



FORMULÁRIO DE PROPOSTA DE PROJETO

Cód.: FPP001/SDTE/2022 Pág.: 1 / 13

Emissão: 19/08/2022

Revisão: 01

1. DADOS DO PROJETO

1.1. Título do Projeto

Emprego de GNSS dupla frequência para aproximações RNAV/RNP.

1.2. Empreendimento do Programa Estratégico do DECEA

PPF012 – Melhoria dos sistemas de navegação

1.3. Subdepartamento Responsável

SDTE – Subdepartamento Técnico do DECEA

1.4. Unidade Administrativa Responsável

ICEA – Instituto de Controle do Espaço Aéreo

1.5. Objetivo do Projeto

Avaliar como a utilização da dupla frequência L1 e L5 no GPS (*Global Positioning System*) impactará nos principais requisitos de navegação aérea (acurácia – exatidão, disponibilidade, continuidade e integridade), com a possível redução dos mínimos de procedimentos não precisão (*Non Precision Approach - NPA*).

1.6. Produto

Análise técnica embasada e justificada por meio de referências normativas, artigos científicos, testes e simulações conduzidos que permitam concluir sobre a possibilidade ou não de redução dos mínimos de procedimentos de não precisão.

1.7. Escopo do Projeto

O escopo inicial do projeto irá considerar apenas a inclusão da frequência L5 do GPS, de modo que o emprego para procedimentos NPA apenas com receptor embarcado considere as duas frequências civis do GPS (L1 e L5). Alternativamente, o escopo poderá ser expandido para o uso de dupla frequência a partir da inclusão de outras constelações GNSS (*Global Navigation Satellite System*), como GALILEO e GLONASS.

1.8. Estimativa inicial de duração

O tempo estimado de duração do projeto é de 5 anos. O período em questão justifica-se pela Figura 1 a seguir, por contemplar o período de máxima atividade do ciclo solar. A atividade solar influencia significativamente o desempenho do posicionamento GNSS por atuar diretamente na camada ionosférica, a qual apresenta intensa dinâmica sobre o território brasileiro (Sousasantos *et al.*, 2021). O período em questão constitui ocasião ideal para coleta de dados, testes e validações.

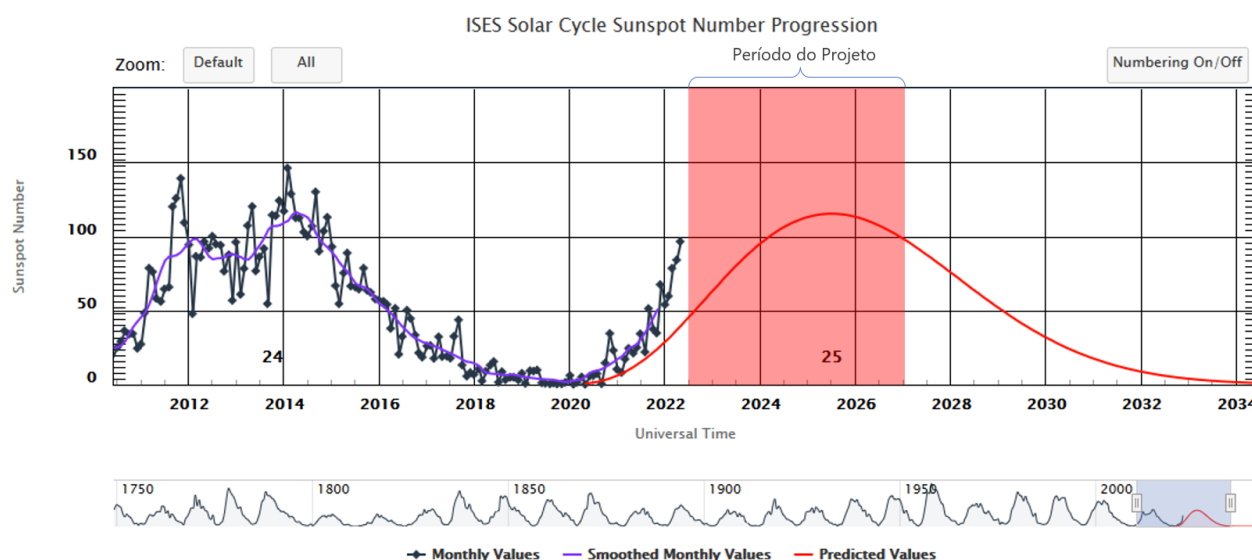


Figura 1 – Ciclo e atividade solar com destaque para o período do projeto.

FONTE: Adaptada de <https://www.swpc.noaa.gov/products/solar-cycle-progression>

1.9. Valor Estimado do Projeto

O valor estimado do projeto é composto por aquisição de material, *software* e homem-hora (HH). Já se encontra aprovado o PLANSET NAV02009 para aquisição de material nos anos de 2022 e 2023 no valor de R\$ 1.390.000,00 (um milhão, trezentos e noventa mil Reais). Estima-se um custo extra de aproximadamente R\$ 80.000,00 com aquisição de *software* para modelagem e simulação de cenários ou contratação desta etapa, o qual deverá, se julgado pertinente, atualizado no referido PLANSET para o ano de 2024. Se atualizado, o valor total do projeto passará para um total de R\$ 1.470.000,00.

O custo com HH é de difícil estimativa por envolver pesquisa e estudo de assuntos ainda não dominados completamente pelos membros do projeto, além de desenvolvimento de códigos, implementações e testes cujo tempo de execução ainda é desconhecido. Contudo, estima-se aproximadamente o consumo mínimo de 3.000 HH por ano do projeto.

2. ANÁLISE FUNDAMENTAL

2.1. Justificativa

O conhecimento sobre as capacidades de navegação aérea dos usuários de um espaço aéreo constitui uma importante informação a ser utilizada com fins estratégicos de planejamento, para otimização do espaço aéreo e atendimento das necessidades dos usuários. As capacidades de navegação aérea constituem um dos principais pilares do conceito PBN (*Performance-Based Navigation*) o qual emprega majoritariamente satélites de posicionamento. Em linhas gerais, os sistemas de navegação das aeronaves atuais têm capacidade de posicionamento global preciso e confiável, necessitando do apoio de uma infraestrutura resultante da combinação adequada das informações de navegação oriundas de satélites, dos sistemas de navegação autônomos embarcados e - cada vez menos - dos auxílios à navegação de base terrestre (DECEA, 2021).

Neste contexto, o Plano de Implementação ATM Nacional (PCA 351-3/2021) destaca no item 9.4.3 que “o DECEA deverá manter os investimentos na pesquisa e avaliação de tecnologias que permitam o maior aproveitamento da capacidade embarcada nas aeronaves, a partir do conceito de Dupla Frequência Multiconstelação (DFMC).”

Considerando as características e as expectativas existentes com relação ao uso de dupla frequência e multiconstelação para navegação aérea em contraste com os apontamentos existentes de alguns trabalhos científicos, conclui-se que o assunto em tela apresenta a necessidade de ser investigado em maiores detalhes.

2.2. Alternativas possíveis de alcance da finalidade

Um dos principais aspectos do projeto em proposta consiste na melhor compreensão do problema, em especial no que diz respeito ao uso específico da arquitetura de receptores embarcados que empregam (ou irão empregar) o uso de dupla frequência e multiconstelação. Por este motivo, as etapas que envolvem estudos de normas técnicas e trabalhos científicos não possuem soluções alternativas, uma vez que se faz necessário entender melhor o problema e dominar os aspectos técnicos do assunto.

Por outro lado, há a possibilidade de se realizar algum tipo de parceria com algum fabricante de receptor embarcado com arquitetura de dupla frequência e multiconstelação a fim de testar o equipamento estacionado e nas condições ionosféricas brasileiras. A análise dos dados do receptor embarcado, a ser realizada pelo ICEA ou pelo fabricante em caráter de parceria, não foi incluída como marco deste projeto, mas é uma alternativa que poderá ser prospectada e posteriormente incluída caso a presente proposta seja aprovada e a parceria em questão seja viável.

Com relação às etapas descritas no cronograma de execução (seção 3.2), há como alternativa a possibilidade de contratação da etapa de modelagem e simulação descritas nos itens 06 e 07. Destaca-se apenas que a contratação, caso seja realizada, deverá considerar uma empresa com larga experiência em engenharia de sistemas.

3. ASPECTOS TÉCNICOS

3.1. Características Técnicas

A navegação aérea por satélite compõe uma forte tendência mundial. No Brasil, os procedimentos de navegação aérea baseado em satélite são largamente empregados. Cerca de 80% de todos os aeródromos que operam IFR (*Instrument Flight Rules*) possuem procedimentos baseados em GNSS e mais de 85% das aerovias são navegadas com base em posicionamento por satélite (DECEA, 2022). Em se tratando da fase do voo de "aproximação", todos os procedimentos em vigor atualmente no espaço aéreo brasileiro que fazem uso de satélites são classificados como não precisão (NPA), fornecendo apenas posicionamento horizontal oriundo dos sinais dos satélites para a navegação da aeronave, sendo a componente vertical determinada pelo altímetro. Isso ocorre porque o posicionamento vertical oriundo do posicionamento por satélite é menos acurado do que a componente horizontal, sendo necessário algum sistema adicional, como o *Satellite-Based Augmentation System* (SBAS) ou o *Ground-Based Augmentation System* (GBAS) para melhoria do posicionamento de modo a permitir, inclusive, seu uso para procedimentos de precisão (Marini-Pereira *et al.*, 2021).

Atualmente, o uso de GNSS para a navegação aérea emprega apenas a frequência L1 da constelação GPS. Entretanto, o Departamento de Defesa Americano, autoridade responsável por

manter o sistema GPS, vem revitalizando o sistema substituindo gradativamente os satélites da constelação por versões mais modernas que transmitem a frequência L5 de uso civil, além da frequência L1. Para uso operacional do posicionamento utilizando-se ambas as frequências, há a necessidade de que haja um mínimo de 24 satélites transmitindo ambas as portadoras. Até o presente momento, há apenas 16 de um total de 30 satélites com esta capacidade (GPS, 2022). Apesar de ainda não estar completa para uso operacional na navegação aérea é possível avaliar antecipadamente seus efeitos e eventuais benefícios. Paralelamente, há ainda a possibilidade de análise do uso de dupla frequência com a inclusão de outras constelações GNSS, dentre as quais citam-se GLONASS e GALILEO.

Há forte expectativa por parte dos usuários e da comunidade científica internacional de que o emprego de duas frequências irá melhorar a qualidade do posicionamento. Tal expectativa é motivada pelo fato de que o uso de duas frequências permite estimar o erro introduzido pela ionosfera. Destaca-se que a ionosfera é a principal fonte de erros para posicionamento por satélites e um componente relevante por inviabilizar atualmente o uso de sistemas como SBAS e GBAS em território brasileiro (Marini-Pereira *et al.*, 2021; Sousasantos *et al.*, 2021).

Entretanto, trabalhos científicos têm apresentado algumas evidências de que o emprego de dupla frequência pode não apresentar melhoras no posicionamento diante das dinâmicas ionosféricas em baixas latitudes. O fato de que a cintilação em regiões de baixa latitude afeta mais proeminentemente o sinal L5 é uma preocupação para o uso dessa frequência. Recentemente, o trabalho de Salles *et al.* (2021a) mostrou maiores probabilidades de eventos de forte cintilação para o sinal L5 quando comparado à frequência L1. Em cenários específicos, o aumento de probabilidade pode ser 5 vezes maior. Além disso, Salles *et al.* (2021b) mostraram que os casos de cintilação com eventos de desvanecimento de -15 dB são muito mais comuns no sinal L5, com aproximadamente 2,5 vezes mais ocorrências desse tipo para índices de cintilação mais altos, aumentando o potencial de problemas de disponibilidade. Salles *et al.* (2021b) também mostraram que efeitos de cintilação mais intensos no sinal L5 podem ocorrer até duas vezes mais do que no sinal L1. Esses resultados concordam com a análise estatística apresentada por Moraes *et al.* (2018), onde foram encontradas evidências de ocorrências de cintilação mais graves na portadora L5.

Ainda que o emprego de dupla frequência para a navegação aérea neste projeto não considere qualquer auxílio em solo, análises já conduzidas tendo como base um GBAS (sistema de solo que fornecesse para a aeronave correção para melhoria do posicionamento em procedimentos de precisão) podem vir a contribuir na investigação a ser conduzida neste projeto. No contexto específico do uso de GBAS com dupla frequência, Gerbeth *et al.* (2016) demonstra matematicamente que o nível de ruído e de erros aumenta em um fator de 1.8 vezes com a inclusão da portadora L5, considerando apenas a propagação de variâncias e a relação entre as duas frequências. Além disso, Felux *et al.* (2017a) argumenta que não há benefícios para o posicionamento usando GBAS com o uso de dupla frequência diante do efeito de cintilação na ionosfera. Alternativamente, Felux *et al.* (2017b) propõem uma estratégia para realizar apenas o monitoramento da ionosfera com as frequências L1 e L5 e o uso exclusivo da frequência L1 para a navegação durante o procedimento GBAS.

As questões levantadas acima apontam que, embora em um primeiro momento a adição da frequência L5 possa dar a indicação de que poderá permitir o cálculo e eliminação dos erros introduzidos pela ionosfera, os desafios são muito maiores. Considerando as características da ionosfera brasileira, que apresenta comportamento anômalo e intensa incidência de cintilação, em especial em épocas de maior atividade solar, as questões são muito mais complexas e demandarão estudos e análises bastante aprofundadas para avaliar a real contribuição da entrada em operação do posicionamento GNSS com dupla frequência na possibilidade de redução da separação entre as aeronaves em procedimentos de não precisão.

3.2. Cronograma de execução física e entregas

O estudo em proposição apresenta, em primeira análise, três grandes áreas a serem exploradas, as quais juntas, irão subsidiar a análise de segurança final do trabalho proposto. As três grandes áreas podem ser traduzidas no diagrama da Figura 2 para fins de organização dos campos de conhecimento a serem estudados.

Como subsídio às investigações necessárias para concluir sobre o emprego de dupla frequência e multiconstelação (DFMC) no Brasil, identifica-se as áreas relativas a GNSS, aviônica e requisitos operacionais, conforme descritas a seguir:

- GNSS: Os aspectos técnicos referentes aos novos sinais da constelação GPS e o uso de novas constelações é uma área inerente ao assunto a ser estudado.
- ACFT (Aeronave): Paralelamente, uma outra grande área abarca as características da aviônica no que diz respeito ao receptor embarcado.
- OPs (Aspectos operacionais): Por fim, os aspectos técnicos dos requisitos operacionais dos procedimentos RNAV e RNP compõem uma nova área, dado que poderá haver mudanças nos requisitos dos procedimentos com redução dos mínimos exigidos.

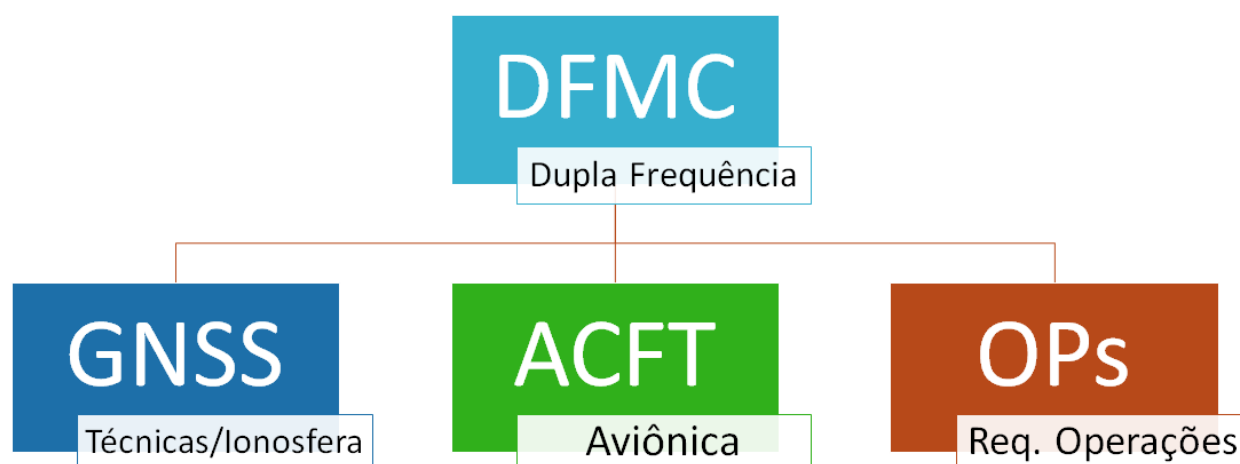


Figura 2 – Organização das áreas do conhecimento a serem exploradas no projeto.

A estruturação do projeto em termos de cronograma de execução foi inicialmente estimada conforme a Tabela 1 a seguir a qual acompanha esclarecimentos adicionais dos principais marcos. Primeiramente, há a necessidade de se aprofundar acerca dos aspectos técnicos que originam os requisitos operacionais dos procedimentos de não precisão que são alvo deste projeto. O estudo em questão consiste em levantar as análises de segurança já realizadas que fundamentam os requisitos de procedimentos de aproximação RNAV e RNP. Análises estas que não constam explicitamente nas SARPs (*Standard and Recommended Practices*) da ICAO e que exigem uma investigação mais profunda. O entregável desta etapa será um documento de revisão que deverá conter todas as informações relevantes encontradas. Esta etapa se justifica pelo fato de que um dos aspectos referentes ao produto final deste projeto é a viabilidade para redução de mínimos dos procedimentos citados. A conclusão sobre esta viabilidade deverá ser pautada em uma análise de segurança balizada pelos requisitos já existentes. Considerando que a redução de mínimos implica necessariamente em mudança de requisitos, há a necessidade de se compreender as premissas que derivam tais requisitos a fim de se propor eventuais mudanças.

TABELA 1 – Cronograma proposto para o projeto

Prazo Estimado: 5 anos		
Início: 2022		
Término: 2027		
Etapa (E)	Principais Marcos	Data Prevista (M: Mês)
E00	Aprovação do projeto pelo Conselho de Pesquisa do ICEA	-
E01	Elaboração da documentação de abertura e planejamento do projeto	E00+3M
E02	Revisão sobre os aspectos técnicos relativos aos requisitos operacionais de procedimentos não precisão	E00+6M
E03	Estudo das características técnicas de receptores GNSS multi-frequência embarcados	E00+6M
E04	Reestruturação da atual rede de receptores GNSS multi-frequência e multiconstelação.	E00+10M
E05	Implementação de rotinas computacionais para pré-processamento dos dados GNSS coletados pela rede	E04+12M
E06	Modelagem da dinâmica técnico-operacional de procedimentos RNAV e RNP com ênfase nos aspectos relacionados ao posicionamento GNSS	E05+14M
E07	Simulação computacional de cenários para dar suporte às análises de <i>Safety Assessment</i>	E06+10M
E08	Elaboração de documento de <i>Safety Assessment</i> sobre o uso de dupla frequência para redução dos mínimos para NPA	E07+12M

Ainda, no que diz respeito à construção de conhecimento, identifica-se a necessidade de se conhecer melhor os aspectos técnicos relativos aos receptores de dupla frequência e multiconstelação embarcados. Esta necessidade se justifica uma vez que os receptores disponíveis na rede GNSS de monitoramento do ICEA são equipamentos eletrônicos científicos projetados especificamente para análise da ionosfera, ao passo que receptores embarcados possuem uma eletrônica diferente para fins de navegação aérea. Deste modo, para este último grupo, espera-se um conjunto de arquitetura, regras, lógica e robustez diferentes daqueles fabricados para estudos da ionosfera, de modo que as informações fornecidas pelos dois grupos de receptores sejam complementares. Sendo assim, o conhecimento mínimo de informações acerca dos receptores embarcados e seu comportamento com o uso de dupla frequência e multiconstelação é condição fundamental para o andamento deste projeto. De igual modo à etapa anterior, o resultado deste levantamento deverá ser consolidado com todas as informações em um documento específico tratando apenas das informações relevantes obtidas nesta etapa.

Paralelamente a este esforço, destaca-se que o uso de dados durante a alta do ciclo solar a partir de receptores com a capacidade de rastrear multifrequência e multiconstelação é fundamental para embasar análises futuras. Nesse sentido, o ICEA já possui uma rede de receptores

especificamente projetados para fins científicos que precisa ser revitalizada, uma vez que boa parte dos equipamentos já se encontra no fim de sua vida útil.

A fim de se analisar os dados coletados pelos receptores, haverá a necessidade de desenvolvimento de rotinas computacionais a fim de processar e tornar possível extrair informações dos dados coletados, em especial no que diz respeito aos aspectos da ionosfera. Destaca-se que os receptores em questão rastreiam as observáveis de todas as constelações GNSS nas principais frequências disponíveis. Além disso, calculam mais de 60 parâmetros sendo muitos deles indicadores de atividades ionosféricas. Por este motivo, há necessidade de se organizar rotinas computacionais já existentes e desenvolver outras novas a fim de prover insumos para as análises a serem conduzidas, inclusive as análises de segurança.

De posse dos dados disponíveis coletados pela rede de receptores e dos conhecimentos necessários na área de procedimentos de navegação aérea e dos receptores embarcados, parte-se para a etapa de modelagem da dinâmica técnico-operacional de procedimentos RNAV e RNP a fim de balizar as análises de segurança que possibilitarão atingir o objetivo deste projeto. A modelagem em questão deverá naturalmente se concentrar nos aspectos referentes ao posicionamento GNSS com dupla frequência e considerar outros aspectos operacionais apenas se forem relevantes. Destaca-se que a modelagem de um procedimento desta natureza, ainda pequeno quando comparado a todo o SISCEAB, é complexa por haver a interseção de diversos atores e ações que influenciam direta ou indiretamente no resultado. Logo, os resultados oriundos da análise de segurança serão tão mais sólidos quanto melhor for a modelagem realizada. Por este motivo essa etapa consiste no marco mais oneroso e demorado do projeto. Como referência para a modelagem que pode dar suporte às análises de segurança, recomenda-se o método empregado para a análise de engenharia realizada por Shively e Niles (2008).

Logo, de posse da modelagem, deverá ser realizada uma séria de simulações considerando os conhecimentos técnicos e operacionais levantados previamente em conjunto com os dados disponíveis medidos pelas estações de monitoramento a fim de que sejam elaborados cenários que irão dar suporte às análises de segurança (*safety assessment*). Dentre as metodologias existentes para a condução de uma análise de segurança, haverá a necessidade de se eleger a mais apropriada para o caso em questão. Considerando-se as melhores técnicas empregadas atualmente pela indústria aeronáutica, as que inicialmente se apresentam como mais adequadas são a *Preliminary System Safety Assessment – PSSA* e a *Functional Hazard Analysis – FHA*.

A etapas de modelagem e simulação (etapas 06 e 07 do cronograma) irão exigir uma ferramenta de *software* específica a qual precisará ser definida. Alternativamente, toda a etapa poderá ser contratada por uma empresa terceirizada com forte experiência em modelagem de sistemas.

Por fim, a partir dos resultados das análises de segurança, haverá a necessidade de elaboração de um documento de *safety assessment* que irá conter as conclusões fundamentadas sobre a possibilidade de redução dos mínimos do procedimento a partir do emprego de dupla frequência do GPS ou com a inclusão de outras constelações. O documento em questão será o principal entregável do projeto.

4. ANÁLISE FINANCEIRA

4.1. Gastos com obtenção (Necessidades Orçamentária)

Conforme informado na seção 1.9 deste formulário, já existe atualmente aprovado o PLANSET NAV 02.009 intitulado como “Adequar a rede de monitoramento da ionosfera para análise dos impactos no uso da dupla frequência multiconstelação.”, o qual apoiará as etapas 04 e

05 do cronograma de execução. Além disso, desconsiderando a alternativa de contratação apontada na seção 2.2, o custo inicialmente estimado para o projeto consistirá no consumo de HH. A tabela a seguir apresenta o detalhamento do PLANSET NAV 02.009 atual, sendo a aquisição de software projetada para inclusão no ano de 2024.

TABELA 2 – Planejamento Orçamentário

Item	Programação Físico-Orçamentária			Total
	2022	2023	2024-2027	
Aquisição de novos receptores GNSS para revitalizar a rede existente	R\$ 700.000,00	R\$ 600.000,00	R\$ 0,00	R\$ 1.300.000,00
Aquisição de computadores para dar suporte às estações de monitoramento GNSS	R\$ 60.000,00	R\$ 30.000,00	R\$ 0,00	R\$ 90.000,00
Aquisição de software para modelagem e simulação de cenários	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 250.000,00	R\$ 250.000,00
Valor Total do Projeto				R\$ 1.640.000,00

4.2. Financiamento externo

Até o presente momento, não há expectativa de financiamento externo para o projeto proposto.

5. RISCOS DO PROJETO

A seguir, os riscos que podem comprometer a realização do projeto são identificados e analisados. Além disso, as ações preventivas e de contingência são planejadas a partir de uma avaliação dos danos causados:

Risco 1 – R1: A possibilidade de ocorrência de indisponibilidade de recursos financeiros pode impactar da seguinte forma o cumprimento do prazo estipulado.

Probabilidade: REMOTA		Impacto: MODERADO	
Dano	Não revitalização da rede GNSS de monitoramento da ionosfera e falta de dados adequados para condução das análises.		
Ação PREVENTIVA		Responsável	
Manter e atender os recursos previstos para o PLANSET NAV 02009.		DECEA	
Ação de CONTINGÊNCIA – Resposta: Mitigar		Responsável	
Procurar por outras fontes de dados alternativos capazes de dar suporte às análises.		Gerência do Projeto	

Risco 2 – R2: A possibilidade de ocorrência de alteração de escopo (inclusão de outras constelações GNSS além do GPS) pode impactar da seguinte forma o cumprimento do prazo estabelecido.

Probabilidade: POSSÍVEL		Impacto: PEQUENO
Dano	Possíveis atrasos na execução das etapas subsequentes considerando o planejado nesta proposta.	
Ação PREVENTIVA		Responsável
Realizar estudo prévio para o planejamento adequado quando do início efetivo do projeto.		Gerência do Projeto
Ação de CONTINGÊNCIA – Resposta: Mitigar		Responsável
Replanejar o projeto buscando o envolvimento de membros adicionais ao projeto.		ICEA

Risco 3 – R3: A possibilidade de ocorrência de falha no acompanhamento da execução pode impactar da seguinte forma a entrega do objeto previsto.

Probabilidade: BAIXA		Impacto: PEQUENO
Dano	Não entrega ou atraso do objeto previsto no plano de trabalho.	
Ação PREVENTIVA		Responsável
Estabelecer processo para acompanhamento regular da execução ao longo do cronograma.		Gerência do Projeto
Ação de CONTINGÊNCIA – Resposta: Mitigar		Responsável
Replanejamento do cronograma em atendimento ao prazo estipulado para conclusão do projeto.		Gerência do Projeto

Risco 4 – R4: Indisponibilidade da equipe de especialistas alocada ao projeto.

Probabilidade: POSSÍVEL		Impacto: MODERADO
Dano	Não entrega do objeto previsto no plano de trabalho no prazo planejado.	
Ação PREVENTIVA		Responsável
Realizar as coordenações com os elos das OM apoiadoras, antecipadamente, de modo a garantir que as atividades previstas no cronograma sejam executadas com o apoio dos especialistas necessários.		DECEA / ICEA / OM Apoiadoras
Ação de CONTINGÊNCIA – Resposta: Mitigar		Responsável
Priorizar repasse maior de atividades para execução por organizações terceiras. Para tal, propor o aumento dos recursos financeiros, e replanejar as atividades e o cronogramas de acordo com tal abordagem.		Gerência do Projeto

Risco 5 – R5: Inviabilidade de contratação de organização terceira para execução de atividades, caso seja identificada a necessidade.

Probabilidade: BAIXA		Impacto: GRANDE	
Dano	Não entrega do objeto previsto no plano de trabalho no prazo planejado.		
Ação PREVENTIVA			Responsável
Levantar e planejar antecipadamente as atividades em que haverá necessidade de apoio/execução por organizações terceiras, garantindo os eventuais recursos financeiros adequados para tal e fazendo oportunamente os trâmites burocráticos.			Gerência do Projeto
Ação de CONTINGÊNCIA – Resposta: Mitigar			Responsável
Analisar e propor o aumento dos especialistas técnicos alocados ao projeto, fazendo a gestão junto às OM envolvidas e os devidos ajustes no cronograma das atividades do projeto.			Gerência do Projeto

Interpretação dos Riscos: Os riscos identificados foram classificados conforme a metodologia estabelecida e os resultados são apresentados na Tabela a seguir:

TABELA 3 – Análise de Impacto X Probabilidade dos riscos identificados

PROBABILIDADE X IMPACTO		IMPACTO				
		INSIGNIFICANTE 1	PEQUENO 2	MODERADO 3	GRANDE 4	CATASTRÓFICO 5
P R O B A B I L I D A D E	MUITO ALTA - 5					
	ALTA - 4					
	POSSÍVEL - 3		R2	R4		
	BAIXA - 2		R3		R5	
	REMOTA - 1			R1		

	Sem gravidade (1)
	Pouco grave (2)
	Grave (3)
	Muito grave (4)
	Extremamente grave (5)

Da análise descrita nos itens anteriores, conclui-se pela viabilidade da execução do projeto em relação aos riscos levantados. Ressalta-se, no entanto, que todos os riscos devem ser monitorados e controlados continuamente no decorrer do processo, tomando as ações preventivas necessárias para minimizar os riscos levantados e adotando as medidas mitigadoras necessárias para minimizar suas consequências.

6. RECURSOS HUMANOS

O pessoal listado a seguir constitui um levantamento prévio de pessoas com potencial para contribuir com a proposta de projeto em tela levando-se em conta a experiência e a formação de cada um. Destaca-se ainda que haverá necessidade do envolvimento de recursos humanos oriundos da Fundação que apoia o ICEA ou o DECEA, com pessoal específico a ser definido quando do início do projeto.

TABELA 4 – Estimativa de pessoal com potencial envolvimento no projeto

Gerente do Projeto	Telefone (s)	E-mail
Maj Eng LEONARDO MARINI PEREIRA (ICEA)	(12) 98116-7468	marinilmp@fab.mil.br
Membros	Telefone (s)	E-mail
Cv BRUNO MOHALLEM PAIVA (ICEA)	(12) 98154-5438	brunobmp@fab.mil.br
Cv CARLOS ALEXANDRE PONTES PIZZINO (ICEA)	(12) 97898-7701	pizzinocapp@fab.mil.br
Cap Esp CTA CRISTIAN DA SILVEIRA SMIDT (ICEA)	(12) 99147-1479	cristiancss3@fab.mil.br
Cap Eng LUIZ ANTONIO DOS SANTOS DIAS (PAME-RJ)	(21) 99341-6944	santosdiaslasdr@fab.mil.br
Maj R1 Esp COM SÉRGIO MARCOS DA ROCHA CORRÊA (GEIV)	(21) 99961-3903	correasmrc@decea.mil.br

7. LISTA DAS PARTES INTERESSADAS

TABELA 5 – Lista das partes interessadas

Nome	Telefone (s)	E-mail
DECEA / SDTE Brig Eng ALESSANDER DE ANDRADE SANTORO	(21) 2101-6460	sdte@decea.mil.br
ICEA / Diretor Cel Av PLÍNIO DA SILVA BECKER	(12) 3945-9001	beckerpsb@fab.mil.br
ICEA / Chefe da Divisão de Pesquisa Ten Cel SILAS MARTINS DA COSTA	(12) 3945-9004	silassmc@fab.mil.br

8. INFRAESTRUTURA

A infraestrutura necessária listada abaixo consiste em uma visão inicial para a proposta de projeto. Há possibilidade de alterações nas necessidades de infraestrutura quando do planejamento efetivo do projeto. Porém, estima-se que não deverá haver impacto significativo para a conclusão dos entregáveis.

TABELA 6 – Estimativa inicial da infraestrutura mínima necessária para o projeto

Item	Descrição	Qtd
01**	Estação GNSS de monitoramento da ionosfera	16
02*	Servidor para armazenamento dos dados coletados	1
03*	Estação de trabalho com boa capacidade de processamento	6
04	Software para modelagem e simulação de cenários	1

** Aquisição contemplada em PLANSET já aprovado

* Equipamentos já disponíveis no ICEA

9. CONCLUSÃO

O projeto em tela se propõe a investigar a possível redução de mínimos de separação em procedimentos não precisão com o uso do conceito de DFMC, conforme disposto no item 9.4.3 do PCA 351-3/2021. O tempo de execução proposto leva em conta a maturidade técnica que se faz necessária adquirir sobre o assunto, aliada à oportunidade de elevação do ciclo de atividade solar (que se apresenta a cada 11 anos) o qual proporcionará dados relevantes para análise dos efeitos ionosféricos. Em linhas gerais, as etapas do projeto contemplam um robusto levantamento de informações acerca dos aspectos técnicos dos receptores embarcados e dos requisitos técnicos referentes a operação dos procedimentos, seguida da revitalização de uma estrutura que possibilite coleta de sinais DFMC para verificação dos efeitos da ionosfera. A última grande frente do projeto será a modelagem do problema de navegação seguida de uma análise de segurança a fim de verificar o disposto no objetivo do projeto.

Destaca-se a janela de oportunidade para desenvolvimento do projeto em proposta pelo aumento do ciclo de atividade solar. Haverá seguramente conclusões menos profundas sobre o uso de DFMC firmadas por agentes externos ao Brasil. Entretanto, o período de alta do ciclo solar é deveras favorável para a construção de evidências que suportem qualquer conclusão a respeito do problema. Caso o projeto não seja executado da maneira como proposto, haverá um atraso mínimo de 11 anos até a próxima janela de oportunidade do ciclo solar.

A investigação em tela proporciona ao DECEA maior protagonismo com relação ao assunto, uma vez que os padrões de receptores embarcados com estas características não são necessariamente projetados para o ambiente atmosférico brasileiro. Ao adquirir maior maturidade no assunto e ser capaz de responder o problema de pesquisa ora elencado, haverá maior propriedade no assessoramento às autoridades que irão planejar o melhor uso do espaço aéreo brasileiro.

10. REFERÊNCIAS

- DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo). **GeoServer**. Available at: <https://geoaisweb.decea.mil.br/geoserver/web/wicket/bookmarkable/org.geoserver.web.dem.o.MapPreviewPage?0>. Accessed on: Dec. 9, 2020.
- DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo). PCA 351-3: Plano de Implantação ATM Nacional. 2021.
- FELUX, M.; CIRCIU, M.-S.; GERBETH, D.; CAAMANO, M. Future GBAS Processing - Do we need an ionosphere-free mode?. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GNSS, 2017, Hongkong. Proceedings...* Hongkong, 2017a.
- FELUX, M.; CIRCIU, M.-S.; LEE, J.; HOLZAPFEL, F. Ionospheric Gradient Threat Mitigation in Future Dual Frequency GBAS. **International Journal of Aerospace Engineering**. v. 2017, article ID 4326018, 2017b. DOI: 10.1155/2017/4326018
- GERBETH, D.; CIRCIU, M.-S.; CAAMAÑO, M.; FELUX, M. Nominal Performance of Future Dual Frequency Dual Constellation GBAS. **International Journal of Aerospace Engineering**. v. 2016, article ID 6835282. DOI: 10.1155/2016/6835282

GPS. Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics. **Space Segment**. Disponível em: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>. Acesso em: 06.06.2022.

MORAES, A. O.; VANI, B. C.; COSTA, E.; SOUSASANTOS, J.; ABDU, M. A.; RODRIGUES, F.; GLADEK, Y. C.; OLIVEIRA, C. B. A.; MONICO, J. F. G. Ionospheric scintillation fading coefficients for the GPS L1, L2, and L5 frequencies. **Radio Science**, v. 53, n.9, p. 1165-1174, 2018. DOI:10.1029/2018RS006653

MARINI-PEREIRA, L.; PULLEN, S.; MORAES, A. O.; SOUSASANTOS, J. GBAS operation in low latitudes - PART 1: Challenges, Mitigations, and Future Prospects. **Journal of Airspace Technology and Management**. v. 13, n. e4621, 2021a. DOI: 10.1590/jatm.v13.1236

SALLES, L. A.; VANI, B. C.; MORAES, A.; COSTA E.; PAULA, E. R. Investigating Ionospheric Scintillation Effects on Multifrequency GPS Signals. **Surveys in Geophysics**, v.42, n.4, p.999-1025. 2021a. DOI:10.1007/s10712-021-09643-7

SALLES, L. A.; MORAES, A. O.; VANI, B.; SOUSASANTOS, J.; AFFONSO, B. J.; MONICO, J. F. G. A deep fading assessment of the modernized L2C and L5 signals for low-latitude regions. **GPS Solutions**, v. 25, n.3, p:1-13. 2021b. DOI:10.1007/s10291-021-01157-4

SHIVELY, C. A.; NILES, R. Safety Concepts for Mitigation of Ionospheric Anomaly Errors in GBAS. In: NATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 2008, San Diego, CA. **Proceedings...** San Diego: ION, 2008, p.367-381.

SOUSASANTOS, J.; MARINI-PEREIRA, L.; MORAES, A. O.; PULLEN, S. GBAS operation in low latitudes - Part 2: Space Weather, Ionospheric Behavior and Challenges. **Journal of Airspace Technology and Management**. v. 13, n. e4821, 2021. DOI: 10.1590/jatm.v13.1237

11. APROVAÇÃO

		
Confeccionado por	Conferido por	Aprovado por
LEONARDO MARINI PEREIRA - Maj Eng Gerente do Projeto no ICEA	VICTOR SANTOS DA SILVA - Ten Cel Av Gestor do Projeto no DECEA	Brig Eng ALESSANDER DE ANDRADE SANTORO Chefe do SDTE