

**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO**

FELIPE AUGUSTO MOREIRA SOARES
WESLEY MOREIRA DANTAS
21500730
21507624

**PROTOCOLO DE TEMPO PARA REDES (NTP): UTILIZANDO O
SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL COMO REFERÊNCIA DE
TEMPO CONFIÁVEL**

FELIPE AUGUSTO MOREIRA SOARES
WESLEY MOREIRA DANTAS

**PROTOCOLO DE TEMPO PARA REDES (NTP): UTILIZANDO O
SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL COMO REFERÊNCIA DE
TEMPO CONFIÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado
como um dos requisitos para a conclusão do curso de
Engenharia de Computação do CEUB – Centro
Universitário de Brasília.

Orientador: **Prof. Me. Francisco Javier de Obaldia
Díaz**

FELIPE AUGUSTO MOREIRA SOARES
WESLEY MOREIRA DANTAS

**PROTOCOLO DE TEMPO PARA REDES (NTP): UTILIZANDO O
SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL COMO REFERÊNCIA DE
TEMPO CONFIÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado
como um dos requisitos para a conclusão do curso de
Engenharia de Computação do CEUB – Centro
Universitário de Brasília

Orientador: **Prof. Me. Francisco Javier de Obaldia
Diaz**

Brasília, 2022.

BANCA EXAMINADORA

Me. Francisco Javier de Obaldia Diaz
Orientador

Dr. Sidney Cerqueira Bispo dos Santos
Examinador

Dr. Tiago Leite Pereira
Examinador

PROTOCOLO DE TEMPO PARA REDES (NTP): UTILIZANDO O SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL COMO REFERÊNCIA DE TEMPO CONFIÁVEL

Network Time Protocol (NTP): Using the Global Positioning System as a
reliable time reference

Felipe Augusto Moreira Soares e Wesley Moreira Dantas¹, Francisco Javier de Obaldia Diaz²,
Sidney Cerqueira Bispo dos Santos³, Tiago Leite Pereira⁴

Resumo

Desde os primórdios da sociedade, a medição do tempo é fundamental para que haja sincronismo entre os diversos eventos que acontecem em nosso mundo. Com o advento da internet, os computadores e outros dispositivos passaram a exigir uma referência de tempo confiável para que pudessem se comunicar adequadamente entre si e garantir que os sistemas funcionassem conforme esperado, apesar das diferentes escalas de tempo utilizadas ao redor do planeta. Esse trabalho tem como objetivo apresentar os conceitos do Protocolo de Tempo para Redes (NTP) e a aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) como uma referência de tempo confiável. A partir dos resultados obtidos, foi possível demonstrar que a utilização do GPS garante uma sincronização precisa do relógio dos dispositivos conectados à rede por meio do protocolo NTP, mesmo na ausência de conexão à internet.

Palavras-chave: Protocolo de Tempo para Redes. Sistema de Posicionamento Global. Referência de tempo.

Abstract: Since the beginning of society, the measurement of time is fundamental for there to be synchronism between the various events that take place in our world. With the advent of the Internet, computers and other devices began to require a reliable time reference so that they could communicate properly with each other and ensure that the systems functioned as expected, despite the different time scales used around the planet. This work aims to present the concepts of the Network Time Protocol (NTP) and the application of the Global Positioning System (GPS) as a reliable time reference. From the results obtained, it was possible to demonstrate that the use of GPS ensures an accurate synchronization of the clock of devices connected to the network through the NTP protocol, even in the absence of an internet connection.

keywords: Network Time Protocol. Global Positioning System. Time reference.

¹ UniCEUB, aluno.

² UniCEUB, orientador.

³ UniCEUB, primeiro examinador.

⁴ UniCEUB, segundo examinador.

1 INTRODUÇÃO

Para muitos softwares, a obtenção de um tempo preciso por meio dos relógios embutidos nos diferentes sistemas operacionais é fundamental para evitar problemas em seu funcionamento e a ocorrência de sérios impactos nos eventos do mundo real.

Aplicações de tempo real e sistemas transacionais financeiros são alguns exemplos de sistemas que possuem grande sensibilidade à sincronização do tempo. No fator segurança, também é necessário que haja sincronismo entre os relógios de diferentes sistemas para que seja possível conduzir auditorias por meio de análise de logs contendo estampas de tempo dos eventos.

Os relógios dos computadores funcionam graças a um oscilador, geralmente baseado em cristal de quartzo, que gera eventos cíclicos a uma determinada frequência. Outro dispositivo que integra o mecanismo de tempo dos computadores é o contador, responsável por acumular os ciclos gerados pelo oscilador e convertê-los em unidades de medidas conhecidas (minutos, segundos, horas).

Saltos no tempo dos relógios dos computadores, quando não intencionais, podem ocorrer para o futuro ou para o passado, devido a flutuação de curta duração na frequência do oscilador, elevada utilização do processador, latência na rede, etc. O desvio estimado nas leituras do relógio é chamado de dispersão, enquanto a diferença de tempo entre dois relógios é chamada de deslocamento. Tais medidas são algumas das utilizadas pelo algoritmo do Protocolo de Tempo para Redes (NTP) para sincronizar o relógio em relação à fontes de tempo confiáveis e garantir maior exatidão do tempo.

A arquitetura do protocolo NTP é formada por uma topologia hierárquica, cujas camadas, também conhecidas como estratos (stratum), são numeradas de 0 a 16, apesar do estrato 0 ser utilizado apenas para representar a referência primária de tempo,

uma vez que não faz parte da rede de servidores NTP. (Comitê Gestor da Internet no Brasil, s.d.)

Uma característica notável da arquitetura NTP, é que o dispositivo pode assumir simultaneamente o papel de servidor e cliente, ou seja, pode fornecer o tempo para outros dispositivos ou consultar o tempo para sincronizar o seu próprio relógio.

Obedecendo o princípio da arquitetura hierárquica, o relógio de referência, classificado como estrato 0, fornece o tempo para os dispositivos da camada imediatamente inferior (estrato 1), e estes para os dispositivos estrato 2 e assim subsequentemente. Uma vez que o estrato representa a distância entre o dispositivo e o relógio de referência, quanto mais próximo da raiz, maior será a exatidão do tempo, considerando que não haja outros fatores interferindo na sincronização do tempo, como a carga de utilização do servidor NTP e a latência da rede.

O sistema de posicionamento global GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, com o intuito de substituir as fontes de orientação pouco precisas, que na época utilizavam o Sol e as estrelas.

Zanotta, Cappelletto e Matsuoka (2011) explicam que o GPS consiste em 24 satélites igualmente espaçados e distribuídos em seis planos orbitais, onde cada plano conta com quatro satélites, permitindo que o receptor receba informações de no mínimo quatro satélites diferentes para calcular a sua posição.

Cada um dos satélites transmite um sinal de rádio contendo as informações sobre a sua posição orbital, o receptor então armazena o tempo medido em seu próprio relógio e os valores recebidos pelos quatro satélites disponíveis no plano. Com base nos tempos recebidos é possível calcular a distância linear de cada um dos satélites pela subtração dos tempos, com a distância de cada um dos satélites é possível saber a sua localização.

Para que todo esse sistema funcione de forma eficaz, é necessário uma precisão temporal na ordem de bilionésimos de

segundo. Com a necessidade de uma precisão tão grande, os relógios atômicos se tornam extremamente importantes para o funcionamento do GPS.

Os relógios atômicos são extremamente confiáveis e precisos, sendo perfeita a sua utilização em satélites. Existem alguns tipos de relógios atômicos. O mais utilizado é o de césio 133, que tem uma precisão de erro de um segundo em 300 mil anos. Até os relógios mais precisos necessitam de correções, os relógios atômicos utilizados pelos satélites são sincronizados com os relógios da Estação de Controle Central no Colorado, Estados Unidos. (ZANOTTA; CAPPELLETTI; MATSUOKA, 2011).

As correções se fazem necessárias devido a anormalidades como: radiação, temperaturas e efeitos relativísticos, que influenciam no funcionamento dos relógios atômicos embarcados nos satélites. O tempo atômico é a escala de tempo uniforme desses relógios, e a escala de tempo fundamental é o TAI (Tempo Atômico Internacional), o TAI por ser extremamente preciso não se mantém sincronizado com o tempo universal baseado no dia solar, devido ao movimento não uniforme da Terra. Para que ambos se mantenham sincronizados o horário UTC (Tempo Universal Coordenado), é incrementado periodicamente por saltos de segundos baseados no TAI. (ASHBY, 2003).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os padrões do Protocolo de Tempo para Redes (NTP) e especificações do algoritmo são mantidas pela Internet Engineering Task Force (IETF).

O RFC 5905 define que o objetivo do protocolo NTP é:

Transmitir informações de cronometragem desses servidores primários para servidores de horário secundários e clientes, tanto via redes privadas quanto pela internet pública. Ajustado com precisão, algoritmos mitigam erros que podem resultar de interrupções de rede, falhas do servidor e possíveis ações hostis. (IETF, 2010, tradução nossa).

Quanto aos modos de operações de uma implementação NTP, o RFC 5905 especifica três possibilidades distintas:

Uma implementação NTP opera como servidor primário, servidor secundário, ou cliente. Um servidor primário é sincronizado com um relógio de referência diretamente rastreável para UTC (por exemplo, GPS, Galileo, etc.). Um cliente sincroniza com um ou mais servidores upstream, mas não fornece sincronização para clientes dependentes. Um servidor secundário tem um ou mais servidores upstream e um ou mais servidores ou clientes downstream. (IETF, 2010, tradução nossa).

Tendo em vista que o protocolo NTP pode trabalhar com diferentes fontes de tempo, para disciplinar o relógio, o algoritmo deve realizar medições frequentes em cada uma das fontes de tempo para determinar qual será a fonte primária selecionada para sincronização, as fontes que poderão ser utilizadas como pares para contribuir com a disciplina do relógio e ainda as fontes que apresentam inconformidades com as métricas aceitáveis e, portanto, serão descartadas pelo algoritmo.

Acerca das fontes de tempo classificadas como *false timers* e do funcionamento do algoritmo de seleção, o RFC 5905 define:

O processo do sistema inclui os algoritmos de seleção, agrupamento e combinação que mitigam entre os vários servidores e relógios de referência para determinar os candidatos mais precisos e confiáveis para sincronizar o relógio do sistema. O algoritmo de seleção usa princípios bizantinos de detecção de falhas para descartar os candidatos presumivelmente incorretos chamados "*false timers*" da população incidente, deixando apenas bons candidatos chamados "*true timers*". Um *true timer* é um relógio que mantém a precisão de cronometragem para um padrão anterior de publicação e confiabilidade, enquanto um *false timer* é um relógio que mostra um tempo enganoso ou inconsistente. (IETF, 2010, tradução nossa).

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

O trabalho toma como base a pesquisa em diversas fontes de material especializado sobre o Protocolo de Tempo para Redes (NTP) e sobre o Sistema de Posicionamento Global (GPS). Trata-se de uma pesquisa aplicada que objetiva gerar conhecimentos sobre a solução de problemas relacionados à sincronização de serviços em redes. Quanto à forma de abordagem do problema, busca-se quantificar, com base em simulação, com medições de tempo, deslocamento e precisão dos relógios. Na busca dos objetivos explorou-se critérios e técnicas já utilizados pela tecnologia na sincronização entre máquinas e serviços de redes, permitindo realizar descritivos de estudos e análises que fundamentam a aplicação da solução aqui apresentada

Os softwares utilizados para atender as requisições de sincronização de tempo nos sistemas operacionais e disciplinar o relógio local são chamados de *daemon* NTP. Além de atenderem os padrões definidos no RFC 5905, os *daemons* NTP geralmente possuem diversas funcionalidades e parâmetros que podem ser configurados para alcançar resultados satisfatórios em diferentes cenários.

No presente trabalho, foi utilizado o software *chrony* como implementação do Protocolo de Tempo para Redes (NTP) e o software *GPSd*, responsável por monitorar e disponibilizar os dados obtidos a partir do receptor do Sistema de Posicionamento Global (GPS) conectado por meio da porta USB.

Foi utilizado o módulo receptor GPS GT-U7, que possui interface USB 2.0 como alternativa para UART e 50 canais de recepção. O módulo conta ainda com uma antena passiva e ativa, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1: Módulo receptor GPS GT-U7.



Fonte: De autoria própria.

O ambiente de implementação consistiu em uma máquina virtual com sistema operacional Ubuntu Server. Após a instalação das implementações, os parâmetros do serviço *GPSd* foram configurados para inicializar o *daemon* durante o boot do sistema operacional e coletar o dispositivo a partir da porta USB. Também foi habilitado o parâmetro de *hot swap* para que o sensor de GPS seja adicionado automaticamente ao *daemon* sem necessidade de reinicialização do sistema, como mostra a Figura 2.

Figura 2. Parâmetros definidos no arquivo de configuração do *GPSd*.

```
GNU nano 6.2 /etc/default/gpsd
# Devices gpsd should collect to at boot time.
# They need to be read/writeable, either by user gpsd or the group dialout.

START_DAEMON="true"

DEVICES="/dev/ttyUSB0"

# Other options you want to pass to gpsd
GPSD_OPTIONS="-n"

# Automatically hot add/remove USB GPS devices via gpsdctl
USBAUTO="true"
```

Fonte: De autoria própria.

Os parâmetros do *daemon* NTP (*Chronyd*) foram definidos para utilizar quatro diferentes servidores públicos NTP *stratum 1* e *stratum 2* mantidos pelo Comitê Gestor da Internet no Brasil (NTP.br), além do próprio receptor GPS como relógio de referência (*refclock*), identificado como NMEA, como mostra a Figura 3.

A inclusão de servidores públicos NTP para funcionamento em conjunto com a fonte

de tempo local (receptor GPS) teve como objetivo comparar os resultados dos indicadores de delay, offset e jitter obtidos a partir de cada fonte de tempo.

Figura 3. Parâmetros definidos no arquivo de configuração do chrony.

```
GNU nano 6.2 /etc/chrony/chrony.conf
server a.st1.ntp.br iburst
server b.st1.ntp.br iburst
server c.st1.ntp.br iburst
server d.st1.ntp.br iburst
refclock SHM 0 refid NMEA
```

Fonte: De autoria própria.

Os valores dos indicadores foram obtidos a partir do comando *chronyc sources*, que exibe todas as fontes de tempo e seus respectivos indicadores, como mostra a Figura 4.

Figura 4. Saída do comando *chronyc sources*, contendo o valor atual dos indicadores de cada fonte de tempo configurada no *daemon NTP*.

```
Every 1.0s: chronyc sources
MS Name/IP address Stratum Poll Reach LastRx Last sample
-----
#x NMEA 0 4 37 9 +50ms [ +50ms] +/- 942us
* a.st1.ntp.br 1 6 37 13 +777us [ -51ms] +/- 13ms
+ b.st1.ntp.br 2 6 37 13 -4501us [ -56ms] +/- 30ms
- c.st1.ntp.br 2 6 37 13 +1857us [+1857us] +/- 19ms
+ 200.20.186.76 1 6 37 13 +1368us [ -50ms] +/- 14ms
```

Fonte: De autoria própria.

Para cada fonte de tempo, o *daemon NTP* exibe como saída do comando *chronyc sources* os indicadores:

M: Indica o modo da fonte de tempo, podendo ser um servidor (^), um par combinado com outra fonte de tempo (=) ou um relógio de referência conectado localmente (#).

S: Mostra o estado em que se encontra a seleção da fonte de tempo, podendo ser a melhor fonte atualmente selecionada para sincronização (*), outras fontes que foram selecionadas para sincronização e combinadas com a melhor fonte (+), fonte considerada selecionável para sincronização mas não selecionada no momento(-), uma fonte que o *chronyd* acredita ser um *false ticker* e portanto não selecionada para sincronização (x), uma fonte cujo tempo sofre muita variação (~) e fonte considerada não selecionável para sincronização por

outro motivo, como insuficiência de medições ou por estar inacessível (?).

Name/IP Address: Mostra o nome ou o endereço IP da fonte de tempo ou o identificador de referência para relógios de referência.

Stratum: Mostra o estrato atual da fonte de tempo, conforme relatado em sua amostra mais recente.

Poll: Mostra a taxa na qual a fonte de tempo está sendo pesquisada, como um algoritmo de base 2 no intervalo em segundos. Esta taxa é variável, sendo ajustada dinamicamente pelo *daemon NTP* em resposta às condições prevaletentes, exceto quando definida manualmente nos parâmetros de configuração.

Reach: Mostra o valor de acessibilidade da fonte de tempo, como um número octal. Um valor de 377 indica que uma resposta válida foi recebida para todas as últimas oito transmissões. No início das transmissões, o registrador é incrementado a partir do valor zero até atingir o valor máximo correspondente a oito transmissões bem sucedidas.

Last Sample: Mostra o deslocamento (*offset*) entre o relógio local e a fonte de tempo na última medição. O deslocamento real medido é mostrado entre colchetes. O número após o indicador +/- exibe a margem de erro na medição.

As informações gerais sobre o GPS são consultadas a partir do *gpsmon*, um software monitor que coleta os pacotes oriundos de um GPS e exibe informações de diagnóstico. Tais informações foram observadas a partir da execução do comando *gpsmon*, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5. Saída do comando *gpsmon*, contendo informações provenientes do GPS.


```
tcp://localhost:2947 u-blox)
Ch PRN Az El S/N Flag U EDEF Pos: +4099227.95m -4569959.97m -1728634.15m
0 1 211 55 34 070d Y EDEF Vel: -0.02m/s +0.07m/s -0.01m/s
1 3 211 23 0 0104 LTP Pos: -15.82678956' -48.10807672' 1244.19m
2 4 276 40 22 040d Y LTP Vel: 0.00m/s 0.0' 0.00m/s
3 8 335 25 37 070d Y
4 9 295 10 20 0404
5 10 84 1 0 0104 Time: 2 00:13:10.00
6 14 0 -91 25 0300 Time GPS: 2236+179590.000 Day: 2
7 18 0 -91 26 0300 Est Pos Err: 12.93,04st Vel Err: 0.00m/s
8 21 253 84 39 070d Y PRNs: 5 PDOP: 3.4 Fix 0x09 Flags 0x0d
9 26 57 13 20 040d Y NAV_SOL
10 27 6 10 0 010c
11 31 120 41 25 0404 DOP [H] 1.90[V] 2.90[P] 3.40[T] 2.00[G] 4.00
12 32 134 0 0 0104 NAV_DOP
13 120 67 48 0 0110
14 133 263 31 0 0110
15 138 279 21 0 0110
NAV_SVINFO
(24) b5620130e0c008c2580a130300003010d07227b9300820100000f030401001cd300000000009040d0416281401aa
rfffff0108d0725194f0110000000090404140a27010000000080a040100154000000000b0e000319a500000000000
001012000318a50000000000006150d072554f60040000000a1a0d04150d39078f8ffff041b0c0100a060000000000000
1f040317257800000000011200401000860000000000c7810010030430000000013851001001f1b0100000000000a10
0100151701000000005c3100100a50000000000007e4100100a500000000000002c5100100a50000000000007a49
(25) b56201041200f0c559a0b015501c8001e10900c06400c55d
(24) b562012010000c2580af28ffefff0c08100316000000c0b3
(24) b56201053400f0c559a0a91ffefff0c08030dafec6e189f0c0c2e44950b2f5d10400000ffffff07000000ffffff40d
00005501020584d30100d2e9
(24) b5620130e0c0f0c5590a130300003010d07227b9300820100000f030401001cd300000000009040d0416281401aa
rfffff0108d0725194f0110000000090404140a27010000000080a040100154000000000b0e000319a500000000000
001012000318a50000000000006150d072554f60040000000a1a0d04140d39078f8ffff041b0c0100a060000000000000
1f040317257800000000011200401000860000000000c7810010030430000000013851001001f1b0100000000000a10
0100151701000000005c3100100a50000000000007e4100100a500000000000002c5100100a500000000000060c0
(25) b56201041200f0c559a0b015501c8001e10900c06400c55d
(24) b562012010000c2580af28ffefff0c08100316000000c0b6
```

Fonte: De autoria própria.

O monitor *gpsmon* exibe na interface do terminal as seguintes informações:

TOFF: Mostra o deslocamento de tempo (*time offset*) entre o relógio do GPS e o relógio local

Ch: Mostra os canais de satélite atualmente conectados e seus respectivos parâmetros.

LTP Pos: Mostra a latitude e longitude, com base na localização geográfica do receptor GPS.

Time: Mostra a hora do GPS no fuso horário UTC, obtida a partir dos relógios atômicos das constelações de satélites.

A utilização da saída serial NMEA do sensor GPS sem um sinal de pulso-por-segundo (PPS), impede que o relógio do oscilador local seja disciplinado com um alto grau de precisão. O valor de deslocamento do horário do GPS pode ser reduzido comparando o deslocamento do GPS com outras fontes de tempo confiáveis, como os servidores públicos do NTP.br, administrados pelo Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br). Tendo em vista que a fonte de tempo conectada localmente apresenta um considerável deslocamento em relação às demais fontes de tempo utilizadas pelo *daemon* NTP, o GPS é classificado como um *false-ticker* e as amostras recebidas a partir dele deixam de ser utilizadas pelo NTP para disciplinar o relógio, uma vez que

seu horário é inconsistente com a maioria das outras fontes. Para realizar a medição das estatísticas de deslocamento, os registros de *log* de monitoramento do *daemon* NTP foram habilitados no arquivo de configuração do *Chrony* por meio da inclusão do parâmetro *log tracking measurements statistics*, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6: Arquivo de configuração do *chrony* contendo os parâmetros necessários para habilitar o registro das estatísticas em arquivo de *log*.

```
GNU nano 6.2
# Uncomment the following line to turn logging on.
log tracking measurements statistics

# Log files location.
logdir /var/log/chrony
```

Fonte: De autoria própria.

Dessa forma, foi possível monitorar a variação do deslocamento do GPS em relação a outra fonte de tempo selecionada como confiável pelo *daemon* NTP. Após isso, o *daemon* NTP foi reiniciado para que pudesse realizar a sincronização com as fontes de tempo configuradas e as estatísticas de deslocamento da fonte NMEA (GPS) registradas no arquivo de *log* a cada nova amostra recebida, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7: Saída do arquivo de *log* gerado pelo *daemon* NTP contendo as estatísticas de monitoramento da fonte de tempo NMEA (GPS).

```
2022-11-27 02:09:10 NMEA 1.126e-03 6.101e-02
2022-11-27 02:09:26 NMEA 1.234e-03 6.115e-02
2022-11-27 02:09:41 NMEA 1.575e-03 6.190e-02
2022-11-27 02:09:56 NMEA 1.028e-03 6.705e-02
2022-11-27 02:10:13 NMEA 9.660e-04 6.790e-02
2022-11-27 02:10:27 NMEA 1.655e-03 6.686e-02
2022-11-27 02:10:45 NMEA 1.628e-03 6.732e-02
2022-11-27 02:11:02 NMEA 1.043e-03 6.510e-02
2022-11-27 02:11:18 NMEA 4.720e-04 6.322e-02
2022-11-27 02:11:34 NMEA 5.504e-04 6.301e-02
2022-11-27 02:11:49 NMEA 5.719e-04 6.172e-02
2022-11-27 02:12:05 NMEA 7.564e-04 6.155e-02
2022-11-27 02:12:21 NMEA 7.881e-04 6.129e-02
2022-11-27 02:12:37 NMEA 9.103e-04 6.159e-02
```

Fonte: De autoria própria.

As estatísticas registradas no arquivo de *log* pelo *daemon* NTP incluem a data e hora da amostra em UTC, a identificação da fonte de tempo (podendo ser o nome para fontes

locais ou endereço IP para fontes remotas), o desvio padrão estimado das medições da fonte e o deslocamento estimado da fonte em segundos. As estatísticas obtidas foram filtradas para contemplar somente a fonte NMEA (GPS) e os dados extraídos foram inseridos em uma tabela contendo o *timestamp* (data e hora) e o respectivo deslocamento da fonte de tempo.

Com base na variação do deslocamento ao longo do tempo, é possível determinar o valor médio do deslocamento para especificar uma correção em segundos que será aplicada aos *offsets* medidos com esta fonte de tempo, resultando em uma compensação da assimetria conhecida devido a erros de *timestamp* e atrasos no recebimento dos pacotes de dados enviados pelo receptor GPS por meio da comunicação serial.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao analisar os primeiros resultados de sincronização e seleção de fonte de tempo pelo *daemon* NTP (*chronyd*), verificou-se que o relógio de referência conectado localmente (GPS), identificado como NMEA, estava sendo classificado como um *false ticker* e, conseqüentemente, excluído da seleção pelo algoritmo como fonte de tempo a ser utilizada para sincronização.

Em contrapartida, o servidor NTP remoto *stratum 1*, operado pelo Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br) foi selecionado pelo algoritmo como melhor fonte para sincronização, enquanto dois outros servidores remotos foram combinados com a fonte primária, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8: Estado de seleção e demais informações sobre as fontes de tempo acessadas pelo *chronyd*.

```

Every 1.0s: chronyc sources
=====
MS Name/IP address Stratum Poll Reach LastRx Last sample
-----
#* NMEA                0  4  37   9  +50ms [ +50ms] +/-  942us
#* a.st1.ntp.br        1  6  37  13  +777us [ -51ms] +/-   13ms
#+ b.st1.ntp.br        2  6  37  13  -4501us [ -56ms] +/-   30ms
#- c.st1.ntp.br        2  6  37  13  +1857us [+1857us] +/-   19ms
#+ 200.20.186.76       1  6  37  13  +1368us [ -50ms] +/-   14ms

```

Fonte: De autoria própria.

Os resultados das medições apresentadas na coluna “*Last sample*” mostram o deslocamento entre o relógio local e a fonte na última medição. Nota-se que o valor do deslocamento do relógio de referência (GPS) está 50 milissegundos à frente do relógio local. As demais fontes de tempo escolhidas pelo algoritmo de seleção, incluindo as fontes combinadas, tiveram o deslocamento medido entre +1368 e -4501 microssegundos.

A grande diferença no deslocamento do relógio de referência conectado localmente em relação às demais fontes de tempo ocorre devido a atrasos significativos e inconsistentes na conexão do receptor GPS com o Barramento Serial Universal (USB).

A ausência do sinal de pulso por segundo (PPS) em uma linha geradora de interrupções, como a porta GPIO (General Purpose Input/Output), provoca considerável deslocamento no relógio de referência.

A relevância da interface de sinal PPS pode ser definida da seguinte forma:

Alguns relógios de rádio e equipamentos de cronometragem relacionados têm um sinal de pulso por segundo (PPS) que pode ser usado para disciplinar o oscilador de relógio local com um alto grau de precisão, normalmente na ordem de menos de 20 ms no tempo e 0,01 PPM em frequência. (MILLS, s.d., tradução nossa).

Para remediar o deslocamento provocado pela ausência do sinal PPS e fazer com que o relógio de referência fosse selecionado pelo algoritmo do NTP como melhor fonte para sincronização, calculou-se o valor médio de deslocamento (*offset*) de 24 medições provenientes das amostras do receptor GPS ao longo do tempo em relação ao relógio local, o qual estava sincronizado com uma fonte de tempo confiável, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Medições do deslocamento (*offset*) ao longo do tempo do relógio de referência.

Timestamp	Offset
00:56:46	6.93E-02
00:57:01	6.94E-02
00:57:18	6.95E-02
00:57:33	6.96E-02
00:57:50	6.98E-02
00:58:07	6.99E-02
00:58:24	6.99E-02
00:58:38	7.00E-02
00:58:54	7.02E-02
00:59:10	7.01E-02
00:59:27	6.99E-02
00:59:42	7.00E-02
00:59:59	7.02E-02
01:00:14	7.03E-02
01:00:28	7.04E-02
01:00:46	7.05E-02
01:01:02	7.05E-02
01:01:19	7.01E-02
01:01:36	6.98E-02
01:01:49	7.00E-02
01:02:07	7.05E-02
01:02:22	7.09E-02
01:02:40	7.09E-02
01:02:54	7.10E-02

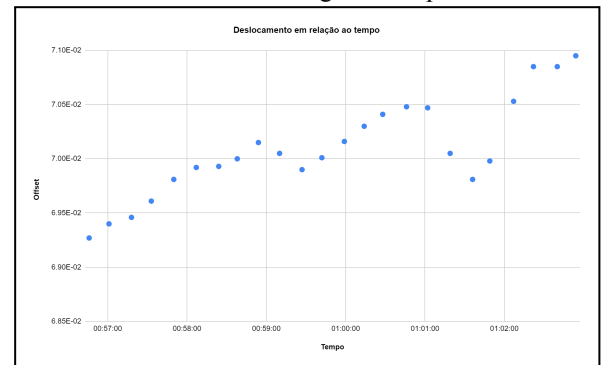
Fonte: De autoria própria.

O valor obtido a partir do cálculo da média do deslocamento das amostras foi de 7.01E-02, correspondente a 0.0701 segundos.

O deslocamento do relógio de referência apresentou pouca variação ao longo do tempo, conforme mostrado no Gráfico 1.

Gráfico 1: Variação do deslocamento do relógio de

referência ao longo do tempo.



Fonte: De autoria própria.

Com o objetivo de aplicar uma correção aos deslocamentos do relógio de referência, o valor médio de deslocamento obtido foi inserido nas configurações do *daemon* NTP utilizando-se o parâmetro *offset* seguido pelo valor 0.0701, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9: Configuração do *daemon* NTP para inclusão do parâmetro de correção *offset* no relógio de referência (*refclock*).

```
server a.st1.ntp.br iburst
server b.st1.ntp.br iburst
server c.st1.ntp.br iburst
server d.st1.ntp.br iburst

refclock SHM 0 refid NMEA offset 0.0701
```

Fonte: De autoria própria.

Após a inclusão do valor de deslocamento médio para compensar a assimetria conhecida, o algoritmo de seleção do NTP passou a considerar o relógio de referência (GPS) como a melhor fonte de tempo para sincronização. As medidas de deslocamento do relógio de referência também se mostraram consistentes com as demais fontes de tempo, na ordem de magnitude dos microsegundos, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10: Estado de seleção e demais informações sobre as fontes de tempo acessadas pelo *chronyd* após a inclusão da correção de deslocamento no relógio de referência.

```
Every 1.0s: chronyc sources
MS Name/IP address Stratum Poll Reach LastRx Last sample
=====
#* NMEA 0 4 377 20 +1821us[+2501us] +/- 322us
^~ a.st1.ntp.br 1 6 77 37 +6378us[+6819us] +/- 14ms
^~ b.st1.ntp.br 2 6 77 36 -303us[ +139us] +/- 29ms
^~ c.st1.ntp.br 2 6 77 37 -3171us[-2730us] +/- 26ms
^~ 200.20.186.76 1 6 77 38 +4153us[+4595us] +/- 19ms
```

Fonte: De autoria própria.

Os resultados obtidos demonstram que apesar da ausência do sinal PPS, a correção aplicada ao deslocamento do relógio de referência permitiu que o receptor de GPS pudesse ser utilizado como uma fonte de tempo confiável, em conjunto com outras fontes de tempo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta de utilizar o Sistema de Posicionamento Global (GPS) como uma referência de tempo confiável visou atender requisitos de disponibilidade e confiabilidade para cenários em que o sistema deve manter a sincronia do relógio mesmo diante de eventual indisponibilidade de conexão com a internet.

Os resultados demonstraram que apesar de ser possível sincronizar o relógio utilizando um receptor GPS conectado por meio de uma interface USB, existe a necessidade de comparar o deslocamento do relógio de referência utilizando outras fontes de tempo para compensar assimetrias e corrigir o deslocamento manualmente.

Apesar da necessidade de correção do deslocamento, após a execução das etapas de configuração o relógio de referência passou a ser utilizado como uma fonte de tempo confiável, tolerante a eventual indisponibilidade das demais fontes de tempo.

REFERÊNCIAS

ASHBY, N. **Relativity in the Global Positioning System**. Living Reviews in Relativity. 2003. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.12942/lrr-2003-1>>. Acesso em 2 de nov. 2022.

COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. **O NTP**. Disponível em: <<https://ntp.br/conteudo/ntp/>>. Acesso em: 5 de nov. 2022.

COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. **O**

Tempo. Disponível em: <<https://ntp.br/conteudo/tempo/>>. Acesso em: 5 de nov. 2022.

CHRONY. **Chrony.conf(5) Manual Page**. Disponível em: <<https://chrony.tuxfamily.org/doc/4.3/chrony.conf.htm>>. Acesso em: 10 de nov. 2022.

CHRONY. **chronyc(1) Manual Page**. Disponível em: <<https://chrony.tuxfamily.org/doc/4.3/chronyc.html>>. Acesso em: 10 de nov. 2022.

INTERNET ENGINEERING TASK FORCE (IETF). **RFC 5905 - Network Time Protocol Version 4: Protocol and Algorithms Specification**. 2010. Disponível em: <<https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc5905>>. Acesso em: 2 de nov. 2022.

MILLS, D. L. **Pulse-per-second (PPS) Signal Interfacing**. Massachusetts Institute Of Technology, s.d. Disponível em: <<http://www.mit.edu/afs.new/sipb/service/time/src/ntp-4.0.72g/html/pps.htm>>. Acesso em: 27 de nov. 2022.

ZANOTTA, D. C.; CAPPELLETTO, E.; MATSUOKA, M. T. **O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v 33, n 2, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/dWNb3PyKWnCsg9wXkqqC9vf/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 27 de nov. 2022.