

Universidade Presbiteriana Mackenzie

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Ciências e Aplicações Geoespaciais

Eduardo Perez Macho

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA BRASILEIRO DE
GEORREFERENCIAMENTO INDEPENDENTE DE OUTROS
SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE: O GEOLOCAL**

São Paulo

2017

Eduardo Perez Macho

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA BRASILEIRO DE
GEORREFERENCIAMENTO INDEPENDENTE DE OUTROS
SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE: O GEOLOCAL**

Projeto apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Aplicações Geoespaciais da Universidade Presbiteriana Mackenzie, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências e Aplicações Geoespaciais.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Vicente Denser Pamboukian

São Paulo

2017

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
1.1. Sistemas de Navegação	3
1.2. O Sistema Geolocal.....	4
1.3. Incertezas do Sistema Geolocal.....	7
1.4. Aplicações do Sistema Geolocal	9
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo Geral	11
2.2. Objetivos Específicos.....	11
3. JUSTIFICATIVA	12
4. METODOLOGIA	15
5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
6. REFERÊNCIAS	18

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de orientação, ou seja, de situar uma pessoa ou objeto na superfície da Terra e de determinar o sentido e a velocidade do movimento, fica cada vez mais evidente na civilização moderna - rural ou urbana – seja para localizar uma cidade, determinar a posição e a fronteira de extensas áreas agrícolas, traçar uma rota marítima entre dois portos, ou saber a posição atual de uma aeronave. Esta necessidade está sendo suprida com os sistemas de navegação atuais.

1.1. Sistemas de Navegação

Os sistemas de navegação que utilizam satélites orbitando o planeta são conhecidos como Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS - *Global Navigation Satellite Systems*).

O sistema GNSS mais conhecido e amplamente utilizado - inclusive no Brasil - é o Sistema de Posicionamento Global (GPS – *Global Positioning System*), que foi desenvolvido pelos Estados Unidos para substituir o sistema de navegação militar americano Transit, que era composto de seis satélites em órbita circular quase polar e altitude de 1100 km destinado principalmente para determinar coordenadas de embarcações e aeronaves militares (HOFMANN-WELLENHOF et al, 1997, p. 3).

A quantidade de satélites do sistema Transit era insuficiente para proporcionar uma navegação com uma acurácia adequada, já que era preciso esperar 90 minutos para um satélite passar por uma determinada região, obrigando o usuário a fazer interpolações entre os trânsitos. O sistema GPS, também concebido para uso militar, substituiu o sistema Transit e, seu projeto orbital, foi desenhado de tal maneira em que sempre exista, pelo menos, quatro satélites eletronicamente visíveis pelo equipamento de um usuário em qualquer lugar da Terra. O número mínimo de satélites para que isso seja possível, considerando uma inclinação orbital de 55 graus com o plano do equador e um período orbital de 12 horas, é de 21, desde que estejam igualmente espaçados (HOFMANN-WELLENHOF et al, 1997, p. 3-4).

Além do sistema americano GPS, existem outros sistemas GNSS, como russo Glonass, o europeu Galileo, e o chinês BeiDou-2. O sistema Glonass está totalmente operante, e os sistemas Galileo e BeiDou-2 estão em operação parcial, com previsão de operação plena para 2020. Destes quatros sistemas, o Galileo é o único com origem não militar.

O Japão também está desenvolvendo um sistema próprio, mas em escala local, conhecido como Sistema de Satélites Quase-Zenital (QZSS – *Quasi-Zenith Satellite System*), através de uma parceria público-privada entre a Agência espacial japonesa JAXA e a empresa Mitsubishi Electric. Este sistema utiliza três satélites em órbitas elípticas e geossíncronas, espaçadas a 120° , com inclinação de $43^\circ \pm 4^\circ$ e excentricidade de 0.075 ± 0.015 , cujo resultado é uma projeção no solo formando uma figura em forma de “número 8” na mesma longitude da cidade de Tóquio. Como a órbita é geossíncrona, a elevação é alta, aumentando a efetividade em regiões de grande concentração de construções elevadas (HAMA et al, 2010, p. 3).

Além desses sistemas, existem projetos em andamento de sistemas que não utilizam satélites, como: sistema de Posicionamento Quântico (*Quantum Positioning*) baseado em acelerômetros quânticos, em desenvolvimento pelo Laboratório de Ciências e Tecnologias de Defesa do Reino Unido; sistema de Navegação a Radiofarol (*Beacons Navigation*), que utiliza objetos sinalizadores conspícuos – objetos que se destacam entre outros em um determinado percurso - que enviam sinais para orientar a navegação de aeronaves; sistema de Sinais Oportunos (SoOP – *Signals of Opportunity*) que aproveita sinais de satélites que seriam destinados a comunicação, para a navegação; sistema de Navegação Assistida por Visão (*Vision Aiding*), que utiliza a percepção de movimento de sensores de câmeras para computar a distância e a direção percorrida (FISCHER; RAQUET, 2011, p. 5-7).

1.2. O Sistema Geolocal

O Brasil também possui um projeto de sistema próprio, o Geolocal, que será o objeto de estudo desta dissertação. O Geolocal utiliza um conceito de “GPS invertido”, representado na Figura 1, com quatro estações bases, fixas no solo, A, B, C e D, de coordenadas geográficas conhecidas, uma repetidora no espaço, R, que pode ser, por exemplo, uma aeronave não tripulada, um balão ou um satélite, e um alvo no solo, usuário do sistema de navegação, P.

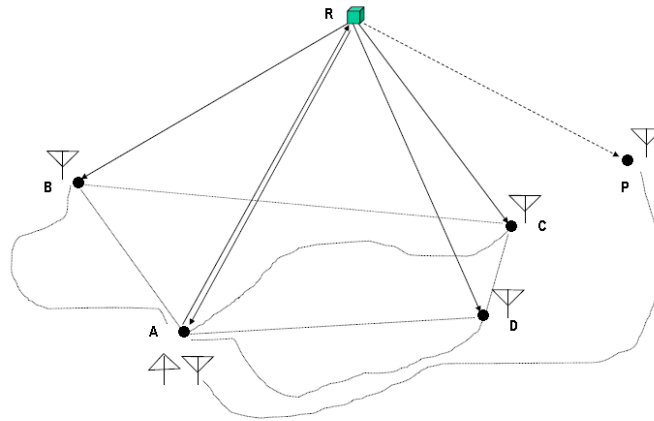


Figura 1: Representação do sistema Geolocal com quatro bases fixas A, B, C e D, uma repetidora no espaço R, e um alvo em terra P (KAUFMANN et al, 2014, p. 3).

Para determinar a posição da repetidora, a base de referência A envia um sinal, que é recebido pela repetidora e é retransmitido às quatro bases, gerando quatro medidas de *ranging* que permitem calcular as distâncias AR, BR, CR e DR. Com as distâncias calculadas, a posição da repetidora é encontrada pela triangulação das quatro bases, e, com quatro posições diferentes da repetidora, em tempos diferentes, é possível determinar a posição do alvo, P, pelo mesmo método. Cada distância é calculada através do tempo de propagação do sinal, desde a origem ao destino, multiplicado-o pela velocidade de propagação no meio. Estas distâncias calculadas devem sofrer correções, já que ocorrem atrasos de propagação nos instrumentos, cabos e conectores na transmissão e recepção, atrasos de propagação no meio atmosférico e atrasos devido ao trânsito do sinal na repetidora (KAUFMANN et al, 2014, p. 1-3).

Neste sistema, os atrasos nos equipamentos de transmissão e recepção podem ser determinados diretamente, com alta acurácia, dependendo apenas dos equipamentos utilizados, já que estão em bases fixas, de fácil acesso.

Os atrasos relacionados à propagação do sinal no meio podem ser determinados por modelos de propagação na ionosfera e na troposfera bem como no espaço. O comprimento de onda do sinal utilizado neste estudo é de alguns centímetros, onde as correções devem ser feitas, principalmente, sobre a região da baixa atmosfera (troposfera). Para isto, foi sugerido um modelo de propagação baseado no conceito de planos paralelos, que assume que, tanto a superfície da Terra quanto o plano horizontal onde se encontra a repetidora sejam planos e paralelos e, neste caso, a correção de atraso de propagação (Δpd) pode ser calculada como medida de distância por:

$$\Delta pd = c\tau_{\text{atm}} / \text{sen } Z \quad (1)$$

Na Equação 1, c é a velocidade de propagação no meio, τ_{atm} é o tempo de atraso atmosférico na direção perpendicular aos planos paralelos, no local onde se encontra a base, ou seja, no zênite, e Z é o ângulo de elevação da repetidora em relação à base. O τ_{atm} consiste em duas partes: uma parte seca ou hidrostática, relativamente estável e que gera uma correção de atraso de 2,30 metros no nível do mar; e uma parte úmida, causada por vapor de água, e que varia de poucos centímetros, para ar muito seco, até 40 centímetros, para ar muito úmido (HONMA et al, 2008, p. 951).

O modelo de planos paralelos é aproximado, e só deve ser utilizado nas bandas de frequências altas do rádio, como Frequências Super Altas (SHF – *Super High Frequency*), com ondas de 3 a 30 GHz, ou 1 a 10 centímetros, conhecidas como ondas centimétricas ou micro-ondas, e Frequências Extremamente Altas (EHF – *Extremely High Frequency*), com ondas de 30 a 300 GHz, ou 1 a 10 milímetros, conhecidas como ondas milimétricas. Nas frequências menores, o atraso de propagação é devido, principalmente, à região da alta atmosfera (ionosfera), e outros modelos de propagação devem ser utilizados (KAUFMANN et al, 2012, p. 6).

O equipamento que carrega um *transponder* no espaço, denominado de repetidora, recebe o sinal de uma das bases - podendo ou não armazená-lo – em seguida, processa, amplifica e retransmite este sinal a uma frequência que pode ser igual ou diferente da frequência recebida. A repetidora possui atrasos intrínsecos que variam com o tempo, e que podem ser diferentes para cada sequência de sinais enviados. Como a repetidora é inacessível, este atraso não pode ser determinado diretamente, mas pode ser estimado através do algoritmo proposto por KAUFMANN et al, 2012. Para simular o comportamento do sistema Geolocal foi desenvolvido um software em MATLAB que implementa tal algoritmo.

Neste software, foi realizada uma simulação com quatro bases em posições geográficas conhecidas, nas cidades paulistas de São Paulo, Itu, Campinas e Bragança Paulista, mostradas na Figura 2, uma aeronave sobrevoando a cidade de Jundiaí, a 6 km de altura, em quatro posições diferentes, e um alvo na cidade de Atibaia.

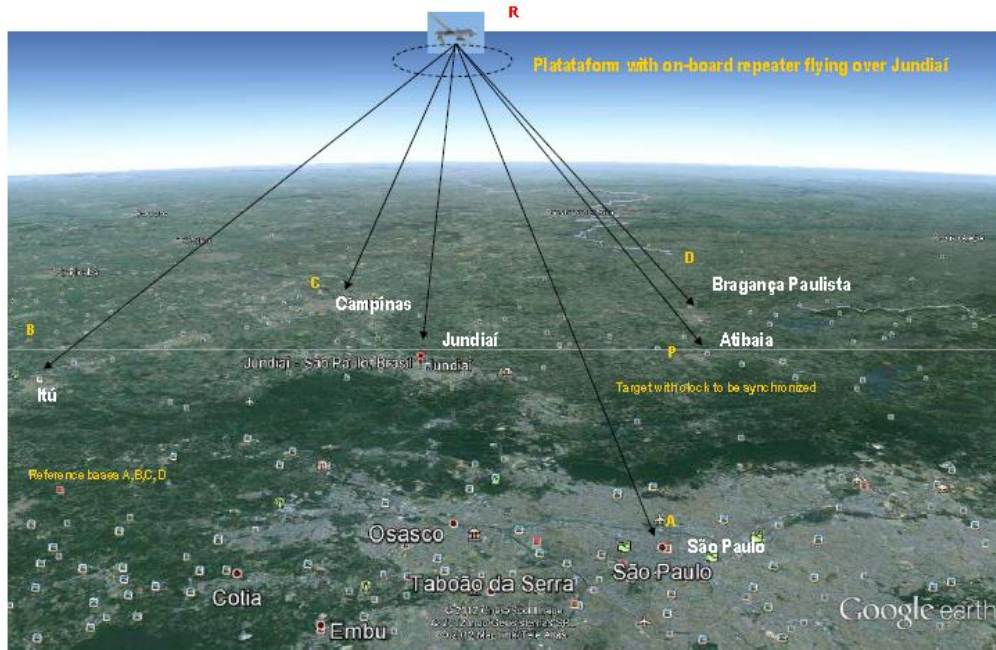


Figura 2: Cenário realístico de simulação com quatro bases de referências de posições geográficas conhecidas nas cidades paulistas de São Paulo, Itu, Campinas e Bragança Paulista, uma aeronave repetidora sobrevoando a cidade de Jundiaí, e um alvo na cidade de Atibaia (KAUFMANN et al, 2014, p. 5).

Para validar o algoritmo proposto, a simulação foi realizada com um sistema ideal onde as bases possuem posições geograficamente bem definidas, os relógios estão perfeitamente sincronizados e os tempos de propagação e os atrasos (*delays*) são calculados de forma adequada desconsiderando-se as incertezas.

Os resultados obtidos com a simulação demonstraram que o algoritmo realmente funciona, com uma discrepância na posição do alvo de apenas 0,001 mm, considerada desprezível. Este valor, entretanto, serve apenas para validar o algoritmo, pois, na prática, as discrepâncias são maiores devido principalmente às incertezas de sincronização de relógio, tempos de propagação e atrasos na repetidora (KAUFMANN et al, 2014, p. 5-6).

1.3. Incertezas do Sistema Geolocal

A simulação em MATLAB também permitiu a realização de um estudo de acurácia do sistema quando são inseridas incertezas nos tempos de propagação no meio atmosférico, atrasos ocorridos nos instrumentos, cabos e conectores na transmissão e recepção, e atrasos devido ao trânsito do sinal na repetidora.

Duas fontes de incertezas - sincronização de relógios e erros de cálculo de atraso do sinal - podem ser somadas juntas em uma única faixa de incerteza e adicionadas à simulação, primeiro, determinando os valores de tempo de trânsito do sinal na repetidora e de atraso de propagação no meio sem adicionar incertezas e, em seguida, gerando valores aleatórios de incertezas às quatro bases de referência e ao alvo, dentro de um intervalo de tempo estipulado.

A figura 3 mostra um exemplo de erro de propagação devido às incertezas mencionadas, para um erro de sincronismo de relógio de $\pm 0,5$ ns.

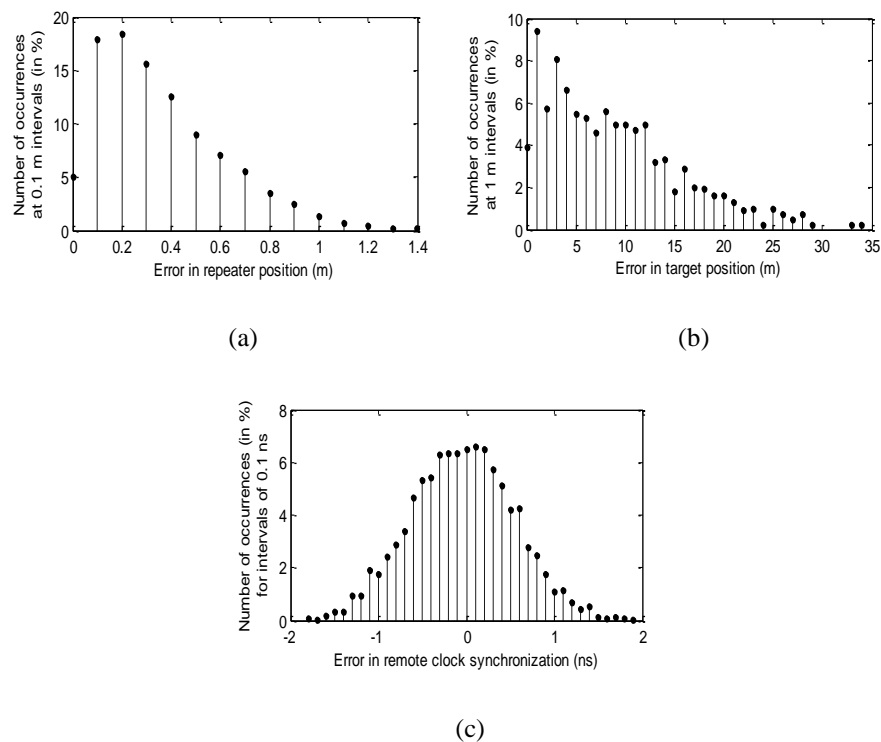


Figura 3: exemplo de erros causados por incertezas de sincronismos de relógio e atrasos de propagação, para uma faixa de $\pm 0,5$ ns, mostrando (a) os efeitos na posição da repetidora, (b) os efeitos na posição do alvo e (c) os erros de sincronismo de relógio (KAUFMANN et al, 2014, p. 7).

Os gráficos da Figura 3 correspondem a uma amostragem de 1000 valores de atrasos gerados aleatoriamente para quatro posições diferentes da repetidora. Para cada atraso, foram determinados a posição da repetidora, a posição do alvo e a acurácia do sincronismo de relógio. Os erros mais frequentes para as incertezas dentro da faixa de $\pm 0,5$ ns são de menos de 1 metro para a posição da repetidora, e menos de 15 metros para a posição do alvo (KAUFMANN et al, 2014, p. 6-7).

1.4. Aplicações do Sistema Geolocal

A primeira aplicação do sistema Geolocal é a de navegação de uma repetidora no espaço. Através dos valores de tempo de trânsito do sinal na repetidora e dos atrasos de propagação no meio para cada uma das quatro bases, são calculadas as coordenadas da repetidora em cada iteração do algoritmo. A navegação da plataforma repetidora é, então, derivada em cada determinação sucessiva de posição (KAUFMANN et al, 2012, p. 6)

A segunda aplicação é a de sincronismo remoto de relógio. Cada sinal transmitido da base transmissora A para as demais bases, também será recebido pelos alvos, que são os usuários do sistema, como, por exemplo, o alvo P da Figura 1. Assumindo que as coordenadas geográficas de P sejam conhecidas, depois que as coordenadas da repetidora R forem determinadas, é possível conhecer a distância do segmento PR, bem como as distâncias AR, BR, CR e DR. Portanto, a discrepância entre o relógio de P e a base transmissora A será a soma das distâncias AR e PR dividido pela velocidade de propagação no meio, menos os atrasos de transmissão em A, de trânsito em R, de recepção em P e de propagação em AR e PR. O tempo do relógio em P será o tempo de A corrigido por esta discrepância calculada entre A e P.

Um exemplo para esta segunda aplicação é mostrado na Figura 4. Uma repetidora R é transportada por uma aeronave localizada dentro do campo de atuação de vários atuadores, descritos na figura como L, M e N, em posições geográficas conhecidas. Estes atuadores podem ser retransmissores de telecomunicações, que possuem o requisito essencial de operarem em sincronismo para evitar chamadas cruzadas e distorções de mensagens causadas por interferências mútuas. A precisão da correção dos relógios destes atuadores deve ser próxima à acurácia obtida no sincronismo das bases de referência A, B, C e D (KAUFMANN et al, 2012, p. 6-7).

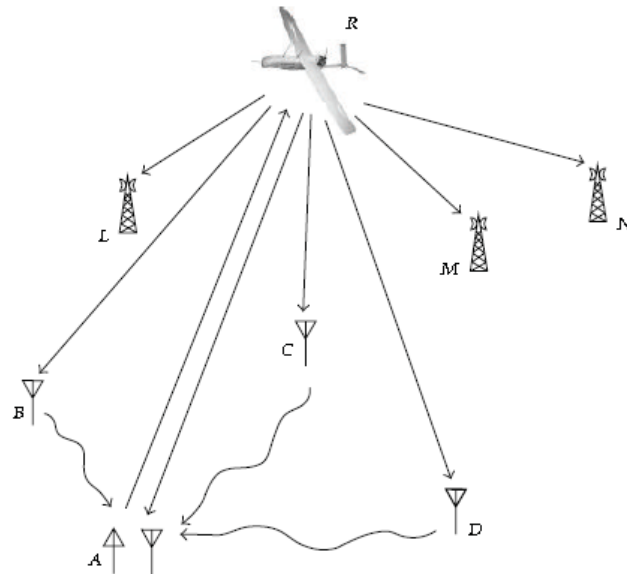


Figura 4: Uma repetidora de sinal R transportada por uma aeronave vista pelas bases A, B, C e D auxiliando no sincronismo dos atuadores L, M e N localizados em posições geográficas conhecidas (KAUFMANN et al, 2012, p. 7).

A terceira aplicação é a de localização remota de um alvo, assumindo que a sua posição seja desconhecida. A distância da repetidora R ao alvo P pode ser determinada por uma simples iteração de tempo, levando em conta que o relógio em P esteja suficientemente bem sincronizado com as bases A, B, C e D e que o tempo de trânsito em R e os atrasos de propagação no meio já tenham sido calculados. As coordenadas geográficas de P são determinadas através de quatro medidas de distâncias PR em quatro posições diferentes da repetidora, em instantes diferentes, desde que estas posições não formem uma linha contínua, ou através de quatro repetidoras diferentes no espaço (KAUFMANN et al, 2012, p. 7).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo desta dissertação é propor melhorias para o sistema brasileiro de georreferenciamento (Geolocal).

2.2. Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- compilar as informações (artigos, patentes, algoritmos, simulações e outras) apresentadas até o momento para o desenvolvimento e implantação do sistema Geolocal;
- identificar fatores que prejudicam a acurácia do sistema atual, como os modelos utilizados para estimar o atraso no tempo de propagação do sinal, a forma como é determinado o tempo de trânsito do sinal dentro da repetidora e outras incertezas;
- propor novas configurações, modelos e algoritmos para o sistema de forma a melhorar a acurácia do mesmo em aplicações como navegação de repetidoras, georreferenciamento de alvos e sincronismo remoto de relógios;
- analisar as novas propostas por meio de simulações computacionais;
- propor estudos detalhados sobre as características, implantação e funcionamento do sistema Geolocal que poderão servir de base para novas dissertações de mestrado e teses de doutorado.

3. JUSTIFICATIVA

Os Estados Unidos têm dominado o sistema de navegação no mundo todo, desde que o sistema GPS foi implantado, inicialmente para fins militares e, em seguida, também para o uso civil. Além do GPS, existem outros três competidores potenciais que utilizam o sistema de navegação com satélites: o russo Glonass, o europeu Galileo e o chinês BeiDou-2. Dos quatro sistemas GNSS, o Galileo é o único desenvolvido exclusivamente para fins civis (JULIÃO, 2010).

Os sistemas americano e russo já estão em plena operação, tanto para uso militar, como civil, e a diferença entre eles é que o GPS utiliza 24 satélites dispostos em 3 planos orbitais, com inclinação de 55 graus com o equador, e o Glonass, 24 satélites em 3 planos orbitais, com inclinação de 65 graus com o equador, e como consequência, em latitudes mais elevadas, o Glonass é capaz de fornecer uma melhor acurácia.

Os sistemas Galileo e BeiDou-2, que objetivam a independência aos sistemas GPS e Glonass, estão em operação parcial e possuem previsão de operação plena para 2020, sendo que Galileo terá 30 satélites na altitude média de 23600 km, e o BeiDou-2 terá 27 satélites na altitude média de 21500 km, 5 satélites geostacionários e 3 satélites na órbita geossíncrona inclinada à 55 graus com o equador (XINGXING, 2015).

Além dos sistemas Galileo e BeiDou-2, existem outros países empenhados em obter tecnologia própria de geolocalização, como o Japão, com seu Sistema de Satélites Quase-Zenital, o Reino Unido, com o sistema de Posicionamento Quântico, além de sistemas que estão sendo elaborados por entidades não governamentais.

Diversos países no mundo, inclusive o Brasil, ainda dependem inteiramente dos sistemas GNSS, principalmente o GPS, tanto para navegação terrestre quanto para várias aplicações críticas e essenciais, como transporte de veículos automotores, navegação aérea, navegação marítima, controle de máquinas agrícolas, construção, mineração, agrimensura, aerofotografia, mapeamento, automação de portos, e aplicações com precisão de tempo (JEFFREY, 2010, p. 52).

Nos sistemas de transporte, a localização de veículos de carga, policiais ou bombeiros é utilizada em larga escala, bem como a navegação destes veículos. A maioria deles é equipada com monitores que sobrepõem a localização a um mapa previamente carregado. Na

central de monitoramento, o GNSS é utilizado para rastrear e fornecer uma previsão da localização e da movimentação da frota e monitorar a rede de estradas, melhorando a eficiência do transporte e a segurança do motorista. No transporte de trens, o GNSS é usado em conjunto com *transponders* de localização de trens, que são monitorados a partir de uma central, que pode precisar a localização de cada locomotiva, a fim de reduzir acidentes e atrasos, e aumentar a segurança e a capacidade de transporte de cargas ou passageiros.

Na aviação, o GNSS é utilizado na navegação de aeronaves, desde a decolagem à aterrissagem, facilitando, principalmente, a navegação em áreas remotas que não são bem servidas por equipamento de auxílio terrestre, e tem como função primordial evitar acidentes aéreos e aumentar a segurança durante a aproximação da pista de aterrissagem.

Na navegação marítima, o GNSS oferece a acurácia necessária na determinação da posição de navios, tanto em mar aberto, como em manobras críticas em portos congestionados. O GNSS é utilizado em conjunto com outros sistemas de auxílio à navegação, como radares, cartas náuticas eletrônicas e ecobatímetros.

O sistema GNSS também presta grande auxílio à agricultura, durante o planejamento, ao mapear o terreno, e durante o plantio, a fertilização e a colheita, ao guiar tratores e máquinas agrícolas pelo terreno, reduzindo custos e impactos ambientais, maximizando a eficiência do sistema de irrigação. As máquinas podem ser operadas, tanto de dia, como à noite, de forma automática, supervisionada por um condutor que somente atuará em caso de necessidade. As máquinas utilizadas em escavações também são beneficiadas com este sistema, nos processos de construção e mineração.

A agrimensura baseada em GNSS reduz o número de equipamentos de topografia e a quantidade de homens-hora necessária para a determinação de pontos sobre a superfície da Terra. Quando dois pontos são separados por uma grande distância, ao invés de se utilizar múltiplas instalações de teodolitos, pode ser usado apenas um *rover* que grava a posição de cada ponto.

Na aerofotografia e mapeamento, as aeronaves e satélites também se orientam pelo sistema GNSS, fornecendo um mapeamento cada vez mais preciso, com uma imagem espacial associada à imagem de construções locais, como é feito, por exemplo, pelo *Google Maps*, ou auxiliando no desenvolvimento de cartas náuticas, em conjunto com navios hidroceanográficos.

Os portos marítimos também estão cada vez mais se beneficiando como o sistema GNSS, durante o deslocamento de guindastes ao movimentar cargas e durante localização de containers no pátio, diminuindo perdas e aumentando a segurança dos estivadores.

Outra aplicação bastante importante dos sistemas GNSS é fornecer uma precisão de tempo em sistemas críticos e essenciais, como em sistemas de telecomunicação, redes elétricas e em sistemas financeiros. Como os satélites são equipados por relógios atômicos, com acurácia de poucos nanossegundos, estes importantes sistemas são sincronizados com os relógios dos satélites (JEFFREY, 2010, p. 53-58).

Devido a esta dependência dos sistemas GNSS para diversas aplicações importantes e essenciais à sociedade, muitos países estão empenhados em desenvolver um sistema próprio, e o Brasil, não podendo ficar de fora, pode se beneficiar com o sistema Geolocal, para garantir a independência e preservar seus serviços essenciais, em caso de indisponibilidade dos sistemas americano e russo.

4. METODOLOGIA

O trabalho de dissertação será dividido em duas partes principais.

A primeira parte envolverá uma pesquisa literária dos sistemas de navegação com e sem satélites utilizados em diversos países, para que possa servir de modelo de comparação com o sistema Geolocal, uma descrição do sistema Geolocal, dos artigos publicados e das patentes do sistema, e uma descrição detalhada da simulação feita em MATLAB, com e sem incertezas.

A segunda parte apresentará as propostas de novas configurações para o sistema Geolocal, a criação de novos modelos e algoritmos para este sistema, e uma nova simulação em MATLAB abrangendo as modificações feitas a partir das propostas.

5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação será dividida em sete capítulos.

O capítulo 1, introdução, apresentará um esboço geral do sistema Geolocal, comparando este com outros sistemas de navegação, os objetivos gerais e específicos, a justificativa do trabalho, a metodologia utilizada e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2, estado da arte, englobará os sistemas atuais de posicionamento global com satélite, como GPS, GLONASS, Galileo e BeiDou2, os sistemas de posicionamento sem satélite, como Posicionamento Quântico, Navegação a Radiofarol, Sinais Oportunos e Navegação Assistida por Visão, os objetos que poderão ser usados como repetidoras, como satélites, *Cubesat*, VANT, Drones e balões, e os modelos de propagação disponíveis, como planos paralelos e TEC.

O capítulo 3, Sistema Geolocal, será destinado à compilação dos materiais de divulgação, artigos, patentes, algoritmos e simulações apresentadas até o momento, incluindo a descrição, aplicações, vantagens e desvantagens, modelo matemático, atrasos e incertezas, simulações e resultados preliminares do sistema Geolocal.

O capítulo 4, Análise do Sistema, fará uma descrição detalhada da simulação feita em MATLAB, um estudo da acurácia do sistema, identificando os atrasos e incertezas.

O capítulo 5, Propostas de Melhoria, sugerirá, após a análise, propostas de melhoria no sistema Geolocal, como melhoria da geometria do sistema, identificação dos melhores tipos de repetidoras para este sistema, melhoria da estimativa do intervalo de tempo de trânsito do sinal na repetidora, correções do sinal equivalentes à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), minimização do algoritmo utilizando mais de quatro bases, uso de dois ou mais pulsos consecutivos, com diferença de nanossegundos, e dimensionamento da rede brasileira, calculando o melhor número de bases e repetidoras.

O capítulo 6, Discussão dos Resultados, será destinado à descrição da simulação após a incorporação das propostas de melhoria, com descrição dos resultados, e as vantagens e desvantagens de cada proposta apresentada.

O capítulo 7, Conclusões e Trabalhos Futuros, descreverá as conclusões obtidas a partir deste trabalho e das análises das propostas de melhoria e indicará recomendações de novos trabalhos para a continuidade do sistema Geolocal.

CRONOGRAMA

- Julho de 2017 – Término do Projeto de Dissertação;
- Novembro de 2017 – Capítulo 1;
- Dezembro de 2017 – Capítulo 2;
- Janeiro de 2018 – Capítulo 3;
- Fevereiro de 2018 – Capítulo 4;
- Março de 2018 – Capítulo 5;
- Abril de 2018 – Capítulo 6;
- Maio de 2018 – Capítulo 7;
- Junho de 2018 – Defesa da Qualificação;
- Julho de 2018 – Publicação de Artigo Científico em coautoria com o orientador;
- Dezembro de 2018 – Defesa da Dissertação.

6. REFERÊNCIAS

- FISCHER, M. K. A.; RAQUET, J. F. Precision Position, Navigation, and Timing without the Global Positioning System. *Air and Space Power Journal*, Estados Unidos, v. 25, n. 2, 2011.
- HAMA, S. et al. Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) Project. *Journal of the National Institute of Information and Communications Technology*, Japão, v. 57, n. 3/4, 2010.
- HOFMANN-WELLENHOF, B. et al. *Global Positioning System: theory and practice*. Austria: Springer-Verlag Wien, 1997.
- HONMA, M. et al. Tropospheric delay calibrations for VERA. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Japão, v. 60, n. 5, 2008.
- JEFFREY C. *An Introduction to GNSS: GPS, Glonass, Galileo and other Global Navigation Satellite Systems*. 1st ed. Canadá: Novatel Inc, 2010.
- JULIÃO, A. A Guerra do GPS. Isto É, ed. 2111, 2010. Disponível em <http://istoe.com.br/66917_A+GUERRA+DO+GPS/>. Acesso em 06 jul. 2017.
- KAUFMANN, P. et al. A New Independent GPS-Free System for Geo-Referencing from Space. *Scientific Research Publishing*. 2014.
- KAUFMANN, P. et al. Signal Transceiver Transit Times and Propagation Delay Corrections for Ranging and Geo-Referencing Applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012.
- XINGXING, L. et al. Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou. *Nature Scientific Reports*, n.5/8328, 2015. Disponível em <<http://www.nature.com/articles/srep08328>>. Acesso em 06 jul. 2017.