google Earth.

Vale frisar que neste caso de levantamento, as coordenadas tiveram que ser convertidas de cartesianas (X, Y, Z) para coordenadas UTM (E, N) por meio do software Progrid, disponibilizado pelo IBGE, para compatibilizar todas as coordenadas que estavam em UTM. A figura 15 mostra o software Progrid utilizado para a obtenção das coordenadas em UTM.

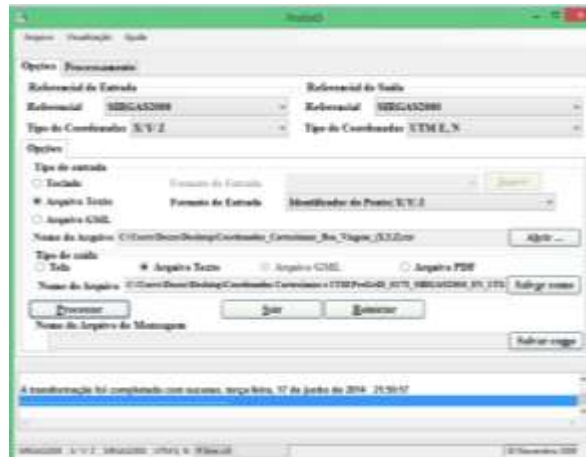


Figura 15: Software Progrid rodando numa plataforma Windows 8 x64 bits.

Com relação ao método do PPP pelo IBGE, utilizaram-se os dados RINEX obtidos pelo levantamento cinemático efetuado em campo com o receptor geodésico da Leica, sendo enviado esse arquivo para o site do IBGE (<http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>). Em questão de minutos foram recebidos os dados processados e calculados, onde se teve apenas o trabalho de converter para UTM, através do programa Progrid, e em seguida exportar para o formato shape (.shp). Os relatórios obtidos a partir do site são dois, um contendo as coordenadas do processamento e o outro contém as posições ao longo do tempo, sendo esse o mais importante para o levantamento cinemático. A figura 16 mostra uma parte reduzida do relatório contendo as posições ao longo do tempo.

DIR	FRAME	STN	TOY	YEAM	MM	DD	HR	MN	SS	SSS	NSV	GDDP	SOC	SDP	DLAT(m)	DLON(m)	DHGT(m)	CLK(m/s)	TZ0(m)	SLAT(m)	SLOW(m)	SH
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7414931	2014	01	29	17	47	41.000	11	2.3	0.50	0.0000	0.677	0.313	-2.742	-2.039	2.4822	6.482	7.887	20
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7418667	2014	01	29	17	48	00.000	11	1.6	0.51	0.0060	0.333	0.313	-3.365	-1.098	2.4818	6.820	9.856	14
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7418403	2014	01	29	17	48	15.000	11	1.2	0.51	0.0069	0.332	0.301	-3.636	-1.299	2.4829	3.708	4.840	10
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7420139	2014	01	29	17	48	30.000	11	0.9	0.48	0.0042	0.366	0.672	-4.001	-1.533	2.4902	1.119	4.184	7
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7421875	2014	01	29	17	48	45.000	11	0.8	0.44	0.0042	0.133	0.743	-3.792	-4.471	2.4837	2.719	3.720	6
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7421631	2014	01	29	17	49	00.000	11	0.7	0.41	0.0034	3.111	3.111	-3.600	-4.337	2.4849	2.403	3.350	5
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7423347	2014	01	29	17	49	15.000	14	0.6	0.41	0.0042	-14.408	8.204	-3.470	-2.560	2.4802	2.159	3.015	4
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7427083	2014	01	29	17	49	30.000	16	0.5	0.54	0.0044	27.210	18.659	-4.679	-4.250	2.4836	1.927	2.717	3
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7428819	2014	01	29	17	49	45.000	16	0.5	0.52	0.0069	+32.563	20.594	-5.182	-3.223	2.4805	1.754	2.482	3
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7430556	2014	01	29	17	50	00.000	15	0.4	0.46	0.0049	-44.579	14.481	-5.160	-0.598	2.4825	1.600	2.307	3
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7432292	2014	01	29	17	50	15.000	15	0.4	0.46	0.0076	-59.174	9.187	-5.121	-0.058	2.4855	1.475	2.152	2
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7434028	2014	01	29	17	50	30.000	15	0.4	0.43	0.0034	-64.295	6.039	-5.034	-0.341	2.4891	1.358	2.007	2
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7431764	2014	01	29	17	50	45.000	15	0.3	0.43	0.0075	-78.610	-0.712	-4.971	-1.204	2.4833	1.261	1.884	2
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7437900	2014	01	29	17	51	00.000	15	0.3	0.42	0.0046	-93.411	-7.827	-5.019	-2.459	2.4860	1.168	1.765	2
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7439236	2014	01	29	17	51	15.000	16	0.3	1.97	0.0096	-97.095	-9.812	-5.059	-0.858	2.5113	1.090	1.658	2
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7440972	2014	01	29	17	51	30.000	13	0.3	0.40	0.0079	-109.348	-15.263	-4.983	-1.277	2.5081	1.016	1.561	1
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7442708	2014	01	29	17	51	45.000	13	0.3	0.42	0.0079	-123.078	-20.817	-5.058	-2.657	2.5207	0.960	1.482	1
FWD	SIRGAS2000	3880	29	7444444	2014	01	29	17	52	00.000	13	0.2	0.42	0.0057	-129.607	-34.095	-5.112	1.458	2.5472	0.903	1.402	1

Figura 16: Parte reduzida do relatório contendo as posições ao longo do tempo.

É necessário ressaltar que o IBGE determina os parâmetros que relacionam o ITRF (IGb08) e SIRGAS 2000, os quais são aplicados no IBGE-PPP. Esses dados foram processados com órbitas precisas e correção do relógio dos satélites, com dados da fase da portadora nas duas frequências. Neste caso, os resultados obtidos do caminho percorrido (cinemático) estão referidas ao referencial das órbitas.

Para os dados obtidos do RTK e o processado do cinemático que foram exportados em formato *.dwg* (arquivo referente ao ambiente CAD), fez-se as manipulações e edições para a criação da feição do tipo *Polyline* que representa a linha de costa formada pelo conjunto de coordenadas obtidas pelos levantamentos GNSS. A figura 17 mostra o ambiente CAD e parte dos dados do levantamento cinemático.

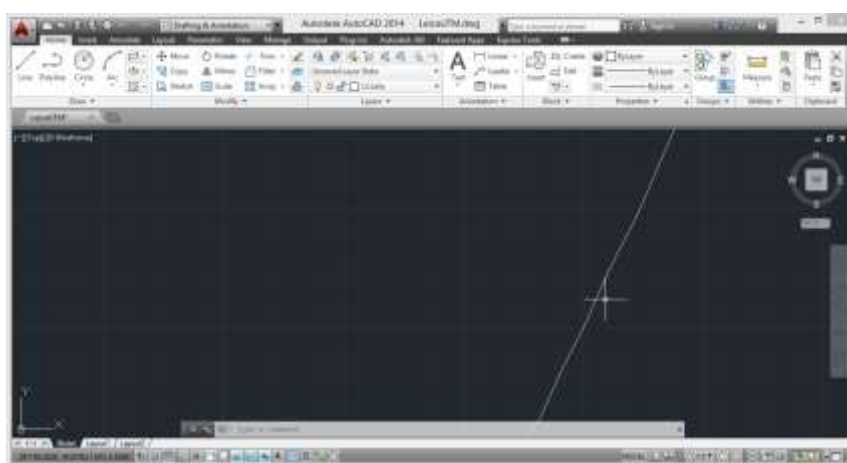


Figura 17: Software AutoCAD 2014 e parte dos dados do levantamento cinemático – criação da linha de costa.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Os dados dos três métodos encontram-se no mesmo sistema geodésico de referência, no caso o Datum planimétrico oficial do nosso país, o SIRGAS 2000. A figura 18 mostra o resultado dos três levantamentos. Uma informação com uma importância significativa que se deve mencionar é com relação ao DOP, que é o fator de contribuição puramente geométrica à incerteza de uma posição GPS e ela reflete a qualidade geométrica instantânea de uma constelação. As DOPs empregadas neste estudo foram: GDOP – geométrica (três coordenadas da posição mais o desvio do relógio na solução, PDOP – posição (três coordenadas), HDOP – (duas coordenadas horizontais), VDOP – vertical (altura). A tabela 4 mostra os valores obtidos de cada uma delas:

DOPs	Mínimo	Máximo
GDOP	1,6	6,3
PDOP	1,4	5,2
HDOP	0,6	3,1
VDOP	1,2	4,2

Tabela 4: Valores mínimos e máximos dos DOPs.

Vale mencionar que devido as proximidades das linhas de costa uma das outras não é possível visualmente diferencia-las nesta figura sem ampliação, a extensão total do levantamento corresponde a aproximadamente 2,4 km. No fundo do mapa apresentado na figura abaixo existe uma imagem de satélite Geoeye, do ano de 2011, que foi inserida apenas para efeito de representação.

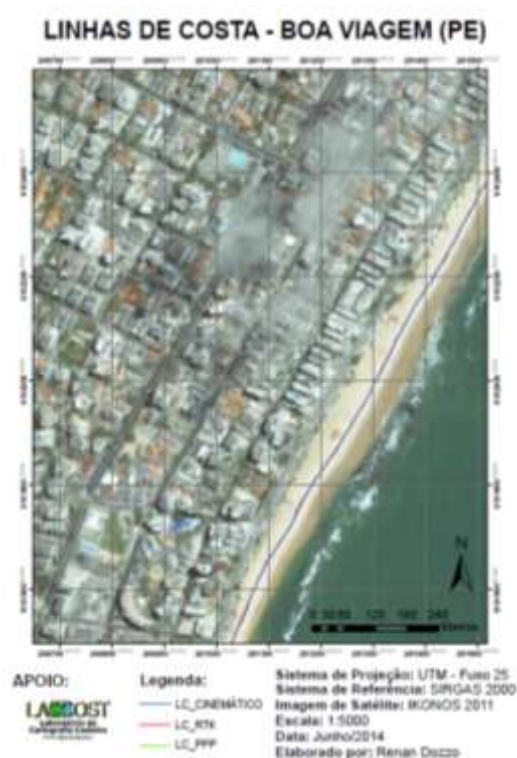


Figura 18: Linhas de costa obtidas pelo levantamento RTK (vermelho), Cinemático (azul) e pelo PPP (verde).

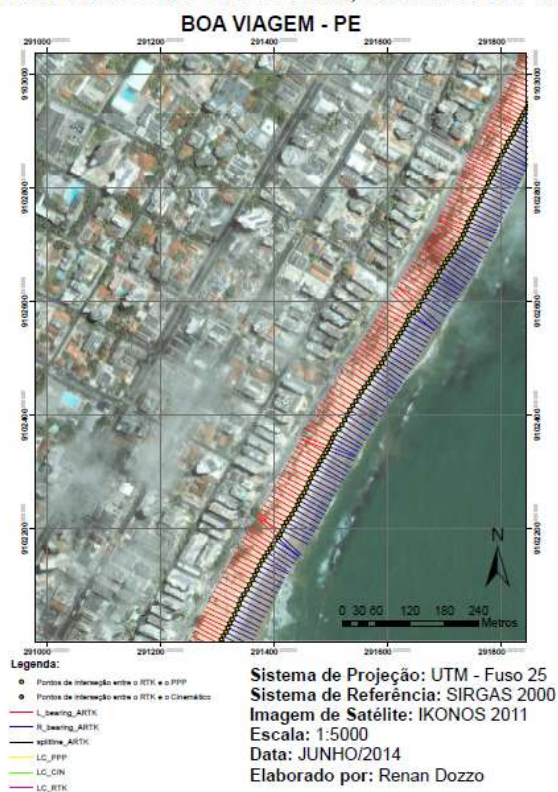
A seguir será mostrado a tabela 5, que é referente ao volume de dados do levantamento, contendo informações da quantidade de pontos gerados, a distância percorrida, o horário de início e de término e a velocidade para os três métodos. A taxa de variação de tempo de um ponto para o outro foi de 15 segundos para os métodos do cinemático e do PPP e de aproximadamente 39 segundos para o RTK, pois neste modo foram coletados pontos durante a trajetória.

Métodos	Quantidade de pontos	Distância percorrida	Horário inicial	Horário final	Intervalo de tempo	Velocidade
RTK	76	2,454 km	14:47 h	15:37 h	50 min	0,818 m/s
Cinemático	200	2,461 km				0,820 m/s
PPP						

Tabela 5: Volume de dados dos levantamentos.

Em seguida, foi feita uma mensuração para a diferença entre as três linhas de costa, utilizou-se uma rotina no *software* ArcGIS na linguagem de programação Python, que foi desenvolvida por uma ex-pesquisadora do LACCOST na extensão Detect Shifting Toolbox® (BARTELT, 2012). O software utiliza as distâncias dos transectos, que corresponde a uma linha ou seção através de uma faixa do terreno e que são feitos registros de ocorrências de fenômenos a serem estudados, entre a linha considerada como base (RTK) e a que está sendo feita a comparação (cinemático relativo e pelo método do PPP). Foi escolhido o método RTK como base devido ao fato de ter sido o mais preciso entre os três levantamentos. Foram configuradas uma distância de 10 em 10 m com um comprimento de 50 m para os transectos perpendiculares a linha de base (figura 19 (a)). Na figura 19 (b) mostra parte desse resultado de maneira ampliada.

LINHAS DE COSTA - MÉTODO RTK, CINEMÁTICO E PPP



(a)



(b)

Figura 19: (a) Transectos de 10 em 10m para coleta de amostras com o propósito de verificar a diferença entre as trajetórias obtidas. (b) Parte da amostra ampliada.

Para comparação e análise dos dados resultantes dos três métodos de levantamentos foram utilizados os seguintes dados estatísticos: a média aritmética, o desvio padrão e os desvios máximos e mínimos entre as trajetórias.

Após a realização do pós-processamento em laboratório dos dados provenientes do levantamento cinemático foi obtido a tabela 6 referentes as coordenadas e suas respectivas precisões horizontais e verticais. Conseqüentemente originaram-se mais de 200 pontos no levantamento cinemáticos, tornando-se inviável mostrar todos os dados das coordenadas UTM e respectivas precisões. Sendo assim, escolheu-se uma pequena amostra dos dados para ser representada na tabela a seguir:

Pontos	N (m)	E (m)	Precisão (x,y) (m)	Precisão (z) (m)
1	9103237,727	291947,988	0,0197	0,0237
2	9103237,737	291947,978	0,0196	0,0235
3	9103237,707	291947,687	0,0219	0,0262
4	9103237,708	291948,056	0,0205	0,0245
5	9103237,422	291947,885	0,0236	0,028
6	9103235,082	291948,231	0,0223	0,0264
7	9103222,95	291955,333	0,0205	0,0242

Tabela 6: Parte das coordenadas levantadas pelo método cinemático e suas precisões horizontais e verticais.

De maneira semelhante, foi feita uma tabela reduzida relacionado com o levantamento pelo método RTK, que foi realizado sempre com solução fixa de ambigüidade, ver tabela 7.

Pontos	N (m)	E (m)	Precisão (x,y) (m)	Precisão (z) (m)
1	9103204,372	291967,466	0,005	0,010
2	9103234,827	291943,858	0,007	0,013
3	9103174,898	291953,982	0,008	0,013
4	9103234,805	291943,851	0,008	0,013
5	9103139,473	291936,837	0,008	0,013
6	9103139,443	291936,792	0,008	0,014
7	9103110,052	291923,879	0,008	0,014

Tabela 7: Parte das coordenadas levantadas pelo método RTK e suas precisões horizontais e verticais.

Da mesma maneira, foi feita uma tabela reduzida relacionado com o levantamento pelo método do PPP (tabela 8):

Pontos	N (m)	E (m)	Precisão (x,y) (m)	Precisão (z) (m)
1	9103238,042	291946,978	0,1873	0,2496
2	9103237,876	291947,158	0,1868	0,2481
3	9103237,695	291946,948	0,1861	0,2485
4	9103237,752	291947,519	0,1855	0,2509
5	9103237,498	291947,391	0,1849	0,2507
6	9103235,1	291947,77	0,1843	0,2518
7	9103222,99	291954,921	0,1837	0,2547

Tabela 8: Parte das coordenadas levantadas pelo método PPP e suas precisões horizontais e verticais.

Com a obtenção de todos esses dados dos três levantamentos, fez-se uma tabela expressando dados estatísticos dos respectivos métodos para que se pudesse fazer uma análise (Tabela 9).

Método	Média das Precisões (x,y) (m)	Média das Precisões (z) (m)	Desvio Padrão das Precisões (x,y) (m)	Desvio Padrão das Precisões (z) (m)	Valor Máximo das Precisões (x,y) (m)	Valor Mínimo das Precisões (x,y) (m)
RTK	0,010883	0,018636	0,006811	0,010858	0,046	0,0050
Cinemático Relativo	0,112463	0,167454	0,187195	0,211256	2,136	0,0129
PPP	0,151153	0,256757	0,024282	0,023196	0,200	0,1188

Tabela 9: Dados estatísticos referentes aos três métodos de levantamento.

A tabela 10 apresenta a comparação da trajetória da linha de costa pelo método RTK, que serviu como base, com a trajetória obtida pelos outros dois métodos de levantamento geodésico através do software Detect Shifting Toolbox, possibilitando a verificação do conjunto total de amostras, a média dos deslocamentos, o deslocamento máximo e mínimo e o desvio padrão obtido:

Método	Quantidade de transectos	Média dos desvios entre as linhas de costa	Deslocamento Mínimo	Deslocamento Máximo	Desvio Padrão (m)
PPP	280	0,237599 m	-4,418905 m	2,589738 m	0,930459
Cinemático Relativo	280	0,251135 m	-3,679837 m	2,595693 m	0,872154

Tabela 10: Dados do *Detect Line Shifting*.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As análises feitas nesse estudo estão diretamente baseadas em dados estatístico, possibilitando a interpretação de informações numéricas a partir da comparação entre três métodos de levantamentos geodésicos. MONICO *et al.* (2009) relata que para qualquer medida é verificado os mais diversos tipos de erros, quer sejam de caráter grosseiro, sistemático ou aleatório. Nas áreas da Cartografia e Geodésia é comum encontrar os termos acurácia e precisão, que possuem uma relevância crucial no ponto de vista de análise da qualidade de produtos cartográficos, geodésicos e os obtidos por imageamento, sendo tanto por fotogrametria quanto por sensoriamento remoto. A discrepância entre esses dois conceitos está diretamente associada com os erros referentes as medições, enquanto o termo precisão está vinculado unicamente com os erros aleatórios, o termo acurácia engloba tanto os erros aleatórios quanto sistemáticos. Vale frisar que para o caso em que um conjunto de medidas não apresente efeitos sistemáticos, os valores de acurácia e precisão se confundem. Logo, para as situações em que não há uma tendência, a acurácia se resume à medida da precisão.

É possível perceber, de acordo com os dados numéricos das tabelas 6, 7, 8 e complementadas pela tabela 9, que as acurácias das coordenadas obtidas pelo método RTK foram muito melhores do que as obtidas pelo levantamento cinemático e pelo método do PPP: enquanto as de RTK tiveram precisão de ordem milimétrica, as outras duas (cinemático e PPP) resultaram numa precisão na ordem do centímetro. Nos outros pontos restantes, esse valor médio de acurácia se repetiu na maioria para o RTK em ordem de milímetros, tendo como seu valor máximo de precisão horizontal de 4,6 cm e o mínimo de 5 mm. Poucos pontos no método RTK tiveram precisões na casa de centímetros e isso ocorreu devido as obstruções que tiveram no caminhamento das medições, árvores e edifícios influenciaram nas interferências de transmissões de sinais entre o receptor da base e o itinerante. Da mesma maneira, percebe-se que os outros pontos do levantamento cinemático e pelo método do PPP foi em ordem do centímetro, tendo só algumas exceções para o cinemático em que os pontos vieram em ordem métricas. No caso do cinemático, a precisão horizontal máxima obtida foi de 2,14 m e a mínima foi de 1,2 cm. E no PPP, a precisão horizontal máxima obtida foi de 20 cm e a mínima foi de 11,8 cm. Os valores dos resultados para o cinemático pós-processado saíram superiores ao que se era esperado, esperava-se obter uma melhor precisão, semelhante aos obtidos pelo método do RTK. Isso ocorreu devido ao fato da base para o cinemático possuir uma distância superior a 9 km com relação ao local do levantamento da linha de costa. Pretendia-se utilizar a mesma base do RTK

para o cinemático, mas ocorreram problemas na extração dos arquivos da base no RTK que impossibilitaram a sua utilização.

Essa diferença de precisão é ainda mais perceptível quando se leva em conta a média aritmética da precisão de todo o conjunto de observações, observados na tabela 9, onde os dados indicam que a precisão média para o método RTK foi de aproximadamente 11 mm, e o método cinemático, por sua vez, conseguiu atingir uma precisão de 11 cm, já o PPP conseguiu atingir “apenas” 15cm. Comparando o cinemático e o PPP com o método mais preciso, que foi o RTK, temos que o cinemático representa um aumento de dez vezes o que foi obtido pelo RTK, e o do PPP é aproximadamente 14 vezes maior que o do RTK. Outro fator importante é o do desvio padrão das precisões horizontais, onde foi obtido 6 mm para o RTK, 19 cm para o cinemático e 2,4 cm para o PPP, ou seja, esses valores indicam que para o RTK os dados das precisões estão mais próximos da média, pois possuiu o desvio menor, e para o cinemático os dados estão espalhados por uma gama de valores dispersos com relação à média, pois possuiu o desvio padrão maior.

Nesse estudo, as análises dos dados das precisões verticais foram desnecessárias devido ao fato de que o objetivo relevante para as comparações dos métodos foi o levantamento da linha de costa, mas foi explicitado neste trabalho para que se pudesse perceber que o método RTK também foi o mais preciso comparada com os outros dois métodos, e a que possuiu a precisão menor foi pelo método do PPP.

Os resultados da tabela 10 indicam que o percurso da trajetória formada pelas duas linhas de costa foram divididas em 280 transectos, tanto para a comparação do RTK-Cinemático quanto para o RTK-PPP, separados em intervalos regulares de 10 metros. Para a comparação do RTK com o cinemático, obteve-se como média dos deslocamentos de aproximadamente 25 cm, com valores de deslocamentos mínimo e máximo de -3,68 m e 2,60 m, respectivamente. O desvio padrão em relação à média aritmética dessas diferenças foi de aproximadamente 87 cm. Para a comparação do RTK com o PPP, obteve-se como média dos deslocamentos de aproximadamente 24 cm, com valores de deslocamentos mínimo e máximo de -4,42 m e 2,59 m, respectivamente. O desvio padrão em relação à média aritmética dessas diferenças foi de aproximadamente 93 cm. A linha de costa que se apresentou mais próxima em média da linha de referência (obtidas pelo método do RTK) foi a obtida pelo método do PPP, com 24 cm de distância média entre elas.

7. CONCLUSÕES

Segundo GEMAEL (1975), devemos abdicar de obter o verdadeiro valor da grandeza medida, observada. O nível de precisão do método de levantamento cinemático com pós-processamento é de 10 cm podendo alcançar poucos centímetros caso as condições sejam favoráveis (cobertura de satélites, ausência de multicaminho, etc.) (SEEBER, 2003). No caso particular desse estudo, os resultados obtidos pelo método do cinemático pós-processado não alcançaram os resultados esperados, pois eles ficaram na ordem de centímetros, esperava-se obter esses resultados com valores semelhantes ao do RTK, ou seja, em ordem milimétrica. Isso ocorreu devido ao fato da distância da base para o local do levantamento, que equivaleu a aproximadamente 9,4 km. Outro fato que deve ser mencionado é que os pontos foram rastreados por poucos segundos, em média de 3 segundos, muitos desses pontos não resolveram a ambiguidade, tendo suas coordenadas estimadas apenas pela observável pseudodistância (que fornece uma precisão “pior” se comparando com a diferença de fase da onda portadora). Foi visto que por esse método o desvio padrão obtido foi o maior, equivalendo a 19cm, evidenciando as dispersões entre os valores das precisões dos pontos com a média.

A precisão do PPP varia da ordem do centímetro, quando se considera o modo estático e um longo período de coleta de dados, até a ordem de alguns decímetros, no modo cinemático. Mas para se obter valores com essas precisões, existem vários fatores que influenciam, tais como a observável no processamento a combinação linear livre da ionosfera (*ion-free*) para a fase da onda portadora e/ou código, o uso de receptor de dupla frequência e o uso de efemérides e correções dos relógios dos satélites

O método RTK foi o que apresentou melhores resultados, tendo como sua precisão média das coordenadas horizontais de 11 mm, sendo dez vezes menor do que a precisão obtida pelo cinemático e aproximadamente 14 vezes menor do que a precisão do PPP fazendo a comparação entre elas. Esse era um resultado esperado pelo fato de se tratar de um método diferencial de posicionamento por satélites, ou seja, as coordenadas são obtidas em tempo real já com as correções fornecidas pela base através de rádio acoplado ao equipamento, gerando assim um resultado melhor em termos posicionais. Outro fato positivo em relação ao posicionamento pelo método RTK é que, como as coordenadas não precisam de pós-processamento, os resultados obtidos em campo já estão prontos para serem utilizados, o que é imprescindível em algumas aplicações.

Este estudo mostra que os levantamentos geodésicos podem e devem ser utilizados para

determinar as posições da linha de costa em zonas costeiras. Os dados numéricos obtidos provam que o método cinemático e o do PPP geraram uma precisão pior que a do RTK. Mas para o levantamento de linhas de costa, a precisão em centímetros que foi obtida pelos métodos cinemático e PPP são suficientes para o seu mapeamento, uma vez que esta última é uma feição dinâmica, tornando-se extremamente difícil mapear exatamente sua posição ao longo da linha de costa. Para obter um resultado mais preciso utilizando o método cinemático é a realização do levantamento dos pontos com um tempo de ocupação nas estações um pouco maior, mas isso depende muito do que se queira levantar, da precisão almejada para tais fins o que não ocorre no levantamento de linha de costa onde não existe estações e sim apenas a navegação sobre a feição de interesse.

Um fator importante que se deve mencionar é a observação das condições para a utilização desses métodos são favoráveis.

8. DIFICULDADES ENCONTRADAS

Dentre as dificuldades encontradas nesse projeto, mencionam-se algumas divergências de disponibilidade de horários de todos os alunos envolvidos para o levantamento, lembrando-se que o dia e o horário foram definidos conforme informações obtidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação sobre a amplitude da maré, que por sua vez, teria que ser em um horário de maré máxima. Foram feitos vários adiamentos com relação ao dia do levantamento até que se definisse um dia em que todos puderam ir. Outro ponto importante foi com relação as obstruções (neste caso, os edifícios) existentes em certos trechos do caminhamento, impossibilitando uma precisão maior em alguns pontos da trajetória de linha de costa levantada, fazendo com que o desvio padrão entre as amostras aumentasse.

9. RECOMENDAÇÕES

Num futuro próximo, cria-se uma expectativa, com a existência de diversos sistemas de posicionamento por satélites disponíveis, a integração entre elas visando melhorias para os métodos de posicionamento, e conseqüentemente obter uma alta acurácia em seus resultados. A realização de uma medição tridimensional da linha de costa com receptores GPS seria uma sugestão de trabalhos no futuro, pois se torna limitada pela resolução altimétrica dos receptores atuais. Outra sugestão seria fazer um mapeamento costeiro através do método RTK utilizando o sistema N-TRIP (internet móvel) para realizar a transmissão das coordenadas, caracterizando o método diferencial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M.A.; FONSECA JUNIOR, E.S. 2005. **Comparação de ferramentas on-line para processamento de dados GPS**. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 4, Curitiba, Anais (CDROM-CBCG), p. 1-6.
- ALVES, D. B. M. **Desenvolvimento e Implantação do RTK em Rede para Posicionamento Geodésico no Estado de São Paulo**, 2011. Pós-Doutorado –Universidade Estadual Paulista - Departamento de Cartografia, Presidente Prudente.
- BAPTISTA, P.B; BASTOS, L.C.; BERNARDES, C.A.; CUNHA, T.R.; DIAS, J.A. **Aplicação de Metodologia de Monitorização GPS em Litorais Arenosos**. Geração de Modelos de Elevação do Terreno. Revista de Gestão Costeira Integrada, 2008.
- BARTELT, S. **Manual do ArcCatalog: Detect Shifting Toolbox®**, (2012).
- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. Shoreline definition and detection: A review, **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 4, 2005. p. 688-703.
- COSTA, M.F.; ARAÚJO, M. C. B.; CAVALCANTI, J. S. S.; SOUZA, S. T. **Verticalização da Praia da Boa Viagem (Recife, Pernambuco) e suas Consequências Socioambientais**. Revista da Gestão Costeira Integrada. 8(2): p. 233-245, 2008
- DOLAN R.; HAYDEN, B.; HEYWOOD, J. 1978. **A new photogrammetric method for determining shoreline erosion**. Coastal Engineering, 2: 21-39. Elsevier Scientific Publishing Company, Holanda.
- ESTEVES, L.S., Silva, A.R.P., Arejano, T.B., Pivel, M.A.G. & Vrajane, M.P. (2003) - **Coastal development and human impacts along the Rio Grande do Sul beaches, Brazil**. Journal of Coastal Research, SI35:548-556.
- GEMAEL, C. **Ajustamento de observações geodésicas: noções de estatística**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba, 1975.

GONÇALVES, R. M. **Modelagem de tendência a curto-prazo da linha de costa através de dados geodésicos temporais utilizando regressão linear, estimativa robusta a redes neurais artificiais.** Curitiba, UFPR. Tese de doutorado, programa de pós-graduação em Ciências Geodésicas, 2010. 152p.

GREGÓRIO, M. das. N.; **Evolução da Linha de Costa e Caracterização da Plataforma Continental Interna Adjacente a Cidade do Recife - PE.** Recife, UFPE. Tese de Doutorado em Oceanografia Abiótica. 2009. 156p.

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H. e COLLINS, J. **Global Positioning System: theory and practice.** Springer Wien New York, 1997. 386p.

KRUEGER, C. P.; GONÇALVES, R. M.; HECK, B. **Surveys at the Coast of Paraná, Brazil, to Determinate the Temporal Coastal Changes.** Journal of Coastal Research, v. I, p. 632-635, 2009.

LEATHERMAN, S. P.. **Shoreline change mapping and management along the U.S. East cost.** Journal of Coastal Research, 38, 513, 2003.

LEICK, A. 2004. **GPS Satellite Surveying.** 3ª ed., New Jersey, John Wiley & Sons, 435p.

LIRA, A. R. A. (1997). **Caracterização Morfológica e Vulnerabilidade do Litoral entre as Praias da Enseadinha e Maria Farinha, Paulista – PE.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco - CTG, 96p.

MAIA, R.; MAZUR S. **Dinâmica de linha de costa: mapeamento e monitoramento.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Cartográfica), UFPR, 2008. 73p.

MALLMANN, D.L.B.; **Vulnerabilidade do Litoral Sul de Pernambuco à Erosão.** Recife, UFPE. Dissertação de Mestrado em Oceanografia. 2008. 127p.

MARTIN,R.J.,BROADBENT,G.J., **Chart Datum for Hydrography,** The Hydrographic Journal, n. 112, Abril, 2004, pp. 9-14.

MARQUES, H. A. M. **PPP em Tempo Real com Estimativa das Correções dos Relógios dos Satélites no Contexto de Rede GNSS**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MENDONÇA, F.J.B.; **Posicionamento de alta resolução: adequação à morfologia**. Recife, UFPE. Tese de doutorado em Oceanografia, na área de Oceanografia Abiótica. 2005. 94p.

MENDONÇA, F.J.B.; MENDONÇA, R.L. **Determinação da Linha de Costa das Praias do Município de Recife-PE**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife – PE, 27-30 de Julho de 2010. p. 001 de 005.

MONICO, J.F.G. 2000. **Posicionamento por Ponto de Alta Precisão utilizando o GPS: uma Solução para a Geodinâmica**. Revista Brasileira de Geofísica, 18(1):39-48.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e aplicações**. São Paulo, 2008, 476p. Editora UNESP, 2ª ed.

PEREZ, J.A.S.; MONICO, J.F.G.; CHAVES, J.C. 2003. **Velocity Field Estimation Using GPS Precise Point Positioning: The South American Plate Case**. Journal of Global Positioning Systems, 2(2):90-99.

PRADO, A.; KRUEGER, C. P. **Análise da Acurácia nos Posicionamentos Diferenciais Aplicando as Técnicas DGPS e RTK**. Revista Brasileira de Cartografia. Nº 55/01, Julho 2003.

RAMOS, A. M. **Aplicação, investigação e análise da metodologia de reduções batimétricas através do método GPS diferencial preciso**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

RIBEIRO, G. P. **Tecnologias digitais de geoprocessamento no suporte à análise espaço temporal em ambiente costeiro**. Tese de doutorado Programa de Pós Graduação em Geografia UFF, 215p., 2005.

ROLLNIC, M.; **Hidrologia, Clima de Onda e Circulação no Litoral da Região Metropolitana do Recife – Implicações para o Transporte de Sedimentos e Estabilidade da**

Costa. Recife, UFPE. Tese de Doutorado em Oceanografia Abiótica. 2008. 132p.

ROSA, G.P.S. 2008. **Análise de Séries Temporais de Coordenadas Estimadas com GPS: Uma proposta metodológica para eliminação de efeitos sazonais.** Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, Dissertação de Mestrado, 106 p.

RUGGIERO, P.; CÔTÉ, J.; KAMINSKY G.; GELFENBAUM, G. **Scales of Variability along the Columbia River Littoral Cell.** Proceedings of Coastal Sediments, ASCE, 1999. p.1692-1707.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications.** Berlin-New York, 2003, 589p. Walter de Gruyter. 2nd revised edition.

SILVA, L. M.; **Modelagem fuzzy como subsídios para a espacialização da vulnerabilidade costeira à erosão.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Rodrigo Mikosz Gonçalves.

SOUZA, E. C. B.; KRUEGER, C. P. **Determinação das Variações Volumétricas Ocorridas no Istmo da Ilha do mel Utilizando o GPS.** In: COBRAC2002 – Congresso Brasileiro de cadastro Técnico Multifinalitário, 2002, Florianópolis. Anais do COBRAC2002 – Congresso Brasileiro de cadastro Técnico Multifinalitário, v. 1, 2002.1-12p.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha.** São Paulo: TA Queiroz, 1992. 172 p.

TANAJURA, E. L. X.; **KRUEGER, C. P.;** **GONÇALVES, R. M.** **Análise da acurácia dos métodos cinemáticos de posicionamento GPS em aplicações costeiras.** Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba v. 17, n°1, p. 23-36, jan-mar, 2011.

VASCONCELLOS, J.C.P. **Posicionamento terrestre por satélites NAVSTAR/GPS.** Salvador, 1995. Apostila de curso apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Cartografia de 31/07 a 04/08/1995.

VILLWOCK, J. A. & TOMAZELLI, L. J. 1995. **Geologia Costeira do Rio Grande do Sul.**

Notas Técnicas, Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, UFRGS. Porto Alegre, 8:1-45.

WITCHAYANGKOON, B. 2000. **Elements of GPS Precise Point Positioning**. Orono, ME, University of Maine, Tese de PhD, 265 p.

ZEFERINO, C. C. **Investigações de alguns métodos de posicionamento e receptores GPS na determinação das linhas de costa de Matinhos com uma análise temporal**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Cartográfica), UFPR, 2007.

ZHANG, X.; LI, X.; GUO, F. **Satellite Clock Estimation at 1 Hz for Realtime Kinematic PPP Applications**. GPS Solutions. V.15, p.315-324, 2011.

ZUMBERGE, J.F.; HEFLIN, M.B.; JEFFERSON, D.C.; WATKINS, M.M.; WEBB, F.H. 1997. **Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks**. Journal of Geophysical Research, 102(B3):5005-5017.