



**Análise do Posicionamento por Ponto Preciso com Dados
GPS e GLONASS em Diferentes Latitudes**
Analysis of Precise Point Positioning with GPS and GLONASS
Data in Different Latitudes

Gabriel Oliveira Jerez¹; João Vitor Espinhosa Vieira² & Daniele Barroca Marra Alves³

*Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT.
Rua Roberto Simonsen, 305, 19060-900, Presidente Prudente, SP, Brasil*

¹Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas

²Graduação em Engenharia Cartográfica

³Departamento de Cartografia

E-mails: gabriel.jerez@unesp.br; joao.vitor.espinhosa.vieira@hotmail.com; daniele.barroca@unesp.br

Recebido em: 01/02/2019 Aprovado em: 01/07/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2020_4_55_65

Resumo

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) possui, atualmente, dois sistemas completos, o GPS (*Global Positioning System*) e o GLONASS (*GLOBAL NAVIGATION Satellite System*). Apesar de terem sido desenvolvidos de forma simultânea, os sistemas apresentam características diferentes. Além disso, o GLONASS passou por um longo período de degradação, o que por muito tempo causou uma lacuna nas investigações realizadas sobre o mesmo. No entanto, em 2011 o GLONASS teve sua constelação restabelecida, renovando o interesse em estudos relacionados ao seu desempenho. No presente trabalho foi investigada a performance dos sistemas GPS e GLONASS de forma autônoma e combinada, considerando estações GNSS em diferentes regiões (latitudes), sendo avaliados os erros obtidos na posição, o número de satélites visíveis e a quantidade de observações coletadas. Em todos os casos considerados, o uso de dados combinados levou a melhores resultados. Em 25% das estações utilizadas o GLONASS apresentou resultados médios melhores que o GPS, considerando o posicionamento autônomo.

Palavras-chave: *Posicionamento; GNSS; GLONASS; GPS; PPP*

Abstract

GNSS (*Global Navigation Satellite System*) is, nowadays, composed of two complete systems, GPS (*Global Positioning System*) and GLONASS (*GLOBAL NAVIGATION Satellite System*). Although the simultaneous development, the systems present different characteristics. Besides that, GLONASS passed through a degradation period, causing a lack in investigations related to the system. However, in 2011, GLONASS constellation was reestablished, this way, the interest in researches related to its performance was renewed. In this paper, we intended to investigate GPS and GLONASS performance in the autonomous and combined positioning, considering GNSS stations in different regions (latitudes), evaluating the positioning error, the amount of visible satellites and collected observables. In all the cases considered, the use of combined data led to better results. In 25% of the stations used, GLONASS presented better mean results than GPS, considering autonomous positioning.

Keywords: *Positioning; GNSS; GLONASS; GPS; PPP*

1 Introdução

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) compreende o GPS (*Global Positioning System*), desenvolvido pelos Estados Unidos, o GLONASS (*GLOBAL NAVIGATION Satellite System*), desenvolvido pela então União Soviética e, atualmente, mantido pela Rússia, e mais dois sistemas em desenvolvimento, o Galileo (União Européia) e o BeiDou (China). Além desses existem, ainda, os sistemas de aumento baseados em satélites, SBAS (*Satellite-Based Augmentation System*), e em estações terrestres, GBAS (*Ground-Based Augmentation System*) (Hofmann-Wellenhof *et al.*, 2008; Langley *et al.*, 2017).

Os sistemas pioneiros foram o GPS e o GLONASS, com desenvolvimento iniciado ainda na década de setenta. Apesar de terem obtido constelação completa no mesmo ano (1995) e logo terem sido declarados operacionais, o GLONASS passou por um longo período de degradação devido, entre outros fatores, à curta vida útil dos primeiros satélites e à falta de lançamentos de novos satélites. Após esse período, teve início nos anos dois mil um plano de restabelecimento e modernização do sistema. Com isso novas gerações de satélites foram desenvolvidas, novas estações de controle implementadas, além de refinamentos nos sistemas de tempo e referência. Em 2011, o GLONASS voltou a contar com constelação completa de 24 satélites (Revnivkykh *et al.*, 2017).

Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas buscando investigar a qualidade do posicionamento GPS ao longo das últimas décadas. Porém, o mesmo não aconteceu da mesma forma com o GLONASS, isso porque o sistema, quando incompleto, oferecia resultados variáveis e, muitas vezes, insatisfatórios, como os obtidos por Bruyninx (2007) e Polezel (2010). Com esta nova realidade do sistema, novos estudos se fazem necessários para investigar o potencial do mesmo. Pesquisas posteriores ao restabelecimento do sistema apresentaram resultados mais promissores, como os obtidos por Pan *et al.* (2014) e Ventorim e Dal Poz (2016).

Além das diferenças no desenvolvimento dos sistemas GPS e GLONASS, os mesmos apresentam divergências também em suas configurações, por exemplo, na tecnologia utilizada para as frequências dos satélites, quantidade e distribuição das estações de controle, número de órbitas e inclinação das mesmas. Esta última característica pode permitir que o GLONASS forneça melhor cobertura de latitudes médias (Seeber, 2003).

Considerando o cenário apresentado e as diferenças de configuração dos sistemas GPS e GLONASS, no presente trabalho é proposta a investigação da qualidade do posicionamento utilizando dados GPS, GLONASS e GPS+GLONASS, considerando estações em diferentes latitudes. Para isso foi aplicado o método de posicionamento

por ponto preciso, utilizando dados de 20 estações GNSS, considerando pares de estações com latitudes semelhantes.

2 Sistemas de posicionamento por satélites operacionais

O GPS foi desenvolvido pelo departamento de Defesa dos Estados Unidos, com o objetivo principal de proporcionar posicionamento. O sistema é constituído de uma constelação de no mínimo 24 satélites operacionais, sendo que atualmente (janeiro de 2019) conta com 32 satélites, dos quais 31 estão operacionais. No decorrer dos anos o GPS passou por algumas modernizações nos blocos de satélites, sendo que está em desenvolvimento a geração GPS III/Bloco IIIIF, atualmente (janeiro de 2019) com um satélite em verificação. Entre as diferenças dos satélites do bloco, um quarto sinal civil estará disponível (L1C) (GPS, 2018; GLONASS, 2018a).

O GLONASS, inicialmente desenvolvido pela extinta União Soviética, é atualmente mantido pela Rússia. O sistema consiste em uma constelação de 24 satélites operacionais e 03 de reserva, distribuídos em três planos orbitais com inclinação de 64,8° em relação ao Equador, essa inclinação permite melhor cobertura para altas latitudes (Seeber, 2003; Hofmann-Wellenhof *et al.*, 2008; Langley *et al.*, 2017). Devido à falta de lançamentos de novos satélites e de manutenção dos que já faziam parte da constelação, o número de satélites operacionais decaiu rapidamente, sendo que no final de 2006 o sistema chegou a operar com apenas 10 satélites (Hofmann-Wellenhof *et al.*, 2008).

Após esta fase, o sistema passou por um período de modernização, com novas gerações de satélites sendo desenvolvidas, novas estações de controle implantadas fora do território russo, além de refinamentos dos sistemas de tempo e de referência. Em 2011, o GLONASS voltou a contar com sua constelação completa e, atualmente (janeiro de 2018), o sistema conta com 26 satélites, sendo 23 destes operacionais (01 encontra-se em manutenção) (Revnivkykh *et al.*, 2017; GLONASS, 2018b).

3 Posicionamento por Ponto Preciso

Existem diversas possibilidades de realização de posicionamento com GNSS, de acordo com o método utilizado o mesmo pode ser classificado de diversas formas. Quando as coordenadas são determinadas em relação ao geocentro, tem-se o posicionamento absoluto, ou por ponto. As classificações podem se dar ainda em relação ao estado do objeto a ter coordenadas definidas, podendo ser estático ou cinemático. E, ainda, em relação ao processamento, podendo ser pós-processado ou em tempo real (Hofmann-Wellenhof *et al.*, 2008).

O posicionamento por ponto necessita de apenas um receptor para ser realizado. Este método pode ser dividido basicamente em duas categorias, simples e preciso. O posicionamento por ponto simples é mais utilizado com finalidades de navegação de baixa precisão. Neste caso é utilizada a observável pseudodistância, informações de navegação das efemérides transmitidas e a maior parte dos erros envolvidos (como órbitas dos satélites, relógios dos satélites e dos receptores e centro de fase), em geral, é negligenciada. Outra possibilidade é a utilização da observável fase da onda portadora, ou da pseudodistância ou mesmo de ambas. Além disso, podem ser utilizadas as efemérides precisas do IGS (*International GNSS Service*) e realizar a modelagem da maior parte dos erros envolvidos, caso em que se tem o posicionamento por ponto preciso (Héroux & Kouba, 2001; Seeber, 2003). No experimento realizado para este artigo foi empregado o posicionamento por ponto preciso.

4 Metodologia

No presente trabalho foram utilizados dados de vinte estações da Rede IGS, que possuem dados disponíveis de forma *online*. Foram selecionadas dez estações pertencentes ao continente americano e dez pertencentes aos continentes europeu e africano. Para a escolha das estações foi levada em consideração a posição das mesmas (pares de estações com latitudes semelhantes) e a disponibilidade de dados para o período analisado. Na Figura 1 são apresentadas

as posições das estações e, em seguida, na Tabela 1 as coordenadas geográficas e localização das mesmas.

Para as análises foram realizados os processamentos dos dados das estações utilizando o posicionamento por ponto preciso em modo estático. Foram utilizados arquivos somente com dados da constelação GPS, somente GLONASS e com dados mistos (GPS e GLONASS). O período selecionado foi o mês de junho de 2017, com o intuito de evitar a influência de atividade ionosférica, que não era o foco do trabalho. Foram utilizados dados de dupla frequência, com tempo de coleta de 30 minutos, com início às 00h TU – Tempo Universal. Todas as edições dos arquivos de observações foram realizadas utilizando o editor TEQC (*Translation, Editing and Quality Checking*) da UNAVCO. Na Figura 2 é apresentada uma esquematização dos dados e configurações utilizados nos processamentos.

Já os processamentos foram realizados utilizando o *software online* CSRS-PPP (*Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning*) da NRCan (*Natural Resources Canada*). Os resultados obtidos com os processamentos foram comparados com as coordenadas oficiais das estações (disponibilizadas na página do IGS), atualizadas para a época do levantamento. A partir das resultantes das discrepâncias calculadas e dos desvios padrão obtidos nos processamentos foram calculados os erros médios quadráticos 3D (EMQs), bem como as médias desses valores e respectivos desvios padrão. Além disso, foi analisado o número de satélites disponíveis para cada estação no período, bem como o número de observações.

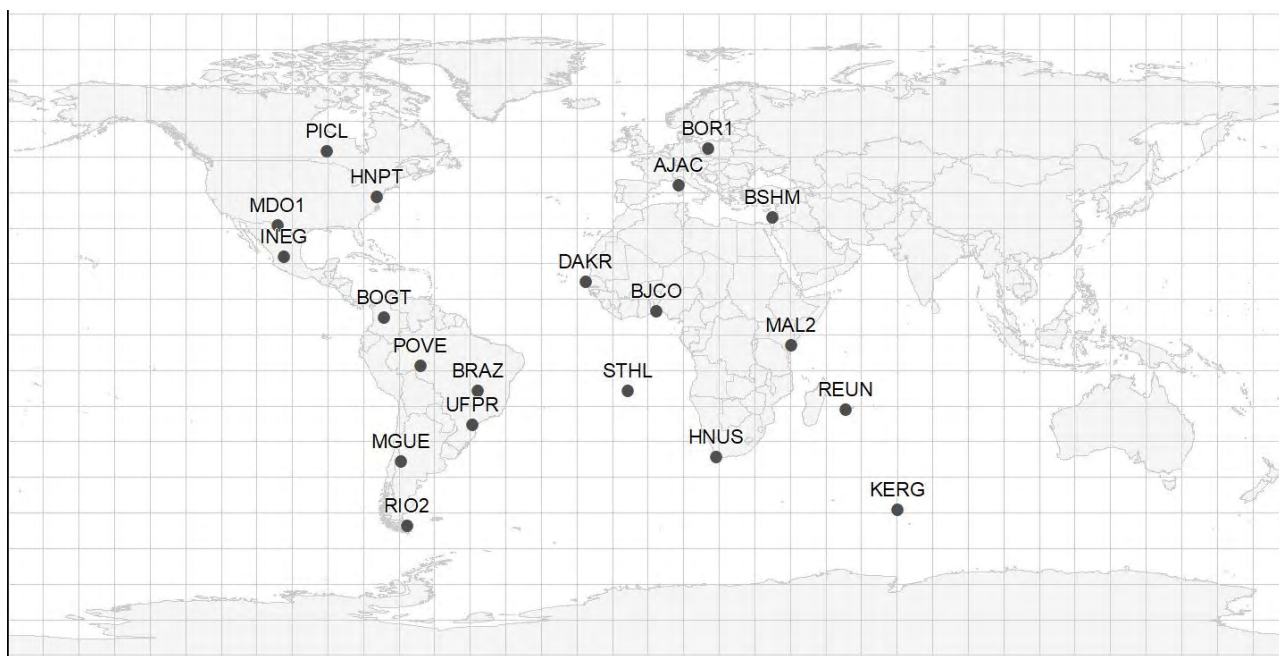


Figura 1 Distribuição das estações da Rede IGS que foram utilizadas.

Estação	Lat	Long	Localização	Estação	Lat	Long	Localização
PICL	51,48	-90,16	Pickle Lake - Canadá	POVE	-8,71	-63,90	Porto Velho - Brasil
BOR1	52,28	17,07	Borowiec - Polônia	MAL2	-3,00	40,19	Malindi - Quênia
HNPT	38,59	-76,13	Cambridge - EUA	BRAZ	-15,95	-47,88	Brasília - Brasil
AJAC	41,93	8,76	Ajaccio - França	STHL	-15,94	-5,67	Longwood - Reino Unido
MDO1	30,68	-104,01	Fort Davis - EUA	UFPR	-25,45	-49,23	Curitiba - Brasil
BSHM	32,78	35,02	Halifa - Israel	REUN	-21,21	55,57	Le Tampon - França
INEG	21,86	-102,28	Aguascalientes - México	MGUE	-35,78	-69,40	Malargue - Argentina
DAKR	14,72	-17,44	Dakar - Senegal	HNUS	-34,42	19,22	Hermanus - África do Sul
BOGT	4,64	-74,08	Bogotá - Colômbia	RIO2	-53,79	-67,75	Rio Grande - Argentina
BJCO	6,38	2,45	Cotonou - Benim	KERG	-49,35	70,26	Territórios Franceses do Sul

Tabela 1 Coordenadas e localizações das estações da Rede IGS que foram utilizadas.



Figura 2 Esquemática dos dados e configurações utilizados.

5 Resultados e discussões

A seguir são apresentados os resultados obtidos com os processamentos descritos. Para sintetizar as informações obtidas, a Tabela 2 apresenta as médias dos EMQs para cada estação considerando o uso de dados GPS, GLONASS e GPS/GLONASS e respectivos desvios padrão.

Para analisar esses mesmos dados de acordo com as posições das estações, os mesmos são apresentados em seguida na Figura 3 (médias) e na Figura 4 (desvios padrão). Os resultados com GPS são apresentados em azul, GLONASS em vermelho e GPS/GLONASS em verde.

Considerando tanto os valores médios de EMQs quanto os respectivos desvios padrão, os melhores resultados foram os obtidos com dados GPS/GLONASS para todas as estações consideradas. Cinco estações obtiveram valores médios de EMQ com dados GLONASS inferiores aos com GPS (BOR1, AJAC, INEG, UFPR e RIO2), o que corresponde a 25% das estações utilizadas. A partir da Figura 3 é possível notar que as mesmas se localizam nos continentes americano e europeu. Além disso, ainda na mesma figura, é possível verificar os maiores valores médios nas estações do continente africano. A Figura 4 destaca a alta variabilidade dos resultados com dados GLONASS na maior parte das estações, novamente com destaque para as estações do continente africano. Considerando os desvios padrão, apenas três estações apresentaram valores obtidos com GLONASS inferiores aos do GPS (AJAC, INEG e RIO2).

A Figura 5 apresenta as porcentagens de dias que obtiveram melhores resultados com o uso dos sistemas de forma autônoma, considerando GPS (azul) e GLONASS (vermelho). Comportamento semelhante ao apresentado anteriormente é verificado, com mais dias com melhor desempenho do GLONASS em estações localizadas nas Américas e na Europa. Em relação a um comportamento diretamente relacionado à latitude das estações, não foi verificado um padrão bem definido. Destacaram-se as estações BOR1, AJAC e UFPR, pela alta porcentagem de dias com melhor desempenho do GLONASS de forma autônoma (em torno de 80% dos dias).

Como já mencionado, todos os casos apresentaram melhores resultados com o uso de dados combinados. Na Tabela 3 são apresentados os percentuais de melhoria média nos processamentos obtidos com o uso de dados combinados em relação aos provenientes apenas de dados GLONASS ou GPS. Conforme os dados anteriores já indicavam, como de forma geral os resultados com GPS apresentaram melhor desempenho, a inclusão de dados GPS aos dados GLONASS levaram a maiores porcentagens de melhoria, se comparado à inclusão de dados GLONASS aos processamentos com GPS. Ainda assim, cinco estações (BOR1, AJAC, INEG, UFPR e RIO2) apresentaram melhor desempenho com a inclusão de dados GLONASS em comparação à inclusão de dados GPS (mesmas estações que apresentaram menores valores médios de EMQs).

Análise do Posicionamento por Ponto Preciso com Dados GPS e GLONASS em Diferentes Latitudes

Gabriel Oliveira Jerez, João Vitor Espinhosa Vieira & Daniele Barroca Marra Alves

Estação	Média (m)			Desvio Padrão (m)		
	GPS	GLONASS	GPS+GLO	GPS	GLONASS	GPS+GLO
PICL	0,5083	0,5150	0,3112	0,0440	0,0968	0,0294
BOR1	0,6439	0,5461	0,3120	0,1141	0,1331	0,0240
HNPT	0,6302	0,8253	0,3472	0,0894	0,3809	0,0469
AJAC	0,8182	0,5980	0,3219	0,1275	0,1161	0,0274
MDO1	0,7978	0,9332	0,3567	0,3065	0,5858	0,0441
BSHM	0,6118	0,8448	0,3662	0,0563	0,4991	0,0591
INEG	0,8469	0,7398	0,3593	0,4219	0,2968	0,0413
DAKR	0,7523	0,9193	0,4392	0,1023	0,3574	0,0768
BOGT	0,7940	1,0156	0,4410	0,2754	0,5561	0,0678
BJCO	0,6091	0,9449	0,4309	0,0482	0,3570	0,0356
POVE	0,6386	0,7274	0,3760	0,0969	0,2209	0,0294
MAL2	0,6070	1,1474	0,4499	0,0514	0,5105	0,0410
BRAZ	0,7591	0,8485	0,3854	0,1018	0,3093	0,0374
STHL	0,5201	1,1673	0,3834	0,0402	0,6276	0,0368
UFPR	0,8075	0,6785	0,3404	0,1209	0,2232	0,0326
REUN	0,6771	1,1202	0,4456	0,0911	0,5418	0,0470
MGUE	0,6625	0,7565	0,3727	0,0564	0,3016	0,0285
HNUS	0,5327	1,0060	0,3805	0,0587	0,5594	0,0675
RIO2	0,6293	0,5756	0,3558	0,2980	0,2114	0,1487
KERG	0,4774	1,3424	0,3651	0,0335	0,7049	0,0483

Tabela 2 Médias e desvios padrão dos EMQs obtidos por estação.

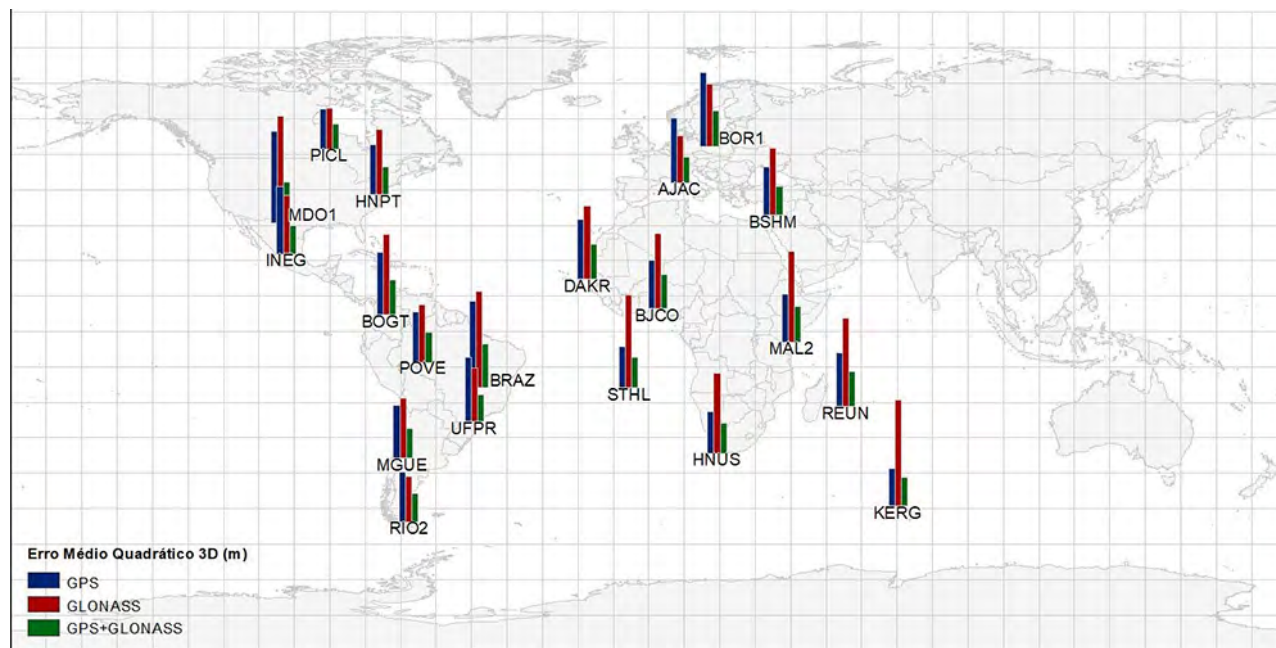


Figura 3 Médias dos EMQs obtidos no PPP com dados GPS, GLONASS e GPS/GLONASS.

Análise do Posicionamento por Ponto Preciso com Dados GPS e GLONASS em Diferentes Latitudes

Gabriel Oliveira Jerez, João Vitor Espinhosa Vieira & Daniele Barroca Marra Alves

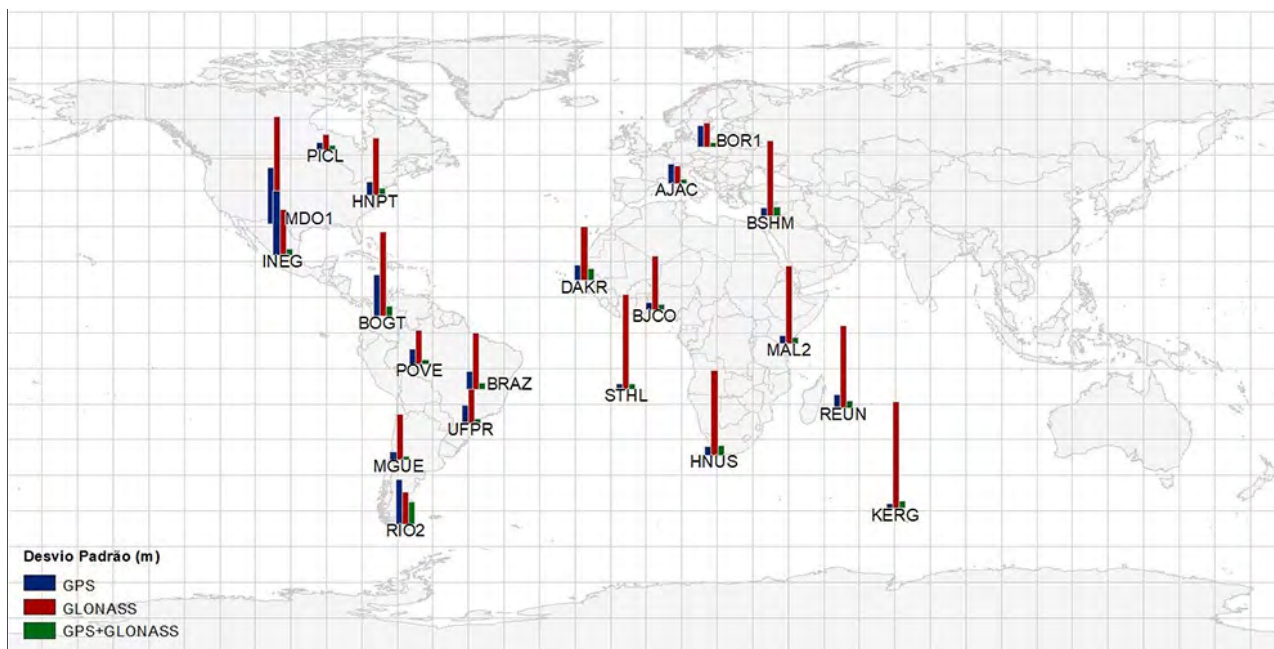


Figura 4 Desvios padrão das médias dos EMQs obtidos no PPP com dados GPS, GLONASS e GPS/GLONASS.

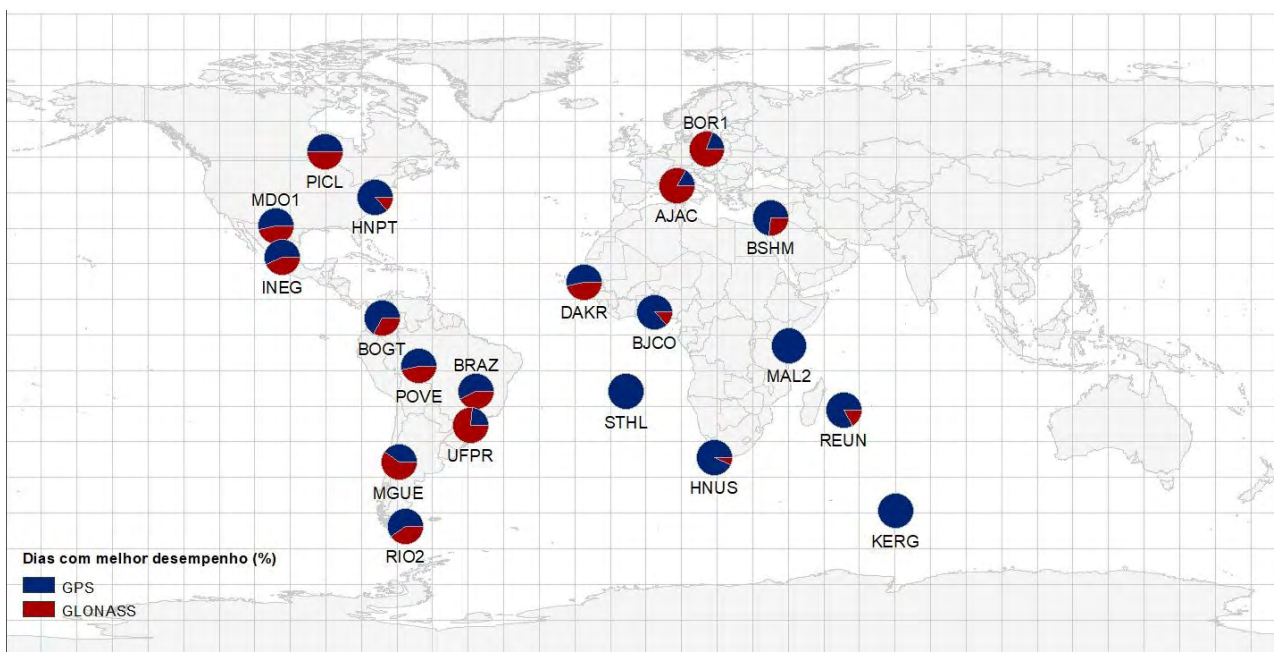


Figura 5 Porcentagens de dias com melhor desempenho no PPP considerando os sistemas GPS e GLONASS.

A Figura 6 apresenta os EMQs por estação para todo o período considerado, em azul são apresentados os resultados a partir de dados GPS, em vermelho os resultados com GLONASS e, em verde os resultados dos processamentos com dados combinados GPS/GLONASS. Considerando os resultados com apenas uma constelação é possível observar maior instabilidade no comportamento

dos resultados com o GLONASS. Apesar disso, em diversos casos foi possível verificar melhor desempenho dos processamentos com apenas dados do GLONASS, como na maior parte dos dias das estações BOR1 (B) e AJAC (D). Em todos os casos analisados a configuração que apresentou melhor desempenho foi a que utilizou dados combinados GPS/GLONASS.

Análise do Posicionamento por Ponto Preciso com Dados GPS e GLONASS em Diferentes Latitudes

Gabriel Oliveira Jerez, João Vitor Espinhosa Vieira & Daniele Barroca Marra Alves

Estação	GPS/GPS+GLO	GLO/GPS+GLO	Estação	GPS/GPS+GLO	GLO/GPS+GLO
PICL	38,77 %	39,56 %	POVE	41,13 %	48,32 %
BOR1	51,55 %	42,87 %	MAL2	25,89 %	60,79 %
HNPT	44,91 %	57,93 %	BRAZ	49,23 %	54,58 %
AJAC	60,66 %	46,17 %	STHL	26,28 %	67,16 %
MDO1	55,29 %	61,77 %	UFPR	57,84 %	49,83 %
BSHM	40,14 %	56,65 %	REUN	34,19 %	60,22 %
INEG	57,57 %	51,43 %	MGUE	43,74 %	50,73 %
DAKR	41,62 %	52,22 %	HNUS	28,58 %	62,18 %
BOGT	44,46 %	56,58 %	RIO2	43,46 %	38,18 %
BJCO	29,26 %	54,39 %	KERG	23,52 %	72,80 %

Tabela 3 Porcentagem de melhoria média com uso de dados GPS e GLONASS comparado ao uso combinado GPS/GLONASS.

Considerando-se a posição das estações, de acordo com a estrutura do GLONASS, era esperado que as estações em latitudes maiores apresentassem melhor desempenho. Não foi observado um padrão bem definido em relação a isso, mas para o hemisfério norte (estações A–J) é possível verificar melhor desempenho das estações em latitudes maiores. As estações PICL (A), BOR1 (B) e AJAC (D) apresentaram os melhores e mais regulares resultados com dados do GLONASS e estão entre as quatro estações com maiores latitudes. No hemisfério sul esse comportamento não foi tão claro, sendo que algumas estações em latitudes médias, como REUN (P), apresentaram desempenho pior que outras próximas ao Equador, como POVE (K).

O número de observáveis apresenta relevante importância para a realização do posicionamento GNSS, principalmente quando são considerados curtos intervalos de coleta. O erro no valor estimado está relacionado ao número de satélites visíveis para a estação durante o levantamento. Para avaliar isso, a Figura 7 apresenta o número de satélites visíveis no período de tempo considerado para cada dia analisado considerando cada estação. Novamente em azul são apresentados os valores para a constelação GPS e em vermelho para o GLONASS. Com esses resultados é possível notar que na maior parte dos dias utilizados o número de satélites GPS visíveis é semelhante à quantidade apresentada pela constelação GLONASS, independente da região.

As maiores diferenças são verificadas em estações como STHL (N), HNUS (R) e KERG (T), que também apresentaram resultados irregulares em diversos dias considerando processamentos com apenas dados GLONASS, conforme Figura 6. Isso contraria o que era esperado em relação à configuração do GLONASS, uma vez que duas dessas estações (HNUS e KERG) estão em latitudes médias. Além disso, a relação entre o número de satélites e o erro obtido não é sempre proporcional, como pode ser verificado com a estação REUN (P), que

apresenta número semelhante de satélites visíveis ao longo dos dias considerados, no entanto diversos valores de EMQ discrepantes foram observados na Figura 6.

Vale ressaltar que os valores apresentados na Figura 7 correspondem ao número de satélites observados durante o tempo de coleta, independentemente do tempo que os mesmos permaneceram visíveis. Portanto, satélites que estavam próximo da oclusão ou que ficaram visíveis no final da coleta também foram considerados, mesmo que tenham fornecido poucas observações. Além disso, vale lembrar que não somente o número de satélites visíveis é determinante para a qualidade do posicionamento, mas também o número de observações coletadas e, ainda, a qualidade das mesmas.

Para analisar as observações utilizadas nos processamentos, na Figura 8 são apresentados os números de observações GPS (azul) e GLONASS (vermelho) utilizadas para cada dia, bem como o número de observações rejeitadas no processamento (valores apresentados em verde). Continuando a análise da estação REUN (P), é possível notar que, apesar de o número de satélites ser semelhante, o número de observações GLONASS coletadas foi menor que o de observações GPS em todos os dias. Isso pode explicar o melhor desempenho do posicionamento com o GPS de forma autônoma.

A partir desses resultados verifica-se ainda que, apesar de algumas estações apresentarem elevado número de observações, isso nem sempre resulta em melhoria significativa no desempenho do posicionamento. É o caso de estações como POVE (K), BRAZ (M) e UFPR (O), que apresentam os maiores números de observações, porém, resultados no posicionamento semelhantes aos valores médios das demais. No entanto, ao se verificar as observações rejeitadas, é possível notar que são valores elevados, indicando qualidade inadequada de grande parte dos dados coletados.

Análise do Posicionamento por Ponto Preciso com Dados GPS e GLONASS em Diferentes Latitudes

Gabriel Oliveira Jerez, João Vitor Espinhosa Vieira & Daniele Barroca Marra Alves

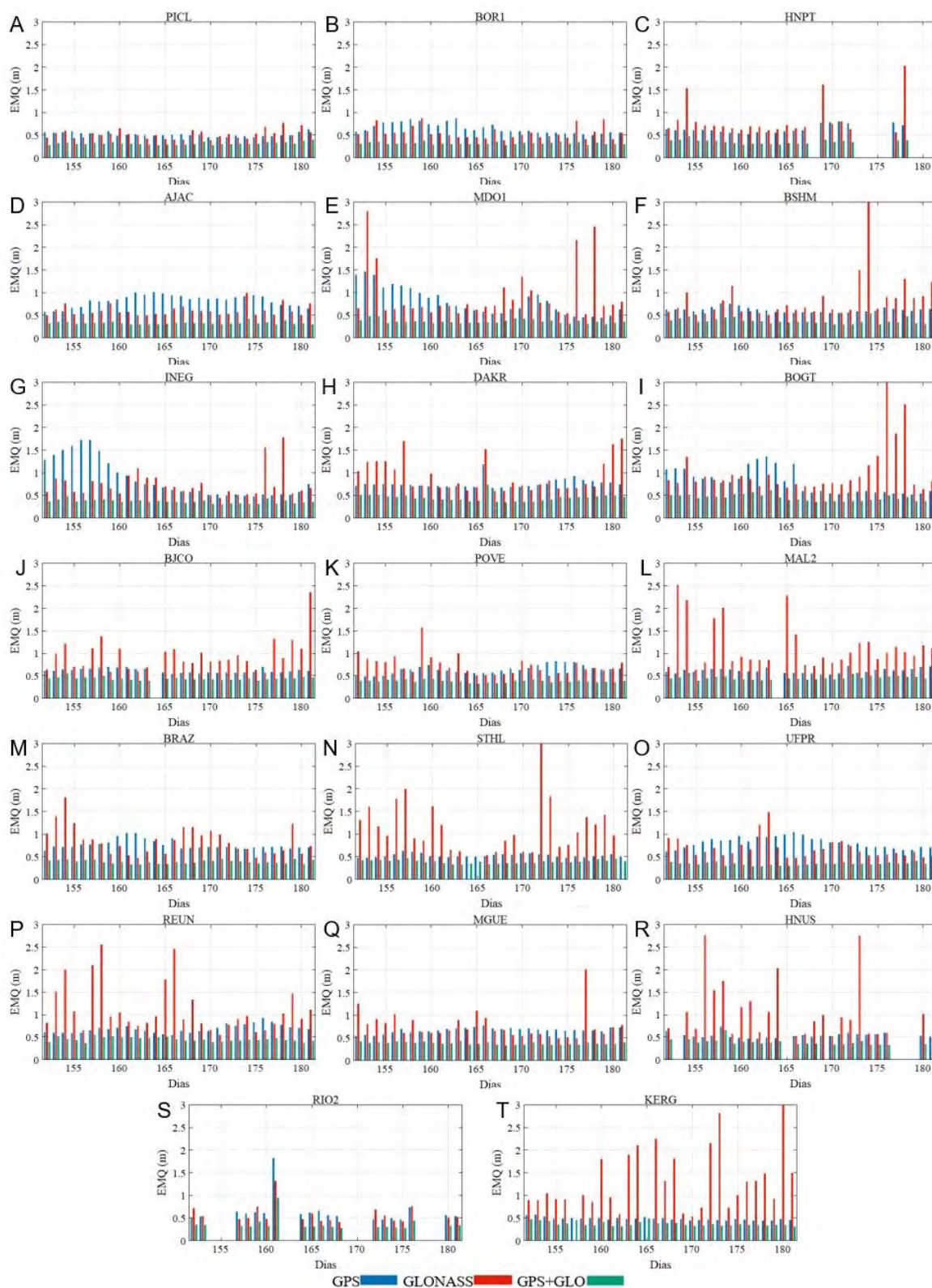


Figura 6 EMQs obtidos com dados GPS, GLONASS e GPS+GLONASS para as estações; A. PICL; B. BOR1; C. HNPT; D. AJAC; E. MDO1; F. BSHM; G. INEG; H. DAKR; I. BOGT; J. BJCO; K. POVE; L. MAL2; M. BRAZ; N. STHL; O. UFPR; P. REUN; Q. MGUE; R. HNUS; S. RIO2; T. KERG.

Análise do Posicionamento por Ponto Preciso com Dados GPS e GLONASS em Diferentes Latitudes
Gabriel Oliveira Jerez, João Vitor Espinhosa Vieira & Daniele Barroca Marra Alves

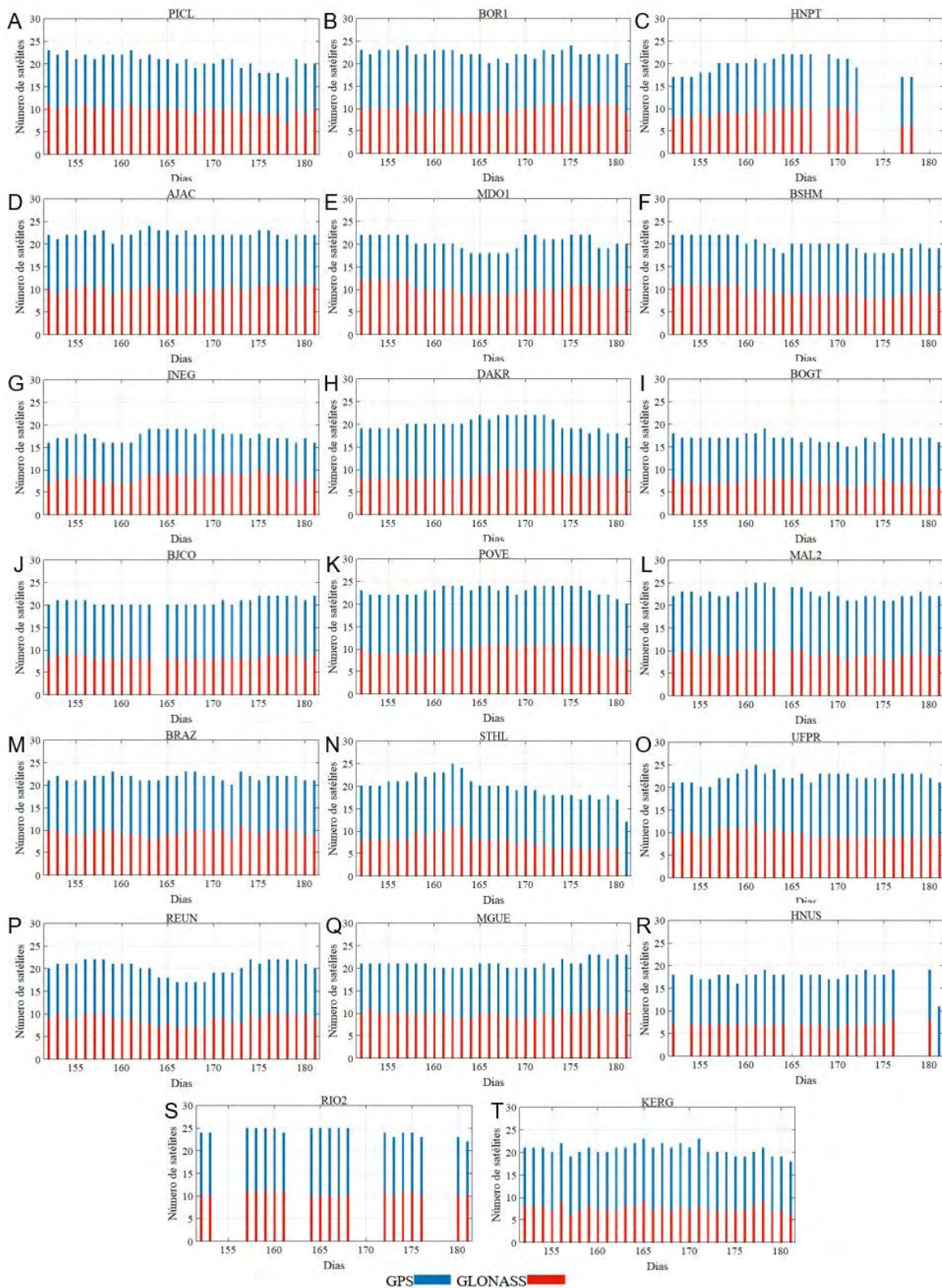


Figura 7 Número de satélites GPS e GLONASS visíveis durante os períodos considerados para cada estação; A. PICL; B. BOR1; C. HNPT; D. AJAC; E. MDO1; F. BSHM; G. INEG; H. DAKR; I. BOGT; J. BJCO; K. POVE; L. MAL2; M. BRAZ; N. STHL; O. UFPR; P. REUN; Q. MGUE; R. HNUS; S. RIO2; T. KERG.

Análise do Posicionamento por Ponto Preciso com Dados GPS e GLONASS em Diferentes Latitudes
Gabriel Oliveira Jerez, João Vitor Espinhosa Vieira & Daniele Barroca Marra Alves

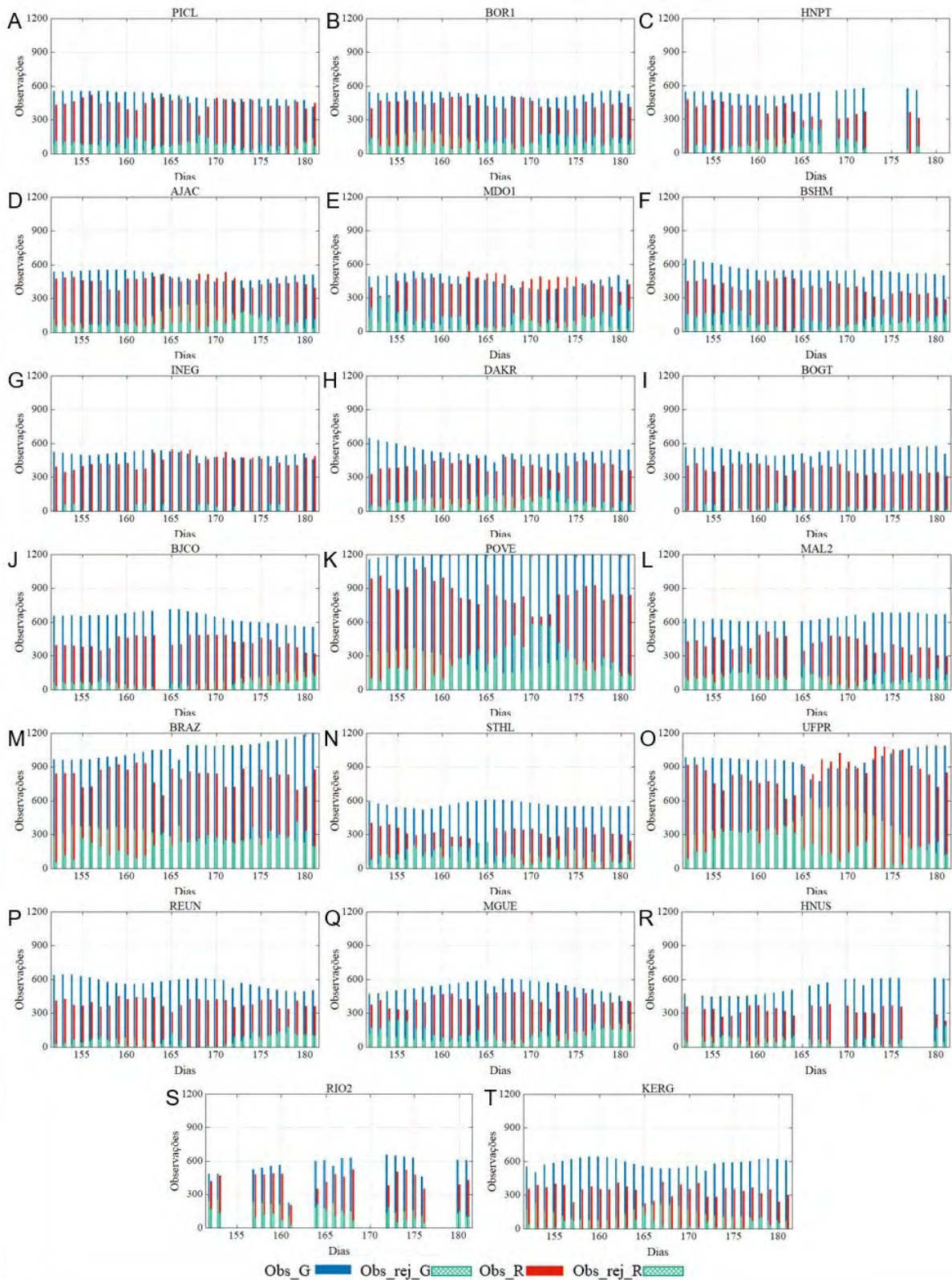


Figura 8 Número de observações utilizadas e rejeitadas para GPS e GLONASS considerando cada estação; A. PICL; B. BOR1; C. HNPT; D. AJAC; E. MDO1; F. BSHM; G. INEG; H. DAKR; I. BOGT; J. BJCO; K. POVE; L. MAL2; M. BRAZ; N. STHL; O. UFPR; P. REUN; Q. MGUE; R. HNUS; S. RIO2; T. KERG.

É possível destacar ainda, casos como o da estação RIO2 (S), uma consideração em relação ao número mínimo de observações utilizadas. No dia 161 o número de observações tanto GPS quanto GLONASS é bem menor que nos demais dias, o que corresponde a um aumento significativo no EMQ obtido no posicionamento em relação ao desempenho observado no restante do mês (Figura 6).

6 Conclusões

Os principais sistemas de posicionamento por satélites, GPS e GLONASS, possuem diferenças em suas configurações e históricos. Entre as diferenças nas estruturas dos sistemas, a diferença no ângulo de inclinação do GLONASS pode fornecer melhor cobertura para médias latitudes. Com isso, o presente trabalho teve por objetivo analisar o desempenho de dados GPS, GLONASS e GPS/GLONASS para posicionamento por ponto preciso em diferentes latitudes. Além das posições das estações e do erro no posicionamento, o presente trabalho considerou ainda o número de satélites visíveis e a quantidade de observações coletadas e rejeitadas nos processamentos.

Os resultados apresentaram variações de uma região para outra, sem demonstrar um padrão claro relacionado à latitude da estação. Em alguns casos, houve melhor desempenho dos resultados com apenas dados GLONASS em comparação aos processamentos com apenas dados GPS. O melhor desempenho do GLONASS se deu nas estações da América e Europa. Em todos os casos analisados, o uso de dados combinados GPS/GLONASS proporcionou os melhores resultados no posicionamento.

7 Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de doutorado do primeiro autor (Processo 1726017) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de iniciação científica

do segundo autor (Processo 156824/2018-3) e pela bolsa Produtividade em Pesquisa (PQ) da terceira autora (Processo 303553/2017-0).

8 Referências

- Bruyninx, C. 2007. Comparing GPS-only with GPS + GLONASS positioning in a regional permanent GNSS network. *GPS Solutions*, 11: 97-106.
- GPS. Disponível em <<http://www.gps.gov/systems/gps/space>>. Acesso em Nov. 2018.
- GLONASS. Disponível em <<https://www.glonass-iac.ru/en/GPS/index.php>>. Acesso em Nov. 2018a.
- GLONASS. Disponível em <<https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/>>. Acesso em Nov. 2018b.
- Héroux, P. & Kouba, J. 2001. GPS precise point positioning using IGS orbit products. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26 (6-8): 573-578.
- Hofmann-Wellenhof, B.; Lichtenegger, H. & Wasle, E. 2008. *GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo, and more*. New York: Springer-Verlag. 516 p.
- Langley, R.B.; Teunissen, P.J.G. & Montenbruck, O. 2017. Introduction to GNSS. In: TEUNISSEN, P. & MONTENBRUCK, O., (eds.). *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*. Springer: Cham, p. 3-23.
- Pan, L.; Cai, C.; Santerre, R. & Zhu, J. 2014. Combined GPS/GLONASS precise point positioning with GPS ambiguities. *Sensors*, 14 (9): 17530-17547.
- Polezel, W.G.C. 2010. Investigações sobre o impacto da modernização do GNSS no posicionamento. Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, Dissertação de Mestrado, 106 p.
- Revnivkyh, S. Bolkunov, A. Serdyukov, A. & Montenbruck, O. 2017. GLONASS. In: TEUNISSEN, P. & MONTENBRUCK, O. (eds.). *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*. Springer, Cham, p. 219-245.
- Seeber, G. 2003. *Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications*. Berlin, New York: Walter de Gruyter. 610 p.
- Ventorim, B. G. & Dal Poz, W. R. 2016. Avaliação do desempenho dos sistemas GPS e GLONASS no posicionamento por ponto preciso, combinados e individualmente. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 22(2): 264-281.