

2018

**RELATÓRIO TÉCNICO CONTENDO PROPOSIÇÃO DE PROCEDIMENTOS
PARA AQUISIÇÃO DE DADOS PARA DEMARCAÇÃO DA LMEO**



Laboratório de Sistemas de Informações

Espaciais

LSIE

2018

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	3
2.	CONCEITOS DE HIDROMETRIA	5
3.	CONCEITOS BÁSICOS DE CARTOGRAFIA E GEODESIA.....	7
3.1	Altitude Ortométrica (H).....	8
3.2	Altitude Elipsoidal	9
3.3	Ondulação Geoidal	9
4.	NIVELAMENTO PELA REDE ALTIMÉTRICA DE ALTA PRECISÃO (RAAP)	10
4.1	Nivelamento Geométrico Convencional	13
5.	GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM.....	14
5.1	Componentes	15
5.2	Características dos Sinais GPS.....	16
5.3	Observáveis GPS.....	16
5.3.1	Pseudodistância:.....	16
5.3.2	Fase da onda portadora	17
5.4	Posicionamento.....	18
5.4.1	Posicionamento relativo	18
5.4.2	Posicionamento absoluto:.....	22
5.5	Nivelamento de estações fluviométricas com GPS	24
6.	ALTIMETRIA ESPACIAL	28
6.1	Estação Virtual.....	30
6.2	Nivelamento de estações fluviométricas com altímetros.....	31
6.2.1	Uma estação virtual sobre estação fluviométrica	33
6.2.2	Duas estações virtuais entre uma estação fluviométrica.....	35
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1. INTRODUÇÃO

Redes de monitoramento fluviométricas tem um papel fundamental para o bom desempenho de estudos e projetos de engenharia (Spitz, 2015). No Brasil, a rede fluviométrica nacional é de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), as estações fluviométricas cadastradas podem ser acessadas no sítio eletrônico *HidroWeb*. O país carece de informação hidrológica básica porque apresenta densidade de estações quatro vezes menor do que as redes de países como os Estados Unidos (Moreira, 2016).

Uma das deficiências da rede hidrometeorológica nacional administrada pela ANA é a falta de uma mesma referência altimétrica para as estações fluviométricas de todo o Brasil estando atualmente em uma referência altimétrica arbitrária. O fato de tais estações estarem referenciadas por marcos locais arbitrários expõe a fragilidade dessas à possíveis danos físicos ocasionados por movimentações no terreno ou colisão com objetos flutuantes como troncos ou embarcações. Esses fenômenos podem causar inclusive a perda da referência estabelecida localmente, impossibilitando, inevitavelmente, a reconstrução das séries hidrológicas (Moreira, 2016).

Além disso, dados fluviométricos sem referência vertical comum comprometem estudos em hidrologia sobretudo quanto à exata obtenção da declividade do nível de água do rio. A falta de exatidão desse dado prejudica a determinação de parâmetros hidrodinâmicos que dependem do valor da cota como o coeficiente de *Manning* e o potencial hidráulico do rio (Getirana e Paiva, 2013 e Moreira et al. 2013), na determinação das áreas de inundação por barramento de curso d'água (Heidemann, 2015) ou no monitoramento de planícies de inundação em bacias de larga-escala (Silva, 2010), dentre outras atividades.

Dois métodos serão aqui descritos para o nivelamento de estações fluviométricas, métodos diretos ou indiretos. Os métodos diretos são aqueles que incluem a determinação da altitude da estação seja por nivelamento geométrico ou por dados GPS. Enquanto que os métodos indiretos são aqueles determinados por técnicas de altimetria espacial.

2. CONCEITOS DE HIDROMETRIA

Para se determinar a vazão fluvial em determinada seção de um curso de água de forma rápida e rotineira é preciso relacionar a altura do nível de água com o total de descarga naquele ponto. O conceito dessa relação denomina-se curva-chave, da qual nos possibilita substituir medições diárias de descarga fluvial por medição contínuas de nível de água ou cotas (Tucci, 2012).

O método convencional de se obter a cota de um determinado curso de água é a instalação de réguas graduadas verticais na água, denominadas de réguas limétricas (**Figura 1**), para fazer a leitura diária do nível. As réguas possuem geralmente 1 metro e são distribuídas seguindo um desnível vertical de 1 metro transversais ao curso do rio. A instalação da primeira régua é definida naquele ponto que se julga a menor cota esperada do rio e é denominada cota-zero e a última cota, igualmente, é naquele ponto que se julga a cota máxima da cheia. Essa conformação facilita a obtenção de nível pelo operador, uma vez que sabendo a posição da régua e a leitura da altura na régua ele consegue estabelecer a variação diária do nível de água tendo como referência a cota zero. Além do método convencional acima descrito, há outras formas de calcular cotas de água, mas esse será a nossa referência ao longo desse texto.

A qualidade dos registros de cotas de água em uma determinada região depende sobretudo de que as réguas estejam niveladas a algum datum, dessa maneira é possível a associação de dados de diferentes estações em uma mesma bacia hidrográfica (Tucci, 2012). Para se garantir a continuidade dos dados e integridade das medições, toda estação deve estar amarrada a uma referência de nível(RN) instalado em uma porção firme do terreno próximo às réguas a fim de possibilitar a verificação de sua cota, ou até mesmo a recuperação de uma estação destruída (ANA, 2012).



Figura 1 - Exemplo de seções de réguas linmétricas instaladas ao longo do terreno ANA (ANA, 2012).

As RNs constituem-se de marcos em chapas metálicas numeradas, com indicação do desnível em relação à cota-zero, fixadas em base de concreto e de caráter permanente. É recomendável a instalação de até dois marcos os quais devem estar localizados acima da cota máxima. A **Figura 2** mostra exemplos de RNs instaladas conforme descrito acima.



Figura 2 - Exemplo de RNs instaladas (ANA, 2012).

3. CONCEITOS BÁSICOS DE CARTOGRAFIA E GEODESIA

O geóide é a superfície equipotencial que mais se aproxima da superfície terrestre, formada pelo prolongamento do nível médio dos mares, não perturbado, estendido sobre toda a Terra. Essa é uma superfície que sofre variações com as alterações do campo gravitacional terrestre e é empregado como referência para a determinação das altitudes (Sampaio e Brandalize, 2018). O Nível Médio dos Mares (NMM) é escolhido como uma superfície de referência que melhor define a forma da Terra por ser uma superfície de equilíbrio hidrostático e estar sempre procurando adequar-se às forças atuantes sobre o nosso planeta. No Brasil, o nível médio dos mares é definido pelas observações maregráficas tomadas entre os anos de 1949 e 1957 no Porto de Imbituba, no litoral do estado de Santa Catarina (Teixeira e Guimarães, 2003).

Devido às irregularidades da superfície terrestre a figura geométrica que mais se aproxima do nosso planeta é uma elipse que ao girar em torno do seu eixo menor forma um volume, o elipsoide de revolução. Esse elipsoide biaxial e centrado em uma determinada origem, se essa origem coincide com o centro de massa da Terra, o elipsoide é chamado de geocêntrico (Awange, 2012). Constitui, portanto, a forma definida matematicamente que mais se aproxima da forma verdadeira da Terra. O elipsoide torna-

se então uma superfície de referência utilizada no posicionamento horizontal e fundamental na representação cartográfica.

Enquanto o elipsóide de revolução define a forma da Terra um sistema de referência terrestre posiciona e orienta o elipsóide no espaço (Moreira, 2010). A forma e tamanho de um elipsóide, bem como sua posição relativa ao geoide define um sistema geodésico ou datum geodésico (IBGE1998). Muitos foram os intentos realizados para calcular as dimensões do elipsóide de revolução que mais se aproxima da forma real da Terra, e muitos foram os resultados obtidos. Em geral, cada país ou grupo de países adotou um elipsóide como referência para os trabalhos geodésicos e topográficos, que mais se aproximasse do geoide na região considerada, também denominado datum horizontal (Pestana, 2011). No caso brasileiro, adota-se o Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS 2000) é o sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para as atividades da Cartografia Brasileira (Fortes, 2000). Por sua vez o datum vertical será a variação da altitude para uma determinada região com referência ao NMM registrados para esse local. Para o posicionamento GPS, por exemplo, a superfície de referência é sempre um elipsóide de revolução conhecido como o World Geodetic System 84 (WGS-84) (Awange, 2012).

3.1 Altitude Ortométrica (H)

É a altitude que tem como referência o geoide, contada ao longo de uma linha vertical até o ponto de interesse na superfície física da Terra. A determinação dessa altitude é de difícil operação, para se determiná-la em um ponto de interesse dependemos ou de um datum vertical local ou do estabelecimento de uma conexão de tal ponto com cotas altimétricas referenciadas ao marégrafo instalado em Imbituba-Santa Catarina.

3.2 Altitude Elipsoidal

É a altitude que tem como referência o elipsoide, contada ao longo de uma linha vertical até o ponto de interesse na superfície física da Terra. Ela é representada pelo posicionamento tri-dimensional do ponto em que além da altitude se tem também latitude e longitude.

3.3 Ondulação Geoidal

É a distância obtida do elipsoide de referência ao geoide, contada ao longo da normal. Trata-se do desnível da superfície do geoide acima ou abaixo da superfície de um determinado elipsoide. Mediante o avanço e aplicações das técnicas de medições oriundas do GPS, as quais são referenciadas ao elipsoide, que contêm um significado geométrico da altitude, fez-se necessário atribuir um caráter físico a essas altitudes. Para melhor conhecer as diferenças entre as superfícies do geoide e do elipsoide, foram desenvolvidos modelos geoidas que provêm essa diferença para um ponto ou conjunto de pontos a partir das suas coordenadas planimétricas. Como exemplo temos o modelo de geoide global EGM08 e o modelo oficial de ondulação geoidal para o Brasil, o MAPGEO 2015 (Matos et al. 2016). Na Figura 3 é ilustrada a distribuição espacial do modelo MAPGEO 2015 em território nacional.

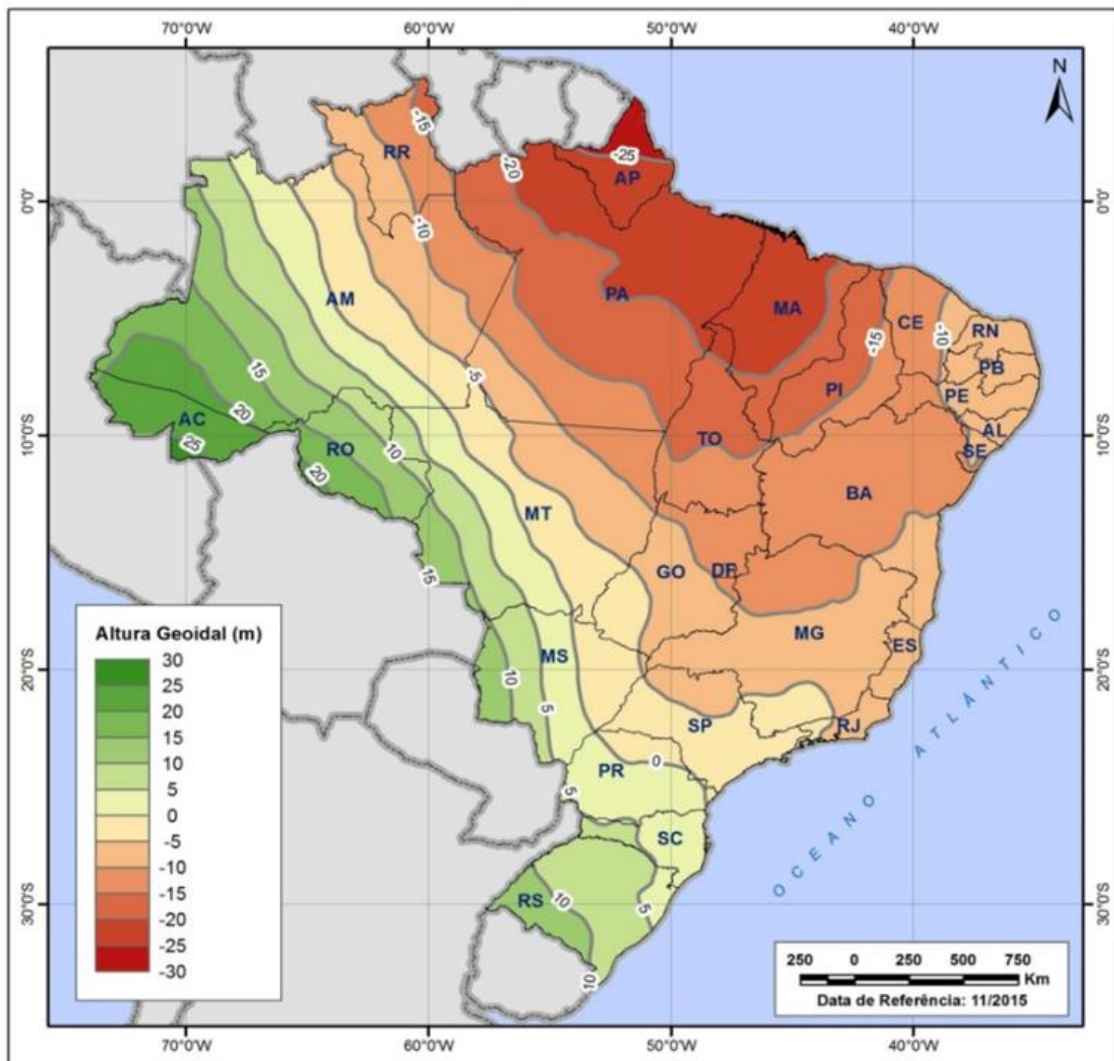


Figura 3 - Modelo de ondulação geoidal para o Brasil, MAPGEO2015.

4. NIVELAMENTO PELA REDE ALTIMÉTRICA DE ALTA PRECISÃO (RAAP)

A determinação do valor de cotas ou altitudes baseia-se na obtenção de desníveis entre pontos tendo como valor inicial uma superfície de referência. Esses métodos são denominados nivelamentos. Como vimos anteriormente, a altitude ortométrica é a distância normal de um ponto até superfície de referência definida pelo nível médio dos mares. A Rede Altimétrica Brasileira de Alta Precisão (RAAP) é o referencial vertical do

SGB e mantida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As RRNN (plural de RN) são demarcadas por peças de bronze chumbadas em blocos de concreto devidamente identificadas (Arana e Arana, 2013).

Cada RN é referenciada ao geóide e posicionadas por técnicas de nivelamento geométrico (Freitas et al. 2004). Uma rede altimétrica tem todas as suas RRNN vinculadas a um ponto inicial de altitude zero, que no Brasil é o Datum vertical de Ibituba obtido pelo registro do NMM na cidade homônima (**Figura 4**).

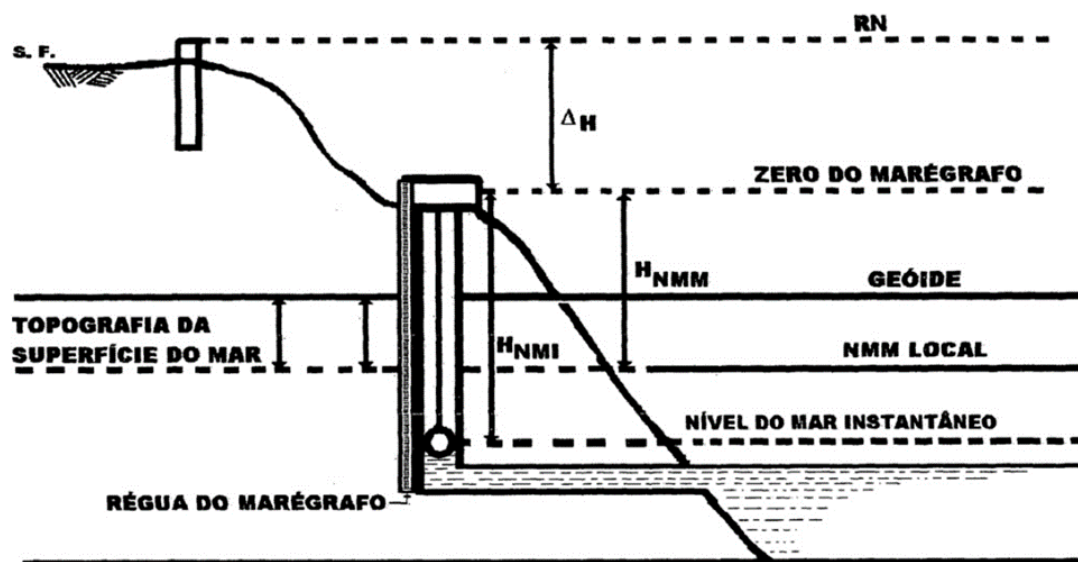


Figura 4 - Parâmetros necessários para determinação do Datum Vertical de Ibituba vinculado à RAAP.

A aquisição de dados por esse método é lenta e exaustiva dependendo de levantamento de campo por instrumento de nível. A determinação dos desníveis pode ser obtida por diferentes níveis de precisão (Medeiros, 1999). A qualidade do nivelamento é controlada pela diferença calculada entre nivelamento e contranivelamento, além do mais uma rede de nivelamento permite diferentes configurações, como em circuito, onde é possível realizar múltiplos controles para o ajustamento dos dados e a distribuição dos erros aleatórios (Heidemann, 2015).

Uma das limitações da RAAP é a sua descontinuidade física, uma vez que a extensão da mesma deve estar associada a pontos da própria rede ou a uma estação Maregráfica em comum, Como exemplo temos a determinação altimétrica do entorno do baixo Rio Amazonas, onde parte da rede localizada no estado do Amapá não pôde ser conectada a Imbituba, exigindo a utilização do nível médio do mar no Porto de Santana entre 1957 e 1958, originando o Datum Santana (IBGE, 2018).

A **Figura 5** mostra a malha de nivelamento altimétrico do Brasil. O contraste da densidade de pontos da região Amazônica com o resto do país é evidente, limitando-se ao eixo Porto Velho – Manaus – Boa Vista, a rodovia Transamazônica e o eixo Cuiabá - Porto Velho. Com exceção das cidades de Manaus, Manacapuru, Itacoatiara, Santarém, Altamira e Porto Velho, localizados ao longo das malhas de nivelamento, onde se mantém uma conexão ao nivelamento. Nenhuma ligação das estações fluviométricas à rede brasileira foi feita.



Figura 5 - Malha de pontos da RAAP do Brasil.

4.1 Nivelamento Geométrico Convencional

O nivelamento geométrico convencional é um método indireto para a determinação de desníveis entre dois pontos. A partir do instrumento nível óptico é possível obter o desnível entre dois pontos através da diferença de leituras feitas sobre duas miras graduadas situadas à ré (ponto A) e à vante (ponto B) do nível, situado em um

ponto C, conforme a **Figura 6**. Sabendo-se a altitude do ponto de ré é possível determinar a altitude do ponto de vante.

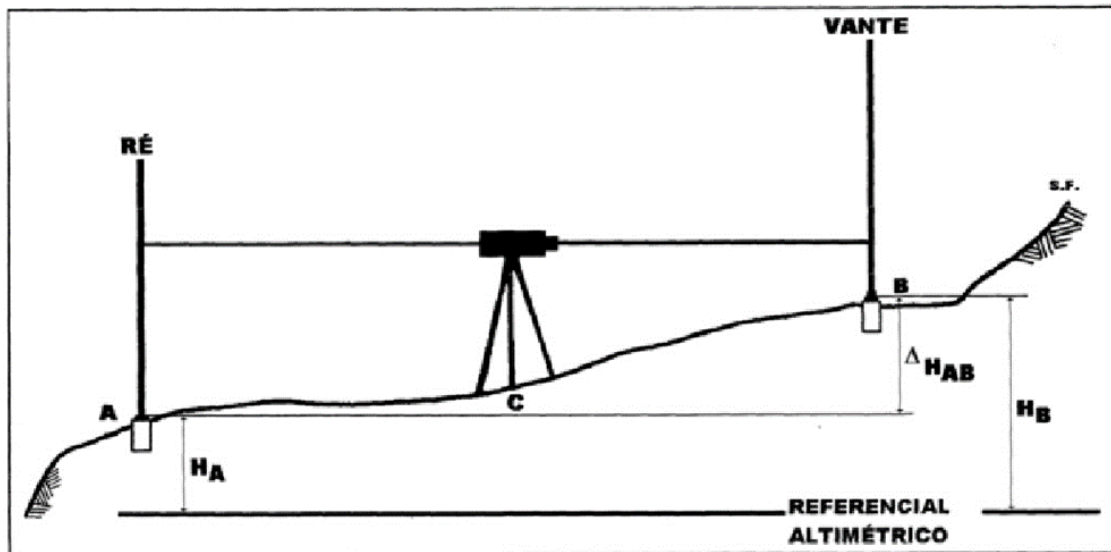


Figura 6 - Nivelamento Geométrico.

5. GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM

Os sistemas baseados em satélites utilizados para obter o posicionamento e navegação terrestre é denominado Global Navigation Satellite System (GNSS), que possibilita o posicionamento tridimensional e a determinação de posições horizontais de forma precisa. A sigla GPS compreende todos os sistemas de posicionamento terrestres por satélite, incluindo o conhecido sistema norte-americano Navigation System with Time and Ranging – Global Positioning System (NAVSTAR-GPS), o russo Global Navigation Satellite System (GLONASS), o europeu Galileo dentre outros. Ao longo do texto vamos descrever as características e o funcionamento especificamente do sistema GPS.

5.1 Componentes

O funcionamento do GPS é suportado por 3 segmentos principais: o segmento espacial, está associado a constelação dos satélites operacionais e toda a tecnologia de comunicação de dados a partir dos mesmos; o segmento de controle, formado por um conjunto de estações terrestres onde funciona toda a inteligência e controle do sistema; e, o segmento de usuários que está diretamente associado aos receptores GPS (Roque et al. 2006 e Marques, 2006).

Desde que foi declarado comercial, o segmento espacial era baseado em uma constelação de 24 satélites GPS distantes 22.000 km da Terra, divididos em seis planos orbitais de forma que se têm quatro satélites em cada plano, os satélites têm inclinação de 55° em relação ao plano do Equador com um período orbital de 12 horas siderais. Essa configuração permite que menos quatro satélites em cada plano orbital sejam visíveis simultaneamente acima do horizonte em qualquer lugar e instante da superfície da Terra (Polezel, 2010).

O segmento de controle é formado por estações de monitoramento espalhadas pelo globo e a estação mestra, Master Control Station (MCS), localizada na base Schriever da Força Aérea dos Estados Unidos, em Colorado Springs, fica a cargo de receber as informações dos satélites adquiridas pelas demais estações. Baseado nessas estações, a estação mestra atualiza informações nos satélites, como o ajuste e a sincronização dos relógios atômicos a bordo dos satélites e ajuste das efemérides, incluindo órbitas ou posição dos satélites. Cada satélite GPS deve ser monitorado por três ou mais estações de monitoramento (Moreira, 2010).

Finalmente, o segmento de usuários é composto pelos milhões de usuários utilizadores e pelos equipamentos receptores, códigos computacionais e todas as técnicas

e processos empregados no uso do sinal, seja para uso militar, uso científico ou outros fins.

5.2 Características dos Sinais GPS

Cada satélite GPS transmite duas ondas portadoras na banda L do espectro, que permitem operações em quaisquer condições de tempo, denominadas de L1 e L2, com frequências de 1575,42 e 1227,60 MHz, respectivamente. Cada onda portadora é modulada com dois códigos binários, o código C/A (Coarse Acquisition) e o código P (Precise ou Protected). Enquanto a primeira observação é empregada em operações de navegação, a segunda é empregada em levantamentos geodésicos. A portadora L1 é modulada em fase com os dois códigos, C/A e P, ao passo que a portadora L2 é modulada apenas pelo código P (Dal Poz, 2005 e Castro, 2002).

5.3 Observáveis GPS

As observáveis básicas de um sistema GPS são as variáveis que permitem determinar a posição, velocidade e tempo. Dentre as observáveis obtidas a partir de informações dos sinais transmitidos pelos satélites GPS iremos nos concentrar em apenas duas, que são mais importantes, e utilizadas nas técnicas de posicionamento, são elas a pseudodistância e a fase da onda portadora.

5.3.1 Pseudodistância:

A pseudodistância representa a distância medida entre a antena do satélite e a antena receptora, sendo obtida pela multiplicação do tempo de propagação do sinal pela velocidade da luz. Ela pode ser obtida através dos códigos C/A pela portadora L1 e também com o código P sobre as portadoras L1 e L2 (Dal Poz, 2005). O receptor produz uma réplica do código produzido no satélite e utiliza a defasagem temporal entre a chegada do código gerado no satélite com a sua réplica calculando assim o tempo de

propagação do sinal entre as antenas do satélite e receptor. Os relógios dos receptores e dos satélites não são sincronizados entre si e devido a essa falta de sincronismo a quantidade medida difere da distância geométrica entre o satélite e o receptor a qual é então denominada pseudodistância. Portanto, pelo fato do código gerado no satélite não ser idêntico à sua réplica no receptor, a pseudodistância é obtida pelo tempo de descolamento até atingir a máxima correlação da sequência de código entre ambos os sinais (Dal Poz, 2005). Outras variáveis que influenciam na real distância geométrica entre o satélite, no instante de transmissão do sinal, e do o receptor, no instante de recepção do sinal, são: (1) erro da órbita do satélite, (2) erro do relógio do satélite e do receptor em relação ao GPS, (3) atrasos devidos à refração ionosférica e troposférica, (4) erro de multicaminho do sinal, (5) erro residual da pseudodistância devido aos efeitos não modelados e aleatórios (Souza, 2004).

5.3.2 Fase da onda portadora

A fase da onda portadora é igual à diferença da fase do sinal do satélite, recebido no receptor, e a fase da sua réplica gerada no receptor, ambas no instante de recepção do sinal. Quando o receptor é ligado ele contabiliza a parte fracionária da fase e com o passar do tempo ele acumula a contagem de ciclos inteiros. Ao se adotar a medida da fase da onda portadora como variável observável, é necessário determinar o número de ciclos inteiros na primeira medida no início do rastreamento do satélite, o qual é denominada ambiguidade GPS. A fase da onda portadora é a observável básica para a maioria das atividades geodésicas. As medidas de fase são resolvidas sobre comprimentos de onda de 19 cm e 24 cm para L1 e L2, respectivamente, proporcionando uma resolução milimétrica, tornando as medidas de fase mais precisas do que a pseudodistância. Uma vez solucionada a ambiguidade como um número inteiro e nela acrescida a fase da onda

portadora a medida será de precisão milimétrica e obteremos a distância entre o satélite e receptor com alta precisão (Alves, 2010).

5.4 Posicionamento

O posicionamento a partir de medidas de satélites GPS consiste na obtenção de coordenadas tridimensionais de um determinado ponto com relação a um referencial geocêntrico definido (Silva, 2009). O posicionamento absoluto determina as coordenadas diretamente por um único receptor. O posicionamento relativo determina as coordenadas em relação a um ou mais vértices materializados e com coordenadas conhecidas. O posicionamento absoluto se subdivide em: posicionamento por ponto simples (PP) e por ponto preciso (PPP); e o posicionamento pelo método relativo se subdivide em: posicionamento relativo estático (PRE), estático rápido (PRER), cinemático (PRC) e o denominado Real Time Kinematic (PRTK).

5.4.1 Posicionamento relativo

Nesse método de posicionamento as coordenadas são obtidas para uma determinada estação com relação a uma ou mais estações com coordenadas conhecidas, denominadas estações de referência. Esse método exige que ambos receptores rastreiem simultaneamente um grupo de dois satélites em comum (Silva, 2009).

No caso do posicionamento relativo, normalmente utilizam-se as duplas diferenças (DD) as quais são oriundas de simples diferenças (SD) entre satélites como observações fundamentais. As SD entre receptores são obtidas a partir do rastreamento simultâneo de um mesmo satélite por duas unidades receptoras, conforme **Figura 7**. As diferenças medidas simultaneamente em duas estações é a SD da pseudodistância ou SD de fase. A principal vantagem da SD é que a maioria dos erros comuns ao satélite é anulada como erro do relógio do satélite em relação ao GPS, erros orbitais e os erros

devido aos atrasos troposférico e ionosférico. No entanto deve se observar a distância entre os receptores, pois esses erros são altamente correlacionados quando as linhas de base são curtas (Silva, 2009).

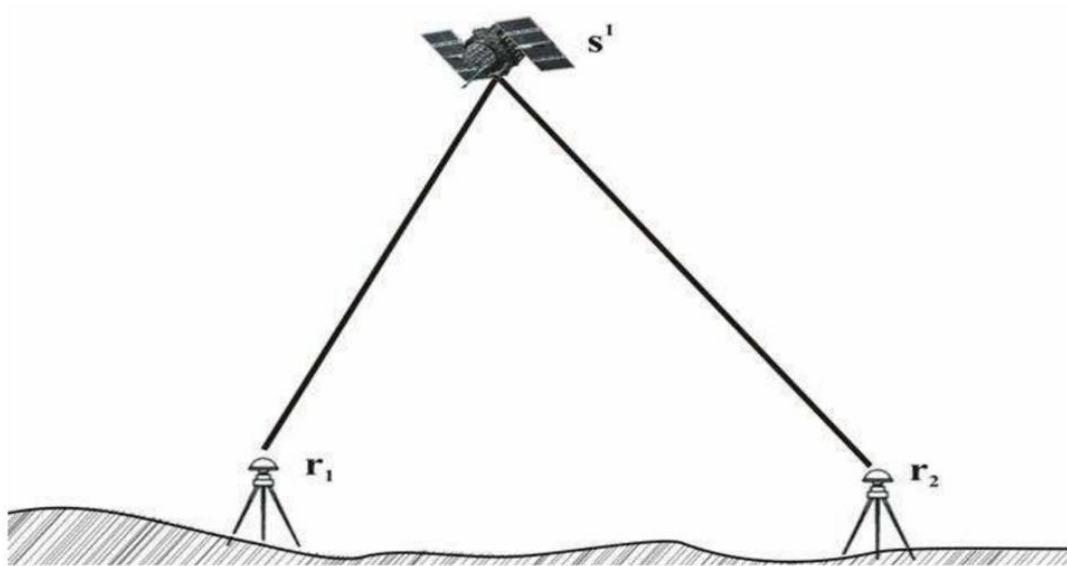


Figura 7 - Simples diferença entre receptores.

A DD, por sua vez é a diferença entre duas SDs. Envolve, portanto, dois receptores e dois satélites, conforme figura 8. A vantagem da DD é que ela está livre dos erros dos relógios do satélite e do receptor e os erros de propagação e órbita são reduzidos (Alves, 2010). Porém, o multicaminho não é eliminado na DD, pois depende da geometria entre receptor, satélite e refletor, ou seja, das condições espaciais de reflexão do sinal na região onde está localizada a antena do receptor. A onda portadora é a observável fundamental no posicionamento relativo devido à alta precisão da medida da fase de batimento, embora seja importante o uso da pseudodistância no cálculo do erro do relógio do receptor e na solução do vetor de ambiguidades (Machado, 2002). Ainda é possível a combinação obtida pela diferença entre duas DDs envolvendo os mesmos receptores e satélites, porém em épocas diferentes que é denominada de Tripa Diferença (Alves, 2010).

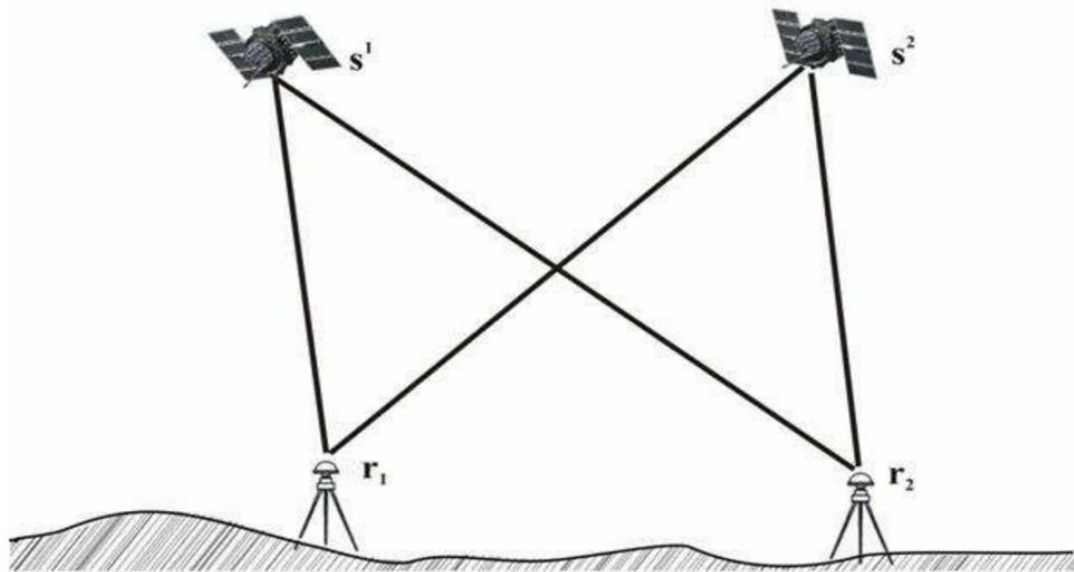


Figura 8 - Dupla diferença entre satélites e receptores.

Um advento para o posicionamento relativo é a alternativa do usuário poder utilizar dados de uma ou mais estações pertencentes ao Sistema de Controle Ativo (SCA), não havendo a necessidade do usuário dispor de dois receptores para realizar posicionamento relativo (Machado, 2002). No Brasil, além de redes privadas os usuários podem igualmente contar com a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), composta por um conjunto de receptores GPS de dupla frequência. As estações da RBMC, figura 9, funcionam como estações alternativas para que o usuário possa fazer uso. Assim, é possível que o usuário abra mão de imobilizar um receptor em um único ponto. Essa rede permite, por fim, acesso a receptores de alto desempenho e com coordenadas conhecidas, o que proporciona observações de grande qualidade e confiabilidade.



Figura 9 - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.

No PRE tanto o receptor de referência quanto o receptor móvel permanecem estacionários durante todo o levantamento, ocupando um intervalo de tempo igual ou superior a vinte minutos. Levantamentos cujo intervalo de tempo for inferior a 20 minutos e o receptor móvel é desligado entre as sessões de coleta, são do modo PRER. O PRC tem por finalidade a determinação da trajetória do receptor móvel, a qual é representada por um conjunto de coordenadas para cada época de observação, onde pelo menos um dos receptores envolvidos se desloca sobre as feições de interesse. Além disso, o PRC

pode ser efetuado de duas maneiras distintas, pós-processado ou em tempo real, esse último também conhecido na literatura como Real Time Kinematic (RTK). O posicionamento pós-processado tem como desvantagem o fato do usuário não saber os resultados do levantamento até que estes sejam devidamente processados. O posicionamento em tempo real apresenta algumas limitações, dentre elas cita-se a transmissão das observações (Machado, 2002).

5.4.2 Posicionamento absoluto:

Nesse método de posicionamento as coordenadas são determinadas por apenas um receptor e a posição do ponto é obtida em tempo real ou pós-processada (Dal Poz, 2005 e Alves e. al, 2013). Esse método é mais prático em comparação ao posicionamento absoluto pois independente da distância entre estações para obtenção das coordenadas, (Alves, 2010 e Moreira, 2010) também ressalta que o posicionamento PPP, em relação ao método de posicionamento pela DD, evita a propagação de erros e movimentos diferenciados entre estações. Enquanto o PP utiliza somente um receptor com a portadora L1, de uma frequência, o posicionamento por ponto preciso PPP utiliza somente um receptor com a portadora L1 e L2, de dupla frequência.

A acurácia do PP gira em torno de metros, o PPP pode alcançar acurácia centimétrica. Isso se deve ao pós-processamento das observáveis, incluindo correções de efemérides conjuntamente com modelos de fenômenos físicos e devido a utilização de receptores dupla-frequência (Alves et al. e Alves, 2010). Esse pós-processamento pode ser feito a partir das efemérides precisas e as correções para os relógios dos satélites produzidos pelo International GPS Geodynamics Service (IGS) (Monico et al. 2010). O IGS é uma organização cujo objetivo principal é reunir dados de estações GNSS e gerar produtos tais como órbitas e relógios precisos de melhor qualidade para a comunidade civil GNSS. A rede IGS é composta por mais de 400 estações conforme ilustrado na

Figura 10 e que são espalhadas pelo globo seguindo rigorosas regras para homologação de suas estações.

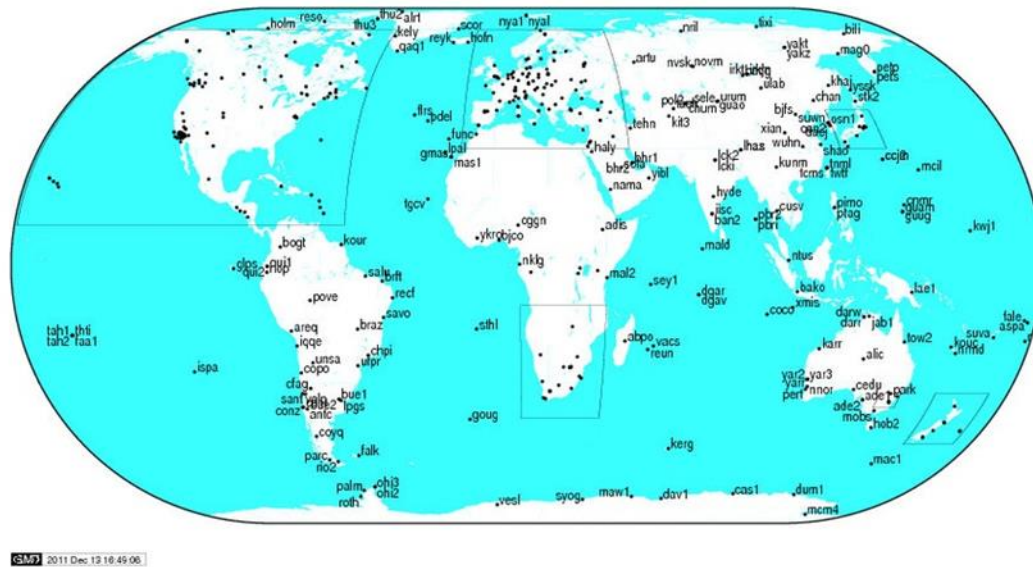


Figura 10 - Rede IGS.

A maioria das atividades utilizando o sistema GPS eram feitas pelo posicionamento relativo, porém essa realidade mudou quando o advento do PPP atingiu precisão compatíveis aos métodos relativos King et al. 2002 apud (SEJAS, 2010) Quando comparado ao posicionamento relativo, a sua principal vantagem é demandar apenas um receptor, porém o método PPP é conceitualmente menos preciso devido à estimação de ambiguidades reais e à não correlação com outras estações para melhor atenuação de efeitos atmosféricos (Moreira, 2010). No entanto a precisão do posicionamento relativo é dependente de linhas de base curtas quando a maioria dos efeitos da ionosfera são eliminados (Almeida e Dal Poz, 2016), mas com linhas de bases longas, com comprimento acima de 100 km, indica-se a adoção do PPP (Rocha et al. 2015). O método de posicionamento relativo é também mais oneroso se comparado ao PPP, além dos dois receptores, há um maior custo relativo à softwares, tempo de processamento e a maior logística para trabalhos de campo (Perdigão e Santos, 2010). Outra vantagem apresentada

sobre o PPP por Pereira (2007) é que o mesmo pode ser considerado como um posicionamento global aproximado, uma vez que as soluções de posicionamento são referenciadas a um sistema de referência global, enquanto que o posicionamento relativo é referente a uma base local.

Dentre as desvantagens da técnica de PPP (Ventorim e Dal Poz, 2015) cita o tempo para a convergência da solução por ponto analisado, ao menos 20 minutos, e a necessidade de se utilizar um receptor de dupla frequência. Em um estudo comparando os dois métodos de posicionamento, (Rocha et al, 2015) concluiu como método mais vantajoso o posicionamento relativo, considerando uma linha de base curta, pois maior precisão foi alcançada com receptor de apenas uma frequência e pós-processamento com software não gratuito. Contudo, os mesmos autores apresentam o método PPP com pós-processamento dos dados online via sítio do IBGE, como segunda opção mais vantajosa, dentre as quais eles citam: a gratuidade do serviço do IBGE, processamento de dados com qualquer intervalo de rastreamento de satélites e a não necessidade de referenciar os dados ao Sistema Brasileiro de Geodésia (SBG).

5.5 Nivelamento de estações fluviométricas com GPS

O presente tópico tem como objetivo ilustrar o procedimento de nivelamento de estações fluviométricas utilizando receptores GPS em uma rede altimétrica estabelecida na Bacia Amazônica pela Centro de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e entidades parceiras. O subsequente texto e ilustrações foram extraídos de Moreira (2010) e Moreira (2016). O método de posicionamento adotado para nivelamento de estações fluviométricas foi o posicionamento relativo por dupla diferença devido a esse ter ocupações por menores intervalos de tempo evitando a influência das variações das coordenadas verticais as quais as estações dessas regiões estão sujeitas. Após determinar a altura elipsoidal do zero da régua de cada estação fluviométrica essa é convertida para

altitude ortométrica utilizando para isso o modelo geoidal EGM2008. Dessa maneira os valores absolutos de níveis diários do rio podem agora ser computados a partir da altura ortométrica do nível zero da estação.

O processo clássico de obtenção da altitude do nível zero das réguas por receptores GPS inicia-se pela instalação da antena do receptor de forma a conferir estabilidade à mesma, aliando-se as condições de não interferência dos sinais GPS e segurança do receptor quando deixados na estação durante toda a duração da campanha. Esses receptores podem ser posicionados nos lances das réguas, em uma referência de nível (RN), **Figura 11**, ou em algum local para posterior nivelamento geométrico da antena para a referência de nível.



Figura 11 - Referência de nível (RN) utilizada para nivelamento das réguas linimétricas, com referência arbitrária.

Para construção de uma RN, é feito o marco em um lugar mais distante do rio, procurando-se regiões mais estáveis. Normalmente, é feito um furo ou poço com

profundidade de um metro ou maior, onde é colocada uma caixa de molde com dimensões aproximadas de 40 por 40 centímetros, sendo ainda feita a mistura de concreto para assim garantir melhor estabilidade do marco. Adicionalmente, mede-se a diferença de altura entre o ponto de referência da antena e o valor da cota arbitrária da RN, permitindo a posterior correção das leituras das réguas feitas pelo aqui denominado observador hidrológico.

Como diretriz de instalação, as estações fluviométricas possuem, no mínimo, duas (2) referências de nível de valor altimétrico arbitrário usado para que os lances de réguas linimétricas sejam nivelados. Normalmente, escolhe-se um valor estimado abaixo do nível mínimo que o rio possa chegar, de forma que as leituras feitas pelo observador ou hidrometrista sobre a régua sejam sempre positivas. A **Figura 12** ilustra a ocupação ou complementação de uma estação fluviométrica tradicional com receptores GPS.



Figura 12 - Ocupação de um lance de régua por receptor GPS para nivelamento da estação fluviométrica de Porto União.

Ao contrário das referências de nível (RRNN), os lances de réguas fluviométricas são fortemente afetados pelo ciclo hidrológico, que causa uma grande erosão nas margens

dos rios, causando deslocamento e até, às vezes, tombamento de alguns dos lances de réguas (**Figura 13**). Durante as campanhas, são feitos nivelamentos geométricos entres os lances e as referências de nível de forma a verificar e corrigir possíveis deslocamentos entre os lances e as RRNN.



Figura 13 - Forte erosão que afeta as seções de réguas linimétricas e o nivelamento geométrico.

Após o conhecimento das variações hidrológicas nas estações GPS permanentes, a etapa seguinte é a escolha da estação ou estações que serão utilizadas no método de dupla diferença para nivelamento das estações fluviométricas. Apesar da maior eficiência do método PPP nas aplicações anteriores, o método de dupla diferença é mais recomendado para nivelamento das réguas, devido às ocupações das réguas por receptores GPS não serem em quantidade e duração suficientemente longas para interpretação dos diversos efeitos na variação da coordenada vertical já anteriormente citados. Devido ao

fato das estações fluviométricas se encontrarem entre as estações GPS permanentes de URUK e NAUS, distantes cerca de 130 quilômetros uma da outra, a comparação das coordenadas entre as estações de URUK e NAUS indicará a provável variação de coordenadas vertical no trecho, de modo a avaliar os efeitos de carga na área de estudo.

6. ALTIMETRIA ESPACIAL

O princípio básico do funcionamento dos radares altímetros é a emissão de um pulso em direção ao nadir e depois recebe o eco que é refletido pelo nível da superfície da água. O intervalo de tempo entre a emissão do sinal e a reflexão para o altímetro é utilizado como base para medir a distância correspondente entre a superfície do plano da água e o satélite, assumindo que o pulso está se propagando na velocidade da luz. O tempo de emissão e retorno da onda é transformado em distância altimétrica, R (range). A órbita do satélite, H , é determinada em relação a um elipsoide de referência. Assim, o nível do plano da água é obtido pela diferença entre R e H . A **Figura 14** ilustra esse princípio de funcionamento.

Portanto, os níveis dos planos de água H são calculados em relação a um elipsoide de referência. Para aplicações hidrológicas as alturas elipsoidais do nível da água devem ser convertidas em alturas geoidais, assim como as séries das estações fluviométricas.

A altitude do satélite tendo como referência um elipsoide e é conhecida como modelagem orbitográfica. A altura do refletor em relação à referência geodésica é dada a cada passagem do satélite. Outras correções a serem feitas incluem interação com a ionosfera e a atmosfera bem como correções devido aos movimentos verticais da crosta devido às marés sólidas e polares (Silva, 2013).

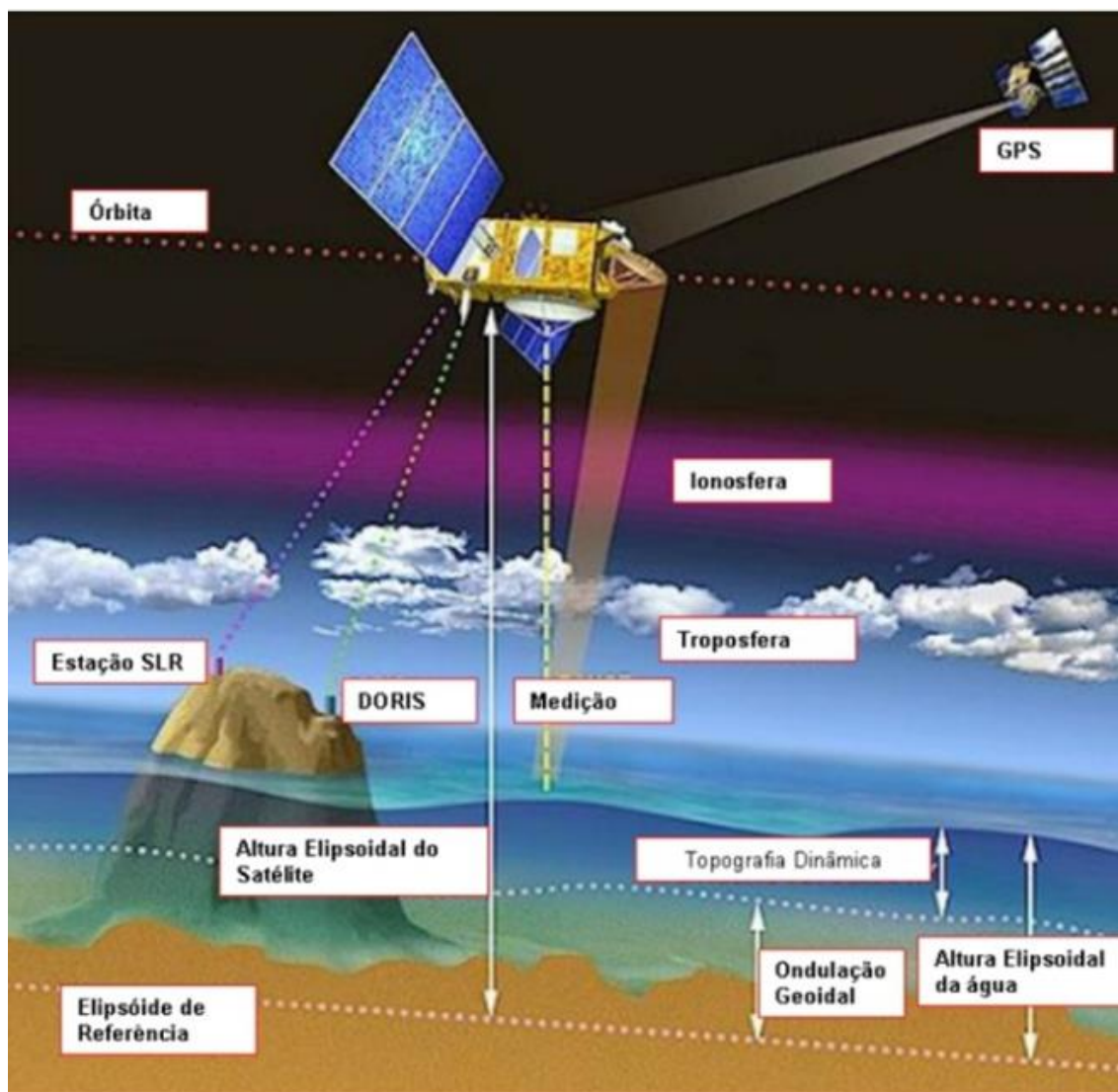


Figura 14 - O princípio da altimetria espacial em meio oceânico.

A partir da década de 90, uma série de satélites especializados inicialmente na determinação da altitude da superfície do oceano com o satélite TOPEX-Poseidon, colocado em órbita em 1992, seguido por Jason-1 e Jason-2, ERS 1 e 2 (European Remote Sensing) seguido pelo ENVISAT (ENVIRONMENT SATellite) foram designados para medição de altura de nível de rios e lagos. Essas missões são compostas por satélites que levam a bordo os sensores, no caso os radares altímetros, os quais operam em diferentes bandas, por exemplo o ENVISAT que opera com 13,575 Ghz, banda Ku. Esses satélites realizam missões globais e, no caso do Brasil, especial atenção vem sendo dada à região

Amazônica para determinar o nível de água em pontos específicos de rios e lagos para fins de estudos hidrológicos (Birkett et al. 2002). O uso de altimetria espacial nessas regiões ganha igualmente relevância no nivelamento de estações o qual é comumente realizada por meio de GPS, sendo prejudicado em grandes áreas pela dificuldade de acesso a diferentes pontos da bacia bem como pela interferência da copa das árvores prejudicarem significativamente a aquisição dos dados.

6.1 Estação Virtual

A aplicação sistemática desses tipos de sensores para o monitoramento de águas em regiões continentais em pontos específicos foi denominada de estações virtuais. Esse termo foi escolhido para diferenciar esse dado de estações fluviométricas instaladas fisicamente a margem do rio. Uma estação virtual consiste na interseção de um traço do satélite altimétrico com o plano de água, sendo potencialmente possível obter uma série temporal da altura do plano de água (Silva, 2010). Os dados colhidos sofrem processamentos estatísticos de correção bem como o auxílio de algoritmos para seleção dos valores que comporão a série temporal altimétrica. A **Figura 15a** ilustra o traço da órbita formada pelo satélite Jason-2 na região amazônica, a **Figura 15b** demonstra o ponto de interseção entre o rio e a órbita do satélite TOPEX-Poseidon, a referida estação virtual, e a **Figura 15c** a série temporal já processada dos dados adquiridos pelo altímetro.

Algumas limitações ainda persistem na técnica de monitoramento de rios e lagos por altimetria por satélite, essas são o baixo período de revisita para um determinado ponto e o registro do nível da água para rios com uma largura mínima (Silva et al. 2013).

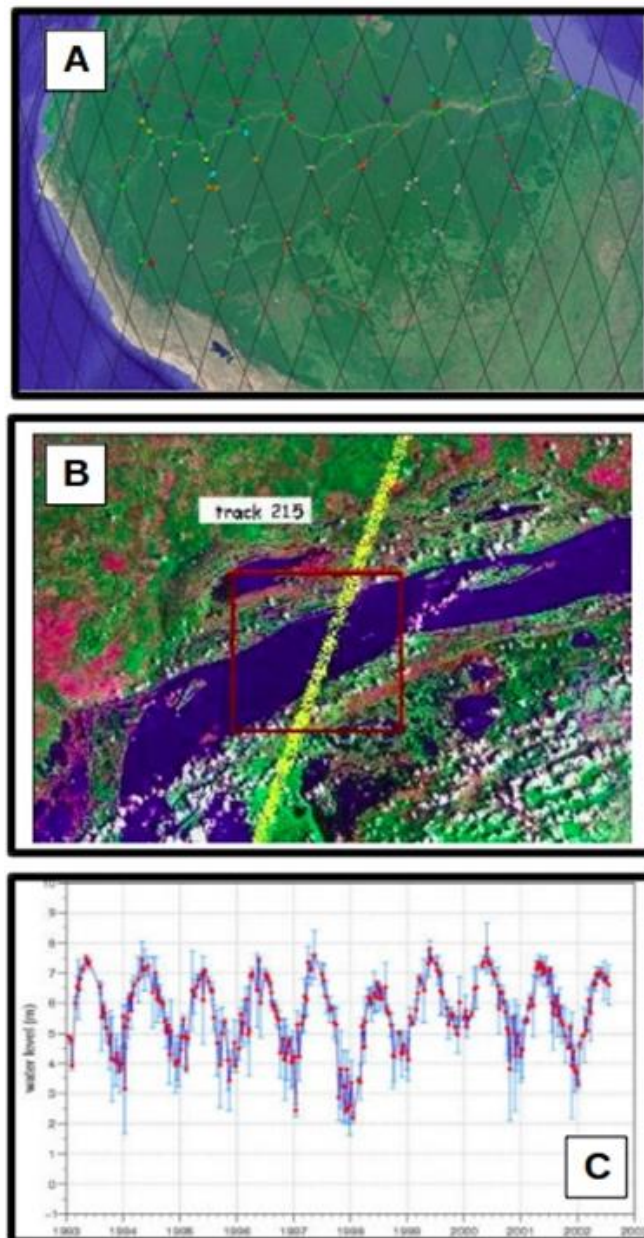


Figura 15 - Traço da órbita formada pelo satélite Jason-2 na região amazônica, (B) estação virtual do satélite TOPEX-Poseidon e (C) série temporal dos dados altimétricos.

6.2 Nivelamento de estações fluviométricas com altímetros

Um dos êxitos da altimetria por satélite em águas continentais é a possibilidade do nivelamento altimétrico de estações fluviométricas em bacias hidrográficas onde o nivelamento topográfico é inexistente ou deficitário (Calmant e Seyler, 2006). Estudos iniciais demonstraram a eficiência da altimetria espacial para o nivelamento de estações

fluviométricas. Um estudo preliminar foi realizado por Kosuth (2006) para nivelamento de estações utilizando séries temporais do satélite TOPEX-Poseidon na Bacia Amazônica. Esse trabalho foi seguido por outras iniciativas as quais envolveram o nivelamento de estações na Várzea de Curuai e regiões adjacentes da Bacia Amazônica usando séries temporais ENVISAT e conduzidos no rio Tapajós envolvendo o satélite ENVISAT, demonstrando a eficiência dessa técnica em rios (Calmant et al. 2004 e Calmant e Seyler, 2006).

As medidas altimétricas são expressas em relação a uma superfície de referência matemática, o elipsoide, como vimos anteriormente. Assim, o primeiro passo para a utilização de dados altimétricos consiste na conversão dos dados do altímetro para altura ortométrica para assim ter dados referenciados à um geoide. A partir desse ponto é possível comparar a altura obtida pelo altímetro com o da superfície plana da seção do rio estudado (Leon, 2006).

A metodologia de nivelamento de estações por altimetria preconiza dois casos distintos. Em uma primeira circunstância, quando uma estação virtual coincide com o posto fluviométrico é possível uma comparação direta como sugerido por Leon (2006) ou uma relação linear como proposto por Silva et al. (2010). Em uma segunda circunstância, uma estação fluviométrica se encontra entre duas estações virtuais. Para proceder o nivelamento da estação fluviométrica nessa condição alguns cuidados são propostos por Leon (2006): a) uma distância em torno de 50 km entre as estações virtuais e b) trechos do rio com fluxo uniforme entre as duas seções sem que haja irregularidades entre as duas estações como ilhas ou afluentes. Além da defasagem espacial entre a localização das estações virtuais e da estação fluviométrica, há também a defasagem temporal, uma vez que há pouca coincidência entre o registro do nível de água pelo satélite simultaneamente a leitura no posto fluviométrico. Por isso recomenda-se a

interpolação dos dados altimétricos para se criar uma série temporal compatível com os dados medidos in situ. Os dados a seguir apresentados foram resultados de pesquisa apresentados em Silva et al. (2010).

6.2.1 Uma estação virtual sobre estação fluviométrica

Quando a rota do satélite passa diretamente sobre a estação fluviométrica é possível obter uma estimativa do nivelamento dessa estação a partir de uma simples regressão linear (Silva et al. 2010). O termo constante da equação fornece uma estimativa da altura elipsoidal da cota mínima da estação e é empregado para nivelar a cota zero da régua.

As **Figura 16** e **Figura 17** mostram os resultados do nivelamento para Barreirinha (erro médio quadrático: 0.278m e diferença de altitude: 0.088m) e Fazenda B.L. (erro médio quadrático: 0.249m e diferença de altitude: 0.043m), respectivamente, ambas no Rio Negro utilizando dados ENVISAT e o algoritmo ICE-1. Esses dois resultados apresentam a maior acurácia para nivelamento do zero da estação dentre cinco outras estações pesquisadas e utilizando outros satélites e algoritmos para obtenção da altitude. O erro do nivelamento em todas as estações variou de 4 cm até 2 metros, apesar da alta variabilidade na acurácia do método já se observa aprimoramento da técnica em relação à estudos anteriores.

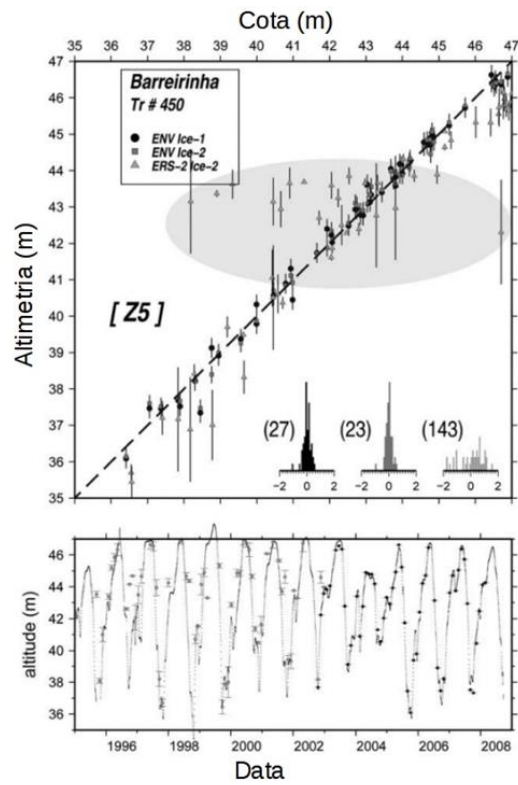


Figura 16 - Regressão linear entre séries altimétricas e cota de Barreirinha.

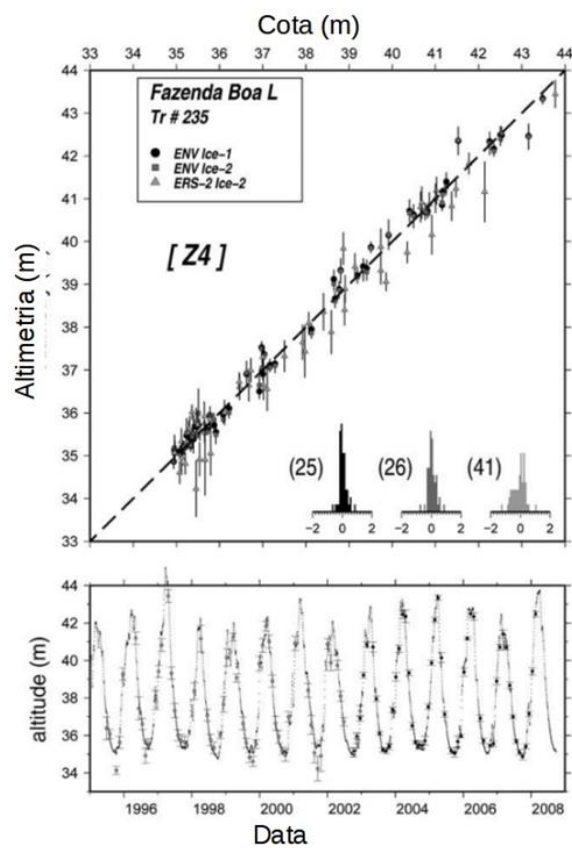


Figura 17 - Regressão linear entre séries altimétricas e cota de Fazenda B.L

6.2.2 Duas estações virtuais entre uma estação fluviométrica

Para realizar o nivelamento nessa situação podemos aplicar o conceito da hidrodinâmica o qual estabelece que a altura de superfície da água a montante do rio sempre deve ser mais elevada do que a jusante. Mesmo não havendo coincidência absoluta entre passagem do satélite há consistência hidrodinâmica entre séries temporais das estações virtuais a montante e a jusante e a cota de água. Silva et al. (2010) propôs o método denominado declividade que consiste em intercalar a série temporal da estação fluviométrica entre séries temporais altimétricas, a montante, e, a jusante, cujas alturas foram convertidas em altitude. Assim, depois de feito o nivelamento da estação fluviométrica nenhum ponto da série temporal altimétrica a montante, deverá ser mais baixo que um ponto da série temporal da estação in situ, na mesma data, e, da mesma forma, os pontos da série temporal altimétrica a jusante não poderão ser superiores aos pontos da série temporal in situ, no mesmo dia.

O posto em Jatuarana, no rio Amazonas, situa-se a 14 km, a jusante da estação in situ e a 75 km, a montante da estação in situ. As séries são mostradas na **Figura 18**. O nível mínimo do zero da régua para os pontos da série permanecer mais altos do que a série altimétrica a jusante é 4,230 m. O nível máximo do zero da régua para que a série permaneça abaixo da série altimétrica a montante, é 4,366 m. Com 13,6 cm de níveis possíveis para o zero da régua, a série da estação in situ ajusta-se bem entre as duas séries altimétricas. Nenhum dos pontos altimétricos violam os critérios da declividade nula com a série in situ, seja a montante ou a jusante. De acordo com esses níveis para o zero da régua, a declividade a montante é 2,34 cm/km e a jusante é 4,23 cm/km. A declividade média entre as duas séries altimétricas é 2,97 cm/km. O nível do zero da régua interpolado linearmente usando essa declividade média é 4,172 m, 5 cm mais baixo que o nível mínimo mencionado acima. Esta pequena diferença entre o nível do zero da régua imposta

pela interpolação entre as séries altimétrica e in situ supõe uma declividade constante e sugere que nenhum ponto atípico (outlier) na série altimétrica force a série in situ para níveis significativamente falsos.

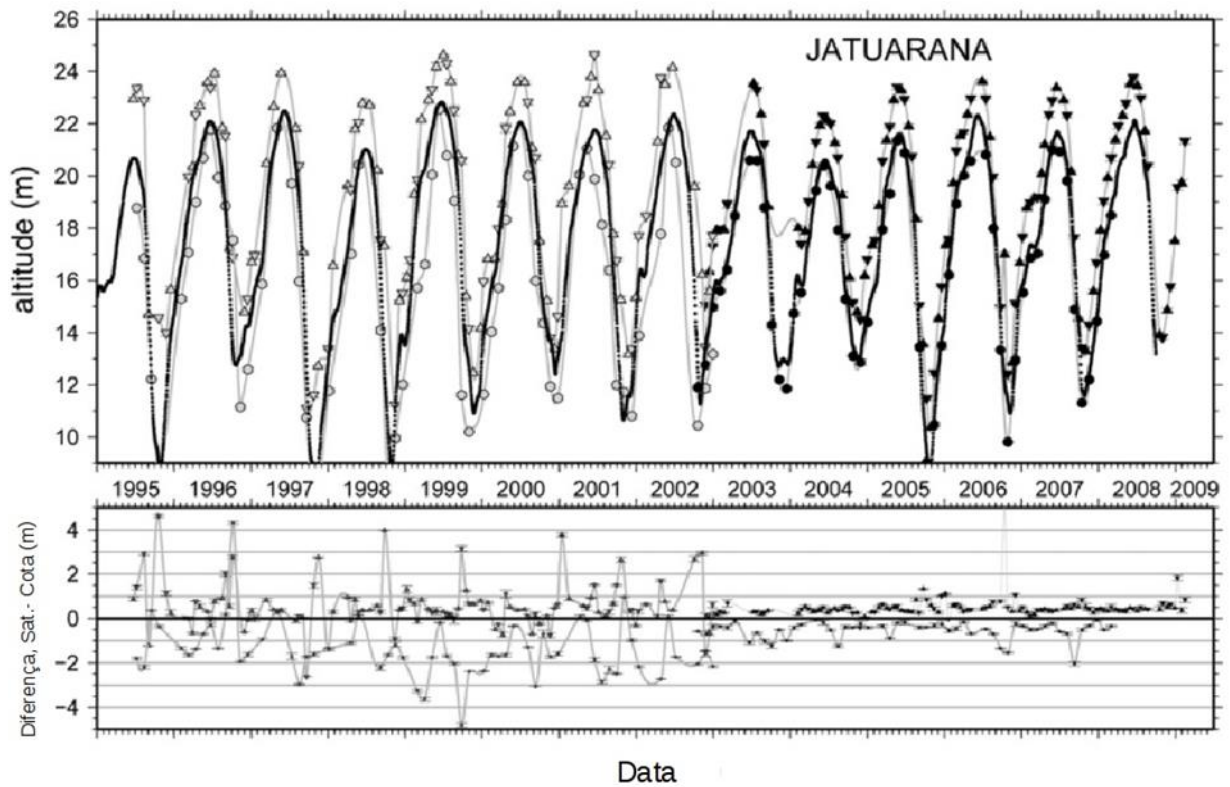


Figura 18 - (Gráfico Superior) Séries temporais altimétricas e cotas de Barcelos. (Gráfico Inferior) Diferença entre as séries temporais altimétricas e cotas de Barcelos.

O exemplo seguinte situa-se em Maraã, no rio de Japurá, **Figura 19**. Os traços dos satélites são bastante próximos da estação in situ, as distâncias correspondem a 5,2 e 6,2 km, a montante e a jusante, respectivamente. A variação de níveis possíveis para o zero da régua é somente 47 cm e a declividade média é 4,12 cm/km. Não foi possível aplicar o nivelamento da estação in situ entre as duas séries altimétricas sem violar a regra de null-slope. Para o ENVISAT, 6 pontos da série a jusante estão mais elevados e 9 pontos da série a montante mais baixo. Para o ERS-2, 12 pontos da série a jusante e 19 pontos na série a montante, aproximadamente 25% dos pontos são detectados como falsos. Entretanto, pode-se conferir o progresso entre os dados do satélite ERS-2 e aqueles do

satélite ENVISAT. Os pontos do ENVISAT apresentam erros de aproximadamente 50 cm, dentro da variação possível para o nivelamento, enquanto os pontos do ERS-2 mostram erros superiores a 1 m.

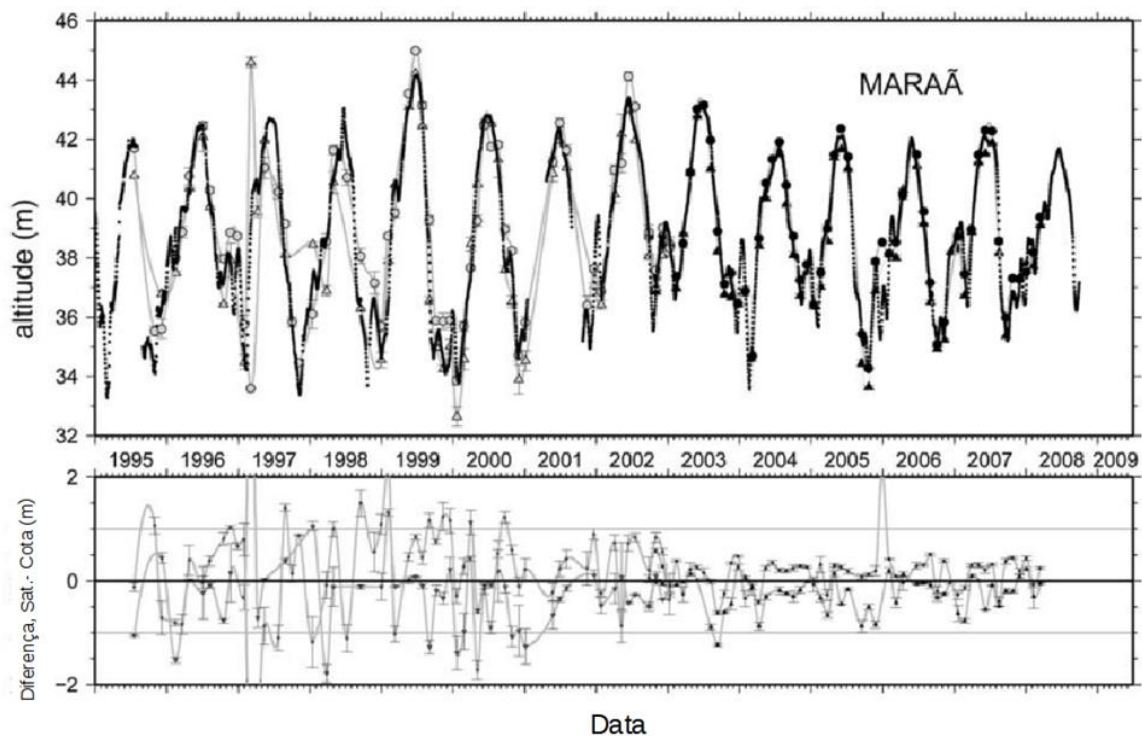


Figura 19 - (Gráfico Superior) Séries temporais altimétricas e cotas de Barcelos. (Gráfico Inferior) Diferença entre as séries temporais altimétricas e cotas de Maraã.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Sanglard, A. M.; e Dal Poz, W.R. "Posicionamento por ponto preciso e posicionamento relativo com GNSS: qual é o método mais acurado atualmente?" Boletim de Ciências Geodésicas 22, no. 1 (2016): 175.

Alves, C. M. D. "Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações." (2010).

Alves, D. B. M.; Abreu, P. A. G. e Souza, J. S. "GNSS: status, modelagem atmosférica e métodos de posicionamento." Revista Brasileira de Geomática 1, no. 1 (2013): 2-7.

ANA, 2012. Acessado em 11 de junho de 2018 no sítio <http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/OrientacoesParaOperacaoDeEstacoesHidrometricas-VersaoJun12.pdf>

Arana, J. M.; Arana, D. "Determinação de altitude ortométrica com uso da integração do GPS/nivelamento ao MAPGEO2010." In Colloquium Exactarum, vol. 5, p. 90. 2013.

Awange, J. L. Environmental monitoring using GNSS: Global navigation satellite systems. Springer Science & Business Media, 2012.

Birkett, C. M.; Mertes, L. A. K.; Dunne, T.; Costa, M. H.; Jasinski, M.J. "Surface water dynamics in the Amazon Basin: Application of satellite radar altimetry." Journal of Geophysical Research: Atmospheres 107, no. D20 (2002).

Calmant, S.; Seyler, F.; Oliveira, M. "Tapajos hydraulic slope at the confluence with the Amazon from combined satellite altimetric data." EGU, Nice, April (2004).

Calmant, S.; Seyler, F. "Continental surface waters from satellite altimetry." Comptes Rendus Geoscience 338, no. 14-15 (2006): 1113-1122.

Castro, André Luís Pereira de. "Nivelamento através do GPS: avaliação e proposição de estratégias." (2002). Dissertação de mestrado. Presidente Prudente. UNESP. Pós-Graduação em Ciências Cartográficas.

Da Silva, J. S. "Altimetria Espacial Aplicada aos Estudos de Processos Hídricos em Zonas Úmidas da Bacia Amazônica." (2010) Tese Doutorado. Rio de Janeiro. UFRJ/COPPE. Programa de Engenharia Civil,.

Dal Poz, W. R. "Posicionamento relativo na região equatorial em diversas condições ionosféricas." (2005). Solução rápida das ambigüidades GPS para aplicações no posicionamento relativo de linhas de base curtas.

Fortes, Luiz Paulo Souto. "SIRGAS: O Sistema de Referência para o novo milênio." I Seminário sobre Referencial Geocêntrico no Brasil (2000).

Freitas, S. R. C.; Lazzaroto, D. R.; Sluter, C. R.; Luz, R. T. (2004). Avaliação da compatibilidade dos sistemas geodésicos de referencia no Brasil. Boletim de Ciências Geodésicas, 10(2).

Getirana, A. C.; Paiva, R. C. (2013). Mapping large-scale river flow hydraulics in the Amazon Basin. Water Resources Research, 49(5), 2437-2445.

Heidmann, Marcelo de Almeida. "Análise comparativa de alturas ortométricas definidas por fontes diversas para subsídio a estudos hidrológicos." (2015) Dissertação de Mestrado. UFPA.

IBGE, 2018. Acessado em 11 de junho de 2018 no sítio <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/altimetrica.shtm>

Kosuth, P.; Blitzkow, D.; Cochonneau, G. "Establishment of an altimetric reference network over the Amazon basin using satellite radar altimetry (Topex Poseidon)." In ESA Special Publication, vol. 614. 2006.

Leon, Juan Gabriel. "Utilisation conjointe de l'altimétrie spatiale et de la mesure in-situ pour la régionalisation du débit dans le Bassin Versant du Rio Negro." PhD diss., Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2006.

Teixeira, L. R; Guimarães, V. M. "Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE." Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (CBCG) 3 (2003).

Machado, Wagner Carrupt. "Solução rápida das ambigüidades GPS para aplicações no posicionamento relativo de linhas de base curtas." (2002) Dissertação de mestrado, Botucatu, UNESP, Pós-Graduação em Ciências Cartográficas.

Marques, Haroldo Antonio. "PPP em tempo real com estimativa das correções dos relógios dos satélites no contexto de rede GNSS." (2012): 244-f.

Matos, Ana Cristina Olivieira Cancoro, Denizar Blitzkow, Wagner Carrupt Machado, Marcelo Alessandro Nunes, Natália Vargas Lengruber, Eduardo Michalzechen Liberal Xavier, and Luiz Paulo Souto Fortes. "MAPGEO2015: o novo modelo de ondulação geoidal no Brasil." *Revista Brasileira de Cartografia* 68, no. 10 (2016).

Medeiros, Zuleica Faria de. "Considerações sobre a metodologia de levantamentos altimétricos de alta precisão e propostas para sua implementação." (1999).

Monico, J. "Posicionamento por ponto de alta precisão utilizando o GPS: uma solução para a geodinâmica." *Revista Brasileira de Geofísica* (2000): 38-47.

Moreira, Daniel Medeiros. *Geodésia aplicada ao monitoramento hidrológico da bacia Amazônica.*(2016) Tese de Doutorado. Rio de Janeiro. UFRJ /COPPE-.

Moreira, Daniel, Stéphane Calmant, Félix Perosanz, Rubens Kenup, Andre Santos, Joecila Silva, Otto Corrêa Rotunno Filho, Frédérique Seyler, Guillaume Ramillen, and Achilles Monteiro. "Uso de dados de geodésia espacial para estudos hidrológicos na Bacia Amazônica."

Perdigão, Tiago Diogo, and Santos, A. P. "Avaliação da acurácia a partir de diferentes tempos de rastreamento utilizando a solução PPP on-line do IBGE." *Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação* (2010).

Pereira, Luiz Antonio. "Atualização da rede GPS de São Carlos e a avaliação do método PPP em comparação com o ajustamento de redes geodésicas." (2007). Dissertação de mestrado, São Carlos, UFSCar, Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

Pestana, António. "Elementos de Cartografia." (2001). Acessado em 11 de junho de 2018 no sítio http://www.csr.ufmg.br/carto1/elementoscartografia_timbo.pdf

Polezel, Wesley Gildo Canducci. "Investigações sobre o impacto da modernização do GNSS no posicionamento." (2010). Dissertação de mestrado, Botucatu, UNESP, Pós-Graduação em Ciências Cartográficas.

Rocha, G.D.C., Marques, H.A, e Galera, J.F.M. "Accuracy of GPS Absolute Positioning with Ionosphere Correction from Global and Regional Ionosphere Maps." Boletim de Ciências Geodésicas 21, no. 3 (2015): 498-514.

Roque, C.G., Oliveira, I.C., Figueiredo, P.P., Brum, E.V.P., Camargo, M.F.. "Georreferenciamento." Revista de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta 4, no. 1 (2006): 87-102.

Sampaio, T.V.M e Brandalize, M.C.B. Cartografia geral, digital e temática. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2018.

Sejas, M.I. "Modelagem ionosférica local em redes GPS para o posicionamento absoluto de estações de uma frequência." (2010). Tese de Doutorado. Curitiba. UFPR. Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

Silva, H.A. ."Avaliação de modelos estocásticos no posicionamento GNSS." (2009). Dissertação de mestrado. Botucatu. UNESP. Pós-Graduação em Ciências Cartográficas.

Silva, J. S. "Altimetria Espacial Aplicada aos Estudos de Processos Hídricos em Zonas Úmidas da Bacia Amazônica." (2010). Tese Doutorado. Rio de Janeiro. UFRJ/COPPE. Programa de Engenharia Civil.

Silva, J.S., Calmant, S. e Seyler, F.. "Satellite Altimetry for Hydrology—A review." (2013). XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Foz do Iguaçu. PR. Brasil.

Silva, J. S.; Calmant, S.; Seyler, F.; Rotunno Filho, O. C.; Cochonneau, G.; Mansur, W. J. "Water levels in the Amazon basin derived from the ERS 2 and ENVISAT radar altimetry missions." Remote sensing of environment 114, no. 10 (2010): 2160-2181.

Souza, Eniuce Menezes. "Efeito de multicaminho de alta frequência no posicionamento relativo GPS estático: Detecção e atenuação utilizando wavelets." (2004). Dissertação de mestrado, Botucatu, UNESP, Pós-Graduação em Ciências Cartográficas.

Spitz, Fernanda. Definição de Rede de Monitoramento Hidrometeorológico com Suporte de Sensoriamento Remoto na Bacia do Dois Rios – RJ. Dissertação de Mestrado COPPE-UFRJ. 2015.

Tucci, Carlos EM. "Hidrologia: ciência e aplicação." São Paulo: Editora da (2012).

Ventorim, B. G.; Dal Poz, W. R. "Avaliação do Desempenho dos Sistemas GPS e GLONASS no Posicionamento por Ponto Preciso, Combinados e Individualmente." Boletim de Ciências Geodésicas 22, no. 2 (2016).