

INSTRUMENTAÇÃO GPS DE ALTA PRECISÃO NA CABOTAGEM

Flávio Guilherme Vaz de Almeida Filho

CISLog – Centro de Inovação em Sistemas Logísticos
Pós Graduação em Eng. Sistemas Logísticos – Escola Politécnica – USP
Av. Prof. Almeida Prado, trav.2, nº 128 – São Paulo – SP CEP 05508-070
flaviovaz@usp.br

Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki

Pós Graduação em Eng. Sistemas Logísticos – Escola Politécnica – USP
Av. Prof. Almeida Prado, trav.2, nº 128 – São Paulo – SP CEP 05508-070
hugo@usp.br

Cláudio Barbieri da Cunha

Pós Graduação em Eng. de Transportes – Escola Politécnica – USP
Av. Prof. Almeida Prado, trav.2, nº 83 – São Paulo – SP CEP 05508-070
cbcunha@usp.br

Daniel Severo Amaral

Pós Graduação em Eng. Sistemas Logísticos – Escola Politécnica – USP
Av. Prof. Almeida Prado, trav.2, nº 128 – São Paulo – SP CEP 05508-070
daniel.amaral@portonaus.com

André Shigueo Kiyota

Pós Graduação em Eng. Sistemas Logísticos – Escola Politécnica – USP
Av. Prof. Almeida Prado, trav.2, nº 128 – São Paulo – SP CEP 05508-070
shigueokun@gmail.com

Resumo

Este artigo apresenta uma metodologia de instrumentação e processamento de dados GPS para a obtenção de posicionamento preciso para cabotagem no Brasil. Para isso, um navio porta contêineres foi equipado com um par de receptores GPS (L1/L2) para o rastreamento das observáveis no trajeto Santos (SP) – Suape (PE); e seu pós-processamento por Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). A precisão obtida foi ~23,1 cm. Desprezando os primeiros 60 minutos de rastreamento a precisão foi de 8,0 cm. O coeficiente de correlação nos rumos dos receptores foi de $R^2=0,895$. Assim, foi possível obter dados precisos sobre a trajetória da embarcação, sua velocidade, aceleração, deriva e amplitude das inclinações. Esta instrumentação é uma etapa de um projeto maior que visa minimizar as emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE) no transporte intermodal de cargas. As informações precisas da dinâmica da embarcação poderão servir como parâmetros de ajuste em modelos de emissão existentes.

Palavras-Chave: GPS; Cabotagem; PPP

Abstract

This paper presents a methodology for GPS instrumentation and data post-processing for precise vessel tracks positioning along the Brazilian coast. In order to reach this aim, a container vessel was equipped with a pair of GPS receivers (L1/L2) for GPS data collection in

sea path, from Santos (SP) to Suape (PE). The data were processed using Precise Point Positioning (PPP) methodology. The coordinates accuracy obtained for this path was about 23.1 cm. If the first 60 minutes of data were not used, the accuracy improved to approximately 8.0 cm. The correlation coefficient estimated between the receivers bearing was $R^2 = 0.895$. Therefore, it was possible to obtain accurate information about the vessel trajectory and its speed, acceleration, relative drift and the tilt amplitude. This information will be utilized as input parameters of the greenhouse gas emissions (GHG) models previously developed.

Key-word: GPS; PPP; Cabotage

1. INTRODUÇÃO

Este artigo tem por objetivo apresentar uma metodologia detalhada para a instrumentação de grandes embarcações porta contêineres operando em cabotagem com receptores de posicionamento preciso por satélites artificiais da constelação *Global Navigation Satellite System* (GNSS), em especial o *Global Positioning System* (GPS); e o respectivo procedimento para o pós-processamento das observáveis obtidas no percurso realizado.

O transporte marítimo de cabotagem pode ser definido como o transporte entre dois portos da costa de um mesmo país, envolvendo o fluxo de cargas nacionais entre entes nacionais. O Brasil possui uma extensão costeira de 7.408 km com 34 portos ao longo da costa [1] e um sistema portuário em franco processo de modernização e expansão, o que faz a cabotagem uma alternativa logística com grande potencial para seus usuários.

A utilização de contêineres no transporte marítimo de cabotagem tem crescido 15% de forma constante nos últimos dez anos seguindo o *Compound Annual Growth Rate* (CAGR). A Tabela 1 apresenta o crescimento da movimentação de contêineres de 2001 a 2010, o peso movimentado em toneladas e em *Twenty Equivalent Units* (TEUs). Atualmente, a cabotagem nacional conta com 24 navios operando de forma dedicada.

O eixo Sudeste-Nordeste, analisado no presente trabalho, é um dos principais corredores do transporte de cabotagem em termos de volume de movimentação anual de cargas, conectando dois importantes pólos consumidores e produtivos. Assim, a partir de escalas semanais e regulares de navios nos portos de Suape (PE) e Santos (SP), pretendendo-se atender a demanda desses mercados num prazo médio de três dias de navegação.

Tabela 1: Movimentação de Contêineres na Cabotagem [2]

Ano	Quantidade (Cheios+Vazios)	Peso (1.000 t)	1.000 TEUs (cheios)
2001	201.356	2.159	116
2002	258.909	2.988	160
2003	280.463	3.229	168
2004	235.743	3.699	190
2005	263.158	3.503	210
2006	318.299	4.320	247
2007	315.678	4.164	219
2008	410.967	5.616	378
2009	377.973	4.697	294
2010	350.290	5.199	321

A popularização dos sistemas de informações geográficas (SIG) aliados à crescente facilidade de acesso às técnicas de posicionamento de alta precisão a partir de satélites artificiais, como o GPS, tem permitido diferentes soluções para a caracterização geográfica das rotas utilizadas nas principais vias de transporte de cargas.

O posicionamento de alta precisão a partir da técnica de rastreamento de satélites artificiais do sistema GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa Norte Americano (DoD) e disponibilizado para usuários civis no final do século passado. Esta técnica de posicionamento, hoje já bastante popular, é baseada na estimativa das distâncias do receptor aos satélites pertencentes a uma constelação composta por pelo menos 24 veículos espaciais em órbita a aproximadamente 20.200 km de altitude. Estimada, pela fase da portadora e outras componentes, a distância de cada satélite ao receptor e sua posição na órbita, por um processo de triangulação, é possível determinar com acurácia estimável a posição da antena do receptor sobre a superfície terrestre. Este sistema tem se tornado mais acessível na medida da popularização e redução do preço dos equipamentos receptores geodésicos de dupla

frequência (L1/L2). Diferentes técnicas de pós-processamento podem ser aplicadas para melhorar a acurácia obtida.

Aliado a isto, o desenvolvimento de métodos de processamento dos dados rastreados por estes receptores são oferecidas gratuitamente via internet como, por exemplo, o serviço PPP pós-processado oferecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [3], possibilitando obter coordenadas geográficas precisas a um custo operacional mais baixo que anteriormente. Isto minimiza a necessidade de aquisição de computadores de alto desempenho, software dedicado e configurações muito elaboradas. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo *Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada* [4]. Para este artigo não houve a necessidade de se obter as coordenadas em tempo-real.

Em alguns trechos do percurso da embarcação, a grande distância às estações da rede brasileira de monitoramento contínuo (RBMC) [5] do IBGE, conforme apresentado na Tabela 2 e na Figura 1, diminui a precisão obtida no posicionamento por dupla diferença de fase. Segundo Geng *et al.* [6], para linhas de base longas, maiores que 200 km, o erro acumulado aproxima-se daquele do uso da técnica de pós-processamento PPP [7][8], no qual nenhuma estação em terra com coordenadas conhecidas é usada para o estabelecimento de uma base de referência. Segundo o *Manual do Usuário Posicionamento Por Ponto Preciso* [9] a denominação PPP “refere-se à obtenção da posição de uma estação utilizando as observáveis fase da onda portadora coletadas por receptores de duas frequências (L1/L2) e em conjunto com os produtos do *International GNSS Service*” [10] [11].

A precisão obtida entre processamento por dupla diferença de fase com o software científico Bernese v.5.0 [12] e em PPP para distâncias entre 440 km e 550 km apresentam erros em torno de 3,3 mm para o leste, 4,8 mm para o norte e 11,8 mm na altura [13]. Por outro lado, linhas de até 500 km de comprimentos processadas em PPP não implicam grandes erros na deriva do relógio do receptor em relação ao do satélite, como apresentado no trabalho de Geng *et al.* [6].

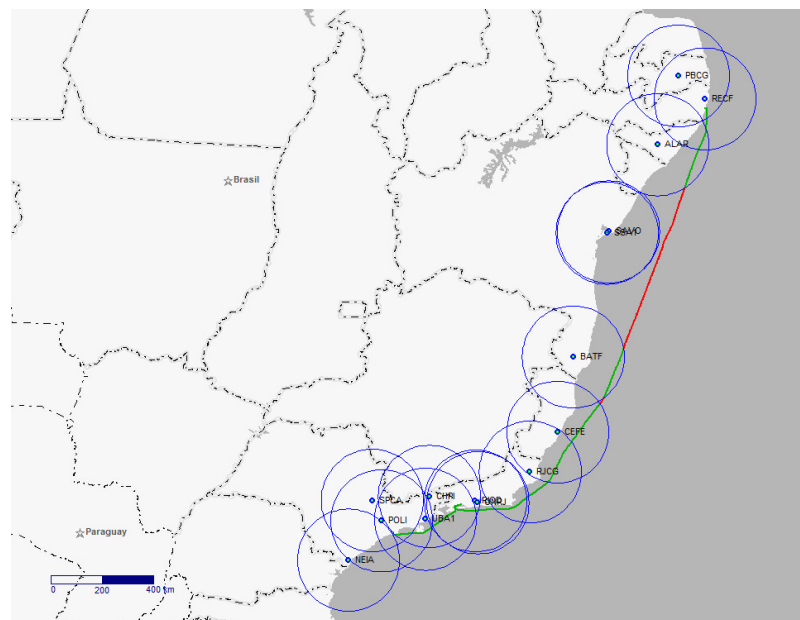


Figura 1: Estações RBMC com raio de 200 km; Trajeto da embarcação com distância <200 km a uma estação (verde) e >200 km (vermelho).

Tabela 2: Distância mínima do receptor à estação RBMC:

Código Estação	Município	Latitude (°)	Longitude (°)	Distância Mínima (km)
ALAR	Arapiraca (AL)	-9,74921285	-36,65341988	155,638
BATF	Teixeira de Freitas (BA)	-17,55482316	-39,74334457	167,796
CEFE	Vitória (ES)	-20,31073915	-40,31945488	64,014
CHPI	Cachoeira Paulista (SP)	-22,68709877	-44,98515830	100,388
NEIA	Cananéia (SP)	-25,02022204	-47,92496852	194,078
ONRJ	Rio de Janeiro (RJ)	-22,89565466	-43,22433157	31,049
PBCG	Campina Grande (PB)	-7,21367286	-35,90713769	166,192
POLI	São Paulo (SP)	-23,55560838	-46,73031199	63,163
RECF	Recife (PE)	-8,05095702	-34,95151641	34,694
RIOD	Rio de Janeiro (RJ)	-22,81779790	-43,30627659	40,277
RJCG	C. dos Goytacazes (RJ)	-21,76481312	-41,32615574	73,478
SAVO	Salvador (BA)	-12,93922177	-38,43225371	217,449
SPCA	Campinas (SP)	-22,81623975	-47,06269336	150,522
SSA1	Salvador (BA)	-12,97513298	-38,51648463	225,054
UBA1	Ubatuba (SP)	-23,50013684	-45,11890148	37,188

Assim, a facilitação ao acesso destes serviços viabiliza, sob diferentes aspectos - técnicos e econômicos - o monitoramento e rastreamento de veículos de carga com precisão na ordem de grandeza do decímetro ou melhor. Além disso, o uso do PPP para o pós-processamento das observáveis GPS pode ser considerado como uma solução viável para o posicionamento preciso de embarcações ao longo do roteiro, como o percorrido para este trabalho.

A partir da obtenção de coordenadas acuradas, grandezas físicas, como posição, velocidade, aceleração, trajetória, ângulo de deriva, inclinação e balanço, podem ser estimados. A variação na dinâmica da embarcação implica em um consumo energético e de combustível no percurso e, conseqüentemente, na emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE). Alguns modelos de cálculo de emissões, como apresentados e discutidos por Demir *et al.* [14], podem apresentar estimativas deste consumo e o conhecimento preciso da dinâmica da embarcação pode ajudar na calibração destes modelos à realidade Brasileira.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. CONJUNTO DE DADOS

2.1.1. Equipamentos GPS

Para o levantamento das observáveis GPS ao longo do percurso foram utilizados os seguintes equipamentos:

- 02 Receptores GPS/GNSS Topcon Legacy (L1/L2);
- 02 antenas Topcon Choke Ring com capa protetora de plástico;
- 04 baterias principais de 12v e 2.3 AH;
- 02 baterias secundárias de 12V e 800 mA;H;
- 01 cabo de transferência de dados do receptor para computador PC;
- 02 carregadores de bateria modelo HPX10;
- 02 cabos RV2 coaxial 10m;
- 02 cabos RV3 de alimentação das baterias principais;
- 02 cabos RV4 de alimentação das baterias secundárias;
- 02 Espaçadores metálicos sextavados com 12 cm de altura.

2.1.2. Especificações técnicas do receptor:

A Tabela 3 apresenta as principais características técnicas do receptor.

Tabela 3: Principais características técnicas do Receptor

Especificação	Característica
Canais de rastreamento	40 sendo: 20 L1; 20 L1+L2+Glonass
Sinais rastreados	L1/L2, C/A, Código P e portadora
Acurácia linha de base	Horizontal: 3 mm + 1 ppm (L1/L2) Vertical: 5 mm + 1,5 ppm
Partida a frio (Cold Start)	<60 s
Reinicialização (Warm Start)	<10 s
Reaquisição do sinal	<1 s
Tensão / Potência	6 V a 28 V DC / <3,3 W
Operação contínua	Até 8 h uso típico
Antena tipo	Externa microstrip (zero-centered) Choke Ring
Memória	Interna 32 MB
Comunicação	2 portas RS232 serial
Taxa registro dados brutos	Até 20 vezes por segundo (20 Hz)
Tipo de dados	Código, portadora (L1/L2) GPS e Glonass
Caixa	plástica a prova d'água
Temperatura de operação	-40 °C a 55 °C
Dimensões	Largura: 240 mm x Altura: 110 mm x Profundidade: 35 mm
Peso	0,6 kg

2.1.3. Especificações técnicas da embarcação:

A Tabela 4 apresenta as principais características técnicas e construtivas da embarcação.

Tabela 4: Principais características técnicas e construtivas da embarcação

Especificação	Característica
Ano de construção (BUILT)	1993
Capacidade nominal em TEUs (Twenty Equivalent Units)	2.161
Capacidade média de carregamento com peso médio de 14t por TEU	1.850
Capacidade total (Dead-Weight)	32.984 t
Número de tomadas para contêineres refrigerados	254
Comprimento da embarcação (LOA)	200,23 m
Boca do navio - largura frontal (Breadth)	32,20 m
Calado necessário (Draft)	12,02 m
Velocidade em nós	18,5 kts

2.1.4. Instalação

A instalação dos receptores GPS descritos anteriormente foi realizada sobre os painéis externos de comando do navio, localizados sobre o passadiço externo (Figuras 2 e 3). O receptor instalado ao lado esquerdo da cabine central para quem observa da popa para a proa (bombordo) será denominado neste trabalho como GPS1; e o receptor ao lado direito (estibordo) denominado GPS2. Estes painéis são utilizados pelo operador de manobras de aproximação da embarcação aos portos, conhecido como prático. Para proteção das intempéries, principalmente à chuva e ao vento, estes painéis são recobertos por uma capa metálica basculante integrada ao conjunto (Figuras 4, 5 e 6). Os receptores foram posicionados sobre os referidos painéis juntamente com duas baterias para cada receptor. O uso de baterias foi necessário devido à impossibilidade de se obter uma fonte de energia elétrica diretamente dos painéis externos. A bateria principal tinha por objetivo manter o

receptor ligado em operação por até 8 horas. A bateria secundária tinha como função manter o aparelho ligado durante a troca da bateria principal, de forma a evitar interrupção no rastreo. As baterias principais foram recarregadas em ciclos de 8 horas alternadamente às baterias em uso no receptor. As baterias secundárias foram recarregadas a cada duas trocas da bateria principal. As antenas utilizadas nesta instalação foram do tipo *Choke Ring* para minimizar a ocorrência de multi-caminhamento de sinais devido à reflexão na superfície da água.



Figuras 2 e 3: Passadiço sobre o qual foram instalados os equipamentos GPS



Figuras 4, 5 e 6: Painéis externos de comando sobre os quais foram instalados os receptores GPS

A instalação das antenas foi sobre o guarda-corpo do passadiço principal, fixadas diretamente na estrutura metálica através de um orifício na estrutura. Foi utilizado um espaçador sextavado com 12 cm de altura para evitar o contato da parte inferior da antena com o guarda-corpo. Tal espaçador era dotado de um orifício com rosca na parte inferior para fixação do mesmo e um pino com rosca na parte superior para fixação da antena (Figuras 7 e 8).



Figuras 7 e 8: Suporte metálico para instalação da antena ao guarda-corpo do passadiço

As ligações das antenas (Figuras 9 e 10) aos receptores foram realizadas através de cabos coaxiais blindados com 10 metros de comprimento seguindo a especificação do fabricante. Para evitar a oxidação dos terminais durante a viagem, e por consequência a geração de correntes de fuga, estes foram revestidos por fita isolante emborrachada, do tipo usado para instalações de alta-tensão. Para evitar a movimentação rotacional da antena cabos de nylon foram estirados entre as argolas de fixação na base da antena e ressaltos na estrutura metálica do guarda corpo. Tais amarrações tinham como objetivo evitar o desprendimento da antena por eventual rotação causada acidentalmente por algum operador ou pelo vento.



Figuras 9 e 10: – Antenas dos receptores GPS instaladas sobre o guarda-corpo do passadiço

Os receptores utilizados nesta instalação possuem memória interna não removível e não expansível de 32MB. Estas características fazem com que os dados sejam transferidos da memória interna para um computador somente por meio da porta serial e um cabo com conectores de 9 pinos padrão RS-232 fornecido pelo fabricante com o equipamento. Para esta transferência deve ser utilizado um computador portátil com comunicação serial ou adaptador equivalente.

2.1.5. Percurso

O percurso realizado para o levantamento das observáveis GPS foi a partir do porto de Santos (SP) até o porto de Suape (PE) com escala no porto de Sepetiba (RJ). A embarcação iniciou a viagem no dia 26/07/2011 às 21h13'30" (UTC). O comprimento do trajeto realizado

obtido pelo GPS1 foi de 2414,93km e de 2414,52 km para o GPS2. A diferença encontrada de 403,3m entre os trajetos percorridos pelos receptores deve-se principalmente às trajetórias realizadas por cada lado da embarcação nas manobras de aproximação e atracamento.

Este trajeto foi dividido em três trechos principais: Santos-Sepetiba, Sepetiba-Suape(fundeado), Suape(fundeado)-Suape(atracado). Tal divisão foi consequência do desligamento dos receptores devido a embarcação ter ficado parada por mais de uma hora, o que consumiria espaço na memória com registros desnecessários. Ao religar os equipamentos são gerados novos arquivos de rastreamento de forma automática. A Tabela 5 apresenta as principais informações obtidas ao longo da viagem.

O trecho entre Sepetiba-Suape(fundeado) foi sub-dividido em quatro partes devido a uma restrição no pós-processamento dos dados pelo IBGE, na qual o arquivo padrão *Rinex* gerado pelo rastreamento não pode ser maior que 20MB. A Tabela 6 apresenta as informações do trecho Sepetiba-Suape(fundeado) e suas quatro divisões.

Tabela 5: Principais informações obtidas ao longo do percurso

	Santos - Sepetiba		Sepetiba-Suape (fundeado)		Suape (fundeado-porto)	
	GPS1	GPS2	GPS1	GPS2	GPS1	GPS2
Início (UTC)	26/07/11 20:01:30	26/07/11 20:02:20	28/07/11 06:08:50	28/07/11 06:07:50	31/07/11 18:57:40	31/07/11 19:01:00
Fim (UTC)	27/07/11 15:34:20	27/07/11 15:32:20	31/07/11 11:21:20	31/07/11 11:20:50	31/07/11 22:20:40	31/07/11 22:08:50
Tempo de rastreamento	19h32'50"	19h30'00"	3d 05h12'30"	3d 05h13'00"	03h23'00"	03h07'50"
Comprimento(km)	323,351	323,166	2080,187	2080,084	11,395	11,279
Veloc. média(km/h)	16,582	16,572	26,947	26,945	3,640	3,603

Tabela 6: Informações dos trechos entre Sepetiba-Suape(fundeado)

	Trecho 1		Trecho 2		Trecho 3		Trecho 4	
	GPS1	GPS2	GPS1	GPS2	GPS1	GPS2	GPS1	GPS2
Início (UTC)	28/07/11 06:08:50	28/07/11 06:07:50	29/07/11 00:00:00	29/07/11 00:00:00	30/07/11 00:00:00	30/07/11 00:00:00	31/07/11 00:00:00	31/07/11 00:00:00
Fim (UTC)	28/07/11 23:59:50	28/07/11 23:59:50	29/07/11 23:59:50	29/07/11 23:59:50	30/07/11 23:59:50	30/07/11 23:59:50	31/07/11 11:21:20	31/07/11 11:20:50
Tempo de rastreamento	17h51'00"	17h52'00"	23h59'50"	23h59'50"	23h59'50"	23h59'50"	11h21'20"	11h20'50"
Comprimento (km)	447,390	447,276	655,332	655,331	676,540	676,539	300,610	300,632
Veloc. média(km/h)	25,070	25,064	27,309	27,309	28,196	28,195	26,492	26,494

2.1.6. Dados GPS

Para o rastreamento dinâmico do navio, o receptor foi configurado para registrar as observáveis GPS a cada intervalo de tempo de 10s. Os intervalos de registros foram assim configurados considerando-se o espaço de memória interna do aparelho, de modo que todo o percurso pudesse ser registrado sem a obrigatoriedade de transferi-los para o computador portátil, o que em uma embarcação sob condições meteorológicas adversas pode ser tecnicamente muito difícil.

2.2. METODOLOGIA

2.2.1. Processamento dos dados GPS

Os dados rastreados por ambos os receptores foram transferidos para um computador portátil pela porta de comunicação de dados padrão serial RS-232 através de um software próprio fornecido pelo fabricante. Em seguida, foram gravados os dados em um formato

proprietário, porém facilmente transformado para o formato aberto *Rinex* versão 2.11. A restrição imposta pelo sistema de pós-processamento oferecido pelo IBGE [3], na qual os arquivos não podem ultrapassar o tamanho em disco de 20MB, fez com que eles fossem divididos em arquivos menores. Para isso, os cabeçalhos dos arquivos foram reconstruídos em um editor de textos seguindo os padrões do formato em questão. Estes arquivos foram, então, enviados para o sítio Internet do IBGE [3]. Após o processamento, os arquivos com as séries históricas das coordenadas foram enviados para um endereço de email especificado durante o processo de envio. Para cada arquivo *Rinex* enviado foram recebidos cinco arquivos com as seguintes informações [9]:

- Resumo do relatório em PDF, onde são apresentados os detalhes do processamento como erros e problemas no arquivo enviado;
- Relatório com o resultado, o qual contém as coordenadas geodésicas do processamento estático;
- Arquivo com as coordenadas geodésicas ao longo do tempo, resultado do processamento cinemático;
- Arquivo padrão KML [15] do software Googleearth 6.0 [16] que indica o local aproximado do rastreo, caso se opte pelo processamento estático ou que apresenta as coordenadas geodésicas do trajeto percorrido, caso opte por processamento cinemático; e
- Arquivo TXT com a descrição dos arquivos recebidos.

Assim, o arquivo com as posições ao longo do tempo, resultado do processamento cinemático, foi o utilizado neste trabalho para obtenção das coordenadas geográficas do trajeto realizado.

2.2.2. Estimativa da Precisão

No posicionamento por GPS, vários fatores podem degradar a acurácia das coordenadas obtidas. A precisão do posicionamento dos satélites na órbita, os atrasos e os desvios na trajetória sofridos na propagação através da atmosfera do sinal do satélite ao receptor são as principais incertezas aleatórias incidentes no processo de obtenção da posição. Podemos considerar, ainda, como fator de degradação do sinal o efeito denominado multicaminhamento, no qual os diferentes caminhos percorridos entre o sinal direto e o refletido por alguma superfície refletora próxima à antena causam distorções na recepção.

Para a estimativa da precisão obtida nas coordenadas ao longo do percurso foram adotadas duas soluções. A primeira foi estimada a partir do resíduo do ajustamento das amostras superabundantes das distâncias do receptor ao satélite. Estas estimativas são fornecidas pelo processamento PPP oferecido pelo IBGE e fornecidas no mesmo arquivo das coordenadas. A segunda foi estimada como sendo o desvio padrão das variações na distância entre os receptores. Partindo-se do pressuposto que ambos os receptores estavam solidamente fixados à estrutura metálica do passageiro, assumida a princípio como inelástica, a variação da distância obtida pelo posicionamento GPS deveria ser zero. Assim, foram calculadas as distâncias nas coordenadas geográficas dos dois receptores à mesma época e o desvio padrão foi estimado para a amostragem obtida.

2.2.3. Estudo da coerência entre os receptores

A coerência dos rumos dos deslocamentos das antenas obtida durante o percurso pode ser usada como um parâmetro associado à qualidade das informações do rastreo, no sentido em que, se os rumos obtidos estão próximos em valor e direção, os receptores estão registrando os deslocamentos de forma coerente entre si. Vale notar que este parâmetro é

afetado em condições de baixa velocidade como em manobras de atracação da embarcação, quando movimentos de rotação e deriva provocados pelos barcos rebocadores são contínuos e as direções das antenas, nestas condições, são muito diferentes entre si.

Para a obtenção da medida de coerência entre as informações rastreadas por cada receptor, as coordenadas geodésicas das séries históricas foram transformadas em coordenadas UTM e, em seguida, calculados os rumos dos deslocamentos subsequentes, considerando-se a coordenada atual e a imediatamente anterior. Em seguida, foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson (R) dos rumos dos deslocamentos sucessivos sofridos em cada antena, apresentados no gráfico de espalhamento na Figura 11. O coeficiente R^2 é usado para designar quão bem os dados se ajustam à reta de regressão e, por consequência, mensurar a coerência entre as duas fontes de dados. A Equação 1 apresenta como foi calculado o coeficiente de Pearson neste trabalho:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

onde:

X e Y são os vetores das séries do GPS1 e GPS2;

\bar{x} e \bar{y} são os valores médios de X e Y respectivamente.

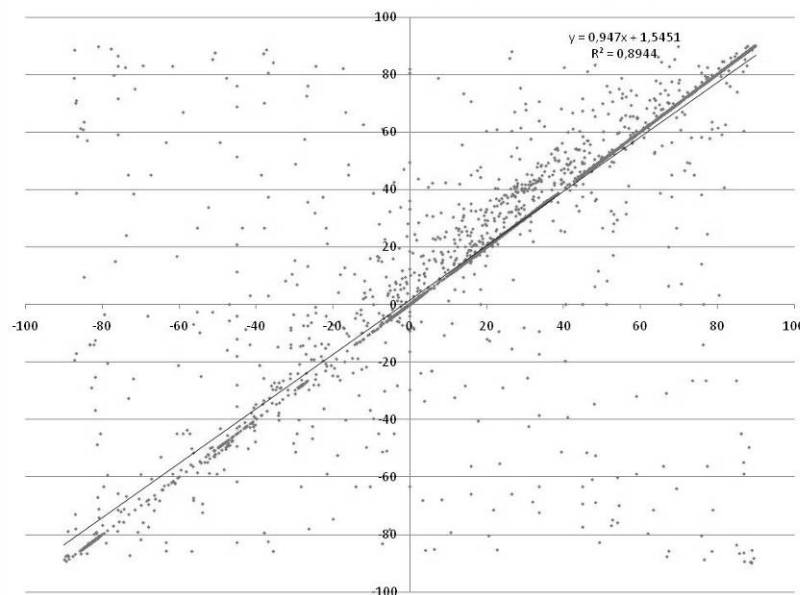


Figura 11: Espalhamento dos valores do rumo (em graus) GPS1 (eixo x) vs. GPS2 (eixo y) para o percurso realizado; e respectivo coeficiente de correlação R^2

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. PRECISÃO

O sistema de pós-processamento estima a precisão nas coordenadas a partir de resíduos encontrados no cálculo de ajustamento das distâncias dos satélites às antenas. O cálculo destes resíduos é discutido em AIUB [12]. Para este trabalho a precisão média estimada (σ_{GPS}) para o percurso foi de $\sim 11,4$ cm, conforme apresentado nas Tabelas 7 e 8.

Assumindo o desvio padrão da distância observada entre as antenas como uma estimativa da precisão média obtida, neste levantamento obteve-se aproximadamente 23,1 cm para todo o percurso e tempo de rastreo. Desprezando os primeiros 60 minutos de dados do

arquivo *Rinex* a precisão obtida foi de ~8,0 cm. Desprezando os primeiros 120 minutos dos arquivos, a precisão obtida foi de ~7,4 cm. Assim, a precisão tem uma melhora significativa quando eliminado a partir dos primeiros 30 minutos do rastreamento e melhorando relativamente muito pouco para intervalos maiores, conforme apresentado na Figura 12. Portanto, a precisão obtida no posicionamento pode ser melhor que a estimativa de resíduos do sistema de pós-processamento, dependendo do critério de corte aplicado ao início dos arquivos de dados, como apresentado na Figura 13.

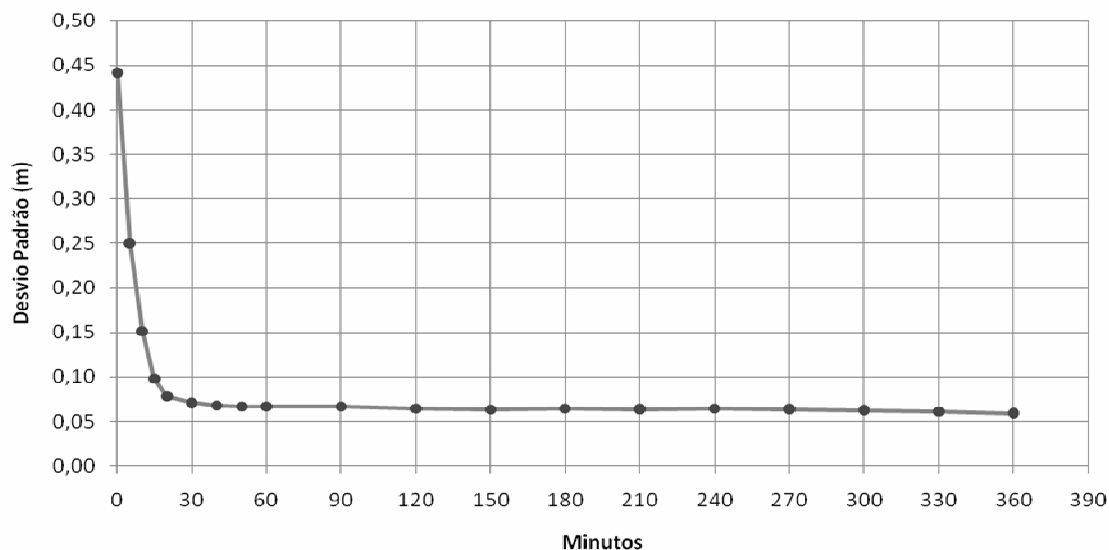


Figura 12: Desvio padrão das distâncias entre as antenas

Tabela 7: Precisão obtida (cm) para o trajeto total

	Santos - Sepetiba		Sepetiba-Suape (fundeado)		Suape (fundeado-porto)	
	GPS1	GPS2	GPS1	GPS2	GPS1	GPS2
Início (UTC)	26/07/11 20:01:30	26/07/11 20:02:20	28/07/11 06:08:50	28/07/11 06:07:50	31/07/11 18:57:40	31/07/11 19:01:00
Fim (UTC)	27/07/11 15:34:20	27/07/11 15:32:20	31/07/11 11:21:20	31/07/11 11:20:50	31/07/11 22:20:40	31/07/11 22:08:50
Tempo de rastreamento	19h32'50"	19h30'00"	3d 05h12'30"	3d 05h13'00"	03h23'00"	03h07'50"
σ Latitude	3,77	3,16	3,12	3,01	3,91	4,07
σ Longitude	3,48	3,17	3,47	3,52	5,30	5,15
σ Altitude	9,38	8,24	9,77	9,45	11,77	11,90
σ Total GPS	10,03		10,67		13,54	
Distância entre antenas (m)	29,10		29,14		29,10	
Desvio padrão						
(0 min)	44,18		14,06		11,06	
(60 min)	6,66		13,38		4,13	
(120 min)	6,48		11,99		3,77	

Tabela 8: Precisão obtida (cm) para Sepetiba-Suape(fundeado) por trecho

	Trecho 1		Trecho 2		Trecho 3		Trecho 4	
	GPS1	GPS2	GPS1	GPS2	GPS1	GPS2	GPS1	GPS2
Início (UTC)	28/07/11 06:08:50	28/07/11 06:07:50	29/07/11 00:00:00	29/07/11 00:00:00	30/07/11 00:00:00	30/07/11 00:00:00	31/07/11 00:00:00	31/07/11 00:00:00
Fim (UTC)	28/07/11 23:59:50	28/07/11 23:59:50	29/07/11 23:59:50	29/07/11 23:59:50	30/07/11 23:59:50	30/07/11 23:59:50	31/07/11 11:21:20	31/07/11 11:20:50

Tempo de rastreo	17h51'00"	17h52'00"	23h59'50"	23h59'50"	23h59'50"	23h59'50"	11h21'20"	11h20'50"
σ Latitude	3,52	3,36	3,10	3,02	2,81	2,80	3,21	2,86
σ Longitude	3,55	4,04	3,40	3,21	3,42	3,33	3,56	3,73
σ Altitude	8,31	8,19	9,82	9,58	9,93	9,80	11,61	10,40
σ Total GPS	9,71		10,70		10,80		11,99	
Distância entre antenas (m)	29,13		29,12		29,15		29,20	
Desvio padrão								
(0 min)	16,72		14,42		10,60		13,03	
(60 min)	13,97		9,46		6,00		6,49	
(120 min)	5,97		9,46		5,15		5,18	

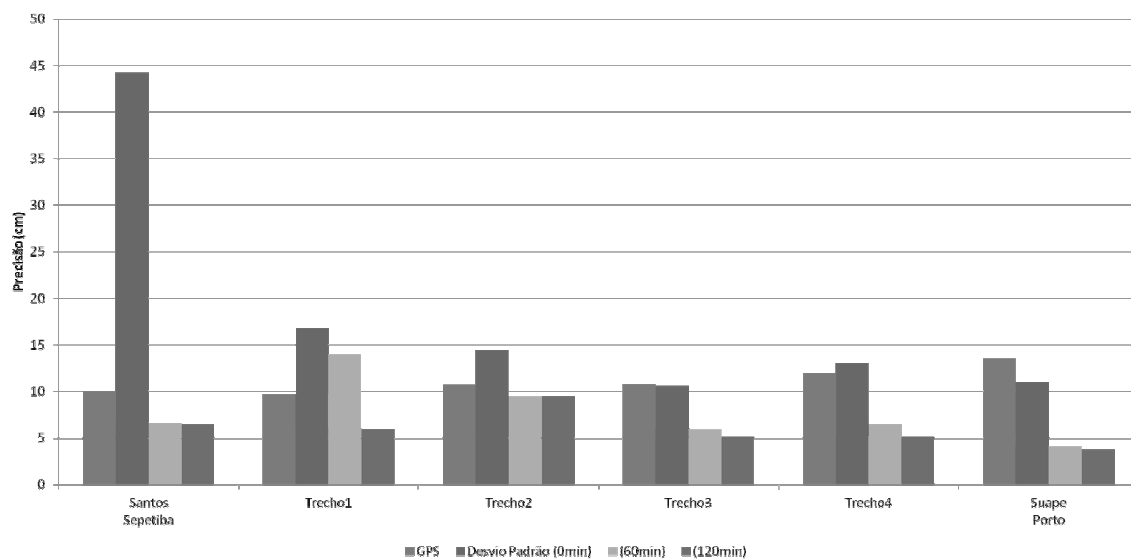


Figura 13: Precisão obtida para os diferentes trechos percorridos estimada pelo pós-processamento GPS (1ª coluna dos grupos) e pelo desvio padrão das distâncias das antenas utilizando diferentes tempos de corte: 0 min, 60 min e 120 min (colunas sucessivas).

3.2. COERÊNCIA

Analisando-se o histograma da distribuição da frequência das velocidades da embarcação durante a realização do trajeto (Figura 14) pode-se observar um pico da imobilidade até 3 km/h, relativo às manobras em baixas velocidades; e um segundo pico em velocidades acima de 27 km/h, quando então ocorrem os deslocamentos mais longos e por maior intervalo de tempo. A coerência encontrada para todo o percurso, considerando as referidas manobras foi $R^2=0,895$, o que pode ser considerada como um valor alto e, por conseqüência, o rumo dos deslocamentos obtidos coerentes.

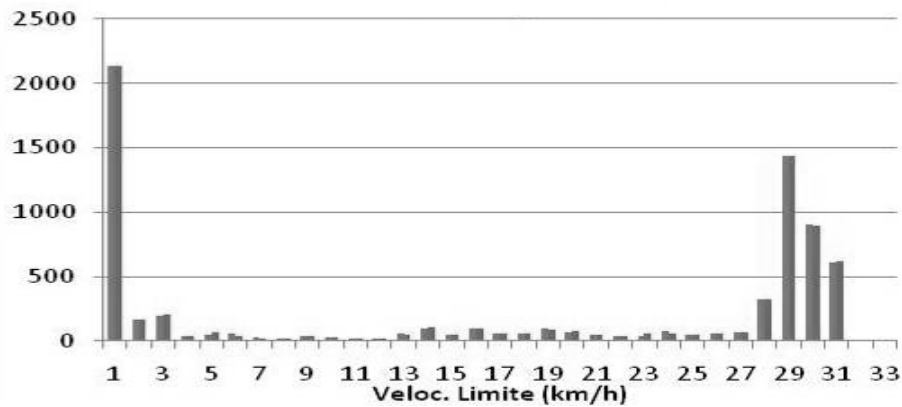


Figura 14: Histograma com a distribuição das frequências (eixo Y) das amostras em função das velocidades de deslocamento (eixo X) do GPS1 (cinza) e GPS2 (preto)

4. CONCLUSÕES

Neste estudo foi apresentada uma alternativa de instrumentação para a obtenção de coordenadas precisas de embarcações de grande porte em alto mar usando a tecnologia de posicionamento através de satélites artificiais da constelação GPS. As características da instalação e pós-processamento dos dados são apresentadas de forma a proporcionar uma solução técnica viável sob o ponto de vista das adversas condições ambientais.

A precisão média no posicionamento (σ_{GPS}) para o percurso foi de $\sim 11,4$ cm e o desvio padrão na distância das antenas de 23,1 cm. Desprezando os primeiros 60 minutos de rastreamento a precisão obtida foi de $\sim 8,0$ cm e os primeiros 120 minutos de $\sim 7,4$ cm. A coerência entre os rumos dos receptores foi de $R^2=0,895$. Esses resultados permitem que as grandezas físicas derivadas possam ser usadas futuramente como parâmetros de calibração de modelos de estimativa de consumo instantâneo de combustível e emissão dos gases causadores do efeito estufa (GEE), a partir da variação energética instantânea do deslocamento.

Vale ressaltar que, devido à característica do PPP pós-processado, existe a necessidade de se ligar os receptores e iniciar o rastreamento com no mínimo 30 minutos de antecedência ao movimento da embarcação a ser monitorada. Havendo a disponibilidade de memória e carga da bateria é recomendável iniciar estas atividades 1 hora antes. Essas esperas poderão ser reduzidas com a disponibilização no futuro do PPP em tempo real.

Agradecimentos

Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através do Programa Nacional de Pós Doutorado (PNPD), e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo 402401/2009-3. Os autores agradecem o apoio das empresas parceiras do CISLog – Poli-USP e do laboratório de Topografia e Geodésia (LTG) – Poli-USP pelo auxílio com os instrumentos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CNT (2011) Confederação Nacional dos Transportes - Plano CNT de Transporte e Logística 2011
<http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Plano%20CNT%20de%20Log%20C3%ADstica/PlanoCNTdeLog2011.pdf>, visitado em 12/12/2011.

- [2] ANTAQ (2011) Agência Nacional de Transportes Aquaviários - http://www.syndarma.org.br/upload/Estatistica%20de%20navega__o%20maritima%20brasileira%202010.pdf, acessado em 12/12/2011.
- [3] IBGE (2011) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) - Página para envio de arquivos Rinex, <http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>, visitado em 17/11/2011.
- [4] NRCan (2011) Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada, http://www.geod.nrcan.gc.ca/products-produits/ppp_e.php, visitado em 12/12/2011.
- [5] RBMC (2010) Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm>, visitado em 22/10/2010.
- [6] Geng, J., F.N. Teferle, X. Meng, A.H. Dodson, (2010) Kinematic Precise Point Positioning at Remote Marine Platforms, *GPS-Solutions - The Journal of Global Navigation Satellite Systems*, v. 14 p. 343–350, DOI 10.1007/s10291-009-0157-9.
- [7] Zumberge, J. F., M. B. Heftin, D.C. Jefferson, M. M. Watkins, and F. H. Webb (1997) Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *Journal of Geophysical Research*, v. 102, n. B3, p. 5005-5017.
- [8] Kouba, J. and Pierre Héroux (2001) GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products, *Physics and Chemistry of the Earth Part A Solid Earth and Geodesy*, v. 26, n. 6-8, p. 573-578, ISSN: 14641895 DOI: 10.1016/S1464-1895(01)00103-X.
- [9] IBGE (2009) - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Manual do Usuário Posicionamento Por Ponto Preciso PPP – http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf, visitado em 01/11/2011.
- [10] IGS (2012) International GNSS Service - <http://igs.org/components/prods.html>, visitado em 04/05/2012.
- [11] Moore, A. M. and Neilan, R. E. (2005) The International GPS Service tracking network: enabling diverse studies and projects through international cooperation, *Journal of Geodynamics* n. 40 v. 4–5, p. 461–469.
- [12] AIUB (2007) Astronomical Institute of University of Bern, User manual of the Bernese GPS Software Version 5.0, <http://www.bernese.unibe.ch/docs/DOCU50.pdf>, acessado em 12/12/2011.
- [13] Ebner, R., W. E. Featherstone (2008) How well can online GPS PPP post-processing services can be used to establish geodetic survey control networks? *Journal of Applied Geodesy* 2, p. 149–157. DOI 10.1515/JAG.2008.017.
- [14] Demir, E., T. Bektaş, G. Laporte, (2011) A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 16, n. 5, p. 347-357, ISSN 1361-9209, 10.1016.
- [15] KML (2011) Keyhole Markup Language, <http://code.google.com/intl/pt-BR/apis/kml/documentation/> - acessado em 8/07/2011.
- [16] GoogleEarth 6.0 (2011) - <http://earth.google.com/intl/pt-BR/> - acessado 8/07/2011.