



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
ENGENHARIA DE AGRIMENSURA**

**JÉSSICA FERNANDA DE LIMA**

**SISTEMA DE APOIO ARTICULADO PARA ANTENAS RÁDIO RECEPTORAS,  
APLICADO NA MEDIÇÃO DO RUNUP NA PRAIA DE JACARECICA,  
MACEIÓ/AL.**

**RIO LARGO-AL**

**2018**

**JÉSSICA FERNANDA DE LIMA**

**SISTEMA DE APOIO ARTICULADO PARA ANTENAS RÁDIO RECEPTORAS,  
APLICADO NA MEDIÇÃO DO RUNUP NA PRAIA DE JACARECICA, MACEIÓ/AL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do Título em Bacharel em Engenharia de Agrimensura.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Cesar Peixoto da Rocha.

Coorientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Arthur Costa Falcão Tavares.

RIO LARGO-AL

2018

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias**  
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

L732s Lima, Jéssica Fernanda de  
Sistema de apoio articulado para antenas rádio receptoras, aplicado na medição do Runup na praia de Jacarecica, Maceió/AL / Jéssica Fernanda de Lima – 2018.  
43 f.; il.

Monografia de Graduação em Engenharia de Agrimensura (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2018.

Orientação: Prof. Dr. César Peixoto da Rocha

Inclui bibliografia

1. Runup 2. Linha de risco das marés 3. GNSS I. Título

CDU: 528

**JÉSSICA FERNANDA DE LIMA**

**SISTEMA DE APOIO ARTICULADO PARA ANTENAS RÁDIO RECEPTORAS,  
APLICADO NA MEDIÇÃO DO RUNUP NA PRAIA DE JACARECICA, MACEIÓ/AL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação de Engenharia de  
Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas,  
como requisito para obtenção do Título em  
Bacharel em Engenharia de Agrimensura e  
aprovada em 12 de Janeiro de 2018.



Prof. Dr. Cesar Peixoto da Rocha CECA/UFAL (Orientador)

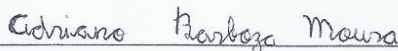


Prof. Dr. Arthur Costa Falcão Tavares CECA/UFAL (Coorientador)

**Banca Examinadora:**



Prof. Dr. Regla Toujaguez La Rosa Massahud CECA/UFAL (Examinador 01)



Doutorando Adriano Barboza Moura CECA/UFAL (Examinador02)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por tudo!

“Até aqui nos ajudou o Senhor e por isso estamos alegres” (1 Samuel 7.12).

A minha família eu dedico essa etapa alcançada. Aos meus pais por todo amor e por me apoiar, motivar e me dar forças para prosseguir. Aos meus avós por torcerem e me incentivarem a sempre seguir em frente – Saudades, vô.

Ao meu orientador e amigo, professor César da Rocha pela orientação, dedicação e por compartilhar os seus conhecimentos durante a vida acadêmica. Sou muito grata por seu incentivo, paciência e disponibilidade.

Ao meu coorientador, professor Arthur Falcão pela coorientação, amizade, conselhos, paciência e por ser tão solícito durante todo esse tempo.

Aos professores do curso por serem tão marcantes em minha vida, pelos ensinamentos, puxões de orelha, empenho, amizade e por me mostrarem que a dedicação e a persistência podem sobrepor quaisquer obstáculos. Agradeço em especial aos professores Juciela Cristina, Regla Massaud e Jhonathan Gomes. Vocês são formidáveis!

Também sou agradecida pelos colegas do curso de Engenharia de Agrimensura: Alex, Ayrton, Carlos Alberto, Camila, Felipe, Magda, Maxuel, Paulo, Thaise, Valdo, Viviane, Wendel e a todos os outros que ingressaram na turma E.A. 2012.1, vocês fizeram essa jornada ser mais leve, divertida e suportável. Espero ter a amizade de todos para sempre.

Agradeço também ao meu supervisor de estágio, Alysson Ferreira e aos meus colegas: Albenice, Alonso, Cícera, Fátima, Igo, José, Josineide, Juarez, Kleyton, Marcos, Mário, Ygor e etc., pelos momentos de crescimento profissional e pessoal.

Foi um prazer ter conhecido e convivido com todos vocês!

## RESUMO

Posicionamentos geográficos por satélite definem o lugar geométrico do centro de fase da antena receptora, cuja posição no interior da antena é especificada pelo fabricante. A demarcação precisa de quaisquer pontos no terreno requer correções que envolvem a distância desse centro de fase ao ponto e o desvio de verticalidade do bastão ao qual a antena é fixada, levando em conta a exata localização do centro de fase no interior da antena. Nos estudos que aplicam técnicas de posicionamento cinemático, essa exatidão torna-se inatingível devido à instabilidade com que a antena receptora é transportada. Essa instabilidade se traduz em falta de verticalidade do bastão e nas oscilações de distância da antena receptora ao solo, uma vez que em geral, esse transporte é manual. Esse estudo testa um protótipo de apoio articulado composto de um tripé dotado de um conjunto de rolamentos em que se apoia o bastão de fixação da antena GNSS, com liberdade de movimento pendular em  $360^\circ$ . Na base do bastão é fixado um peso que o obriga a assumir, automaticamente, a direção da vertical do lugar e o uso do veículo minimiza a oscilação da distância da antena ao solo. O teste desse protótipo consistiu em medir o runup das ondas na praia de Jacarecica, Maceió-AL, usando posicionamentos geográficos por satélite. As coordenadas dos pontos mais elevados do espraio foram obtidas transportando-se a antena receptora GNSS sobre o limite do espraio das ondas, e, o nível estático do mar, no respectivo instante, foi estimado com base na curva de maré do dia da medição. Os diferentes referenciais verticais (Vdata), dessas grandezas foram correlacionados através de uma simples operação algébrica, em que se adiciona ou subtrai-se uma constante correspondente à diferença de altura entre os Vdata, medidas em um lugar comum. Os desníveis entre os pontos mais altos da linha de espraio e o nível estático do mar para o mesmo instante, t (runup), de maior significância foram da ordem de 60cm, os quais podem resultar em deslocamentos horizontais da linha de risco das marés em dezenas de metros, a depender do declive da praia.

**Palavras-chave:** Runup. Linha de risco das marés. GNSS. RN de maré. Datum Elipsoidal

## ABSTRACT

Geographical satellite positioning defines the geometrical location of the focus in phase in a parabolic reflector, whose exact placement is specified by the manufacturer. Precisely locating any point throughout a terrain requires adjustments that involve the distance of such point to antenna phase center location and the verticality deviation of the pole to which the antenna is fixated. In studies that apply kinematic positioning techniques, this precision becomes unattainable due to the instability to which the receiving antenna is submitted during transportation. This instability is translated into inconsistent verticality of the pole and into oscillations on the distance between the receiving antenna and the ground, since the transportation is usually manual. The present study tests an articulated support prototype composed by a tripod trolley into which the fixation pole of a GNSS antenna is settled but still able to move as a pendulum 360°. A heavy weight is attached to the base of the pole so it will always be in upright position and the use of a vehicle minimizes the oscillations on the distance between the antenna and the ground. The prototype testing consisted on measuring the waves run-up at the beach Jacarecica, Maceió – AL, using satellite geographical positioning. The coordinates to the most elevated points of the swash line were obtained by transporting the GNSS receiving antenna to the furthest point of it, and the static sea level at that very moment was estimated based upon the tide information of that day. The many vertical references (Vdata) of those variables were correlated through a very simple algebraic operation, where one adds or subtracts a constant corresponding to the difference in height among the Vdata measured in an ordinary place, i.e. as the ellipsoid height were measured by the GNSS at the shore, the corresponding sea level was verified at the tide table. The most significant differences between the furthest wave spreading points and the static sea level for the same moment,  $t(\text{run-up})$ , were around 60cm, which can result in a displacement of dozens of meters in the high tide line, depending on the slope of the beach.

**Key Word:** Runup. Risk tide line. GNSS. Tidal level reference. Ellipsoid Datum

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Central de controle e centros de monitoramento dos sinais de satélites ...	15
Figura 2	- Posicionamento relativo .....	17
Figura 3	- Posicionamento RTK Convencional .....	20
Figura 4	- Posicionamento RTK em Rede .....	20
Figura 5	- Terminologia para designação das zonas costeiras em confronto com os modelos de outros autores .....	23
Figura 6	- Representação do runup segundo a relação métrica dos triângulos retângulos .....	25
Figura 7	- Visão aérea da área de estudo preliminar .....	26
Figura 8	- Visão local da área de estudo preliminar .....	26
Figura 9	- Fluxograma da metodologia utilizada .....	27
Figura 10	- Detalhe lateral do veículo transportador da antena GNSS .....	29
Figura 11	- Detalhe frontal do veículo transportador da antena GNSS .....	29
Figura 12	- Deslocamento da antena GNSS sobre a face de praia .....	31
Figura 13	- Gráfico da curva da maré .....	32
Figura 14	- Relevo da praia com destaque das curvas de nível correspondente ao nível do mar estático e a linha de espraio das ondas .....	36



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Amostra dos pontos coordenados GNSS, cujas alturas foram reduzidas ao referencial do nível da maré .....	32
----------	--	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

GLONASS – Global Navigation Sputnik Sistema

GNSS – Global Navigation Satellite System

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGS – International GNSS Service

NAVSTAR – Navigation System with Timing And Ranging

GPS - Global Positioning System

PPP – Posicionamento por Ponto Preciso

RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS

RIBaC – Rede INCRA de Bases Comunitárias

RTCM – Radio Technical Commission for Maritime Services

RTK – Real Time Kinematic

SBAS – Satellite Based Augmentation Systems

SGB – Sistema Geodésico Brasileiro

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

WAAS – Wide Area Augmentation System

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
2	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	12
2.1	Sistema de Posicionamento Global .....	12
2.2	Técnicas de Posicionamento Geográfico por GNSS .....	14
2.3	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo .....	19
2.4	Geomorfologia das praias .....	19
2.5	Zona de Costa e Linha de Costa .....	20
2.6	Regime de Ondas .....	21
2.7	Marés .....	22
2.8	Delimitação da Linha de Costa (política) .....	22
2.9	Runup .....	22
3	<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	24
4	<b>METODOLOGIA</b> .....	26
4.1	Georreferenciamento da área de estudo .....	26
4.2	Veículo portador da antena GNSS .....	27
4.3	Correlação entre os Vdata e reprodução da feição de praia .....	29
4.4	Delineamento da linha de espraio e medição do runup .....	30
4.5	Confiabilidade das medições .....	30
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	36
5.1	Com referência à correlação entre os Vdata .....	31
5.2	Com referência à medição dos runup's e a modelagem da face de praia ...	33
5.3	Uma menção aos erros .....	36
6	<b>CONCLUSÃO</b> .....	38
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	39

## 1 INTRODUÇÃO

O indicador oficial da linha de costa do Brasil foi definido pelo Decreto-Lei 9760, onde foi adotado como referência a posição ocupada pela linha d'água média das máximas marés que aconteceram em 1831. No entanto, atualmente é praticamente inviável delimitar essa linha, já que não havia nenhum datum como padrão para as marés daquele tempo. Com isso, existe uma dificuldade na realização de cálculos para as áreas costeiras, devido ao parâmetro vigente não ter nenhum critério técnico e não levar em consideração o runup, que é de grande relevância por causa das ações da natureza (atividades atmosféricas, tectônicas e marinhas).

Runup representa a diferença de altura entre a linha do espraio e o nível do mar estático, ou seja, sem ondas. Por representar um aumento no nível do mar, esse elemento é fundamental para estabelecer a linha de maré alta, uma vez que pequenas mudanças no nível do mar resultam em deslocamento significativo da interface terra-água em praias com pequena declividade. No entanto, estabelecer o runup para estimar a linha de alcance da maré alta não é uma tarefa simples, pois envolve a avaliação de um fenômeno presente para projeções futuras e passadas.

Analisando os últimos 25 anos de registros de maré no Porto de Maceió, observa-se que a medida mais alta foi de 2,7 m, registrada em 2001, e isso não se repetiu porque a magnitude da maré é resultado da confluência de forças geradas, principalmente, pela lua e pelo sol. Ao lidar com runup, a situação é ainda mais complexa, pois ondas de igual altura podem conter diferentes quantidades de energia, de forma que podem produzir diferentes runup's em uma mesma face de praia. Rocha et al., 2009.

As instituições responsáveis pelo gerenciamento costeiro já utilizam a fotogrametria aérea e técnicas de medição de satélites artificiais. O GPS é um dos sistemas de posicionamento geográfico que utiliza tecnologia GNSS e é capaz de gerar posicionamentos no modo relativo cinemático pós-processado ou instantâneo através de links de rádio, com precisão de centímetros. Essa tecnologia já vem sendo utilizada na gestão costeira em várias partes do mundo. Contudo, as alturas geradas pelo GPS estão associadas a um modelo de elipsoide e representam um problema para o uso desse sistema em estudos científicos envolvendo altitudes, pois estas estão associadas ao modelo Geoidal. As alturas das marés, no entanto, estão associadas a um plano vertical local.

As técnicas de rastreamento, como ALS (*Airborne Laser Scanning*), também vem sendo utilizadas como ferramentas de suporte para gerenciamento costeiro. De acordo com Baptista et al., 2008a, com ALS é possível reproduzir superfícies com resolução sub-métrica. Por outro lado, sua aplicabilidade ainda é muito limitada devido ao alto custo, especialmente para áreas com considerável dinâmicas de morfologia. Além disso, a alta resolução não é sinônimo de acurácia nem precisão.

Os resultados dos estudos sobre o estabelecimento da zona costeira, assim como: reservas naturais, e áreas de risco em geral, estão associados ao referencial tomado como indicador. Alguns dos indicadores mais comuns utilizados na definição da linha costeira são: barrancos de praia, linha do deixa (sujeiras), MHW (Mean High Water), HWL (High Water Line) e linha de vegetação costeira. Morton, 1998; Zhang et al., 2002; Pajak & Leatherman, 2002; Parker, 2003; Leatherman, 2003; Moore et al., 2006; Rocha et al., 2009.

Qualquer um desses indicadores, devido à sua sazonalidade, precisa ser monitorado no tempo e no espaço. Por isso, a linha de maré alta, conhecida como HWL, adicionada ao runup é mais compatível, pois representa o limite efetivo de confronto entre a terra e a água.

Dessa forma, esse trabalho objetiva medir o runup na praia de Jacarecica, utilizando um equipamento GNSS acoplado em um sistema de apoio articulado num veículo não motorizado, e fazer uma análise comparativa com os dados de 25 anos de maiores marés em Maceió; buscando com isso fazer previsões de alcance das ondas e delimitar possíveis áreas de risco.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Sistema de Posicionamento Global

Posicionar um objeto nada mais é do que atribuir-lhe coordenadas. Embora hoje se trate de uma tarefa que pode ser realizada com relativa simplicidade, utilizando-se, por exemplo, satélites artificiais apropriados para esse fim, este foi um dos primeiros problemas científicos que o ser humano procurou solucionar (MONICO, 2000). O homem sempre teve interesse de descobrir onde estava, de traçar rotas para navegação independente das condições climáticas para conquistar novas fronteiras.

A partir do lançamento do primeiro satélite artificial, ocorreu uma transformação no conceito do posicionamento através da concepção da navegação apoiada em sinais de rádio emitidos por satélites artificiais. Embora desenvolvido para aplicações militares, ele foi ao longo dos anos disponibilizado para a comunidade civil e tornou-se uma ferramenta importante para a navegação e para o posicionamento geodésico (SILVA; SEGANTINE, 2017)

Em 1994, o sistema atingiu sua configuração final, e a partir daí foi possível integrá-lo totalmente às operações de levantamentos terrestres. Desde então, alavancado pelas necessidades apresentadas pela sociedade, o sistema GPS tornou-se um forte concorrente dos meios tradicionais de levantamentos, bem como um instrumento eficaz de apoio à navegação marítima, aérea e terrestre (CARVALHO; ARAÚJO, 2009).

GPS é um sistema que tem como objetivo a determinação das coordenadas espaciais de pontos de referência do sistema de referência mundial. Os pontos podem estar situados em qualquer lugar do planeta e os aparelhos receptores podem permanecer estáticos ou em movimento, capturando as ondas de rádio emanadas dos satélites, 24 horas por (HUERTA; MANGIATERRA; NOGUERA, 2005).

Ainda segundo Carvalho (2009) e Araújo (2009) o sistema GPS é dividido em três segmentos funcionais distintos:

- *Segmento espacial*: Esse segmento é composto por 24 satélites (Figura 1) em uso mais 4 sobressalentes prontos para entrar em operação, além de outros satélites que estão no solo e prontos para serem lançados. Os satélites encontram-se em 6 planos de órbitas circulares, com pontos de cruzamento nas longitudes 0, 60, 120, 180, 240 e 300, numa altitude de aproximadamente 20.200 km, em períodos de 12 horas e inclinação de 55°. Isso garante, no mínimo, 4 satélites visíveis a qualquer hora e em qualquer lugar do planeta.

- *Segmento de controle:* Esse segmento é constituído por estações terrestres que ficam sob controle do Departamento de Defesa Americano (DoD). Elas têm o objetivo de monitorar, corrigir e garantir o funcionamento do sistema. O segmento possui um centro de controle e vários centros de monitoramento de sinais dos satélites (Figura 1).

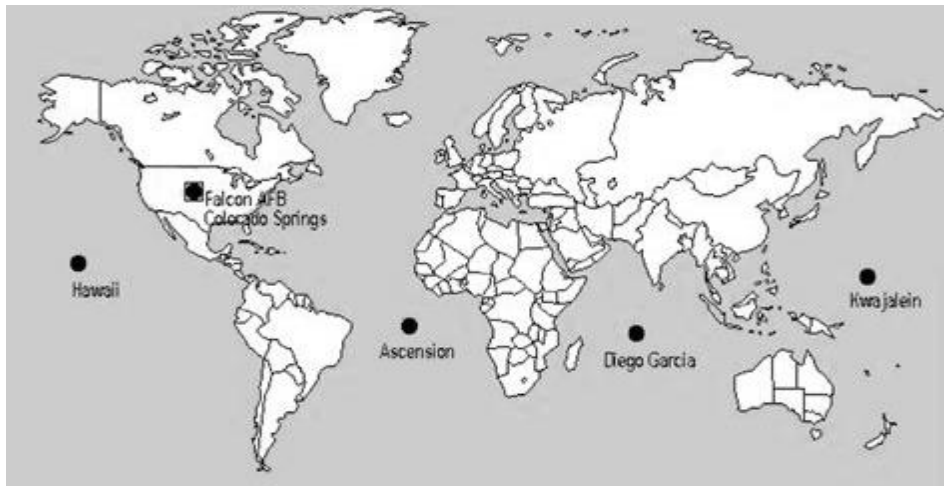


Figura 1 – Central de controle e centros de monitoramento dos sinais de satélites. Fonte: Google, 2018.

- *Segmento do usuário:* É constituído pelos receptores, que podem variar de tamanho, modelo e fabricante, mas principalmente em qualidade de recepção. Está associado às aplicações do sistema. Refere-se a tudo que se relaciona com a comunidade usuária, os diversos tipos de receptores e os métodos de posicionamento por eles utilizados. Os receptores são classificados em:
  - Navegação – fazem a gravação das coordenadas obtidas, mas não registram as observáveis (dados brutos). Usualmente utilizam o código C/A e tem precisão de aproximadamente 10 metros, sendo utilizados, principalmente, localização instantânea e navegação automotiva;
  - Topográficos – tem capacidade de gravar dados brutos das observáveis. A principal é da fase L1 (o código C/A também pode ser lido e gravado) e sua precisão é em geral abaixo de 3m, podendo chegar a submétrica, quando realizada a correção diferencial. Suas principais aplicações são: mapeamento, saneamento, cadastramento de feições de interesse, cadastramento urbano, cadastro elétrico e Cadastro Ambiental Rural;
  - Geodésicos – assim como os topográficos, gravam os dados brutos das observáveis. As principais são as fases L1 e L2, sendo que sua precisão é centimétrica quando realizado o

pós-processamento de dados. As aplicações são voltadas para obras, levantamentos topográficos, Georreferenciamento de Imóveis Rurais e posicionamento de alta precisão.

## 2.2 Técnicas de Posicionamento Geográfico por GNSS

Os sistemas GNSS são capazes de gerar posicionamentos cinemáticos e estáticos em tempo real ou em pós-processamento, gerando dados de alta precisão para os mais variados usos, utilizando-se receptores apropriados em cada aplicação. É um sistema economicamente competitivo com elevado potencial tecnológico e ampla aplicabilidade. Alguns exemplos da sua aplicabilidade são: Levantamento de controle; Levantamento para cadastro; Geodinâmica; Monitoramento de obras de engenharia (barragens, pontes, edifícios, etc.) Navegação de precisão; Fotogrametria; Sistemas de Informação Geográficas (SIG); Geodésia (RODRIGUES, 2006; XU, 2007).

O GNSS utiliza a Geodésia para fins de mensuração e se embasa no sistema referencial geocêntrico e em um sistema de orbitas sem interrupções locais ou regionais provenientes das deformidades e movimentações da crosta terrestre.

O Sistema GPS tem como Datum original o WGS – 84, que utiliza o elipsóide GRS 80. Trata-se de um Sistema Global e Geocêntrico, cujo centro do elipsóide coincide com o centro de massa da Terra.

Dentre os sistemas que fazem parte do GNSS podemos citar:

- a) NAVSTAR-GPS (*Navigation System with Timing And Ranging – Global Positioning System*), mais conhecido como GPS. Sistema norte-americano;
- b) GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*). Sistema russo;
- c) GALILEU. Sistema europeu;
- d) COMPASS/BEIDOU (*China's Compass Navigation Satellite System – CNSS*). Sistema chinês.

No que se refere ao SBAS temos os seguintes exemplos:

- a) WAAS (*Wide Area Augmentation System*). Sistema norte americano;
- b) EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay System*). Sistema europeu.

De acordo com o INCRA (2013) existe uma variedade de técnicas de posicionamento geográfico com GNSS:



### 2.2.1 Posicionamento Relativo

No posicionamento relativo, as coordenadas do vértice de interesse são determinadas a partir de um ou mais vértices de coordenadas conhecidas. Neste caso é necessário que dois ou mais receptores GNSS colem dados simultaneamente, onde ao menos um dos receptores ocupe um vértice de referência (Figura 2). Essa técnica tem como vantagem a eliminação dos erros sistemáticos de posicionamento.

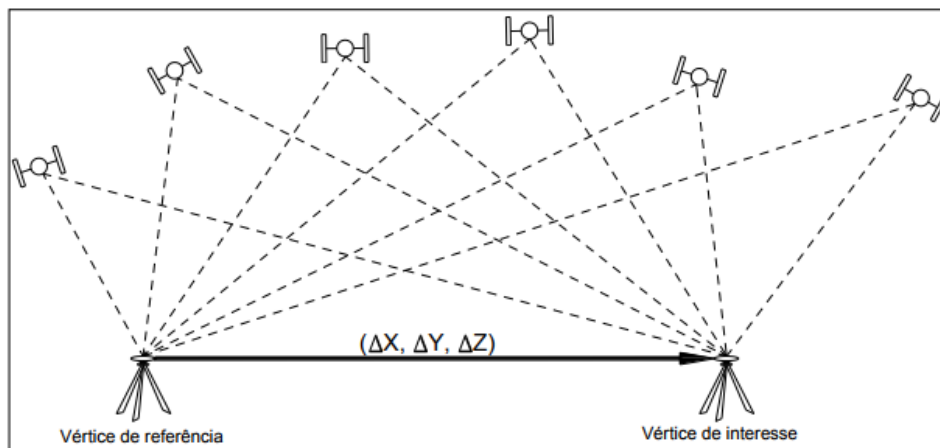


Figura 2 – Posicionamento Relativo. Fonte: INCRA, 2013.

O emprego de receptores de dupla frequência é uma solução muito utilizada para reduzir os efeitos da ionosfera em linhas de base com comprimento superior a 10 km. Usuários que possuem receptores de simples frequência têm a possibilidade de utilizar modelos regionais da ionosfera (CAMARGO, 1999).

Caso os erros sejam adequadamente modelados, as coordenadas são determinadas com precisão de poucos milímetros, sendo esta a principal técnica de posicionamento utilizada em aplicações geodésicas (IBGE, 2008).

### 2.2.2 Posicionamento Relativo Estático

No posicionamento relativo estático, tanto o(s) receptor(es) do(s) vértice(s) de referência quanto o(s) receptor(es) do(s) vértice(s) de interesse devem permanecer estacionados (estáticos) durante todo o levantamento para, desta forma, solucionar os vetores entre eles (ambiguidades). Neste método, a sessão de rastreamento se estende por um longo período.

O posicionamento no nível de precisão centimétrico é baseado na medida da fase de batimento da onda portadora. Contudo, esta observável é ambígua de número inteiro de ciclos entre as antenas do satélite e do receptor no instante da primeira observação, denominado ambiguidade.

Levantamentos realizados em linhas de base com comprimento inferior a 10 km, cujos receptores estejam estacionados em locais onde não haja ocorrência de obstrução e sob condições ionosféricas favoráveis, 20 minutos são suficientes para se conseguir solução das ambiguidades com receptores de simples frequência. Esta situação se modifica conforme as condições de localização das estações e com o aumento do comprimento da linha de base. No caso de linhas de base maiores que 10 km recomenda-se a utilização de receptores de dupla frequência, bem como a utilização de efemérides e do erro do relógio do IGS. A precisão conseguida com esta técnica de posicionamento varia de 0,1 a 1 ppm (parte por milhão) (MONICO, 2000a).

### **2.2.3 Posicionamento Relativo Estático-Rápido**

O posicionamento relativo estático-rápido é similar ao relativo estático, porém, a diferença básica é a duração da sessão de rastreamento, que neste caso, em geral é inferior a 20 minutos.

### **2.2.4 Posicionamento Relativo Semi-cinemático (STOP AND GO)**

Este método de posicionamento é uma transição entre o estático-rápido e o cinemático. O receptor que ocupa o vértice de interesse permanece estático, porém num tempo de ocupação bastante curto, necessitando coletar dados no deslocamento entre um vértice de interesse e outro. Quanto maior a duração da sessão de levantamento com a coleta de dados íntegros, sem perdas de ciclos, melhor a precisão na determinação de coordenadas.

### **2.2.5 Posicionamento relativo cinemático**

No posicionamento relativo cinemático, enquanto um ou mais receptores estão estacionados no(s) vértice(s) de referência, o(s) receptor(es) que coleta(m) dados dos vértices de interesse permanece(m) em movimento. A cada instante de observação, que coincide com

o intervalo de gravação, é determinado um conjunto de coordenadas, sendo necessário dispor de no mínimo 5 satélites.

### 2.2.6 Posicionamento relativo a partir do código C/A

Os diferentes métodos de posicionamento relativo apresentados anteriormente pressupõem a utilização da observável fase da onda portadora. O método contemplado neste tópico refere-se ao posicionamento relativo com a utilização da observável pseudodistância a partir do código C/A e a disponibilidade de coordenadas se dá por meio de pós-processamento. A pseudodistância é a medida de distância entre a antena do satélite, no instante de transmissão do sinal, e a antena do receptor, no instante da recepção; essa medida tbm é conhecida como medida do código, em razão do processo de correlação do código utilizado na relação da medida.

### 2.2.7 RTK Convencional

No modo convencional os dados de correção são transmitidos por meio de um link de rádio do receptor instalado no vértice de referência ao(s) receptor(es) que percorre(m) os vértices de interesse. A solução encontrada é uma linha de base única, conforme Figura 3.

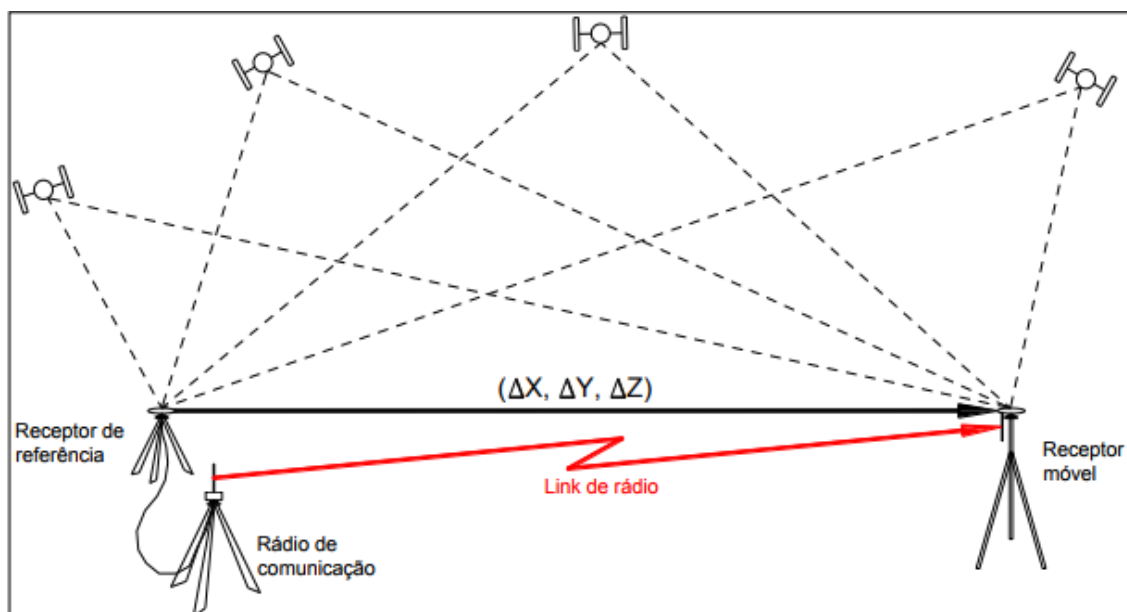


Figura 3 – Posicionamento RTK Convencional. Fonte: INCRA, 2013.

### 2.2.8 RTK em rede

No RTK em rede, ao invés de apenas uma estação de referência, existem várias estações de monitoramento contínuo conectadas a um servidor central, a partir do qual são distribuídos, por meio da Internet, os dados de correção aos receptores móveis, conforme ilustrado na Figura 4.

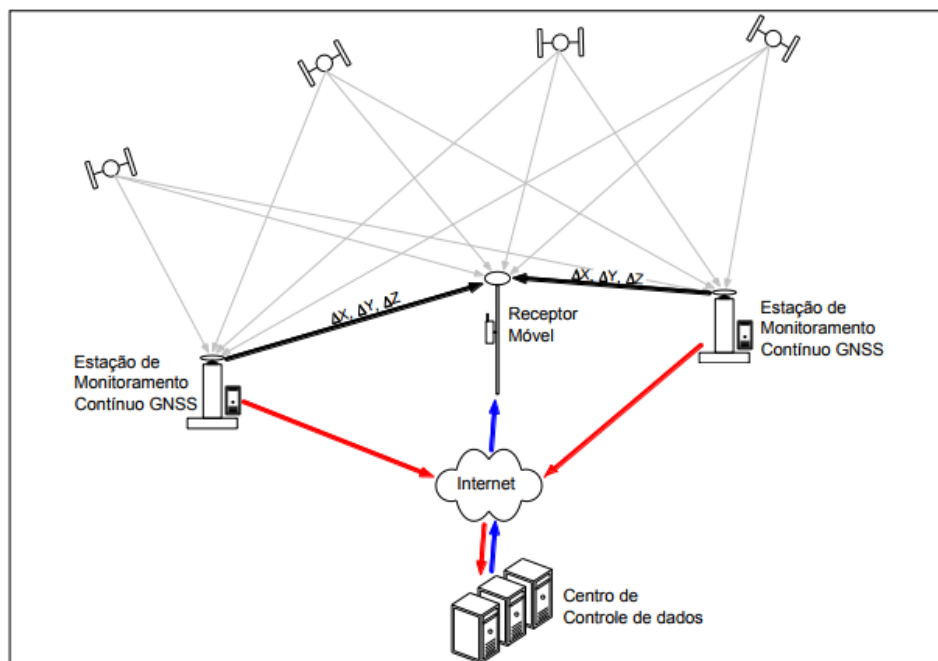


Figura 4 – Posicionamento RTK em Rede . Fonte: INCRA, 2013.

### 2.2.9 Differential GPS (DGPS)

O DGPS tem fundamento análogo ao RTK, porém a observável usada é a pseudodistância a partir do código C/A. Portanto, este método provê precisão inferior ao RTK e sua aplicação nos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais fica restrita ao posicionamento dos vértices situados em limites naturais.

### 2.2.10 Posicionamento por Ponto

O posicionamento por ponto, também conhecido como posicionamento absoluto ou isolado, requer a utilização de apenas um receptor. Neste caso, o referencial geodésico das coordenadas determinadas é definido a partir das efemérides dos satélites.

### **2.2.11 Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)**

Neste caso, as coordenadas do vértice de interesse são determinadas de forma absoluta, portanto, dispensa o uso de receptor instalado sobre um vértice de coordenadas conhecidas.

### **2.3 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo**

A RBMC é o conjunto de estações geodésicas, equipadas com receptores GNSS de alto desempenho, que disponibilizam, uma vez por dia ou em tempo real, observações para a determinação de coordenadas.

Nas aplicações geodésicas e topográficas do GNSS está implícita a utilização do método relativo, isto é, ao menos uma estação de coordenadas conhecidas é também ocupada simultaneamente à ocupação dos pontos desejados. As estações da RBMC desempenham justamente o papel do ponto de coordenadas conhecidas pertencentes ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), eliminando a necessidade de que o usuário imobilize um receptor em um ponto que, muitas vezes, oferece grandes dificuldades de acesso. Além disso, os receptores que equipam as estações da RBMC são de alto desempenho, proporcionando observações de grande qualidade e confiabilidade (IBGE, 2018).

### **2.4 Geomorfologia das praias**

Segundo Rossetti (2008) a Geomorfologia Costeira, área de conhecimento das Geociências, preocupa-se em estudar as paisagens resultantes da morfogênese marinha, na zona de contato entre as terras e os mares. Mais do que qualquer outro sistema físico, o ambiente costeiro caracteriza-se pelas mudanças têmporoespaciais que resultam numa variedade de feições geomorfológicas. Esse grande dinamismo costeiro é resultante da complexa interação de processos deposicionais e erosivos relacionados com as forças – ondas, marés e correntes litorâneas –, além de influências antrópicas.

A zona costeira brasileira possui uma extensão de largura variável de aproximadamente 10.800 km ao longo da costa, se contabilizadas suas reentrâncias naturais e possui uma área de aproximadamente 514 mil Km<sup>2</sup>, dos quais 324 mil Km<sup>2</sup> correspondem ao

território de 395 municípios distribuídos em 17 estados litorâneos (OLIVEIRA; NICOLODI et al. 2012).

A geomorfologia Alagoana é bem definida por duas unidades: os tabuleiros e a planície costeira. A planície costeira é caracterizada pelo acúmulo de sedimentos praias e flúvio-lagunares, onde há o desenvolvimento de feições acumulativas, tais como campos de dunas e restingas, feições estas que, associadas aos rios, favorecem a proliferação de manguesais. Feições erosivas, como falésias vivas e subatuais também são observadas. Ao longo de toda a costa aparecem recifes de arenito e recifes de corais e algas. A porção norte da zona de progradação do rio São Francisco constitui a faixa deposicional mais expressiva desta planície, onde as formas acumulativas têm suas características mais bem preservadas (BARBOSA, 1985).

Ainda segundo Barbosa (1985), os tabuleiros formam um corpo alongado, acompanhando o litoral, com altitudes máximas de 150m e largura variando de 40 a 80 km (Projeto RADAM, 1983). Estas feições, que são constituídas por sedimentos da Formação Barreiras, apresentam topografia ligeiramente ondulada. Normalmente, formam extensos corpos sub-horizontais, com ângulos de declive para SE e voltados para o oceano, terminando abruptamente na forma de falésias mortas ou vivas, ao longo da costa. Por vezes, a dissecação dos sedimentos da Formação Barreiras faz aflorarem rochas mesozóicas da Bacia Alagoas ou do embasamento precambriano, impondo relevo de formas mais acidentadas.

## **2.5 Zona de Costa e Linha de Costa**

De acordo com o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, instituído pela Lei nº 7.661 de 16 de maio de 1988, “considera-se Zona Costeira o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre, definida pelo Plano”.

Suguio (1992) define costa como sendo uma faixa de terra de largura variável que se estende da linha de praia (shoreline) para o interior do continente até as primeiras mudanças significativas nas feições fisiográficas (Figura 5). A linha de costa (coastline) geralmente é considerada como o limite terrestre da zona intertidal maior e independente da oscilação das marés.

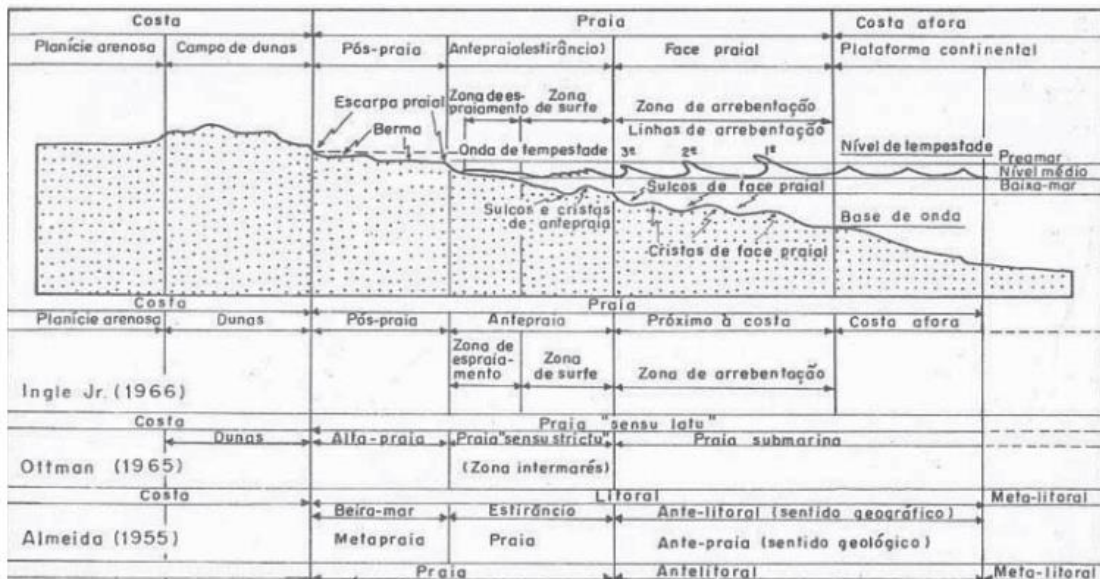


Figura 5— Terminologia para designação de várias partes constituintes das zonas costeiras em confronto com os modelos de outros autores. Fonte: Suguio, 1992.

No Brasil a Zona Costeira possui mais de 8000km de extensão, que representam um sistema economicamente produtivo, e se caracterizam pela complexidade das atividades que abrigam, bem como pela sensibilidade de seus ecossistemas.

As Zonas Costeiras são áreas extremamente dinâmicas, e isso é decorrente das forças naturais e as atividades humanas, fazendo com que esta região esteja em constante mudança.

Essas forças e atividades deslocam continuamente as linhas de costa, muitas vezes na mesma direção, mas frequentemente em direções aleatórias (WILLIAMS *et al.*, 1992).

## 2.6 Regime de Ondas

O conhecimento do regime de ondas de uma região e a capacidade de previsão do estado de agitação marítima são de extrema importância para todas as atividades ligadas ao oceano. Entre os vários tipos de ondas que ocorrem no oceano, estão as ondas superficiais de gravidade que são formadas pelo vento, que representa a principal e mais constante forma de transporte de energia do mar, desempenhando um papel preponderante na determinação das feições costeira e constituindo-se na mais efetiva ameaça às obras costeiras, à segurança da navegação e a operações navais.

## 2.7 Marés

As marés são formadas pela ação combinada de forças de atração gravitacional entre a Terra, Lua e Sol, e por forças centrífugas geradas pelos movimentos de rotação em torno do centro comum de massa do sistema Terra-Lua (TUREKIAN, 1969).

De acordo com o efeito conjugado da atração gravitacional, o Sol e a Lua exercem modificações significativas na amplitude de maré, sendo responsável pelas variações observadas entre as marés de sizígia (springtides), que ocorrem em períodos de lua nova ou lua cheia, quando os astros estão em conjunção e oposição, respectivamente, e as marés de quadratura (neaptides) que acontecem nas fases da Lua de Quarto Crescente ou Minguante. Um ciclo completo das marés ocorre num período de aproximadamente um mês (29,5 dias).

Conforme o perfil da praia o comportamento das marés variam, dependendo da formação da costa, a movimentação do nível do mar pode ser apenas vertical. Ou, se a praia for de areia e com a declividade suave, os efeitos do deslocamento pode ser na horizontal.

## 2.8 Delimitação da Linha de Costa (política)

Conforme ao Art. 2º da Lei nº 9760/46 são terrenos de marinha, em uma profundidade de 33 (trinta e três) metros, medidos horizontalmente, para a parte da terra, da posição da linha do preamar-médio de 1831, além de outras diretrizes.

## 2.9 *Runnup*

O movimento de espraiamento das ondas é composto por duas fases distintas. A primeira trata-se de um fluxo de água ascendente em direção a costa, chamado comumente de fluxo de irrupção (uprush). Neste sentido, os máximos atingidos do comportamento deste fluxo, ou seja, os movimentos que colaboram para o desvio padrão da média geral são considerados como o máximo do espraiamento, ou runup (BUTT; RUSSELL, 2000).

O runup representa a sobre elevação das ondas em relação ao nível estático do mar (MOORE et al., 2006). Isso quer dizer que dependendo do perfil da praia, condições pedológicas, ângulo de incidência e energia das ondas, a linha de espraio pode alcançar alturas diferentes no continente, mesmo que as alturas das ondas e das marés sejam iguais.



De acordo com Seeling e Ahrens (1996) é possível medir o runup com a seguinte equação:

$$R_i = WRL_i \cdot \text{Sen } \beta$$

$R_i$  → Representa o runup de uma onda qualquer

$WRL$  → Medida do espraio da onda sobre a face de praia

$\beta$  → Ângulo de inclinação da praia

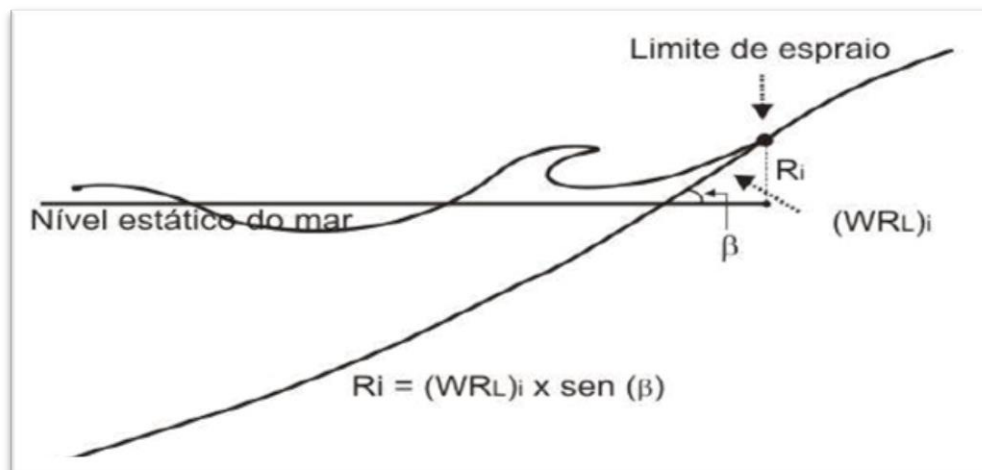


Figura 6 - Representação do runup segundo a relação métrica dos triângulos retângulos. Fonte: Rocha, 2009b.

Ainda segundo Rocha (2009b), Para o cálculo direto do runup é necessário que haja o conhecimento do ponto do perfil da praia que seja equivalente ao nível estático do mar, quando se pressupõe um mar revolto.

Em consonância com a Lei da gravitação universal, as massas d'água são atraídas por forças externas, internas inerente à massa da Terra, oriundas dos elementos celestes e também pelas correntes marinhas que colaboram no empilhamento das massas de água em pontos determinados.

### 3 ÁREA DE ESTUDO

O experimento desse trabalho foi realizado na praia de Jacarecica, localizada na cidade de Maceió-AL, na costa nordeste do Brasil. Figuras 7 e 8.



Figura 7 - Visão aérea da área de estudo preliminar. Fonte: Google Earth



Figura 8 - Visão local da área de estudo preliminar. Fonte: Autora, 2016.

Figuras 7 e 9 mostram a localização da área de estudo, cujos extremos ao longo da praia são delimitados pelas coordenadas  $E = 204,938.30\text{m}$ ;  $N = 8,935,958.20\text{m}$ , referidas ao sistema UTM, elipsoide SIRGAS.

Segundo Mascarenhas, Beltrão e Junior, (2005), a formação geológica da costa nordeste brasileira, aconteceu nos períodos Cenozóico e Mesozóico. No Cenozóico, formaram-se os depósitos de areia e dunas móveis do litoral, os depósitos flúvio lagunares (lamas arenosas e

carbonosas) e os grupos barreiras (arenitos e conglomerados com intercalação de siltito e argilito) e, no Mesozóico ocorreu à formação Muribeca (conglomerados de leque aluvial).

Como ocorre em grande parte do litoral nordeste do Brasil, nessa praia também há recifes de arenito que ajudam a dissipar a energia das ondas (MUEHE, 1996).

## 4 METODOLOGIA

Para a realização das ações que objetivam na medição do runnup com o sistema de apoio articulado é preciso definir passos específicos, assim foi necessário à divisão das atividades em etapas, conforme a figura 9.

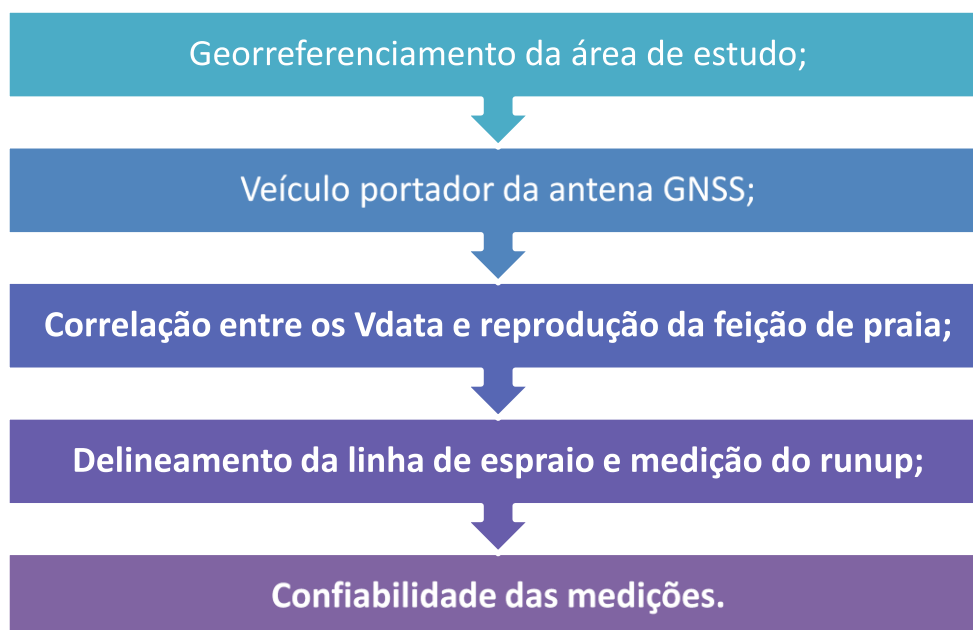


Figura 9 - Fluxograma da metodologia utilizada. Fonte: Autora, 2017.

A proposta metodológica do presente trabalho está vinculado ao Projeto de Extensão Universitária "Monitoramento da linha de risco das marés usando posicionamento geográfico tridimensional por satélite", sendo coordenado pelo Prof. Dr. Cesar Peixoto da Rocha e pelo Prof. Dr. Arthur Costa Falcão Tavares da Universidade Federal de Alagoas, que gerou um artigo que foi submetido no The Journal of Coastal Research, conforme apêndice - A .

### 4.1 Georreferenciamento da área de estudo

O ponto de partida para o levantamento da face de praia foi um marco de concreto com dispositivo de centragem forçada, cujas coordenadas serão referidas ao marco do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), localizado no campus da Universidade Federal de Alagoas.

As coordenadas verticais usadas para reproduzir a feição de praia, em princípio referidas ao modelo SIRGAS, foram ajustadas ao referencial de altura de maré do Porto de

Maceió, através de identidade de cotas em um ponto comum aos dois sistemas. Deste modo reproduziu-se a superfície real sobre a qual a maré sobe e desce cotidianamente, ou seja, a face de praia modelada representa a superfície sobre a qual a linha de confronto mar-continente se desloca livremente.

Na medida do possível os levantamentos dos perfis de praia foram efetuados durante a maré baixa. Esse procedimento proporciona a obtenção de perfis mais abrangentes, além de minimizar os erros referentes às medidas da altura da maré, em virtude do estofo de vazante, durante o qual o nível do mar, permanece estável por algum tempo, antes de reverter o fluxo. DHN, 2014. De acordo com observações in loco, essa transição dura aproximadamente 15 minutos, sendo suficiente para colher informações GNSS da altura da linha d'água praticamente sem defasagem em relação à altura de maré informada pela estação maregráfica, desde que a distância máxima entre esta e o local do experimento seja inferior à  $0,03^\circ$  de longitude.

#### **4.2 Veículo portador da antena GNSS**

A reprodução das feições de praia pode ser obtida através de modelagem topográfica e restituição de imagens. Nesse estudo, a feição de praia foi gerada por software de modelagem topográfica, usando coordenadas tridimensionais provenientes do processamento dos dados GNSS, capturadas com técnica de posicionamento cinemático. O uso dessa técnica implica em coletar os dados com a antena em movimento, o que em geral é feito com um operador segurando a antena presa em um bastão, com inerente dificuldade em manter a verticalidade da antena, bem como sua equidistância ao solo. A falta de verticalidade da antena gera incerteza na posição geográfica horizontal dos pontos objeto de estudo, pois a projeção do centro de fase da antena deveria ocupar a mesma posição do pé do bastão rente ao solo. Além disso, variações de altura da antena relativa ao solo geram incertezas na localização vertical do ponto.

No intuito de minimizar esses erros, está sendo aperfeiçoado e testado nesse estudo um dispositivo de apoio articulado afixado em um veículo não motorizado, que permite deslocar a antena GNSS com um mínimo de prejuízo de verticalidade e manutenção da equidistância da antena ao solo. Figura 10 e 11.



Figura 10 – Detalhe lateral do veículo transportador da antena GNSS. Fonte: Autora, 2017.



Figura 11 – Detalhe frontal do veículo transportador da antena GNSS. Fonte: Autora 2017.

O sistema de apoio articulado mostrado na figura 9 consiste em um cilindro metálico, pesando aproximadamente 2,5 kg, acoplado em uma haste, em cuja extremidade é fixada a antena GNSS. O direcionamento dessa haste é determinado pela ação da força gravitacional, pois o sistema apoia-se em um conjunto de rolamentos que lhe permite livre articulação. Como o cilindro metálico fica abaixo dos rolamentos e é mais pesado que a antena, o peso do cilindro garante a verticalidade da haste. Esse conjunto é fixado a um veículo não motorizado, semelhante a um carro de mão, dotado de uma roda, braços e apoios de chão, através de um tripé. O veículo foi projetado de forma ergonômica em tubos de aço inoxidável para

minimizar a corrosão da água salgada, leve e com partes desmontáveis para facilitar o transporte até o local de estudo.

### 4.3 Correlação entre os Vdata e reprodução da feição de praia

Este experimento aplicou a mesma técnica de correlação entre referenciais verticais difundida por Rocha et. al. (2009), segundo a qual, uma antena GNSS captura sinais de satélites à beira mar em um instante  $t_1$  (mar calmo, sem ondas). Nessa primeira etapa identifica-se a altura elipsoidal à beira mar. Ao mesmo tempo, observa-se a altura do mar na curva de maré. A correlação entre esses data pode ser estabelecida a partir do conhecimento da diferença entre essas alturas ( $k$ ).

O procedimento topográfico convencional para reproduzir uma feição consiste na obtenção de perfis do terreno, com base nos quais os modelos são gerados. Neste trabalho, os perfis foram gerados pelo deslocamento da antena GNSS costurando a face de praia com taxa de gravação de 2s. Figura 12.

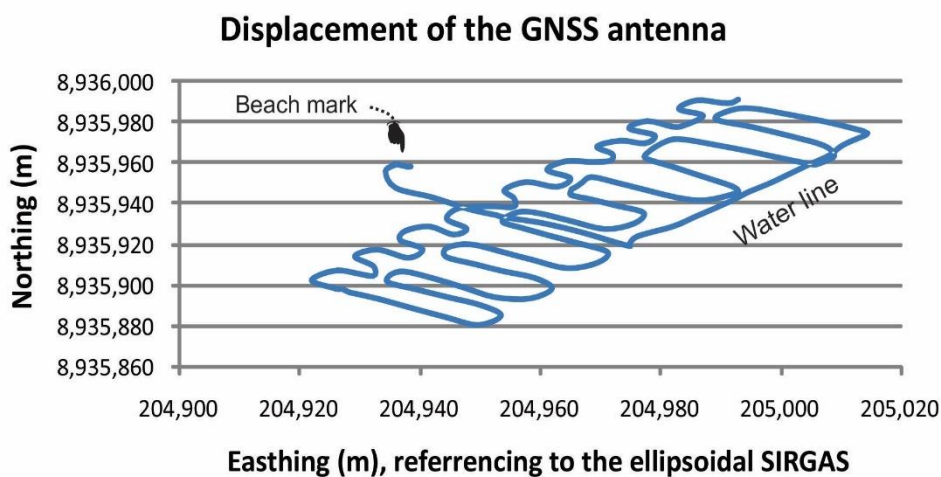


Figura 12. Deslocamento da antena GNSS sobre a face de praia. Fonte: Autora, 2017.

Todas as coordenadas verticais provenientes dessa operação precisam ser associadas ao referencial de nível da maré, de modo que a feição reproduzida por modelagem a partir dessas coordenadas represente a superfície real sobre a qual a massa d'água naturalmente se movimenta. Essa operação consiste em adicionar algebricamente a constante de redução ( $k$ ) a cada altura GNSS. As coordenadas resultantes dessa operação suprem o software para



modelar a face de praia ajustada ao nível do mar, visto que suas alturas estarão correlacionadas ao referencial de nível da maré local.

#### **4.4 Delineamento da linha de espraio e medição do runup**

No instante  $t_2$  do mesmo dia, agora com o mar agitado pelas ondas, a antena GNSS foi transportada sobre a linha de espraio para caracterizar o seu contorno, em geral uma linha sinuosa na qual é possível identificar a posição geográfica e a altura ponto a ponto.

O runup corresponde ao adicional de altura do espraio da onda em relação ao nível estático do mar, ou seja, a diferença de altura entre o nível estático do mar e o limite máximo de espraio da onda.

Considerando que a feição da praia pode ser traduzida em curvas de nível, pode-se visualizar dentre elas a que representa o nível do mar estático no instante  $t_2$  (observado na curva de maré), ao qual a linha de espraio está referida. Para medir o runup basta observar a máxima distância vertical entre essas duas curvas.

#### **4.5 Confiabilidade das medições**

O controle do grau de confiança das medidas efetuadas constituiu-se em três operações:

A – Comparar o instante médio do intervalo de tempo do estofa de vazante previsto na tábua de maré com o instante médio do intervalo de tempo do estofa de vazante ocorrido no local do experimento.

B – Comparar um perfil de praia traçado com base nas coordenadas oriundas do GNSS com o mesmo perfil extraído do modelo interpolador.

C – Comparar os valores do runup da mesma praia obtidos com técnica alternativa.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Com referência à correlação entre os Vdata

A acomodação de grandes massas d'água está associada ao modelo geoidal. Por isso sua superfície, além de seguir a curvatura da Terra é suscetível de suaves deformações. O deslocamento dessas massas provém da atração gravitacional exercida, principalmente, pela Terra, pela Lua e pelo Sol. Por seu lado, as coordenadas geográficas geradas através do GNSS estão associadas ao modelo elipsoidal, no caso deste estudo, ao SIRGAS. O afastamento entre as superfícies dos modelos geoidal e elipsoidal varia com o local e a esta variação dá-se o nome de ondulação geoidal. Correlacionar os modelos geoidal e elipsoidal, com base na estimativa das ondulações geoidais, comumente leva a resultados não muito precisos, em virtude de falhas no modelo de interpolação geoidal e do próprio dinamismo da superfície real (acomodações de solo e das placas tectônicas). Por isso, a conversão entre as alturas medidas nesses referenciais, na maioria das vezes leva a resultados pouco precisos, como ainda é o caso do software MapGeo, cujas inconsistências em solo brasileiro são da ordem de 2m. Erros verticais dessa magnitude transferem erros horizontais de até 12m na linha de confronto mar-continente em praias com declive de 6%.

Muitos estudiosos do gerenciamento costeiro, a exemplo de Moore et al. (2006), têm citado a escolha dos indicadores e a dificuldade de correlação dos referenciais verticais entre as principais fontes causadoras de inconsistências das pesquisas nessa área do conhecimento. Contudo, saliente-se que as marés são associadas a um referencial de nível local previamente estabelecido para garantir que as mais baixas marés permaneçam acima desse referencial, o que nem sempre ocorre. Contudo, no contexto deste estudo, o mais importante é observar que os referenciais de maré não têm vínculo com o geoide, que corresponde a uma superfície equipotencial.

A correlação entre os Vdata estabelecida pela técnica aqui apresentada adéqua-se especificamente aos trabalhos de gerenciamento costeiro, pois associa o referencial de nível da maré local ao referencial de nível do modelo elipsoidal escolhido, a partir do conhecimento das diferentes alturas (GNSS e de maré) em um ponto comum. Coletar a altura GNSS à beira mar significa conhecer a altura elipsoidal em um ponto cuja altura de maré pode ser identificada na curva de maré, bastando para isso que se observe a hora em que a coleta foi realizada (Figura 13).

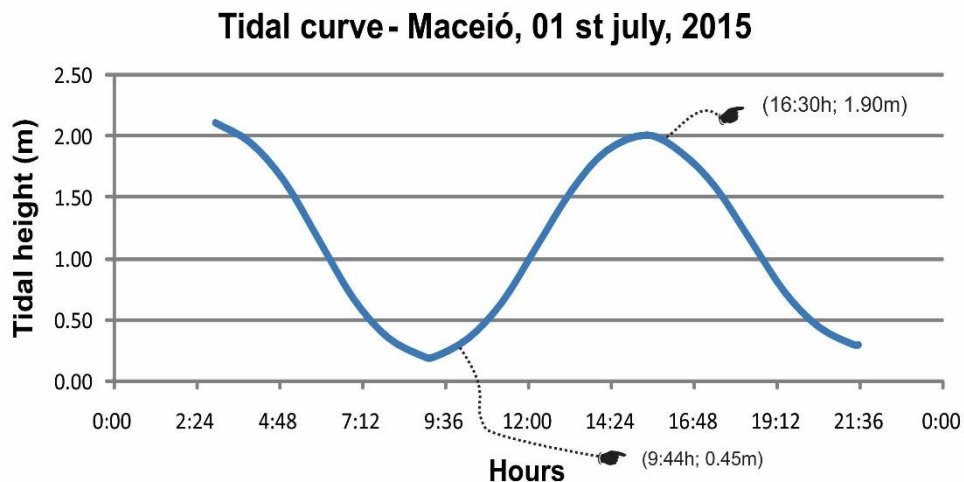


Figura 13 - Curva de maré. Fonte: Autora, 2017.

A diferença ( $k$ ) entre a altura GNSS à beira mar e a altura observada na curva de maré, para o mesmo instante  $t_1$ , representa o afastamento entre os referenciais verticais. Neste estudo, essa diferença resultou em  $k = 0,45\text{m}$ . Portanto, para correlacionar esses referenciais basta adicionar algebricamente a constante ( $k$ ) a cada uma das alturas GNSS coletadas durante o deslocamento da antena ao longo da praia. Tabela 01.

Easting	Northing	Shoreface	Eight	
204938.320	8935958.287	6.080	3.549	
204937.814	8935958.036	5.630	3.999	
204942.224	8935942.918	4.829	4.800	
204947.997	8935937.321	4.333	5.296	
204953.447	8935933.451	3.915	5.714	
204955.587	8935932.438	2.443	7.186	
204960.676	8935930.112	1.993	7.636	
204966.610	8935925.964	1.185	8.444	
204972.193	8935921.073	0.650	8.979	
204974.619	8935919.077	0.450	9.179	(tide curve)
204974.900	8935918.947	0.482	9.147	<b>0.45</b> water line, 9:44
204974.853	8935918.966	0.499	9.130	$H + k = 0.45$
205013.569	8935975.608	0.465	9.164	$9.63 = k$
205008.294	8935979.548	0.868	8.761	
205001.726	8935983.488	1.476	8.153	
204995.072	8935986.779	2.518	7.111	
204991.432	8935985.775	3.067	6.562	
204926.578	8935897.770	4.365	5.264	
204925.889	8935898.155	4.424	5.205	

Tabela 1 - Amostragem dos pontos coordenados GNSS, cujas alturas foram reduzidas ao referencial de nível da maré. Fonte: Autora, 2017.

Essa mesma constante ( $k$ ) também precisa ser adicionada a cada uma das coordenadas verticais resultante do deslocamento da antena GNSS sobre a linha de espraio no instante  $t_2$ ,

em que o mar encontra-se agitado. O relevo resultante da interpolação dos pontos coordenados da tabela 01 representa o relevo sobre o qual a massa d'água irá se deslocar em seu movimento cotidiano (enchente e vazante). Figura 13.

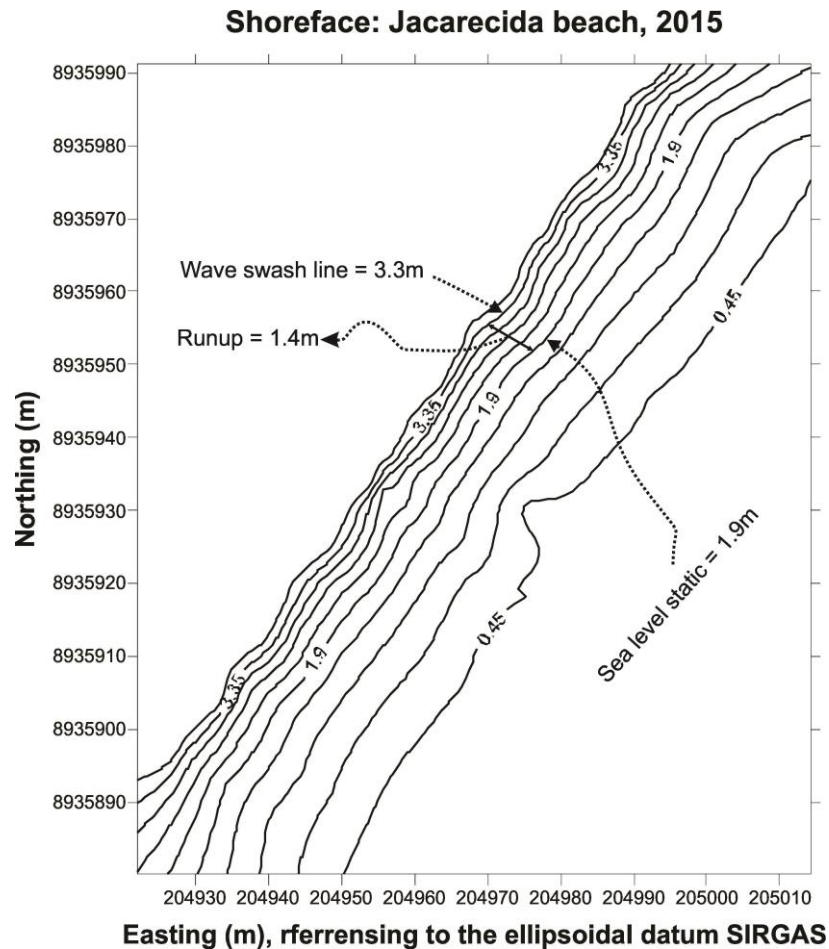


Figura 14 - Relevo da praia com destaque das curvas de nível correspondente ao nível do mar estático e a linha de espraio das ondas.

Ao adicionar-se algebricamente a constante de correlação ( $k$ ) entre os  $V_{data}$  à cada uma das ordenadas geradas pelo GNSS, na prática, eleva-se ou rebaixa-se o referencial de nível elipsoidal para o referencial de nível da maré local. Trata-se de uma operação topográfica simples e precisa, sem qualquer correlação com o geóide, que é um referencial de natureza complexa e de difícil determinação.

## 5.2 Com referência à medição dos runup's e a modelagem da face de praia

Em qualquer ponto da área de estudo o runup corresponde à diferença de altura entre a linha representativa do nível estático do mar e a linha de espraio das ondas. Conforme se

observa na figura 13, a máxima diferença de altura entre essas linhas é de aproximadamente 0,65m.

Ondas de uma mesma altura e energia poderão originar diferentes runup's em praias de diferentes declividades e diferentes constituições pedológicas, sendo estes valores menos elevados em praias mais suaves, em virtude do espraio ser mais alongado. Isto implica em maior gasto de energia durante o espraio e deixa claro que a altura da onda não é argumento suficiente para medir o runup. Contudo, saliente-se que as praias mais suaves precisam de uma considerável área de escape, devido ao prolongado deslocamento horizontal da massa d'água. Nas praias com barramentos verticais, como é o caso das falésias, as ondas impactam de forma instantânea, dissipando de forma abrupta toda a sua energia, gerando runup's mais elevados, porém pouco ou nenhum deslocamento horizontal. Isto evidencia que o gerenciamento costeiro precisa levar em conta as especificidades de cada praia.

As medições do runup, efetuadas com a técnica aqui apresentada, permite indicar a linha de confronto entre o mar e o continente no presente e também prognosticar essa interface no passado ou no futuro, embora sempre referidas ao atual relevo da praia. Isto significa que a linha de risco de marés futuras sempre será objeto de projeções baseadas em estimativas, pois as feições de praia caracterizam-se pela forte dinâmica de transformação. Além disso, algumas das variáveis de influência dessa estimativa são de difícil avaliação como ocorre com a energia das ondas e o seu ângulo de incidência com o continente.

Considerando-se que o runup é um fator que agrega altura ao limite de confronto mar continente, sugere-se atribuir-lhe uma margem de folga, para garantir que a linha de risco seja prognosticada com segurança, uma vez que adicionais de altura ao nível do mar se traduz em acréscimo de deslocamento do mar sobre o continente. Portanto, sugerimos atribuir uma folga de 25% ao máximo runup observado na figura 14, para prevenir eventual inconsistência do modelo.

O uso de técnicas de posicionamento cinemático pelo GNSS para reproduzir o relevo da face de praia e correlacionar os data tidal e elipsoidal foi defendida por Rocha et. al. 2009 e a reprodução de relevos em softwares topográficos é uma técnica de domínio público. A inovação do processo está em deslocar a antena GNSS sobre a linha de espraio das ondas para conhecer a altura dessa linha e verificar a respectiva altura do nível do mar estático na curva de maré, transportando essas informações para a face de praia modelada. A medida do runup pode estão ser observada diretamente na superfície modelada, como pode ser visto na figura 14.

Contudo, a associação de técnicas e equipamentos provenientes de diferentes áreas do conhecimento como a Geodésia, a oceanografia e as interpolações computadorizadas para reconstituir os relevos, requer um tratamento adequado dos erros inerentes a cada etapa do processo.

O Modelo de elevação digital da face de praia é gerado com base nos perfis de praia cujas alturas precisam estar associadas ao referencial de nível das marés. Daí a necessidade de correlacionar os Vdata. A técnica de fusão aplicada nesse estudo tem a vantagem de dispensar o conhecimento da altura da antena GNSS, pois esta já está incluída na constante de redução (k). Isso serve para eliminar o erro sistemático dessa medida. Entretanto, é preciso que a altura da antena GNSS seja mantida do início ao fim de cada seção de trabalho. Nesse aspecto, o veículo transportador da antena mostrou-se bastante eficaz e com excelente relação custo-benefício, aumentando a comodidade e o rendimento do operador, além de minimizar os erros de verticalidade da antena, já que durante o seu transporte, esta é mantida sobre um apoio articulado, conforme foi mostrado na figura 11.

A confiabilidade do relevo reproduzido por interpolação depende da densidade e configuração dos pontos no terreno. De acordo com Baptista et al. (2008b), a melhor qualidade de reprodução dos relevos foi obtida com uso do método TIN (Triangular Irregular Network) e Krig (Kriging). Para Souza (2002), os melhores resultados foram obtidos com uso do método IDW (Inverse Distance Weight). Já para Franke (1982) e Botelho (2005), as melhores reproduções foram obtidas com uso do método NaN (Natural Neighbor). Neste estudo, o método de Radial Basis Function foi o interpolador que melhor reproduziu a superfície da praia. Essa conclusão foi estabelecida com base na análise dos desvios entre os valores observados e calculados e a melhor suavização da superfície gerada.

No que diz respeito ao planejamento das atividades de campo é preciso observar dois aspectos fundamentais. O primeiro concerne ao prolongamento dos perfis, que precisam ultrapassar os limites da zona de espraio, pois a confiabilidade do relevo por interpolação nos limites da área de estudo (zona de fronteira) é prejudicada devido à menor densidade de pontos e o segundo diz respeito à arquitetura dos perfis em planta, para melhorar a configuração dos pontos visitados.

Esse estudo resultou runup cerca de 7% superior aos runup's medidos nessa mesma praia em março 2012, quando se aplicou técnica de medição diferencial pelo GNSS e técnica de medição topográfica direta. A medição diferencial pelo GNSS da época consistiu em deslocar a antena GNSS, desde o limite de espraio da onda até o limite de recuo da mesma

onda, estimando-se o runup como a metade da diferença entre as alturas elipsoidais desses limites. A medição topográfica direta consistiu em se efetuar leituras em uma régua codificada posta no limite do espraio e no limite de recuo de uma mesma onda, considerando-se também ali o runup como a metade da diferença de nível entre esses limites.

### 5.3 Uma menção aos erros

#### a) Erros instrumentais

Todos os processos de mensuração são suscetíveis de erros. Segundo Hofmann-Wellenhof et al. (1998), a precisão nominal dos equipamentos GNSS de dupla frequência em geral é da ordem de 0,01 m nos posicionamentos horizontais, sendo que a degradação dobra nos posicionamentos verticais. Em geral esses erros devem ser acrescidos do fator 2ppm (ressalvada pequenas variações de acordo com o equipamento). No estudo de caso deste experimento, utilizou-se receptor de sinais GNSS de dupla frequência, cujas especificações atendem esse nível de precisão.

O fator de degradação atribuído à distância da linha base foi desconsiderado, por tratar-se de um erro que se anula, pois afeta concomitantemente todos os pontos da área de estudo.

A qualidade dos posicionamentos cinemáticos foi avaliada confrontando-se as coordenadas de pontos da linha d'água, geradas com técnica de posicionamento estático rápido relativo, usada para fins de correlacionar os data verticais (tidal e elipsoidal) com a posição desses mesmos pontos determinadas com técnicas de posicionamento cinemático, para caracterizar os perfis. Para isso os pontos de controle na linha d'água foram sinalizados e reocupados durante o levantamento dos perfis de praia. Esse controle é importante uma vez que as coordenadas geradas pelo método estático rápido relativo têm precisão melhor que um centímetro (SEGANTINE, 2005). Entretanto, a antena GNSS precisa reocupar cada ponto de controle, pelo menos, uma fração de tempo equivalente à taxa de gravação programada, para garantir que esses pontos fiquem gravados na coletora do receptor.

Para avaliar a precisão dos perfis obtidos pelo GNSS, fez-se nivelamento e contra nivelamento de dois perfis de praia, com nível ótico de precisão 2mm + 1ppm. Esses perfis iniciam nos pontos de controle e seguem na direção perpendicular à linha de costa, até ultrapassar a linha do espraio, de modo a prevenir que a linha de espraio seja interceptada.

Como nessa praia os perfis têm aproximadamente 45 m de comprimento, o erro instrumental dessa operação é da ordem de 2,1mm.

O controle das alturas de maré consistiu em verificar a diferença cronológica da reversão de fluxo (estofa de maré) entre o local do experimento e a estação maregráfica mais próxima. Nesse estudo, como a diferença de longitude entre esses lugares é da ordem de 0h01m36s, a diferença cronológica entre o estofa de maré indicado pela estação maregráfica e o estofa de maré no local do experimento não é significativa, podendo-se desconsiderar esse argumento. Além disso, de acordo com Vargas et al. (2008), as curvas de maré têm comportamento sinusoidal, com alguma influência das pressões meteorológicas, de modo que nos instantes que antecedem e precedem o estofa, a velocidade de variação do nível d'água é bastante lenta, corroborando para o sucesso do uso dessa técnica.

#### b) Erros metodológicos

Outras fontes de erro que precisam ser levadas em conta nos posicionamentos pelo GNSS no modo cinemático relativo são: a verticalidade do conjunto bastão-antena e a instabilidade na equidistância da antena ao solo. Os desvios de verticalidade da antena causam erros na posição geográfica dos pontos tanto na escala horizontal, quanto na escala vertical, sendo os primeiros mais significativos. Esses erros são de natureza sistemática e foram praticamente eliminados com o uso do sistema de apoio articulado para a antena. Como esse sistema mantém o conjunto bastão-antena sobre o eixo da roda do veículo, a equidistância da antena ao solo praticamente não varia, mesmo quando o operador é substituído por outro de altura não muito diferente e a livre articulação do sistema de apoio garante a permanência do bastão da antena na direção da vertical do lugar.

A comparação entre perfis de praia traçados a partir das coordenadas geradas pelo GNSS e perfis de praia traçados a partir do interpolador, resultaram distorções da ordem de até 3%, já que entre eles ocorreram diferenças de até 7cm.

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados da medição do runup efetuadas nesse estudo indicam tratar-se de um elemento fundamental na definição da linha de risco em áreas costeiras estratégicas ou suscetíveis de inundação, pois se trata de um elemento que agrega energia e elevação ao nível do mar estático. A dissipação da energia das ondas é mais acentuada em praias de baixa declividade em virtude do espraio mais prolongado. Contudo, embora menos acentuados, os acréscimos de alturas ao nível d'água em faces de praia muito suaves implicam grandes deslocamentos horizontais da interface mar-continente. Por isso, é recomendável que a margem de folga nas delimitações de linha de risco seja associada a declividade da praia observada, atribuindo-se mais folga em praias de baixa declividade.

A metodologia usada para correlacionar os Vdata é simples e facilitadora, pois ajusta perfeitamente a superfície de referência vertical do GNSS ao plano de referência da estação maregráfica, dispensando o modelo geoidal, cuja representação é complexa e imprecisa. Contudo, é preciso levar em conta possíveis distorções entre a altura do mar informada na tábua de maré e a altura da maré no local do experimento. O argumento de avaliação utilizado nesse estudo foi a defasagem de tempo entre o estofa de maré previsto pela estação maregráfica e o estofa de maré ocorrido no local do experimento, pois o intervalo de tempo para reversão de fluxo das marés varia com a posição geográfica do observador e com a configuração dos elementos: Terra-Lua-Sol, principalmente.

O teste do veículo equipado com o sistema de apoio articulado foi considerado satisfatório. Trata-se de um veículo leve, ergonômico, desmontável e de baixo custo, construído em material não corrosível, cujo sistema articulado pode ser facilmente instalado em qualquer outro veículo. Atendeu perfeitamente as funções para as quais fora projetado, isto é, garantir a verticalidade do bastão fixador da antena e estabilizar a altura da antena GNSS.

Por fim, convém salientar que quando se trata de delimitar o confronto mar-continente, há que se levar em conta a impossibilidade de resultados puramente matemáticos, pois a imprevisibilidade e a dinâmica das variáveis de influência não permitem a obtenção de resultados absolutos. Por isso, é recomendável acrescer uma margem de folga aos resultados, para prevenir acidentes.



## REFERÊNCIAS

BAIO, F.H.R.; ANGULO FILHO, R.; VETTORAZZI, C.A.; RAFFO, J.G.G.; ELIAS, A.I. **Estudo da exatidão de um GPS operando em duas taxas de aquisição de dados.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, Poços de Caldas, 1998, Anais... Lavras, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.347- 349.

BAPTISTA, P.B, BASTOS, L.C., BERNARDES, C.A., CUNHA, T.R. & DIAS, J.A., 2008<sup>a</sup>. Aplicação de Metodologia de Monitorização GPS em Litorais Arenosos. **Geração de Modelos de Elevação do Terreno.** Revista de Gestão Costeira Integrada, 8(1):9-23.

BAPTISTA, P.B, BASTOS, L.C., BERNARDES, C.A., CUNHA, T.R. & DIAS, J.A., 2008b. **Monitoring Sandy Shore Morphologies by DGPS – A Practical Tool to Generate Digital Elevation Models.** Journal of Coastal Research, 24(6):1516-1528

BARBOSA, L.M. – 1985 – **Quaternário costeiro do estado de Alagoas: Influências das variações do nível do mar.** Dissertação de mestrado em geologia, UFBA, 58p.

BOTELHO, M.F., SILVA da, C.R., SCHOENINGER, E.R. and CENTENO, J.A.S., 2005. **Comparação dos resultados de interpoladores “Vizinho mais próximo” e “Inverso de uma distância” no cálculo de volume a partir de dados do laser scanner.** Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, IMPE, São José dos Campos. P: 731-736.

BUTT, T.; RUSSELL, P. **Hydrodynamics and cross-shore sediment transport in the swash zone of natural beaches: A review.** Journal of Coastal Research, v. 16, p. 255–268, 2000.

CAMARGO, P.O. **Modelo regional da ionosfera para uso em receptores de uma frequência.** Curitiba, 1999. 156p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) Universidade Federal do Paraná.

CARVALHO, E. A.; ARAÚJO, P. C.; Leituras Cartográficas e Interpretações Estatísticas II: **Noções Básicas de Sistema de Posicionamento Global – GPS.** EDUFERN. Rio Grande do Norte. p. 2 e 6-8, 2009. Disponível em: [http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/cursos/Geografia\\_PAR\\_UAB/Fasciculos%20-%20Material/Leituras\\_Cartograficas\\_II/Le\\_Ca\\_II\\_A08\\_MZ\\_GR\\_260809.pdf](http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/cursos/Geografia_PAR_UAB/Fasciculos%20-%20Material/Leituras_Cartograficas_II/Le_Ca_II_A08_MZ_GR_260809.pdf) Acessado em 03/11/2017.

DHN, 2014. **Marés e Correntes de maré;** Correntes Oceânicas. Disponível in: <https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap10.pdf>

EL-RABBANY, A. **Introduction to GPS: the Global Positioning System**. 1ª ed. Norwood, MA. Artech House, 2002, 176 p.

FONTES, A. L.; **Geomorfologia Costeira**. UFS. Sergipe. Disponível em: [http://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15490516022012Geomorfologia\\_Costeira\\_3.pdf](http://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15490516022012Geomorfologia_Costeira_3.pdf) Acessado em: 01/12/2017

FRANKE, R., 1982. **Scattered Data Interpolation: Test of Some methods, Mathematic of Computations**, 33(157):181-200.

HOEFEL, F. G. **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica**. Itajaí: Editora da Univali, 1998.

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H. & COLLINS, J., 1998. **Global Positioning System: Theory and Practice**. 3ª ed., Springer-Verlag, 335p.

HUERTA, E.; MANGIATERRA, A.; NOGUERA, G. (2005). **GPS: Posicionamento Satelital**. Proyecto 19/1077 - Estación permanente GPS. Serie "Temas de Geociencia", N° 7: "Georreferenciación". UNR Editora, Rosario.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

INCRA. 3ª edição **Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais**. Agosto de 2013

LEATHERMAN, S. P., 2003. **Shoreline change mapping and management along the U.S. Eastcoast** Journal of Coastal Research, SI38:5-13.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. 1ª ed. São Paulo: Unesp, 2000a. p 287.

MOORE, L.J.; RUGGIERO, P., and LIST, J.H., 2006. **Comparing Mean High Water and High Water Lines shorelines: Proxy Datum Offsets be Incorporate into shoreline Change Analyses**. Journal of Coastal Research 22, p. 894-905.

MORTON, R.A.; SPEED, F.M., 1998. **Evaluation of shoreline and legal boundaries controlled by water level sonsan dy beaches**. Journal of Coastal Research, 14(4):1373-1384.

MUEHE, D. 1996. **Geomorfologia costeira**. In: Cunha, S. B. & Guerra, A. J. T. orgs. Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil. p.191-238.

OLIVEIRA, M.R.L. de; NICOLODI, J. L. **A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla. Uma análise sob a ótica do poder público**. Revista Gestão Costeira Integrada, 12 (1): p.91-100, 2012. Disponível em: [http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-308\\_Oliveira.pdf](http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-308_Oliveira.pdf). Acesso em: 02 de abril de 2014.

PAJAK, M.J.; LEATHERMAN, S.P., 2002. **The high waterline as shoreline indicator**. Journal of Coastal Research, 18(2):329-337.

PARKER, B.B., 2003. **The difficulties in measuring a consistently defined shoreline – the problem of vertical referencing**. Journal of Coastal Research, SI38:44-56.

ROCHA, C.P.; ARAÚJO, T.C.M. e MENDONÇA, F.J.B., 2009. **Aplicação de técnicas de posicionamento GPS tridimensional para localizar linhas de costa**. Journal of Integrated Coastal Zone Management 9(1):93-108.

RODRIGUES, R J. **Precisão de planta planialtimétrica gerada por modelagem numérica de superfície a partir de coordenadas UTM plano retangulares coletadas em receptor GPS topográfico**. Botucatu: [s.n], 2006. 70 f. Dissertação de mestrado. - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

ROSSETTI, D. F. **Ambientes costeiros**. In: FLOREZANO, T. G. (org). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods, and applications**. Berlim: Walter de Gruyter e Co, 1993.

SEGANTINE, P.C.L., 2005. **Sistema de Posicionamento Global**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil. 1ª edição, 364p.

SEGANTINE, P.C.L., **Topografia para Engenharia: Teoria e Prática de Geomática**. Editora Elsevier Ltda. Rio de Janeiro, Brasil. 1ª edição, 2015. 350p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=OV7jBwAAQBAJ&pg=PT408&dq=sistema+deposicionamento+global&hl=ptBR&sa=X&ved=0ahUKEwi64qSD9enXAhXHHpAKHX8aDcwQ6AEIOzAE#v=onepage&q=sistema%20de%20posicionamento%20global&f=false> Acessado em: 10 de Novembro de 2017.

SILVA, C. G. **Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa.** In: BAPTISTA NETO, J.A.

SOUZA, E.C.B. (2002). **Análises temporais de alta precisão utilizando GPS para avaliação das variações volumétricas ocorridas no ISTMO da Ilha do Mel.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, PR, Brasil. 149p.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha: com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol.** São Paulo: T.A. Queiroz, 1992.

TUREKIAN, K. K. **Oceanos.** São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1969.

VARGAS, C.I., OLIVEIRA, F.S.B, OLIVEIRA, A.S.B. and CHARNECA, N., 2008. **Análise da Vulnerabilidade de uma praia Estuarina à Inundação: Aplicação à Restinga do Alfeite (Estuário do Tejo).** Revista de Gestão Costeira Integrada. 8(1): 25-43.

VETTORAZZI, C.A.; ANGULO F.R. & COUTO, H.T.Z. **Sistema de posicionamento global: GPS.** Eng. Rural, 5:61-70, 1994.

WILLIAMS, S. J.; DODD, K.; GOHN, K. **Coasts in Crisis.** US Geological Survey Circular 1075, p. 32, Washington, DC, USA. 1992.

XU, G. **GPS-Theory, Algorithms and Applications.** 2<sup>a</sup> ed. Potsdam, Springer, 2007. 340p.

ZHANG, K., HUANG, W., DOUGLAS, B.C. & LEATHERMAN, S.P., 2002 – **Shoreline positions variability and long-term trend analysis.** Shore & Beach, 70(2):31-35.

\_\_\_\_\_. Lei nº.7.661 de 16 de maio de 1988. **Gerenciamento Costeiro.** Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L7661.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7661.htm)>. Acesso em: 02 de nov. 2017.

\_\_\_\_\_. Decreto-Lei nº.9.760 de 05 de Setembro de 1946. **Bens da União.** Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/Del9760.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del9760.htm)>. Acesso em: 02 de nov. 2017.

APÊNDICE - A

## **Submission Confirmation for Articulated support system for radio antennas, applied to run-up measurement at Jacarecica beach, Maceió/AL.**

Entrada x



**The Journal of Coastal Research**  
<em@editorialmanager.com>

23:28 (Há 39 minutos)

para mim

Traduzir mensagem  
Desativar para: inglês  
Dear Prof. Dr. Rocha,

Your submission entitled "Articulated support system for radio antennas, applied to run-up measurement at Jacarecica beach, Maceió/AL." has been received by the Journal of Coastal Research

You will be able to check on the progress of your paper by logging on to <http://jcoastres.edmgr.com/>.

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to the Journal of Coastal Research (JCR). If you have any questions, please contact us at: [cerf.jcr@gmail.com](mailto:cerf.jcr@gmail.com)