

SEGUNDO TERMO ADITIVO AO ACORDO DE PARCERIA Nº44/2021-UFLA PARA PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO - PD&I QUE ENTRE SI CELEBRAM AS PARTES INDICADAS NO PREÂMBULO DESTE INSTRUMENTO.

A FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA - FUNDEP, inscrita no CNPJ/MF sob o nº 18.720.938/0001-41, com sede na Avenida Presidente Antônio Carlos, nº 6627, Pampulha, Belo Horizonte – Minas Gerais, CEP: 30161-970, neste ato representada por seu Presidente, Professor Jaime Arturo Ramírez, e-mail: presidencia@fundep.com.br, doravante denominada **COORDENADORA**

A UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, pessoa jurídica de direito público, autarquia especial integrante da Administração Indireta da União, vinculada ao Ministério da Educação, criada pela Lei nº 8.956, de 15 de dezembro de 1994, inscrita no CNPJ sob o nº 22.078.679/0001-74, com sede no Campus Universitário, Lavras – Minas Gerais, CEP 37200- 900, neste ato representada por seu Reitor, José Roberto Soares Scolforo, CPF 489.081.007-25, e-mail: reitoria@ufla.br, doravante denominada simplesmente **ICT PROPONENTE**

A MWF MECHATRONICS LTDA. pessoa jurídica de direito privado, inscrita no CNPJ/MF sob o nº 36.970.653/0001-40, com sede na Avenida Presidente Kennedy, nº 67, Parque Joquei Club, Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro, CEP: 28020-010, neste ato representada por seu representante legal, Marcelo Carvalho Leite, CPF 125.547.807-14, e-mail: marcelo@mwf-mechatronics.com, doravante denominada **EMPRESA**;

A FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E CULTURAL, interveniente administrativo e financeiro, inscrita no CNPJ sob o nº 07.905.127/0001-07, com sede no Campus da UFLA, Lavras – Minas Gerais, CEP 37200-900, neste ato representada por sua Diretora Executiva Ana Paula Piovesan Melchiori, CPF 137.513.318-75, e-mail: diretoria@admfundecc.org.br, doravante denominada simplesmente **FUNDAÇÃO DE APOIO**;

Todos conjuntamente denominados **PARCEIROS**, resolvem celebrar o **SEGUNDO TERMO ADITIVO** ao referido **ACORDO DE PARCERIA** em conformidade com as normas legais vigentes no Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação (Emenda Constitucional nº 85/15, Lei nº 10.973/2004, Lei nº 13.243/2016 e Decreto nº 9.283/2018), no âmbito do Programa ROTA 2030, que estabelece as seguintes alterações:

CONSIDERANDO:

- I- Que foi celebrado o **ACORDO DE PARCERIA** 27192.02.02/2021.01.00 para desenvolvimento do projeto intitulado “**Sistema de posicionamento por ponto preciso em tempo real com integração ins/gnss para veículos agrícolas conectados**”;

- II- Que foi aprovada a prorrogação da vigência do projeto pelo prazo de 09 (nove) meses pela Coordenação Técnica da linha V;
- III- Que não há prejuízo ao Plano de Trabalho e entregas estabelecidos para execução do Projeto;
- IV- Que as alterações aqui propostas não infringem regras estabelecidas na Chamada pela qual o Projeto foi selecionado.

Resolvem os **PARCEIROS** celebrarem o **SEGUNDO TERMO ADITIVO** ao **ACORDO DE PARCERIA**.

CLÁUSULA PRIMEIRA - DAS ALTERAÇÕES

1.1 A cláusula décima segunda do **ACORDO DE PARCERIA** passa vigorar com a seguinte redação:

ONDE SE LÊ:

12.1 O presente **ACORDO DE PARCERIA** vigorará pelo prazo de 36 (trinta e seis) meses a partir da data de sua assinatura.

LEIA-SE:

12.1 O presente **ACORDO DE PARCERIA** vigorará pelo prazo de 45 (quarenta e cinco) meses a partir da data de sua assinatura.

Parágrafo único: A prorrogação de prazo do Projeto gerou atualização do Anexo I – Plano de Trabalho e da aba “Cronograma de Atividades” do Anexo II – Planilha de Equipe, Cronograma, Orçamento e Desembolso, citados no item 1.1 do **ACORDO DE PARCERIA**, os quais seguem anexos a este **TERMO ADITIVO**.

CLÁUSULA SEGUNDA – RATIFICAÇÃO

As partes ratificam as demais condições estabelecidas no referido **ACORDO DE PARCERIA** que não foram expressamente alteradas pelo presente Aditivo.

Por estarem de acordo quanto ao que se estipula, firmam o presente Termo Aditivo, assinado pelos **PARCEIROS** eletronicamente. A data de assinatura deste instrumento, para todos os efeitos, é a última data de assinatura de signatário.

FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA – FUNDEP
COORDENADORA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
ICT PROPONENTE

MWF MECHATRONICS LTDA
EMPRESA

FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E CULTURAL
FUNDAÇÃO DE APOIO



SISTEMA DE POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO EM TEMPO REAL COM INTEGRAÇÃO INS/GNSS PARA VEÍCULOS AGRÍCOLAS CONECTADOS

Projeto encaminhado à FUNDEP/ROTA 2030,

Referente à chamada 02/2021, Eixo (II) – CONSEV, Faixa A

Linha temática: Desenvolvimento de tecnologias para automação de veículos agrícolas

Coordenador Geral:

Prof. Dr. Felipe Oliveira e Silva – Universidade Federal de Lavras

Coordenador Associado:

Rogério Paes Menezes Filho – MWF Mechatronics Ltda. (apoio econômico e financeiro)

Apoiadores:

Prof. Dr. Jay Allen Farrell – *University of California Riverside* (simples anuência)

Adalíndio Eduardo Pontes – TDI Máquinas Agrícolas Indústria e Comércio Ltda. (simples anuência)

Agosto/2024



SUMÁRIO

1. Resumo Expandido.....	1
2. Objetivo da Proposta.....	3
3. Justificativa e Relevância.....	4
4. Introdução e Estado da Arte	7
5. Metodologia.....	16
6. Resultados Previstos.....	23
7. Cronograma de Atividades.....	25
8. Referências Bibliográficas	26



1. Resumo Expandido

A agricultura é um dos setores econômicos de maior expressão e relevância nacional, caracterizando-se pela sua solidez, mesmo em face a crises financeiras, políticas e sanitárias. Figurando como um dos pilares tecnológicos do agronegócio, a Agricultura de Precisão (AP) tem buscado otimizar a gestão dos processos produtivos agrícolas e consequentemente, aumentar a produtividade/lucratividade dos mesmos. Uma tecnologia chave para a AP são os sistemas de posicionamento de precisão, os quais permitem a condução segura/autônoma de veículos agrícolas em campo. Tradicionalmente, os Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS), em especial, o Sistema de Posicionamento Global (GPS), se tornaram a principal tecnologia de posicionamento de precisão na AP. Quando configurados em modo diferencial (DGNSS), ou relativo (RGNSS) via técnica *Real Time Kinematics* (RTK), receptores GNSS fornecem soluções de posicionamento com precisão centimétrica. Apesar da comprovada eficácia, tais métodos de posicionamento apresentam inúmeras desvantagens. Sistemas DGNSS e RGNSS, por exemplo, necessitam acessar as observáveis de uma base GNSS de referência, a qual deve ter coordenadas geodésicas bem determinadas. Para a técnica RTK, em particular, tais bases não devem estar distanciadas do veículo agrícola de interesse (*rover*), mais do que poucos quilômetros. Ademais, soluções RTK frequentemente perdem rastreio das chamadas “fases da onda portadora”, necessárias à resolução das “ambiguidades inteiras”, podendo apresentar elevado tempo de re-convergência. Tal problema é de difícil resolução, especialmente para veículos em movimento, e requer, em geral, o uso de receptores GNSS de dupla frequência, os quais custam dezenas de milhares de reais. Para soluções DGNSS que dispensam o uso de bases de referência (por parte do usuário), conhecidas como *wide-area* DGNSS, ao custo do equipamento, ainda se soma a contratação (assinatura) dos serviços de correções diferenciais, os quais se dão de forma individualizada, i.e., para cada veículo agrícola. Somado às desvantagens supracitadas, soluções GNSS, de forma geral, ainda sofrem com o problema de bloqueio dos sinais dos satélites, quando por exemplo, da passagem do veículo por sob a copa de uma árvore, edifício ou túnel. A consequência óbvia do problema é a perda de segurança na condução autônoma do veículo agrícola, além da geração de lacunas nas atividades da AP que dependem de geoeferenciamento. Como forma de resolver os



problemas supracitados, este projeto de pesquisa propõe a concepção de um sistema de posicionamento de precisão e baixo custo para veículos agrícolas conectados (à internet), com base na utilização/integração de duas tecnologias habilitadoras principais: a técnica de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real (PPP-TR) via GNSS, e os Sistemas de Navegação Inercial (INS). O PPP-TR é uma técnica bastante recente, através da qual, usuários GNSS espalhados por todo o Globo utilizam correções gratuitas, fornecidas, via internet e em tempo real, por agências especializadas. Originalmente restrito a usuários munidos de receptores GNSS de dupla-frequência (alto custo), o PPP-TR também pode ser implementado em receptores de simples frequência (baixo custo), desde que mapas de atraso ionosféricos estejam disponíveis, em tempo real, na região de interesse. Com a recém-anunciada (2019) disponibilização de tais mapas, em tempo (quase) real, na América do Sul, por parte da *Universidad Nacional de La Plata* (UNLP), usuários brasileiros, munidos de receptores de simples frequência, já se encontram aptos, ao menos teoricamente, a praticar PPP-TR. Os INS, por outro lado, são sistemas de navegação tradicionalmente empregados em aplicações de defesa e segurança (aeronaves, mísseis, foguetes e submarinos), os quais fornecem uma solução de posicionamento com base na integração numérica das medições de acelerômetros e girômetros. Os INS têm características de operação complementares aos GNSS, i.e., fornecem alta taxa de amostragem/banda passante, são independentes de sinais externos, permitem que a orientação (atitude) do veículo seja computada, mas apresentam problemas de acúmulo de erros com o tempo. Devido a esta complementariedade de características, sistemas de navegação integrados INS/GNSS são hoje, os principais sistemas de posicionamento de precisão empregados em aplicações que demandam alta confiabilidade/disponibilidade. O projeto proposto, portanto, possui elevada relevância para o setor automotivo nacional, bem como evidente aderência com a linha temática de automação de veículos agrícolas, na medida em que propõe a concepção de um sistema de posicionamento de precisão, confiabilidade e baixo custo, com imediata aplicação na AP. A equipe proponente do projeto é formada por pesquisadores de reconhecida experiência nas áreas de GNSS, INS, e integração de sistemas, e também conta com o apoio: a) econômico e financeiro da empresa MWF Mechatronics Ltda.; b) de simples anuência da *University of California Riverside* (UCR) e da empresa TDI Máquinas Agrícolas Indústria e Comércio Ltda. (TDI).



2. Objetivo da Proposta

O objetivo do projeto de pesquisa proposto é conceber um sistema de posicionamento de precisão e baixo custo para veículos agrícolas conectados (com acesso à internet) com base na integração de Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS) e Sistemas de Navegação Inercial (INS), via técnica de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real (PPP-TR).

Como objetivos específicos do projeto, destacam-se:

- Avaliar a aplicabilidade das correções PPP-TR associadas aos erros de efemérides e relógios dos satélites, fornecidos em tempo real pelo *International GNSS Service* (IGS), em território brasileiro;
- Avaliar a aplicabilidade das correções PPP-TR associadas aos atrasos ionosféricos, fornecidos em tempo (quase) real pela *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas* (FCAG), da *Universidad Nacional de La Plata* (UNLP), em território brasileiro;
- Avaliar a aplicabilidade de modelos troposféricos híbridos, via PPP-TR, em território brasileiro;
- Avaliar o desempenho da técnica PPP-TR em função de diferentes cenários de teste, a saber: veículo em condições estacionárias e dinâmicas; receptor de alto e baixo custo; diferentes algoritmos de estimação, entre outros;
- Avaliar o desempenho da técnica PPP-TR, em função da existência de latência nas correções;
- Avaliar técnicas de mitigação dos efeitos de multicaminho, via modelagem dos mesmos em espaço de estados, e via utilização de observações do deslocamento na frequência da onda portadora (Doppler), fornecidas pelos receptores GNSS.
- Avaliar o desempenho da técnica PPP-TR quando da utilização de diferentes constelações GNSS, a saber, o GPS (EUA), o GLONASS (Rússia), o Galileo (Europa) e o Beidou (China);
- Investigar diferentes metodologias de integração de receptores GNSS com INS, a saber, metodologia fracamente acoplada (*loosely-coupled integration*) e fortemente acoplada (*tightly-coupled integration*);



- Avaliar o desempenho do sistema INS/PPP-TR, em relação aos tradicionais sistemas de posicionamento de precisão do tipo DGNSS, RGNSS e RTK.
- Iniciar a implementação dos algoritmos embarcados em uma placa controladora de tempo real;
- Executar testes em campo, com auxílio de veículos agrícolas conectados à internet, para fins de validação da eficácia/relevância do sistema proposto, em especial, no âmbito da Agricultura de Precisão (AP).

3. Justificativa e Relevância

Nas últimas décadas, os Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS), em especial o Sistema de Posicionamento Global (GPS), tornaram-se a tecnologia dominante no que concerne ao posicionamento de pessoas e veículos (MISRA; ENGE, 1999). Para tais aplicações, a precisão padrão do GNSS, de aproximadamente 10 metros, tem sido tipicamente suficiente. Uma nova geração de aplicações (a saber, veículos autônomos, veículos conectados, assistência ao condutor, agricultura de precisão, etc.) está, contudo, impondo especificações de precisão/confiabilidade de posicionamento (bem como custo), muito mais rigorosas aos sistemas de navegação, do que era anteriormente necessário (BASNAYAKE; JOERGER; AULD, 2016). Especificações como a SAE J2945 (SAE, 2016), por exemplo, requerem precisão de posição horizontal e vertical de 1,5 metros e 3 metros, respectivamente, a 68% de probabilidade.

A *Federal Highway Administration* (FHWA) dos EUA, seus *Departments of Transportation* (DOTs), bem como diversos fabricantes de automóveis, já estão investigando aplicações de veículos rodoviários (conectados e autônomos) para os quais estimativas precisas (submétricas) de posição, em tempo real, e a pelo menos 95% de probabilidade, se fazem necessárias, de forma a garantir a condução segura e eficiente dos mesmos. Projetos pilotos já estão em andamento em pelo menos três locais dos EUA (GARCIA ET AL., 2018; JOHNSON ET AL., 2017; VAN DUREN ET AL., 2016), e têm como objetivo melhorar a segurança e o rendimento da rede rodoviária, bem como diminuir o impacto das emissões.



Como mencionado em Seções subsequentes deste projeto, o fornecimento de correções diferenciais (DGNSS) é uma solução ao problema de posicionamento de precisão (submétrico), a qual, contudo, torna-se ineficaz à medida em que o veículo conectado se afasta da base (estação) de referência. Correções diferenciais baseadas em uma rede de bases de referência (WADGNSS) podem resolver o inconveniente supracitado, às custas de que o usuário contrate o serviço de assinatura mensal/anual, ou então, possua um receptor GNSS modificado, capaz de rastrear os sinais e correções gratuitas fornecidas pelos *Satellite-Based Augmentation Systems* (SBAS), a exemplo do americano *Wide Area Augmentation System* (WAAS), e o *European Geostationary Navigation Overlay Service* (EGNOS). No Brasil, infelizmente, apenas a primeira opção (contratação de correções diferenciais por assinatura) está disponível a usuários.

Para aplicações de posicionamento que requerem precisão superior à submétrica (fornecida pelos DGNSS) tem-se como tradicional solução, os sistemas GNSS baseados em técnicas relativas (RGNSS) via *Real Time Kinematics* (RTK). Tais sistemas dominam os segmentos de mercado automotivo que dependem de alta precisão no posicionamento, tais como a Agricultura de Precisão (AP), mas apresentam inúmeras desvantagens, em especial, o elevado custo, o que restringe a difusão da tecnologia para ao mercado de massa. De forma simplificada, dois são os principais fatores que impactam no alto custo da solução e limitam aplicações mais generalizadas: a) a necessidade de utilização de receptores GNSS de dupla frequência (como requisito praticamente básico à solução das chamadas “ambiguidades inteiras”, associadas à técnica RTK); b) a necessidade de utilização de uma base de referência, com coordenadas bem conhecidas, e distanciada da aplicação de interesse não mais do que poucos quilômetros.

Alternativamente às soluções DGNSS, RGNSS e RTK, a técnica de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) tem se mostrado uma alternativa promissora no que tange ao problema de posicionamento submétrico. Concebida, originalmente, para aplicações pós-processadas, o PPP fornece aos usuários, correções gratuitas e individualizadas para os mais diversos erros sistemáticos que corrompem os GNSS (erros de efemérides, erros de atrasos atmosféricos, erros de relógio dos satélites, etc.), não requerendo dos usuários, a utilização de nenhuma base de referência. Após a disponibilização, por parte de agências modelizadoras especializadas, de



correções PPP precisas, gratuitas e em Tempo Real (TR), a usuários espalhados por todo o Globo, a relevância do então denominado PPP-TR passou a ser evidente, despertando a atenção de diversos grupos de pesquisa atuantes na área de posicionamento veicular de precisão. A recente disponibilização, também em tempo real, de mapas regionais associados aos erros de atraso ionosféricos, tem contribuído ainda mais para a difusão do PPP-TR (RAHMAN ET AL., 2020). Ao menos teoricamente, a utilização de tais mapas possibilita posicionamento submétrico a usuários munidos de receptores GNSS de simples frequência (baixo custo), o que é relevante às aplicações supracitadas (PROL ET AL, 2018). No Brasil, a disponibilização de tais correções/mapas é extremamente recente, e necessita de maior investigação (MENDONZA, 2019).

A despeito da relevância/eficácia das soluções de posicionamento GNSS supracitadas, todas, invariavelmente, estão sujeitas a uma vulnerabilidade adicional: a perda de rastreamento das observáveis GNSS, devido ao bloqueio parcial/total dos sinais transmitidos pelos satélites. Tal situação é particularmente grave em grandes centros urbanos (os chamados *urban canyons*), onde a existência de edifícios altos, túneis e pontes reduzem (ou até mesmo, extinguem) o recebimento de sinais de satélites por parte de receptores GNSS. Uma solução a tal adversidade, provém da integração de receptores GNSS, com soluções de posicionamento do tipo *dead-reckoning*, as quais possuem características de operação complementares às do GNSS (GROVES, 2013). Um dos sistemas *dead-reckoning* mais robustos, completos e confiáveis é o Sistema de Navegação Inercial (INS), o qual computa uma solução de posição, velocidade e orientação (atitude), com base na integração numérica das medições fornecidas por acelerômetros e girômetros (sensores ditos inerciais) mecanicamente fixados ao veículo. Devido ao fato dos INS operarem de forma completamente independente de sinais externos, os mesmos possuem importância crítica em aplicações de alta confiabilidade/segurança, sendo tradicionalmente empregados na fabricação de mísseis, foguetes, aeronaves, e submarinos.

Graças ao caráter estratégico que os INS assumem nos setores de defesa e segurança nacional, poucos são os pesquisadores brasileiros habilitados/capacitados a desenvolver soluções de posicionamento nacionais baseadas na integração INS/GNSS (como é o caso da equipe proponente deste projeto). Adicionalmente, poucas são as empresas brasileiras atuantes no setor automotivo que detêm o *know-how* exigido para transformar a solução supracitada em



um produto robusto, confiável e escalonável para fins comerciais. A MWF Mechatronics, empresa do grupo MWF, e parceira da UFPA neste projeto, é formada por uma equipe de engenheiros especialistas em disciplinas mecatrônicas. A expertise da MWF Mechatronics abrange desde as etapas de projeto de soluções mecatrônicas até às suas implementações físicas, passando por: análise dinâmica; controle digital; processamento de sinais; implementação de *firmware*; monitoramento, pós-processamento e análise de alto nível. Atuante no setor automotivo há vários anos, o grupo MWF, desenvolve suas próprias plataformas de processamento em tempo real, às quais serão de fundamental importância para a prototipagem do sistema integrado INS/GNSS, baseado na técnica PPP-TR, que se espera desenvolver.

Além de significativamente inovador, portanto, o projeto aqui proposto conta com uma equipe executora de reconhecida experiência em suas áreas de atuação, apresentando relevância imediata para diversas áreas consideradas estratégicas para o desenvolvimento e soberania nacional, tais como, o transporte rodoviário, a indústria aeroespacial, o agronegócio, entre outros.

4. Introdução e Estado da Arte

Os atuais sistemas de posicionamento em escala global devem sua existência aos significativos avanços obtidos ao longo da Segunda Guerra Mundial, especialmente nas áreas de tecnologia de foguetes, e comunicação a rádio. Em 4 de outubro de 1957, por exemplo, foi lançado o primeiro satélite em órbita, o Sputnik 1, dando origem à corrida armamentista espacial entre os Estados Unidos da América (EUA) e a Rússia. Nos EUA, foi desenvolvido o *Navy Navigation Satellite System* (NNSS), baseado em ondas de rádio e no efeito Doppler (MONICO, 2008). Suscetível a muitas interferências e a variações de altitude terrestre, o NNSS se restringiu, basicamente, à navegação marítima.

Inspirados no NNSS, surgiram, na década de 80, os Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS), originalmente para fins bélicos. Os atuais representantes GNSS de alcance global são: o *Global Positioning System* (GPS), dos EUA, o *Global'naya Navigatsionnay Sputnikovaya Sistema* (GLONASS), o Galileo, projetado pela *European Space Agency* (ESA),



e o *Compass Navigation Satellite System* (CNSS), também chamado de Beidou, da China (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017).

Como discutido por Braasch e Van Dierendonck (1999), o sistema GPS (mais antigo, robusto e confiável dentre os atuais GNSS) é estruturado em três diferentes segmentos: espacial, de controle e de usuários. O segmento espacial é formado pela constelação de satélites, os quais orbitam em 6 planos diferentes, cada qual contendo, pelo menos, 4 satélites. Cada um deles transmite continuamente sinais em direção à Terra, em duas ondas portadoras, a saber, L1 (1575,42 MHz) e L2 (1227,60 MHz). Dois tipos de códigos são usados para modular essas ondas portadoras: os códigos pseudoaleatórios (PRNs), e as mensagens de navegação. Na frequência L1, PRNs do tipo *Coarse Acquisition* (C/A), *Precise* (P) e *Military* (M) são usados na modulação. Na frequência L2, apenas os dois últimos são empregados. Os PRNs do tipo C/A correspondem ao chamado *Standard Positioning Service* (SPS), de acesso irrestrito e gratuito a usuários civis, enquanto os códigos P e M correspondem ao *Precise Positioning Service* (PPS), de uso exclusivo militar (ou a provedores autorizados). Com a modernização do GPS, prevista para terminar em 2021, tem sido disponibilizado na portadora L2, o PRN L2C, que contribui para a correção dos efeitos de atraso ionosférico, bem como uma nova portadora, chamada L5 (1176,45 MHz), a qual melhora a precisão/disponibilidade/integridade do GPS (GREWAL; ANDREWS; BARTONE, 2013).

O segmento de controle do GPS, por outro lado, é constituído por 22 estações, sendo a principal, a de Colorado Springs (CO) (KAPLAN; HEGARTY, 2018). Ela capta os dados das demais estações, e retransmite informações de correção de órbitas, relógios, atrasos ionosféricos, etc., aos satélites. O segmento de usuários, por fim, é caracterizado pelos receptores GPS. Os receptores atualmente disponíveis no mercado são, em geral, multicanais, sendo que cada canal é responsável por sintonizar um satélite. Receptores ditos “de navegação” geralmente estão restritos ao código C/A (SPS), disponibilizado na frequência L1. Receptores que têm acesso ao código P (PSS), disponibilizado nas frequências L1 e L2, são de 5 a 40 vezes mais caros que os anteriores, e 10 a 1000 vezes mais precisos (erros de posicionamento entre 0,02 e 1 m). Como apresentando por Segantine (2005), receptores capazes de sintonizar sinais provenientes de constelações diferentes (GPS, GLONASS, Galileo e Beidou), têm contribuído para o aumento da robustez, confiabilidade e disponibilidade dos GNSS.



De forma simplificada, a determinação da posição do usuário (receptor) via GNSS é feita medindo-se o tempo necessário para o código pseudoaleatório, proveniente dos satélites em vista, chegar até o receptor (FARRELL, 2008). A distância é calculada levando-se em conta a velocidade da luz. A posição dos satélites (efemérides), e o conjunto de informações relativas à integridade da constelação (almanaque) estão disponíveis na própria mensagem de navegação transmitida pelos satélites. A medição do tempo é possível devido ao fato dos satélites (e receptores) carregarem, em seu interior, relógios (teoricamente) sincronizados com o chamado tempo de referência do GNSS. O cálculo de uma distância (satélite e receptor), a qual é formalmente denominada “pseudo-distância” (pelo fato da estimativa conter erros), determina uma esfera de possíveis localizações para o receptor. Quatro pseudo-distâncias determinam um ponto único no espaço. Esta técnica é chamada de trilateração (GROVES, 2013).

Como observado por Kaplan e Hegarty (2018), o erro do SPS tem sido, em 95% do tempo, de 9 m na horizontal, e 15 m na vertical. Como pode ser visto na Tabela 1, as principais fontes de erros que contribuem para tal precisão são: erros nas efemérides transmitidas, erros nos relógios dos satélites, erros de atrasos atmosféricos (ionosféricos e troposféricos), erros nos relógios dos receptores, efeito de “multicaminho”, e erros devido a ruídos aleatórios. Os três primeiros tipos de erros são classificados como “erros de modo comum”, enquanto os demais, “erros de modo não-comum”. Os erros de modo comum são, em geral, correlacionados espacial e temporalmente (na faixa de quilômetros e horas, respectivamente), sendo, portanto, relativamente semelhantes para quaisquer receptores dentro de uma mesma vizinhança (e mesma janela de tempo). Os erros de modo não-comum, por outro lado, apresentam baixa correlação espacial e temporal, variando de receptor para receptor, bem como em função do tempo, geometria espacial dos satélites, e tipos de obstruções no caminho dos sinais (RAHMAN ET AL., 2019).

Pelo fato dos erros de modo comum serem relativamente constantes dentro de uma determinada região e janela de tempo, uma vez estimados, eles podem ser transmitidos a quaisquer receptores situados na vizinhança (cumprindo-se requisitos de latência máxima), permitindo-os melhorar significativamente suas estimativas de posição. Tal técnica é conhecida como GNSS Diferencial (DGNSS), e pode ser classificada conforme sua área de abrangência. Os chamados DGNSS Locais (LADGNSS) requerem a utilização de dois



receptores, um fixo (de alta qualidade) numa base de referência, com coordenadas geodésicas bem conhecidas, e outro móvel (chamado de *rover*). O receptor fixo recebe os sinais dos satélites e, sabendo sua posição de antemão (e com precisão), é capaz de estimar os erros de modo comum (de forma combinada), os quais são transmitidos ao *rover*, e por ele utilizados. Erros de posicionamento típicos entre 0,5 e 2 metros são usuais nesse tipo de implementação (Tabela 1), os quais são ocasionados, basicamente, pelos erros de modo não-comum residuais (PARKINSON ET AL.,1996).

Uma técnica de posicionamento relativo (RGNSS) bastante empregada para se mitigar o efeito destes erros de modo não-comum chama-se *Real Time Kinematics* (RTK), a qual se vale de observações das fases das ondas portadoras (adicionalmente às pseudo-distâncias). A precisão do posicionamento, resultante dessa técnica, ultrapassa a casa dos centímetros, sendo, contudo, contrabalanceada pelo alto preço dos receptores requeridos (de dupla frequência), além de outros inconvenientes práticos, como a frequente perda de rastreamento das ondas portadoras, o alto tempo de convergência para solução das chamadas “ambiguidades inteiras”, e a necessidade dos receptores estarem próximos entre si (*baselines* de, no máximo, 5 a 15 km).

Além do alto custo, uma grande limitação dos DGNSS e RGNSS (incluindo os RTK) consiste na degradação da precisão da correção, à medida em que o *rover* se afasta da base de referência (e também à medida em que a correção é transmitida tardiamente). Uma solução para esse problema consiste na utilização de uma rede (regional ou continental) de bases de referência, todas georeferenciadas, e capazes de trocar informações entre si, de forma a fornecer correções ponderadas (e mais confiáveis) aos usuários. Tal topologia é conhecida como *Wide-Area* DGNSS (WADGNSS), e os erros de posicionamento residuais típicos, resultantes de seu uso, são ilustrados na Tabela 1 (KEE, 1996). Além de permitir uma otimização no número de bases de referência necessárias (em relação à uma eventual implementação LADGNSS em larga escala), um WADGNSS é capaz de estimar (e fornecer aos usuários) correções específicas para cada fonte de erro compondo os erros de modo comum do GNSS, i.e., correções para as efemérides transmitidas, para os relógios dos satélites, e para os atrasos atmosféricos.



Ao longo das últimas décadas, diferentes organizações têm se dedicado à implementação, manutenção e fornecimento (gratuito ou não) de correções WADGNSS a usuários espalhados pelo Globo. Dentre as correções pagas, destacam-se as fornecidas pelas empresas Trimble, StarFire, Racal, Omnistar, *Jet Propulsion Laboratory* (JPL), etc. Dentre as gratuitas, podem-se citar as fornecidas pelo *Wide Area Augmentation System* (WAAS), dos EUA, *European Geostationary Navigation Overlay Service* (EGNOS), da União Europeia (EU), *Japanese Multi-Function Transportation Satellite Augmentation System* (MSAS), do Japão, e *GPS Aided GEO Augmented Navigation* (GAGAN), da Índia. Além de fornecer correções diferenciais gratuitas aos usuários, esses sistemas também transmitem, via satélites geoestacionários, códigos PRNs adicionais, além de informações sobre a integridade da constelação. Devido a essas capacidades adicionais, tais sistemas são conhecidos como *Satellite-Based Augmentation Systems* (SBAS), e apresentam, como principal inconveniente, contudo, a necessidade de o usuário possuir receptores modificados, capazes de rastrear os códigos PRNs adicionais (ENGE ET AL., 1996). Infelizmente, no Brasil, correções WADGNSS gratuitas ainda não estão disponíveis aos usuários.

Outra técnica de posicionamento absoluto, proveniente, de certa forma, dos WADGNSS, é o chamado Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). O PPP foi originalmente concebido para aplicações pós-processadas (PPP-PP) e de alta precisão (ANDERLE, 1976). Segundo esta técnica, dados brutos de diferentes bases de referência espalhadas pelo Globo são processados conjuntamente, levando-se em consideração sofisticados modelos para as órbitas dos satélites em função do tempo. Como resultado, correções (também chamadas de “produtos”) de alta confiabilidade são estimadas para os erros de efemérides e relógio dos satélites (KOUBA, 2009). Usuários equipados com receptores GNSS de alta qualidade (dupla frequência, com observações de fase das ondas portadoras) são capazes de usar as correções e obter precisão ainda melhor à fornecida pelos WADGNSS (Tabela 1).

Com o passar do tempo, aprimoramento dos algoritmos de estimação, aumento da capacidade de processamento computacional, e também impulsionada pela demanda de usuários, instituições passaram a se dedicar ao fornecimento de correções PPP em tempo real (PPP-TR), ainda que com precisão inferior aos produtos pós-processados. Dentre essas instituições, destaca-se o *International GNSS Service* (IGS), um conglomerado de mais de 200



instituições (públicas e privadas) voluntárias, de mais de 80 países, que fornece correções de múltiplas constelações GNSS, via internet, sem custos aos usuários. Até o presente momento, contudo, produtos em tempo real fornecidos pelo IGS têm se restringido aos erros de efemérides e relógios dos satélites (e mesmo assim, apenas para o GPS e GLONASS) (KRZAN; PRZESTRZELSKI, 2016). Produtos relacionados aos demais componentes dos erros de modo comum do GNSS, tais como atrasos ionosféricos e troposféricos, ainda só estão disponíveis aos usuários de forma pós-processada. Como consequência, usuários interessados em praticar PPP-TR ainda têm, de forma geral, que recorrer a receptores GNSS de dupla frequência (alto custo), capazes de mitigar os atrasos ionosféricos. Os atrasos troposféricos, por sua vez, têm sido compensados pela utilização de modelos analíticos ditos “híbridos”, os quais, ao invés de recorrer a medições de sensores meteorológicos locais, fornecem valores tabelados para alguns parâmetros atmosféricos importantes (como temperatura, pressão, umidade, etc.), em função da localização do usuário, dia e horário. Exemplos de modelos troposféricos híbridos são o UBN3M (FARAH, 2015), EGNOS (KAZMIERSKI; SANTOS; BOSY, 2017), e IGGtrop (LI ET AL., 2012).

Uma solução à atual indisponibilidade de correções globais (em tempo real), associadas aos atrasos ionosféricos, por parte do IGS, tem sido ofertada a usuários como fruto de colaborações entre organismos e centros de pesquisa regionais nas áreas meteorológica e geodésica. Nos EUA, por exemplo, a colaboração entre o *Space Weather Prediction Center* (SWPC), *National Geodetic Survey* (NGS), *National Centers for Environmental Information* (NCEI), e *Global Systems Division* (GSD) culminou com a criação do *US Total Electron Content* (USTEC) *Service*. O USTEC é um serviço que fornece, via internet, de forma gratuita e em tempo real, informações de atrasos ionosféricos, na forma de mapas de Conteúdo Eletrônico Total (TEC) (MANNUCCI ET AL., 1998), a usuários norte-americanos. De posse de tais mapas (e das correções fornecidas pelo IGS), usuários munidos de receptores GNSS de simples frequência (baixo custo), têm sido capazes de praticar PPP-TR, obtendo precisão de posicionamento ligeiramente inferior ao correspondente PPP-PP (Tabela 1) (DE BAKKER; TIBERIUS, 2017; KIM; PARK, 2017).



Tabela 1 – Fontes de erros no GNSS

Tipo de erro	Fonte de erro	Erro associado [m]				
		SPS	LADGNSS	WADGNSS	PPP-PP	PPP-TR
Modo comum	Efemérides	2	0,4	0,05	0,02	0,05
	Relógio dos satélites	2	0,2	0,09	0,02	0,08
	Atraso ionosférico	3 – 7	0,5	0,40	0,40	0,40*
	Atraso troposférico	1	0,3	0,05	0,05	0,05
Modo não-comum	Relógio do receptor	0**	0**	0**	0**	0**
	Multicaminho	0,2	0,2	0,20	0,20	0,20
	Ruídos aleatórios	1 – 2	0,1	0,10	0,10	0,10
Erro de distância equivalente (UERE)		4 – 8	0,8	0,48	0,46	0,47
Erro de posicionamento horizontal (HDOP*** = 1,5)		6 – 12	1,2	0,72	0,69	0,71

* Especificação relativa ao USTEC

** O erro de relógio do receptor é geralmente estimado juntamente com a posição do receptor

*** Diluição de precisão horizontal

Na América do Sul, uma recém estabelecida (2019) colaboração entre a *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas* (FCAG), da *Universidad Nacional de La Plata* (UNLP), na Argentina, o *Bundesamt für Kartographie und Geodäsie* (BKG), da Alemanha, e o IGS, permitiu a disponibilização de mapas de atraso ionosférico, em tempo (quase) real, e para multi-constelações GNSS (GPS, GLONASS, Galileo e Beidou), em todo seu território (com extensão ao Caribe e península Antártica) (MENDONZA, 2019). Dessa forma, usuários brasileiros já estão aptos, ao menos teoricamente, a praticar PPP-TR, com receptores GNSS de simples frequência (baixo custo), via correções/produtos gratuitos fornecidos, via internet e em tempo real, pelas agências supracitadas. O estudo da precisão de posicionamento a ser obtido com o uso de tais produtos, em território brasileiro (e no âmbito particular de veículos agrícolas), é um dos temas de investigação do presente projeto de pesquisa tecnológica. O



segundo tema de investigação do projeto proposto reside na concepção de metodologias para integração de receptores GNSS-PPP-TR com os chamados Sistemas de Navegação Inercial (INS), descritos a seguir.

Sistemas de Navegação Inercial (INS) são sistemas capazes de fornecer informações de posição, velocidade e orientação (também referida como “atitude”) de corpos no espaço, sem a necessidade de auxílios externos (sinais de radiofrequência, satélites, *links* de rádio, etc.). Estes sistemas foram concebidos na década de 50 com o principal objetivo de fornecer a posição/orientação de mísseis, foguetes e submarinos, e consequentemente, permitir a pilotagem e o guiamento autônomo destes veículos. Como explicado por Chatfield (1997), um INS é constituído, essencialmente, por uma Unidade de Medição Inercial (IMU), dotada de três acelerômetros e três girômetros (montados em posições ortogonais), e por um Computador de Bordo (PC), responsável pela execução, em tempo real, dos algoritmos embarcados.

Acelerômetros, de acordo com Titterton e Weston (2004), são sensores capazes de mensurar a aceleração “não-gravitacional” dos corpos com os quais está em contato. Esta aceleração corresponde à aceleração causada por todas as forças atuantes no corpo, com exceção da força da gravidade, e é frequentemente referida como “força específica”. Os girômetros (ou popularmente, giroscópios), por outro lado, são sensores capazes de mensurar a velocidade angular dos corpos. Tanto acelerômetros quanto girômetros medem grandezas em relação a um referencial dito inercial, o qual é caracterizado por estar completamente estacionário no espaço tridimensional. Por este motivo, acelerômetros e girômetros são popularmente conhecidos como sensores “inerciais” (JEKELI, 2001).

De forma simplificada, um INS é capaz de determinar a posição, velocidade e orientação do corpo em que está montado, via integração numérica das forças específicas e velocidades angulares mensuradas pela IMU. Para que este processo de integração resulte em valores relativos à Terra, e não ao referencial inercial, uma série de compensações se faz necessária, como por exemplo: contabilização do vetor gravidade local, integralização da aceleração do corpo, compensação da velocidade angular da Terra, e contabilização das acelerações de Coriolis (NOURELDIN; KARAMAT; GEORGES, 2013). Ademais, para que o processo de integração numérica possa ser efetivamente implementado, faz-se necessária a determinação



das condições iniciais da posição, velocidade e orientação do corpo (SILVA; HEMERLY; LEITE FILHO, 2016b).

Outro fator que interfere drasticamente na qualidade das informações de posição, velocidade e orientação fornecidas pelo INS diz respeito à qualidade dos sensores inerciais utilizados. Embora todas as IMUs comerciais passem por extensivos processos de calibração laboratorial, onde grande parte dos erros sistemáticos (*biases*, fatores de escala e desalinhamentos) dos sensores são modelados, identificados e compensados, sensores inerciais são sensores altamente suscetíveis a erros de natureza aleatória e estocástica (*random walks*), os quais só podem ser identificados e compensados em processos de calibração em campo (*in-field*) (SILVA ET AL., 2018). Como resultado da integração numérica destas componentes aleatórias de erro, as informações de posição, velocidade e orientação podem se degradar muito rapidamente com o tempo, tornando o INS inadequado para algumas aplicações (FARRELL ET AL, 2021).

Apesar disto, INS têm sido largamente usados em aplicações contemporâneas, e apresentam vantagens importantes, como: determinação da orientação do corpo (em adição à posição e velocidade), independência de sinais e auxílios externos, alta taxa de amostragem, boa relação sinal/ruído, alta banda passante e boa precisão (a despeito da degradação da exatidão). Aplicações envolvendo INS incluem: smartphones, sistemas de prospecção petrolífera, Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), sistemas AirBag, dispositivos de realidade aumentada (Kinect), entre outros.

De acordo com Groves (2013), o uso de INS tem sido particularmente explorado no âmbito da chamada “fusão sensorial”. Segundo esta técnica, sensores com diferentes características de erros podem ser combinados através de algoritmos sofisticados (filtros de Kalman), de modo a fornecer uma solução, em termos de posição, velocidade e orientação, mais confiável e robusta do que a fornecida individualmente pelos sensores. Os principais sensores e sistemas que têm sido combinados com INS são: receptores GNSS, altímetros, barômetros, magnetômetros, odômetros, profundímetros, sonares Doppler, etc. (FARRELL, 2008).

No caso específico da fusão INS/GNSS, alvo da proposta do presente projeto, a solução resultante, permite aliar a exatidão do sistema GNSS, com a precisão do INS, além de garantir que o INS fornecerá informações de posição, velocidade e orientação do veículo, mesmo em



situações de eventual perda do sinal GNSS, devido, por exemplo, à obstrução do caminho por parte de árvores, edifícios, túneis, entre outros. Dentre as principais topologias de integração INS/GNSS, destacam-se duas: a) a topologia fracamente acoplada (*loosely-coupled integration*), a qual se vale de posições e velocidades pré-computados pelo GNSS como vetor de medição a ser inputado ao filtro de Kalman; b) a topologia fortemente acoplada (*tightly-coupled integration*), a qual usa diretamente as pseudo-distâncias (e eventualmente, Dopplers e fases da onda portadora), como vetor de medição para o filtro de Kalman. Como analisado por Groves (2013), além de significativamente mais robusta (melhor adequação das propriedades estocásticas dos modelos envolvidos), a topologia fortemente acoplada permite que uma solução integrada INS/GNSS se mantenha, mesmo quando da recepção de menos do que quatro sinais de satélites por parte do receptor GNSS.

5. Metodologia

A metodologia a ser adotada no âmbito do projeto proposto consistirá, a princípio, no cumprimento das seguintes etapas:

- a. **Revisão bibliográfica:** a equipe (coordenador geral, coordenador associado, pesquisadores, alunos e colaboradores) concentrará esforços no estudo, compreensão teórica, e estado da arte das atuais técnicas relacionadas ao PPP-TR. Serão recapitulados também, os principais algoritmos de estimação de posição, baseados nas observáveis GNSS (em especial, pseudo-distâncias), bem como os principais erros (de modo comum e não-comum) que corrompem as anteriores. Em particular, investigar-se-á a natureza de tais erros, bem como modelos/algoritmos tipicamente usados para mitigá-los. Por fim, serão estudadas as principais características de IMUs, algoritmos de calibração de sensores inerciais, técnicas de inicialização (alinhamento) de INS, e topologias de integração de INS com sensores auxiliares. Dar-se-á especial enfoque à: (i) técnica de modelagem estocástica de sensores inerciais conhecida como Variância de Allan (AV); (ii) estudo da propagação de erros em INS; (iii) topologias de integração INS/barômetro (usadas para estabilizar o canal vertical do sistema); e (iv) topologias de integração INS/GNSS dos tipos fracamente



e fortemente acopladas. Simulações computacionais baseadas em dados fictícios de sensores/receptores deverão ser concebidas, para fins de teste e validação dos algoritmos estudados;

- b. **Caracterização das correções PPP-TR:** a equipe investigará e compreenderá a natureza das correções fornecidas pelo IGS e FCAG-UNLP. Nessa etapa, deverá ser entendido o formato através do qual as correções são fornecidas (RINEX, SSR, IONEX, ANTEX, SINEX, etc.), os modelos a serem usados nas compensações, e a eventual necessidade de se aplicar correções adicionais, devido por exemplo, à existência de: (i) *Differential Code Biases* (DCBs) nos relógios dos satélites (TETESKY ET AL., 2009), (ii) desvios nos centros de fase (*phase center offsets*) nas antenas dos receptores e satélites, (iii) movimentação da crosta terrestre devido à atração solar e lunar (*solid Earth tides*), (iv) diferentes sistemas de representação de coordenadas empregados (WGS84, ITRF, SIRGAS, etc.), (v) imprecisão dos modelos de atraso troposférico adotados, (vi) entre outros. Especificamente no que diz respeito às correções fornecidas pelo IGS (para os erros de relógio dos satélites e erros de efemérides), deverão ser concebidos algoritmos capazes de decodificar as correções e adaptá-las ao formato necessário para processamento em ambiente Matlab®, e (futuramente) em uma placa controladora de tempo real. Dever-se-á atentar, especialmente, para a necessidade de interpolação temporal das correções, e eventuais efeitos de latência nas mesmas. No que diz respeito às correções fornecidas pela FGAC-UNLP (para os erros de atraso ionosféricos), dever-se-á também atentar para a necessidade de interpolação espacial das correções (uma vez que essas são, em geral, fornecidas em formato de *grid points*), bem como para o cômputo/aplicação dos chamados fatores de inclinação/obliquidade (*slant*). Tais fatores são importantes pois compensam o fato dos sinais GNSS incidirem sobre a ionosfera sob ângulos de incidência que dependem da elevação dos satélites com relação ao receptor do usuário, o que modifica a magnitude do atraso imposto aos mesmos;
- c. **Coleta de dados estacionários:** a equipe utilizará o *software* gratuito *BKG Ntrip Client* (BNC), concebido pela BKG, para coletar, em tempo real, dados de observáveis GNSS (GPS, GLONASS, Galileo e Beidou), mensagens de navegação (efemérides transmitidas), e correções PPP-TR. Nessa etapa, as observáveis GNSS a serem coletadas (em especial,



pseudo-distâncias) deverão corresponder a receptores de alta qualidade pertencentes à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em especial ao receptor recentemente (2018) instalado na Universidade Federal de Lavras (UFLA) (AVELAR, 2018). As correções associadas aos atrasos ionosféricos deverão ser coletadas diretamente no servidor da FCAG-UNLP. Após coletadas, as observáveis/correções deverão ser adaptadas para uso, conforme algoritmos concebidos na etapa anterior. Adicionalmente, também deverão ser coletados dados de magnetômetros e sensores inerciais de diferentes qualidades (módulos u-blox C102-F9R, X-Sens MTI-7 e X-Sens MTi-680G), em condição estacionária. Os sensores deverão ser montados em marcos geodésicos existentes no campus da UFLA, cujas coordenadas são conhecidas com precisão centimétrica, de forma a facilitar o posterior tratamento dos dados;

- d. **Implementação/avaliação dos algoritmos PPP-TR (cenário estacionário):** de posse dos dados/correções GNSS coletados, a equipe deverá implementar algoritmos de estimação PPP-TR, em ambiente Matlab®, mas de forma pós-processada. O objetivo é facilitar a identificação de inconsistências nas estimativas, permitir a validação da adequação dos algoritmos testados, e fornecer bases de comparabilidade entre diferentes abordagens de estimação. Nessa etapa, por exemplo, poderão ser investigados algoritmos via Mínimos Quadrados Iterado (ILS), Mínimos Quadrados Iterado Ponderado (WILS), e Filtro de Kalman (KF). A utilização de pseudo-distâncias diferenciadas entre satélites também poderá ser investigada, como forma de se eliminar a necessidade de estimação dos erros de relógio dos receptores, como parte dos algoritmos. O desempenho dos algoritmos PPP-TR para diferentes constelações GNSS, bem como diferentes modelos de compensações troposféricas, também deverá ser analisado nessa etapa. Paralelamente, os dados coletados dos sensores inerciais serão usados para caracterização dos erros estocásticos existentes nos mesmos, via técnica da AV. Serão implementados, também em ambiente Matlab®, algoritmos de navegação inercial, e investigada a influência dos seguintes fatores na degradação da respectiva solução de navegação: (i) etapa de inicialização/alinhamento do INS; e (ii) qualidade dos sensores inerciais. Para a etapa de alinhamento, em particular, dever-se-á recorrer a técnicas baseadas em informações auxiliares de magnetômetros, o



que demandará, necessariamente, a implementação de técnicas de calibração (em campo) desses sensores;

- e. **Avaliação da latência das correções PPP-TR:** de posse dos dados coletados, a equipe deverá conduzir estudos relacionados à degradação da estimação de posicionamento, em função do tempo existente entre a geração das correções PPP-TR, e sua efetiva aplicação. O objetivo é simular, por exemplo, o efeito de eventuais atrasos, perdas e/ou falhas de transmissão das correções, devido às limitações físicas das redes de comunicação, passíveis de ocorrer em uma aplicação real. Nessa etapa, poderão ser investigadas também, questões como a perda de precisão da solução de posicionamento, quando da existência de observáveis GNSS corrompidas (*outliers*);
- f. **Tratamento dos efeitos de multicaminho:** uma vez finalizada a etapa anterior, estratégias de estimação inovadoras, envolvendo por exemplo, a modelagem dos efeitos de multicaminho do GNSS, como elementos adicionais no vetor de estados do KF, também poderão ser investigadas. Nesse sentido, e caso disponibilizado pelos receptores GNSS empregados, também poderá ser investigado o uso das observáveis deslocamento na frequência (Doppler) da onda portadora, como forma de auxiliar a estimação dos efeitos de multicaminho (RAHMAN; FARRELL, 2018). Dentre outras técnicas que poderão ser investigadas, destacam-se: (i) tratamento do multicaminho via filtragem espectral dos sinais GNSS; e (ii) tratamento via combinação de pseudo-distâncias e fases da onda portadora;
- g. **Coleta de dados dinâmicos:** a equipe conduzirá ensaios experimentais, de forma a coletar uma nova massa de dados (leituras de sensores inerciais, observáveis/mensagens de navegação GNSS e correções PPP-TR), agora para um veículo em movimento. Nessa etapa, deverão ser utilizados: (i) protótipos de veículos terrestres autônomos, em escala reduzida, pertencentes ao Laboratório do Núcleo de Estudos em Tecnologia, Robótica, Otimização e Inteligência Artificial (TROIA), e ao Laboratório de Mobilidade Terrestre (LMT), coordenados pela equipe proponente; (ii) veículos terrestres automotivos, disponibilizados pela ICT proponente. Como receptores GNSS, deverão ser utilizados os seguintes modelos: (i) o receptor GNSS Spectra SP60 L1/L2 RTK, de dupla frequência, para o estabelecimento das trajetórias de referência (*ground truth*); (ii) o receptor Trimble



AgGPS™ 114, o qual é adicionalmente equipado com um receptor DGNSS, e para o qual correções diferenciais podem ser fornecidas, via assinatura, pelas empresas Omnistar e Racal; (iii) o módulo de navegação integrada INS/GNSS u-Blox NEO-M8U, que combina observáveis GNSS (GPS, GLONASS, Galileo e Beidou) em simples frequência com medições de sensores inerciais; (iv) os módulos de navegação integrada INS/GNSS X-Sens MTi-7 e MTi-680G RTK, que além de fornecerem uma solução INS/GNSS comercial para comparação com os algoritmos a serem implementados, também disponibilizam medições adicionais de magnetômetros e barômetro; (v) o módulo de navegação integrada INS/GNSS u-Blox C102-F9R, que é capaz de adquirir sinais GNSS de várias frequências e constelações. As correções necessárias ao PPP-TR ainda serão coletadas via *software* BNC, e servidor proprietário da FCAG-UNLP. Diferentes trajetórias para os veículos deverão ser ensaiadas, tanto em ambiente urbano quanto rural. No que tange especificamente a esse último, dar-se-á preferência à execução de trajetórias por entre fileiras de lavouras agrícolas, uma vez que a principal aplicação do sistema proposto é nesse tipo de ambiente;

- h. **Implementação/avaliação dos algoritmos PPP-TR (cenário dinâmico):** de posse dos novos dados coletados, a equipe os utilizará nos algoritmos previamente investigados, ainda em ambiente Matlab®, e de forma pós-processada. Nessa etapa, serão comparados os desempenhos (em termos de precisão) da solução PPP-TR proposta em relação aos tradicionais INS (não auxiliado), DGNSS, RGNSS e RTK. Para geração das trajetórias de referência, as observáveis dos receptores GNSS de dupla frequência deverão ser processadas por um *software* de PPP-PP, a princípio o *Canadian Spatial Reference System* (CSRS). Em particular, investigar-se-á a capacidade das soluções testadas em atender a especificações do setor automotivo, tais como a SAE J2945 (SAE, 2016);
- i. **Implementação/avaliação dos algoritmos INS/PPP-TR (ambiente Matlab®):** nessa etapa, e de posse dos dados dinâmicos coletados, a equipe concentrará esforços na concepção e implementação (em ambiente Matlab®) de algoritmos de fusão sensorial entre a solução GNSS PPP-TR concebida, e o INS. Deverá ser investigado o desempenho (em termos de exatidão/precisão) das principais topologias de integração INS/GNSS, a saber, topologias fracamente e fortemente acopladas, com relação às tradicionais soluções INS



(não auxiliado), GNSS (não auxiliado), DGNSS, RGNSS, RTK, e PPP-TR. Em particular, dar-se-á ênfase na comparação dos desempenhos das soluções anteriores, em situações com reconhecida perda de recepção dos sinais GNSS por parte do receptor (*outages*), bem como latência no recebimento das correções PPP-TR. Novamente, o objetivo será determinar a capacidade das soluções testadas em atender à especificação SAE J2945 (SAE, 2016);

- j. **Implementação dos algoritmos INS (controlador de tempo real):** nessa etapa, e com os algoritmos relativos ao INS devidamente testados e validados em ambiente Matlab®, passar-se-á à implementação dos mesmos em uma placa controladora de tempo real, a princípio, a plataforma qFire 1XXU (de fabricação do próprio grupo MWF). Nessa etapa, deverão ser investigadas questões como: protocolos de comunicação entre os sensores inerciais de baixo custo (possivelmente os do módulo u-Blox C102-F9R e/ou X-Sens MTi-7) e a placa controladora; estabilidade da taxa de transmissão/disponibilização dos dados dos sensores; referenciamento temporal das leituras com padrões de tempo internacionais, tais como o Tempo Coordenado Universal (UTC) e/ou tempo GPS; custo computacional da implementação; etc. Placas controladoras de tempo real diferentes da supracitada (tais como as baseadas no mini-computador Raspberry Pi) poderão, eventualmente, ser empregadas nessa etapa, caso atendam aos requisitos de processamento necessários, e sejam de menor custo;
- k. **Avaliação dos algoritmos INS (controlador de tempo real):** nessa etapa, e com os algoritmos do INS devidamente implementados na placa controladora de tempo real, eles serão testados e comparados com as tradicionais soluções de posicionamento de precisão DGNSS, RGNSS e RTK, com vistas à demonstração da funcionalidade do sistema proposto (protótipo) em ambiente operacional (TRL 7). Novos ensaios experimentais serão conduzidos, em condições similares às apresentadas na etapa “g”, i.e., ensaios com veículos em trajetórias urbanas e rurais, e a solução de navegação fornecida pelo sistema INS prototipado será armazenada (*logged*) para posterior análise. Eventuais inconsistências de processamento e/ou navegação serão identificadas e prontamente sanadas. Novamente, o objetivo global da etapa será determinar a capacidade do sistema proposto em atender à especificação SAE J2945 (SAE, 2016);



- l. **Implementação dos algoritmos PPP-TR (controlador de tempo real):** nessa etapa, repetir-se-ão as atividades previstas para a etapa “j”, focando-se, porém na implementação dos algoritmos PPP-TR na placa controladora de tempo real. Nessa etapa, deverão ser investigadas questões como: protocolos de comunicação entre os receptores GNSS de baixo custo (possivelmente o módulo u-Blox C102-F9R e/ou X-Sens MTi-7) e a placa controladora; configuração do *software* BNC na placa controladora; acesso da placa à internet, via *hardwares* específicos, para aquisição das correções PPP-TR; sincronização temporal entre as observáveis GNSS e os produtos PPP-TR; etc.;
- m. **Avaliação dos algoritmos PPP-TR (controlador de tempo real):** nessa etapa, repetir-se-ão os testes de validação previstos na etapa “k”, focando-se, contudo, no desempenho dos algoritmos PPP-TR previamente implementados na placa controladora de tempo real;
- n. **Implementação dos algoritmos INS/PPP-TR (controlador de tempo real):** nessa etapa, repetir-se-ão as atividades previstas para as etapas “j” e “l”, focando-se, porém na implementação dos algoritmos de integração entre o INS e o PPP-TR na placa controladora de tempo real. Nessa etapa, deverão ser investigadas questões como: sincronização temporal entre as leituras dos sensores inerciais, observáveis GNSS e produtos PPP-TR; sintonias finas do Filtro de Kalman Estendido (EKF) de integração; necessidade de se implementar diferentes partes do algoritmo em diferentes taxas; necessidade de se implementar a etapa de atualização de medições do EKF na forma escalar/sequencial, ao invés de vetorial, de forma a salvar poder computacional, etc.;
- o. **Avaliação dos algoritmos INS/PPP-TR (controlador de tempo real):** nessa etapa, repetir-se-ão os testes de validação previstos nas etapas “k” e “m”, focando-se, contudo, no desempenho dos algoritmos INS/PPP-TR previamente implementados na placa controladora de tempo real;
- p. **Divulgação/Proteção dos resultados e prestação de contas:** a equipe concentrará esforços no que diz respeito ao: (i) preparo e submissão de artigos em conferências e periódicos especializados; (ii) defesa de dissertações de mestrado e teses de doutorado, relacionadas ao tema, conduzidas no âmbito do projeto; (iii) depósito de eventuais programas de computador e patentes, passíveis de proteção, desenvolvidos no âmbito do



projeto; (iv) redação e submissão de relatório final à Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (FUNDEP).

6. Resultados Previstos

Com a consecução do projeto proposto, espera-se que os seguintes resultados sejam alcançados e/ou viabilizados no médio/longo prazo:

- Concepção (por parte da parceria UFLA/MWF Mechatronics) de um protótipo de sistema de posicionamento de precisão e baixo custo, com integração INS/GNSS via técnica PPP-TR, para veículos agrícolas conectados;
- Fomento ao desenvolvimento de sistemas de posicionamento de precisão em território brasileiro, com evidente relevância para a soberania nacional;
- Fomento ao desenvolvimento de subprodutos/subsistemas de segurança veicular e automação agrícola que dependem de soluções de posicionamento de precisão e baixo custo;
- Incentivo à expansão das atividades de Agricultura de Precisão (AP), em especial por parte de pequenos e médios agricultores, com consequente: a) aumento na produtividade dos cultivos, b) aumento na lucratividade dos empreendimentos agrícolas, c) geração de emprego e renda, d) aumento na qualidade dos alimentos, e) racionalização no uso de insumos/fertilizantes/defensivos, f) redução no dano/degradação do solo, g) melhoria generalizada na qualidade de vida dos produtores rurais;
- Incentivo à adesão, por parte da população, às tecnologias habilitadoras da solução proposta, em especial, o INS/PPP-TR, para posicionamento pessoal.
- Formação de recursos humanos especializados na área do projeto proposto, através da orientação de alunos graduação (Iniciações Científicas (IC) e Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC)), e pós-graduação (mestrados e doutorados), vinculados à Universidade Federal de Lavras (UFLA).



- Publicação de artigos científicos em periódicos especializados, bem como em conferências nacionais e internacionais, e em eventos de natureza tecnológica, com vistas à divulgação dos resultados obtidos, e à captação de recursos.
- Concepção de eventuais algoritmos inovadores, e consequente proteção intelectual dos mesmos, junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI);
- Capacitação técnica da equipe proponente, e consequente fortalecimento dos programas de pós-graduação dos quais ela faz parte, em especial, o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Automação (PPGESISA) e o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), ambos da UFLA. Nesse sentido, espera-se que novas disciplinas de pós-graduação possam ser criadas, na área do projeto proposto.
- Fortalecimento/Expansão da rede de pesquisa internacional, através de colaborações informais já em andamento entre o coordenador geral e pesquisadores especialistas na área do projeto (como o Prof. Jay A. Farrell, da *University of California Riverside* (UCR)), com vistas à: submissão/consecução de projetos de pesquisa em conjunto; intercâmbio de alunos de graduação e pós-graduação; estabelecimento de missões de curta duração para professores/pesquisadores visitantes; publicação de artigos em periódicos especializados, também em conjunto;
- Fomento à transferência de tecnologia do setor público (UFLA) para o privado, com vistas à futura colocação de um produto comercial, tecnológico e inovador no mercado agrícola automotivo. Tal resultado está associado à já existente colaboração do coordenador geral com as empresas MWF Mechatronics Ltda. (MWF Mechatronics) e TDI Máquinas Agrícolas Indústria e Comércio Ltda. (TDI), cujas ações de empreendedorismo inovador estão alinhadas com o projeto de pesquisa tecnológica aqui proposto.

De acordo com o *Technology Readiness Level* (TRL), padrão de mensuração empregado na avaliação da maturidade tecnológica de projetos de desenvolvimento tecnológico e/ou de inovação, o projeto proposto se encontra, atualmente, no nível 2 (formulação de conceitos tecnológicos e/ou de aplicação). Com a consecução do mesmo, espera-se, em princípio, que o



nível 7 do TRL seja alcançado (demonstração de protótipo do sistema em ambiente operacional).

7. Cronograma de Atividades

As atividades propostas no âmbito do projeto serão executadas conforme cronograma ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Cronograma de atividades.

Item*	Metas e Atividades	Duração Prevista	
		Início	Fim
		Mês/Ano	Mês/Ano
[5.a]	Revisão bibliográfica	01/2022	12/2024
[5.b]	Caracterização das correções PPP-TR	04/2022	06/2022
[5.c]	Coleta de dados estacionários	07/2022	09/2022
[5.d]	Implementação/avaliação dos algoritmos PPP-TR (cenário estacionário)	10/2022	12/2022
[5.e]	Avaliação da latência das correções PPP-TR	01/2023	03/2023
[5.f]	Tratamento dos efeitos de multicaminho	04/2023	06/2023
[5.g]	Coleta de dados dinâmicos	07/2023	09/2023
[5.h]	Implementação/avaliação dos algoritmos PPP-TR (cenário dinâmico)	10/2023	12/2023
[5.i]	Implementação/avaliação dos algoritmos INS/PPP-TR (ambiente Matlab®)	01/2024	03/2024
[5.j]	Implementação dos algoritmos INS (controlador de tempo real)	04/2024	06/2024
[5.k]	Avaliação dos algoritmos INS (controlador de tempo real)	07/2024	09/2024



[5.i]	Implementação dos algoritmos PPP-TR (controlador de tempo real)	10/2024	12/2024
[5.m]	Avaliação dos algoritmos PPP-TR (controlador de tempo real)	01/2025	03/2025
[5.n]	Implementação dos algoritmos INS/PPP-TR (controlador de tempo real)	04/2025	06/2025
[5.o]	Avaliação dos algoritmos INS/PPP-TR (controlador de tempo real)	07/2025	09/2025
[5.p]	Divulgação/proteção dos resultados e prestação de contas	01/2022	09/2025

* Vide Seção 5.

8. Referências Bibliográficas

ANDERLE, R. J. Point positioning concept using precise ephemeris. **Satellite Doppler Positioning**. p. 47-75, 1976.

AVELAR, S. **Receptor da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) é instalado na UFPA**. Disponível em: <<https://ufpa.br/noticias/institucional/11974-receptor-da-rede-brasileira-de-monitoramento-contínuo-rbmc-e-instalado-na-ufpa>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

BASNAYAKE, C.; JOERGER, M.; AULD, J. Safety-critical positioning for automotive applications: Lessons from civil aviation. **Inside GNSS**, 2016. Disponível em: <<https://insidengnss.com/safety-critical-positioning-for-automotive-applications/>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

BRAASCH, M. S.; VAN DIERENDONCK, A. GPS receiver architectures and measurements. **Proc. of the IEEE**, v. 87, n. 1, p. 48–64, 1999.

CHATFIELD, A. B., **Fundamentals of High Accuracy Inertial Navigation**, Reston, VA: AIAA, 1997.



DE BAKKER, P. F.; TIBERIUS, C. C. Real-time multi-GNSS single-frequency precise point positioning. **GPS Solutions**, v. 21, n. 4, p. 1791–1803, 2017.

ENGE, P.; WALTER, T.; PULLEN, S.; KEE, C.; CHAO, Y. C.; TSAI, Y. J. Wide area augmentation of the global positioning system. **Proc. of the IEEE**, v. 84, n. 8, p. 1063–1088, 1996.

FARAH, A. Accuracy assessment study on UNB3M neutral atmosphere model for global tropospheric delay mitigation. **Artificial Satellites**, v. 40, n. 4, p. 201-2015, 2015.

FARRELL, J. A. **Aided Navigation: GPS with High Rate Sensors**. [S.l.]: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008.

FARRELL, J. A.; SILVA, F. O.; RAHMAN, F. S.; WENDEL, J. IMU Error Modeling for State Estimation and Calibration: A Tutorial. **IEEE Control Syst. Mag.**, Aceito para publicação, 2021.

GARCIA, V., ET AL. Connected Vehicle Pilot Deployment Program Phase 2, Deployment Outreach Plan, Version 3 - WYDOT.” **US Department of Transportation**, Relatório Técnico, 10 mai. 2018.

GREWAL, M. S.; ANDREWS, A. P.; BARTONE, C. G. **Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation & Integration**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2013.

GROVES, P. D. **Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems**. 2. ed. London: Artech House Remote Sensing Library, 2013.

JEKELI, C. **Inertial Navigation Systems with Geodetic Applications**. Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co., 2001.

JOHNSON, S., ET AL. Connected Vehicle Pilot Deployment Program Phase 2, Data Management Plan – Tampa (THEA)” **US Department of Transportation**, Relatório Técnico, 07 out. 2017.

KAPLAN, E. D.; HEGARTY, C. J. **Understanding GPS-GNN: Principles and Applications**. 3. Ed. Norwood: Artech House, Inc., 2018.



KAZMIERSKI, K.; SANTOS, M.; BOSY, J. Tropospheric delay modeling for EGNOS augmentation system. **Survey Review**, V. 49, N. 357, P. 299-407, 2017.

KEE, C. Wide area differential GPS (WADGPS): Future navigation system. **IEEE T. Aero. Elec. Sys.**, v. 32, n. 2, p. 795–808, 1996.

KIM, M.; PARK, K. D. Development and positioning accuracy assessment of single-frequency precise point positioning algorithms by combining GPS code-pseudorange measurements with real-time SSR corrections. **Sensors**, v. 17, n. 6, p. 1347, 2017.

KOUBA, J. A guide to using International GNSS Service (IGS) products. **IGS Central Bureau**, Relatório Técnico, mai. 2009.

KRZAN, G.; PRZESTRZELSKI, P. GPS/GLONASS precise point positioning with IGS real-time service products. **Acta Geodyn. Geomater**, v. 13, n. 1, p. 69–81, 2016.

LI, W.; YUAN, Y.; OU, J.; LI, H.; LI, Z. A new global Zenith tropospheric delay model IGGtrop for GNSS applications. **Chinese science Bulletin**, V. 57, N. 17, P. 2132-2139, 2012.

MANNUCCI, A.; WILSON, B.; YUAN, D.; HO, C.; LINDQWISTER, U.; RUNGE, T. A global mapping technique for GPS-derived ionospheric total electron content measurements. **Radio Science**, v. 33, n. 3, p. 565–582, 1998.

MENDONZA, L. P. O. [IGSmail-7767] Availability of near real-time TEC monitoring system for South America [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lmendoza@fcaglp.unlp.edu.ar> em 10 abr. 2019.

MISRA, P.; ENGE, P. Special issue on Global Positioning System. **Proc. of the IEEE**, v. 87, n. 1, p. 3-15, 1999.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. São Paulo; Editora UNESP, 2008.

NOURELDIN, A.; KARAMAT, T. B.; GEORGES, J. **Fundamentals of Inertial Navigation, Satellite-based Positioning and their Integration**. [S.l.]: Springer, 2013.



PARKINSON, B. W.; ENGE, P.; AXELRAD, P.; SPILKER JR., J. J. **Global Positioning System: Theory and Applications**. [S.l.]: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996.

PROL, F. S.; CAMARGO, P. O.; MONICO, J. F. G.; MUELLA, M. T. A. H. Assessment of a TEC calibration procedure by single-frequency PPP. **GPS Solutions**, v. 12, p. 100-112, 2018.

RAHMAN, F.; FARRELL, J. A. ECEF position accuracy and reliability in the presence of differential correction latency. **Proc. of the IEEE Position, Location and Navigation Symp.**, p. 583-588, 2018.

RAHMAN, F.; SILVA, F. O.; JIANG, Z.; FARRELL, J. A. ECEF position accuracy and reliability: continent scale differential GNSS approaches. **University of California Riverside**. Relatório Técnico, 17 jun. 2019.

RAHMAN, F.; SILVA, F. O.; JIANG, Z.; FARRELL, J. A. Low-Cost Real-Time PPP-aided for CAV Applications. **IEEE T. on Intell. Transp. Syst.** Em revisão, 2020.

SAE. On-Board System Requirements for V2V Safety Communications. **Society of Automotive Engineers**, Relatório Técnico, 30 mar. 2016.

SEGANTINE, P. L. C. **Sistema Global de Posicionamento – GPS**. 1. ed. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, 2005.

SILVA, F. O.; HEMERLY, E. M.; LEITE FILHO, W. C. Error analysis of analytical coarse alignment formulations for stationary SINS. **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, v. 52, n. 4, p. 1777-1796, 2016.

SILVA, F. O.; HEMERLY, E. M.; LEITE FILHO, W. C.; KUGA, H. K. A Fast In-Field Coarse Alignment and Bias Estimation Method for Stationary Intermediate-Grade IMUs. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 67, n. 4, p. 831-838, 2018.

TETESKY, A.; ROSS, J.; SOLTZ, A.; VAUGHN, N.; ANSZPERGER, J.; O'BRIEN, C.; GRAHAM, D.; CRAIG, D.; LOZOW, J. Making sense of inter-signal corrections: accounting for GPS satellite calibration parameters in legacy and modernized ionosphere correction algorithms. **Inside GNSS**, v. July-August, n. 1, p. 37-48, 2009.



TEUNISSEN, P.; MONTENBRUCK, O. **Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems**. [S.l.]: Springer, 2017.

TITTERTON, D. H.; WESTON, J. L. **Strapdown Inertial Navigation Technology**. Reston: Institution of Electrical Engineers, 2004.

VAN DUREN, D., ET AL. Connected Vehicle Pilot Deployment Program Phase 2, Data Privacy Plan – New York City. **US Department of Transportation**, Relatório Técnico, 27 dec. 2016.

Cronograma de Atividades

Programa: ROTA 2030- FUNDEP

Eixo II - CONSEV

Chamada: 02/2021

Título: Sistema de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real com Integração INS/GNSS para Veículos Agrícolas Conectados

Coordenador: Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

Proponente: Universidade Federal de Lavras

Cod. Etapa	Etapa	Descrição da etapa	Entrega prevista / Resultado Esperado	Validadores da entrega/resultado	Mês início da etapa	Mês término da etapa	Duração da etapa	Responsável pela atividade
Número etapa	Título da etapa	Descrever o que será realizado na etapa	Informar quais são os resultados previstos nesta etapa	Informar a referência para considerar a etapa como concluída	Informar o mês de início	Informar o mês de término	Mínimo um mês	Nome do Responsável ou bolsista
a	Revisão bibliográfica	A equipe (coordenador geral, coordenador associado, pesquisadores, alunos e colaboradores) concentrará esforços no estudo, compreensão teórica, e estado da arte das atuais técnicas relacionadas ao PPP-TR. Serão recapitulados também, os principais algoritmos de estimação de posição, baseados nas observáveis GNSS (em especial, pseudo-distâncias), bem como os principais erros (de modo comum e não-comum) que corrompem as anteriores. Em particular, investigar-se-á a natureza de tais erros, bem como modelos/algoritmos tipicamente usados para mitigá-los. Por fim, serão estudadas as principais características de IMUs, algoritmos de calibração de sensores inerciais, técnicas de inicialização (alinhamento) de INS, e topologias de integração de INS com sensores auxiliares. Dar-se-á especial enfoque à: (i) técnica de modelagem estocástica de sensores inerciais conhecida como Variância de Allan (AV); (ii) estudo da propagação de erros em INS; (iii) topologias de integração INS/barômetro (usadas para estabilizar o canal vertical	Espera-se que sejam redigidos documentos contendo as revisões da literatura e atual estado da arte relacionados a INS, GNSS e PPP-TR, bem como gráficos de simulações computacionais	Revisão bibliográfica finalizada, documentos redigidos e simulações concebidas	1	36	35	Bolsista de Mestrado (2) (40hr/semana)

Cronograma de Atividades

Programa: ROTA 2030- FUNDEP

Eixo II - CONSEV

Chamada: 02/2021

Título: Sistema de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real com Integração INS/GNSS para Veículos Agrícolas Conectados

Coordenador: Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

Proponente: Universidade Federal de Lavras

Cod. Etapa	Etapa	Descrição da etapa	Entrega prevista / Resultado Esperado	Validadores da entrega/resultado	Mês início da etapa	Mês término da etapa	Duração da etapa	Responsável pela atividade
b	Caracterização das correções PPP-TR	A equipe investigará e compreenderá a natureza das correções fornecidas pelo IGS e FCAG-UNLP. Nessa etapa, deverá ser entendido o formato através do qual as correções são fornecidas (RINEX, SSR, IONEX, ANTEX, SINEX, etc.), os modelos a serem usados nas compensações, e a eventual necessidade de se aplicar correções adicionais, devido por exemplo, à existência de: (i) Differential Code Biases (DCBs) nos relógios dos satélites (TETESKY ET AL., 2009), (ii) desvios nos centros de fase (phase center offsets) nas antenas dos receptores e satélites, (iii) movimentação da crosta terrestre devido à atração solar e lunar (solid Earth tides), (iv) diferentes sistemas de representação de coordenadas empregados (WGS84, ITRF, SIRGAS, etc.), (v) imprecisão dos modelos de atraso troposférico adotados, (vi) entre outros. Especificamente no que diz respeito às correções fornecidas pelo IGS (para os erros de relógio dos satélites e erros de efemérides), deverão ser concebidos algoritmos capazes de decodificar as correções e adaptá-las ao formato necessário para processamento em	Espera-se que sejam redigidos documentos contendo os modelos adequados a se implementar no âmbito de PPP-TR	Modelo caracterizado e documentos redigidos	4	7	3	Bolsista de Mestrado (1) (40hr/semana)

Cronograma de Atividades

Programa: ROTA 2030- FUNDEP

Eixo II - CONSEV

Chamada: 02/2021

Título: Sistema de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real com Integração INS/GNSS para Veículos Agrícolas Conectados

Coordenador: Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

Proponente: Universidade Federal de Lavras

Cod. Etapa	Etapa	Descrição da etapa	Entrega prevista / Resultado Esperado	Validadores da entrega/resultado	Mês início da etapa	Mês término da etapa	Duração da etapa	Responsável pela atividade
c	Coleta de dados estacionários	A equipe utilizará o software gratuito BKG Ntrip Client (BNC), concebido pela BKG, para coletar, em tempo real, dados de observáveis GNSS (GPS, GLONASS, Galileo e Beidou), mensagens de navegação (efemérides transmitidas), e correções PPP-TR. Nessa etapa, as observáveis GNSS a serem coletadas (em especial, pseudo-distâncias) deverão corresponder a receptores de alta qualidade pertencentes à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em especial ao receptor recentemente (2018) instalado na Universidade Federal de Lavras (UFLA) (AVELAR, 2018). As correções associadas aos atrasos ionosféricos deverão ser coletadas diretamente no servidor da FCAG-UNLP. Após coletadas, as observáveis/correções deverão ser adaptadas para uso, conforme algoritmos concebidos na etapa anterior. Adicionalmente, também deverão ser coletados dados de magnetômetros e sensores inerciais de diferentes qualidades (módulos u-blox C102-F9R, X-Sens MTI-7 e X-Sens MTi-680G), em	Espera-se que sejam coletadas dados de sensores INS, observáveis GNSS e correções PPP-TR, de forma a se criar um banco de dados	Dados, observáveis e correções coletadas e banco de dados consolidado	7	10	3	Gleydson Antônio de Oliveira Campos (2hr/semana)

Cronograma de Atividades

Programa: ROTA 2030- FUNDEP

Eixo II - CONSEV

Chamada: 02/2021

Título: Sistema de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real com Integração INS/GNSS para Veículos Agrícolas Conectados

Coordenador: Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

Proponente: Universidade Federal de Lavras

Cod. Etapa	Etapa	Descrição da etapa	Entrega prevista / Resultado Esperado	Validadores da entrega/resultado	Mês início da etapa	Mês término da etapa	Duração da etapa	Responsável pela atividade
d	Implementação/avaliação dos algoritmos PPP-TR (cenário estacionário)	De posse dos dados/correções GNSS coletados, a equipe deverá implementar algoritmos de estimação PPP-TR, em ambiente Matlab®, mas de forma pós-processada. Nessa etapa, por exemplo, poderão ser investigados algoritmos via Mínimos Quadrados Iterado (ILS), Mínimos Quadrados Iterado Ponderado (WILS), e Filtro de Kalman (KF). A utilização de pseudo-distâncias diferenciadas entre satélites também poderá ser investigada, como forma de se eliminar a necessidade de estimação dos erros de relógio dos receptores, como parte dos algoritmos. O desempenho dos algoritmos PPP-TR para diferentes constelações GNSS, bem como diferentes modelos de compensações troposféricas, também deverá ser analisado nessa etapa. Paralelamente, os dados coletados dos sensores inerciais serão usados para caracterização dos erros estocásticos existentes nos mesmos, via técnica da AV. Serão implementados, também em ambiente Matlab®, algoritmos de navegação inercial, e investigada a influência dos seguintes fatores na degradação da respectiva solução de	Espera-se identificar inconsistências nas estimativas, permitir a validação da adequação dos algoritmos testados, e fornecer bases de comparabilidade entre diferentes abordagens de estimação.	Scripts implementados (contendo os algoritmos INS, GNSS e PPP-TR) e gráficos comparativos plotados	10	13	3	Bolsista de Doutorado (40hr/semana)

Cronograma de Atividades

Programa: ROTA 2030- FUNDEP

Eixo II - CONSEV

Chamada: 02/2021

Título: Sistema de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real com Integração INS/GNSS para Veículos Agrícolas Conectados
Coordenador: Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)
Proponente: Universidade Federal de Lavras

Cod. Etapa	Etapa	Descrição da etapa	Entrega prevista / Resultado Esperado	Validadores da entrega/resultado	Mês início da etapa	Mês término da etapa	Duração da etapa	Responsável pela atividade
e	Avaliação da latência das correções PPP-TR	De posse dos dados coletados, a equipe deverá conduzir estudos relacionados à degradação da estimação de posicionamento, em função do tempo existente entre a geração das correções PPP-TR, e sua efetiva aplicação. Nessa etapa, poderão ser investigadas também, questões como a perda de precisão da solução de posicionamento, quando da existência de observáveis GNSS corrompidas (outliers)	Espera-se simular o efeito de eventuais atrasos, perdas e/ou falhas de transmissão das correções, devido às limitações físicas das redes de comunicação, passíveis de ocorrer em uma aplicação PPP-TR real.	Gráficos avaliativos (precisão do posicionamento em função da latência das correções) plotados	13	16	3	Gabriel Araújo e Silva Ferraz (2hr/semana)
f	Tratamento dos efeitos de multicaminho	Uma vez finalizada a etapa anterior, estratégias de estimação inovadoras, envolvendo por exemplo, a modelagem dos efeitos de multicaminho do GNSS, como elementos adicionais no vetor de estados do KF, também poderão ser investigadas. Nesse sentido, e caso disponibilizado pelos receptores GNSS empregados, também poderá ser investigado o uso das observáveis deslocamento na frequência (Doppler) da onda portadora, como forma de auxiliar a estimação dos efeitos de multicaminho (RAHMAN; FARRELL, 2018). Dentre outras técnicas que poderão ser investigadas, destacam-se: (i) tratamento do multicaminho via filtragem espectral dos sinais GNSS; e (ii) tratamento via combinação de pseudo-distâncias e fases da onda portadora	Espera-se identificar o efeito prejudicial dos erros de multicaminho na solução PPP-TR proposta, bem como métodos de compensação	Gráficos avaliativos (precisão do posicionamento em função das diferentes técnicas de mitigação do multicaminho) plotados	16	19	3	Danilo Alves de Lima (2hr/semana)

Cronograma de Atividades

Programa: ROTA 2030- FUNDEP

Eixo II - CONSEV

Chamada: 02/2021

Título: Sistema de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real com Integração INS/GNSS para Veículos Agrícolas Conectados

Coordenador: Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

Proponente: Universidade Federal de Lavras

Cod. Etapa	Etapa	Descrição da etapa	Entrega prevista / Resultado Esperado	Validadores da entrega/resultados	Mês início da etapa	Mês término da etapa	Duração da etapa	Responsável pela atividade
g	Coleta de dados dinâmicos	A equipe conduzirá ensaios experimentais, de forma a coletar uma nova massa de dados (leituras de sensores inerciais, observáveis/mensagens de navegação GNSS e correções PPP-TR), agora para um veículo em movimento. Nessa etapa, deverão ser utilizados: (i) protótipos de veículos terrestres autônomos, em escala reduzida, pertencentes ao Laboratório do Núcleo de Estudos em Tecnologia, Robótica, Otimização e Inteligência Artificial (TROIA), e ao Laboratório de Mobilidade Terrestre (LMT), coordenados pela equipe proponente; (ii) veículos terrestres automotivos, disponibilizados pela ICT proponente. Como receptores GNSS, deverão ser utilizados os seguintes modelos: (i) o receptor GNSS Spectra SP60 L1/L2 RTK, de dupla frequência, para o estabelecimento das trajetórias de referência (ground truth); (ii) o receptor Trimble AgGPS™ 114, o qual é adicionalmente equipado com um receptor DGNSS, e para o qual correções diferenciais podem ser fornecidas, via assinatura, pelas empresas Omnistar e Racal; (iii) o módulo de navegação	Espera-se que sejam coletadas observáveis GNSS e correções PPP-TR, de forma a se criar um banco de dados	Dados, observáveis e correções coletadas e banco de dados consolidado	19	22	3	Fábio Moreira da Silva (2hr/semana)

Cronograma de Atividades

Programa: ROTA 2030- FUNDEP

Eixo II - CONSEV

Chamada: 02/2021

Título: Sistema de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real com Integração INS/GNSS para Veículos Agrícolas Conectados

Coordenador: Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

Proponente: Universidade Federal de Lavras

Cod. Etapa	Etapa	Descrição da etapa	Entrega prevista / Resultado Esperado	Validadores da entrega/resultado	Mês início da etapa	Mês término da etapa	Duração da etapa	Responsável pela atividade
h	Implementação/avaliação dos algoritmos PPP-TR (cenário dinâmico)	De posse dos novos dados coletados, a equipe os utilizará nos algoritmos previamente investigados, ainda em ambiente Matlab®, e de forma pós-processada. Nessa etapa, serão comparados os desempenhos (em termos de precisão) da solução PPP-TR proposta em relação aos tradicionais INS (não auxiliado), DGNS, RGNSS e RTK. Para geração das trajetórias de referência, as observáveis dos receptores GNSS de dupla frequência deverão ser processadas por um software de PPP-PP, a princípio o Canadian Spatial Reference System (CSRS). Em particular, investigar-se-á a capacidade das soluções testadas em atender a especificações do setor automotivo, tais como a SAE J2945 (SAE, 2016)	Espera-se identificar inconsistências nas estimativas, permitir a validação da adequação dos algoritmos testados, e fornecer bases de comparabilidade entre diferentes abordagens de estimação.	Scripts implementados (contendo os algoritmos PPP-TR) e gráficos comparativos plotados	22	25	3	Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

Cronograma de Atividades

Programa: ROTA 2030- FUNDEP

Eixo II - CONSEV

Chamada: 02/2021

Título: Sistema de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real com Integração INS/GNSS para Veículos Agrícolas Conectados

Coordenador: Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

Proponente: Universidade Federal de Lavras

Cod. Etapa	Etapa	Descrição da etapa	Entrega prevista / Resultado Esperado	Validadores da entrega/resultado	Mês início da etapa	Mês término da etapa	Duração da etapa	Responsável pela atividade
i	Implementação/avaliação dos algoritmos INS/PPP-TR (ambiente Matlab®)	Nessa etapa, e de posse dos dados dinâmicos coletados, a equipe concentrará esforços na concepção e implementação (em ambiente Matlab®) de algoritmos de fusão sensorial entre a solução GNSS PPP-TR concebida, e o INS. Deverá ser investigado o desempenho (em termos de exatidão/precisão) das principais topologias de integração INS/GNSS, a saber, topologias fracamente e fortemente acopladas, com relação às tradicionais soluções INS (não auxiliado), GNSS (não auxiliado), DGNS, RGNSS, RTK, e PPP-TR. Em particular, dar-se-á ênfase na comparação dos desempenhos das soluções anteriores, em situações com reconhecida perda de recepção dos sinais GNSS por parte do receptor (outages), bem como latência no recebimento das correções PPP-TR. Novamente, o objetivo será determinar a capacidade das soluções testadas em atender à especificação SAE J2945 (SAE, 2016)	Espera-se identificar inconsistências nas estimativas, permitir a validação da adequação dos algoritmos testados, e fornecer bases de comparabilidade entre diferentes abordagens de estimação.	Scripts implementados (contendo os algoritmos INS/PPP-TR) e gráficos comparativos plotados	25	28	3	Rogério Paes Menezes Filho (8hr/semana)

Cronograma de Atividades

Programa: ROTA 2030- FUNDEP

Eixo II - CONSEV

Chamada: 02/2021

Título: Sistema de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real com Integração INS/GNSS para Veículos Agrícolas Conectados

Coordenador: Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

Proponente: Universidade Federal de Lavras

Cod. Etapa	Etapa	Descrição da etapa	Entrega prevista / Resultado Esperado	Validadores da entrega/resultado	Mês início da etapa	Mês término da etapa	Duração da etapa	Responsável pela atividade
j	Implementação dos algoritmos INS (controlador de tempo real)	Nessa etapa, e com os algoritmos relativos ao INS devidamente testados e validados em ambiente Matlab®, passar-se-á à implementação dos mesmos em uma placa controladora de tempo real, a princípio, a plataforma qFire 1XXU (de fabricação do próprio grupo MWF). Nessa etapa, deverão ser investigadas questões como: protocolos de comunicação entre os sensores inerciais de baixo custo (possivelmente os do módulo u-Blox C102-F9R e/ou X-Sens MTi-7) e a placa controladora; estabilidade da taxa de transmissão/disponibilização dos dados dos sensores; referenciamento temporal das leituras com padrões de tempo internacionais, tais como o Tempo Coordenado Universal (UTC) e/ou tempo GPS; custo computacional da implementação; etc. Placas controladoras de tempo real diferentes da supracitada (tais como as baseadas no mini-computador Raspberry Pi) poderão, eventualmente, ser empregadas nessa etapa, caso atendam aos requisitos de processamento necessários, e sejam de menor custo	Espera-se concluir a etapa de implementação dos algoritmos INS concebidos em uma placa de tempo real, com vistas à efetiva operacionalidade do protótipo.	Protótipo operacional concebido, com algoritmos INS	28	31	3	Bolsista de Mestrado (2) (40hr/semana)

Cronograma de Atividades

Programa: ROTA 2030- FUNDEP

Eixo II - CONSEV

Chamada: 02/2021

Título: Sistema de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real com Integração INS/GNSS para Veículos Agrícolas Conectados

Coordenador: Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

Proponente: Universidade Federal de Lavras

Cod. Etapa	Etapa	Descrição da etapa	Entrega prevista / Resultado Esperado	Validadores da entrega/resultado	Mês início da etapa	Mês término da etapa	Duração da etapa	Responsável pela atividade
k	Avaliação dos algoritmos INS (controlador de tempo real)	Nessa etapa, e com os algoritmos do INS devidamente implementados na placa controladora de tempo real, eles serão testados e comparados com as tradicionais soluções de posicionamento de precisão DGNSS, RGNSS e RTK, com vistas à demonstração da funcionalidade do sistema proposto (protótipo) em ambiente operacional (TRL 7). Novos ensaios experimentais serão conduzidos, em condições similares às apresentadas na etapa "g", i.e., ensaios com veículos em trajetórias urbanas e rurais, e a solução de navegação fornecida pelo sistema INS prototipado será armazenada (logged) para posterior análise. Eventuais inconsistências de processamento e/ou navegação serão identificadas e prontamente sanadas. Novamente, o objetivo global da etapa será determinar a capacidade do sistema proposto em atender à especificação SAE J2945 (SAE, 2016)	Espera-se validar a etapa de implementação dos algoritmos INS concebidos em uma placa de tempo real	Gráficos comparativos (do desempenho da solução INS em relação às tradicionais DGNSS, RGNSS, e RTK) plotados	31	34	3	Danilo Alves de Lima (2hr/semana)

Cronograma de Atividades

Programa: ROTA 2030- FUNDEP

Eixo II - CONSEV

Chamada: 02/2021

Título: Sistema de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real com Integração INS/GNSS para Veículos Agrícolas Conectados

Coordenador: Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

Proponente: Universidade Federal de Lavras

Cod. Etapa	Etapa	Descrição da etapa	Entrega prevista / Resultado Esperado	Validadores da entrega/resultado	Mês início da etapa	Mês término da etapa	Duração da etapa	Responsável pela atividade
I	Implementação dos algoritmos PPP-TR (controlador de tempo real)	Nessa etapa, repetir-se-ão as atividades previstas para a etapa “j”, focando-se, porém na implementação dos algoritmos PPP-TR na placa controladora de tempo real. Nessa etapa, deverão ser investigadas questões como: protocolos de comunicação entre os receptores GNSS de baixo custo (possivelmente o módulo u-Blox C102-F9R e/ou X-Sens MTi-7) e a placa controladora; configuração do software BNC na placa controladora; acesso da placa à internet, via hardwares específicos, para aquisição das correções PPP-TR; sincronização temporal entre as observáveis GNSS e os produtos PPP-TR; etc.	Espera-se concluir a etapa de implementação dos algoritmos PPP-TR concebidos em uma placa de tempo real, com vistas à efetiva operacionalidade do protótipo.	Protótipo operacional concebido, com algoritmos PPP-TR	34	37	3	Bolsista de Mestrado (3) (40hr/semana)
m	Avaliação dos algoritmos PPP-TR (controlador de tempo real)	Nessa etapa, repetir-se-ão os testes de validação previstos na etapa “k”, focando-se, contudo, no desempenho dos algoritmos PPP-TR previamente implementados na placa controladora de tempo real	Espera-se validar a etapa de implementação dos algoritmos PPP-TR concebidos em uma placa de tempo real	Gráficos comparativos (do desempenho da solução PPP-TR em relação às tradicionais DGNSS, RGNSS, e RTK) plotados	37	40	3	Bolsista de Incentivo à Inovação II (40hr/semana)

Cronograma de Atividades

Programa: ROTA 2030- FUNDEP

Eixo II - CONSEV

Chamada: 02/2021

Título: Sistema de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real com Integração INS/GNSS para Veículos Agrícolas Conectados

Coordenador: Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

Proponente: Universidade Federal de Lavras

Cod. Etapa	Etapa	Descrição da etapa	Entrega prevista / Resultado Esperado	Validadores da entrega/resultado	Mês início da etapa	Mês término da etapa	Duração da etapa	Responsável pela atividade
n	Implementação dos algoritmos INS/PPP-TR (controlador de tempo real)	Nessa etapa, repetir-se-ão as atividades previstas para as etapas “j” e “l”, focando-se, porém na implementação dos algoritmos de integração entre o INS e o PPP-TR na placa controladora de tempo real. Nessa etapa, deverão ser investigadas questões como: sincronização temporal entre as leituras dos sensores inerciais, observáveis GNSS e produtos PPP-TR; sintonias finas do Filtro de Kalman Estendido (EKF) de integração; necessidade de se implementar diferentes partes do algoritmo em diferentes taxas; necessidade de se implementar a etapa de atualização de medições do EKF na forma escalar/sequencial, ao invés de vetorial, de forma a salvar poder computacional, etc.	Espera-se concluir a etapa de implementação dos algoritmos INS/PPP-TR concebidos em uma placa de tempo real, com vistas à efetiva operacionalidade do protótipo.	Protótipo operacional concebido, com algoritmos INS/PPP-TR	40	43	3	Bolsista de Mestrado (4) (40hr/semana)
o	Avaliação dos algoritmos INS/PPP-TR (controlador de tempo real)	Nessa etapa, repetir-se-ão os testes de validação previstos nas etapas “k” e “m”, focando-se, contudo, no desempenho dos algoritmos INS/PPP-TR previamente implementados na placa controladora de tempo real	Espera-se validar a etapa de implementação dos algoritmos INS/PPP-TR concebidos em uma placa de tempo real	Gráficos comparativos (do desempenho da solução INS/PPP-TR em relação às tradicionais DGNSS, RGNSS, e RTK) plotados	43	45	2	Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

Cronograma de Atividades

Programa: ROTA 2030- FUNDEP

Eixo II - CONSEV

Chamada: 02/2021

Título: Sistema de Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real com Integração INS/GNSS para Veículos Agrícolas Conectados

Coordenador: Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

Proponente: Universidade Federal de Lavras

Cod. Etapa	Etapa	Descrição da etapa	Entrega prevista / Resultado Esperado	Validadores da entrega/resultado	Mês início da etapa	Mês término da etapa	Duração da etapa	Responsável pela atividade
p	Divulgação/Proteção dos resultados e prestação de contas	A equipe concentrará esforços no que diz respeito ao: (i) preparo e submissão de artigos em conferências e periódicos especializados; (ii) defesa de dissertações de mestrado e teses de doutorado, relacionadas ao tema, conduzidas no âmbito do projeto; (iii) depósito de eventuais programas de computador e patentes, passíveis de proteção, desenvolvidos no âmbito do projeto; (iv) redação e submissão de relatório final à Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (FUNDEP)	Espera-se que ao menos quatro dissertações de mestrado e uma tese de doutorado sejam conduzidas no âmbito do projeto, bem como sejam publicados ao menos seis artigos em conferências nacionais e internacionais, e três artigos em periódicos especializados. Espera-se também que eventuais algoritmos desenvolvidos sejam submetidos a proteção intelectual.	Dissertações e teses defendidas, artigos aprovados/publicados e programas de computadores encaminhados para proteção intelectual	1	45	44	Felipe Oliveira e Silva (8hr/semana)

27192-37-TA-02 89512 pdf

Código do documento 24c863c0-797f-44d9-85de-2c59b58f1643

Anexo: 27192-37-TA-02_Anexo I-Plano de Trabalho.pdf
Anexo: 27192-37-TA-02_Anexo II - Cronograma de Atividades..pdf



Assinaturas



JAIME ARTURO RAMIREZ
presidencia@fundep.com.br
Assinou

JAIME ARTURO RAMIREZ



JOSÉ ROBERTO SOARES SCOLFORO
reitoria@ufla.br
Assinou

JOSÉ ROBERTO SOARES SCOLFORO



Marcelo Carvalho Leite
marcelo@mwf-mechatronics.com
Assinou

Marcelo Carvalho Leite



Ana Paula Piovesan Melchiori
diretoria@admfundecc.org.br
Assinou

Ana Paula Piovesan Melchiori



Felipe Oliveira e Silva
felipe.oliveira@ufla.br
Assinou como testemunha

Felipe Oliveira e Silva



Janaina de Oliveira Castro Silva
janainasilva@fundep.com.br
Assinou como testemunha

Janaina de Oliveira Castro Silva



Vânia Barbosa dos Santos
vaniasantos@fundep.com.br
Assinou como testemunha

Vânia Barbosa dos Santos

Eventos do documento

06 Nov 2024, 16:23:25

Documento 24c863c0-797f-44d9-85de-2c59b58f1643 **criado** por VÂNIA BARBOSA DOS SANTOS (d3e84d9e-b4c0-4737-be8a-ff5a97694c7a). Email: vaniasantos@fundep.com.br. - DATE_ATOM: 2024-11-06T16:23:25-03:00

06 Nov 2024, 16:45:35

Assinaturas **iniciadas** por VÂNIA BARBOSA DOS SANTOS (d3e84d9e-b4c0-4737-be8a-ff5a97694c7a). Email: vaniasantos@fundep.com.br. - DATE_ATOM: 2024-11-06T16:45:35-03:00

06 Nov 2024, 17:00:03

FELIPE OLIVEIRA E SILVA **Assinou como testemunha** - Email: felipe.oliveira@ufla.br - IP: 177.52.51.149 (177-52-51-149.sempre.tec.br porta: 47510) - Documento de identificação informado: 099.606.456-73 -



DATE_ATOM: 2024-11-06T17:00:03-03:00

06 Nov 2024, 17:45:29

MARCELO CARVALHO LEITE **Assinou** - Email: marcelo@mwf-mechatronics.com - IP: 181.221.71.93
(b5dd475d.virtua.com.br porta: 42336) - Documento de identificação informado: 125.547.807-14 - DATE_ATOM:
2024-11-06T17:45:29-03:00

07 Nov 2024, 14:01:48

JAIME ARTURO RAMIREZ **Assinou** (9ffe304d-fd4d-4ffc-a6bd-3cfa2cb8f1f4) - Email: presidencia@fundep.com.br - IP:
187.1.90.13 (187-1-90-13.static.algatelecom.com.br porta: 1514) - Documento de identificação informado:
554.155.556-68 - DATE_ATOM: 2024-11-07T14:01:48-03:00

12 Nov 2024, 17:08:58

JOSÉ ROBERTO SOARES SCOLFORO **Assinou** - Email: reitoria@ufla.br - IP: 177.105.30.47 (m047-reitoria.ufla.br
porta: 18452) - Documento de identificação informado: 489.081.007-25 - DATE_ATOM: 2024-11-12T17:08:58-03:00

18 Nov 2024, 15:07:13

ANA PAULA PIOVESAN MELCHIORI **Assinou** - Email: diretoria@admfundec.org.br - IP: 189.89.223.115
(189-089-223-115.static.stratus.com.br porta: 17674) - Documento de identificação informado: 137.513.318-75 -
DATE_ATOM: 2024-11-18T15:07:13-03:00

19 Nov 2024, 07:03:56

VÂNIA BARBOSA DOS SANTOS **Assinou como testemunha** (d3e84d9e-b4c0-4737-be8a-ff5a97694c7a) - Email:
vaniasantos@fundep.com.br - IP: 150.164.30.7 (150.164.30.7 porta: 61586) - [Geolocalização: -19.861933](#)
[-43.968838](#) - Documento de identificação informado: 085.591.276-66 - DATE_ATOM: 2024-11-19T07:03:56-03:00

19 Nov 2024, 07:42:54

JANAINA DE OLIVEIRA CASTRO SILVA **Assinou como testemunha** - Email: janainasilva@fundep.com.br - IP:
150.164.30.7 (150.164.30.7 porta: 38222) - Documento de identificação informado: 087.221.226-21 - DATE_ATOM:
2024-11-19T07:42:54-03:00

Hash do documento original

(SHA256):ef0a75e576cc83bdce0d6c6cc1307280898ed1513f4c675835f618de6a599e00
(SHA512):719d4a64f908442cb476c08e0250fb1fac7745b5cb226dd7ab7bb383737a4531599ea0c47211a292945c2f5c0a30baaef8cefd2ad220a7756550a4bc60d9dfb2

Hash dos documentos anexos

Nome: 27192 37-TA-02_Anexo I-Plano de Trabalho.pdf
(SHA256):cb6ca072678941d502cc3bcb24541827d2a95b0b964a830e8730ba3932e6f77e
(SHA512):4bad0c0bb16d6524bfac4b2582b4d21527af181e7cfa910b90d0bf2bd1ac83b5357b6adfd48ca220acd807c00425297b09a525dc244528138c71518e9bd806f4

Nome: 27192-37-TA-02_Anexo II - Cronograma de Atividades..pdf
(SHA256):e40e5468d98a64958a7529215645959a5d4a2bc140c640aa11c8b7566731818c
(SHA512):31ba28cbf4c12e2e49a666b7a3cdc4d99c30427fd82e8fe40936e9df94ad309281a65876b05ffffde562ee91113bac1e5f5f1480db2aa8e922fc07993ca37390

Esse log pertence **única e exclusivamente** aos documentos de HASH acima

Esse documento está assinado e certificado pela D4Sign