

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Israel dos Anjos Godinho

**ESTRUTURAÇÃO DO CONCEITO DE OPERAÇÃO DE
UM NANOSSATÉLITE DE OBSERVAÇÃO APLICADO
AO COMBATE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS
BASEADO NO ANSI/AIAA G-043B-2018**

Trabalho de Graduação
2022

Curso de Engenharia Aeroespacial

Israel dos Anjos Godinho

**ESTRUTURAÇÃO DO CONCEITO DE OPERAÇÃO DE
UM NANOSSATÉLITE DE OBSERVAÇÃO APLICADO
AO COMBATE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS
BASEADO NO ANSI/AIAA G-043B-2018**

Orientador

Prof. Dr. Christopher Shneider Cerqueira (ITA)

ENGENHARIA AEROESPACIAL

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

dos Anjos Godinho, Israel

Estruturação do conceito de operação de um nanossatélite de observação aplicado ao combate de incêndios florestais baseado no ANSI/AIAA G-043B-2018 / Israel dos Anjos Godinho. São José dos Campos, 2022. 65f.

Trabalho de Graduação – Curso de Engenharia Aeroespacial– Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2022. Orientador: Prof. Dr. Christopher Shneider Cerqueira.

1. Engenharia. 2. Sistemas. 3. Satélite. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DOS ANJOS GODINHO, Israel. **Estruturação do conceito de operação de um nanossatélite de observação aplicado ao combate de incêndios florestais baseado no ANSI/AIAA G-043B-2018**. 2022. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Israel dos Anjos Godinho

TÍTULO DO TRABALHO: Estruturação do conceito de operação de um nanossatélite de observação aplicado ao combate de incêndios florestais baseado no ANSI/AIAA G-043B-2018.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) / 2022

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



Israel dos Anjos Godinho
Rua H8B, 241
12.228-461 – São José dos Campos–SP

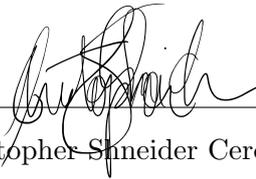
ESTRUTURAÇÃO DO CONCEITO DE OPERAÇÃO DE UM NANOSSATÉLITE DE OBSERVAÇÃO APLICADO AO COMBATE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS BASEADO NO ANSI/AIAA G-043B-2018

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



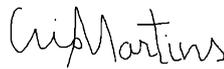
Israel dos Anjos Godinho

Autor



Prof. Dr. Christopher Shneider Cerqueira (ITA)

Orientador



Profª Drª Cristiane Aparecida Martins
Coordenadora do Curso de Engenharia Aeroespacial

A Deus, de quem, por quem e para quem
são todas as coisas.

Agradecimentos

À minha família, pelo apoio nos momentos difíceis - que foram muitos.

À minha namorada, pela compreensão e por tornar meus dias mais coloridos.

Aos meus amigos, pela ajuda e por tornarem meus dias mais leves.

À minha igreja, pelo carinho e por me ajudar a perseverar.

Ao Prof. Dr. Christopher, pela orientação e confiança depositada na realização deste trabalho.

E, acima de tudo, a Deus - pelo fôlego de vida e esperança eterna.

*“Senhor, para quem iremos nós?
Tu tens as palavras da vida eterna.”*
— JOÃO 6:68

Resumo

Este trabalho visa explorar a forma de descrição do conceito de operações de sistemas complexos baseados no ANSI/AIAA G-043B-2018. Será utilizado o exemplo de um nanossatélite de observação aplicado ao combate de incêndios florestais como case para demonstrar a criação do conceito de operação, cenários associados e elementos que compõem a missão. Através deste trabalho, espera-se contribuir com o entendimento do uso da ferramenta de conceito de operações para melhorar o processo de captura de necessidades e, posteriormente, validação de sistemas complexos.

Abstract

This work aims to explore how to describe the concept of operations of complex systems based on ANSI/AIAA G-043B-2018. The example of an observation nanosatellite applied to forest fire fighting will be used as a case to demonstrate the creation of the concept of operation, associated scenarios and elements that make up the mission. Through this work, it is expected to contribute to the understanding of the use of the concept of operations tool to improve the process of capturing needs and, later, validation of complex systems.

Lista de Figuras

FIGURA 1.1 – Incêndio em uma reserva ambiental da Amazônia, em agosto de 2020. (SOUZA, 2020)	17
FIGURA 2.1 – Esquematização da relação entre o CONOPS e o OPSCON.	22
FIGURA 3.1 – Passo a passo da criação do conceito de operações.	24
FIGURA 4.1 – O passo a passo do processo de desenvolvimento de um CONOPS.	25
FIGURA 4.2 – Seleção de perspectivas.	26
FIGURA 4.3 – Modelo de “Building Block”.	27
FIGURA 4.4 – Exemplo não exaustivo de organograma estrutural do F22.	28
FIGURA 4.5 – Exemplo não exaustivo de <i>stakeholders</i> do F22.	29
FIGURA 4.6 – Pilares de um evento de negócios.	30
FIGURA 4.7 – Modelo representativo das capacidades operacionais	32
FIGURA 4.8 – Representação não exaustiva de modos e estados do sistema F22.	33
FIGURA 4.9 – O design conceitual inicial sempre requer refinamento.	34
FIGURA 4.10 – Principais componentes de um CONOPS.	37
FIGURA A.1 – Número de focos de incêndio no Brasil detectados pelos satélites NPP e AQUA. (INPE, 2022c)	49
FIGURA A.2 – Organograma operacional do projeto.	51
FIGURA A.3 – Eficiência e responsividade na detecção infravermelha do sistema. (THOTHX, 2018)	56
FIGURA A.4 – Desenho CAD do nanossatélite F22.	57
FIGURA A.5 – Eixos e dimensões do espectrômetro Argus 2000 (THOTHX, 2018)	57
FIGURA A.6 – Esquematização do segmento solo.	58

FIGURA A.1 –Comparação do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência do INPE no bioma amazônico, no período de 1998 até 06/11/2022. (INPE, 2022b)	65
---	----

Lista de Tabelas

TABELA 4.1 – Exemplos de documentação de um evento na linguagem de negócios e na linguagem técnica.	30
TABELA 4.2 – Checklist de validação de cenários.	35
TABELA 4.3 – Correlação de índices da estrutura do OCD.	43
TABELA A.1 – Perfil do pessoal envolvido no sistema.	52
TABELA A.2 – Nomes do pessoal envolvido em cada cargo.	54

Lista de Abreviaturas e Siglas

AIAA	American Institute of Aeronautics and Astronautics
ANSI	American National Standards Institute
CIMAN	Centro Integrado Multiagências de Coordenação Operacional Nacional
CONOPS	Conceito de Operações
EIA	Electronic Industries Alliance
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FoS	Family of Systems
INCOSI	International Council on System Engineering
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
OCD	Operational Concept Document
OPSCON	Operational Concept
PE	Professional Engineer
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability and Safety
SoS	System of Systems
UML	Unified Modeling Language

Sumário

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Motivação do problema	17
1.2	Hipóteses	18
1.3	Objetivo	18
1.4	Organização do trabalho	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Sistema	20
2.2	Conceito de operações	20
2.3	Conceito operacional	21
2.4	Relação entre o conceito de operações e o conceito operacional	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS	23
4	RESULTADOS	25
4.1	Desenvolvimento	25
4.1.1	Definição do problema	25
4.1.2	Definição das tarefas e responsabilidades	27
4.1.3	Definição dos eventos de negócios	28
4.1.4	Definição dos cenários representativos	31
4.1.5	Definição das capacidades operacionais	32
4.2	Validação	33
4.2.1	Checklist de conceitos básicos	34
4.2.2	Checklist de cenários representativos	34

4.2.3	Checklist de capacidades operacionais	35
4.2.4	Checklist de cobertura de tópicos	35
4.2.5	Checklist de solução de problemas	35
4.2.6	Checklist de consequências indesejadas	36
4.2.7	Checklist de segurança	36
4.2.8	Checklist RAMS	36
4.2.9	Checklist de conceitos políticos	36
4.3	Documentação	37
4.3.1	Escopo	38
4.3.2	Documentos de referência	38
4.3.3	Contexto	38
4.3.4	Sistemas e operações existentes	38
4.3.5	Visão geral da operação proposta	38
4.3.6	Visão geral do sistema	39
4.3.7	Processos operacionais	40
4.3.8	Outras necessidades operacionais	41
4.3.9	Análise do sistema proposto	41
4.3.10	Apêndices	41
5	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE A – EXEMPLO ILUSTRATIVO	47
A.1	Escopo	47
A.1.1	Identificação	47
A.1.2	Propósito do sistema	47
A.1.3	Visão geral do documento	47
A.2	Documentos de referência	47
A.3	Contexto	48
A.4	Sistemas e operações existentes	48

A.5	Visão geral da operação proposta	50
A.5.1	Missões	50
A.5.2	Políticas e restrições operacionais	50
A.5.3	Ambiente operacional	51
A.5.4	Pessoal	51
A.5.5	Conceito e ambiente de suporte	52
A.5.6	Justificativa e natureza das mudanças	53
A.5.7	Resumo dos impactos	53
A.6	Visão geral do sistema	54
A.6.1	Escopo do sistema	54
A.6.2	Objetivos e metas do sistema	54
A.6.3	Usuários e operadores	54
A.6.4	Interfaces e fronteiras do sistema	55
A.6.5	Estados e modos do sistema	55
A.6.6	Capacidades do sistema	56
A.6.7	Arquitetura do sistema	56
A.7	Processos operacionais	58
A.8	Outras necessidades operacionais	59
A.8.1	Necessidades da missão	59
A.8.2	Necessidades pessoais	59
A.9	Análise do sistema proposto	60
A.9.1	Resumo de vantagens	60
A.9.2	Resumo de desvantagens	60
A.9.3	Alternativas consideradas	60
A.9.4	Impactos regulatórios	61
A.9.5	Outros impactos	61
A.10	Apêndice A: Acrônimos, abreviações e glossário	61
A.11	Apêndice B: Cenários operacionais do sistema	61
A.11.1	Apêndice B.1: Cenário pré-operacional	61

A.11.2	Apêndice B.2: Cenário de armazenamento em órbita	62
A.11.3	Apêndice B.3: Cenário normal de operação	62
A.11.4	Apêndice B.4: Cenário degradado	63
A.11.5	Apêndice B.5: Cenário pós-missão	63
ANEXO A – HISTÓRICO DE FOCOS DE INCÊNDIO NO BIOMA AMAZÔNICO BRASILEIRO		65

1 Introdução

1.1 Motivação do problema

Os incêndios acidentais na Amazônia consomem, direta e indiretamente, de 0,2% a 9,3% do Produto Interno Bruto (PIB) da região, segundo relatório do IPEA - a depender de como é valorado o carbono emitido. Isso representa pelo menos R\$ 1,3 bilhões anuais ao país, o que inclui gastos com pastos e cercas destruídas, madeira desperdiçada, CO₂ lançado na atmosfera e internações por doenças respiratórias. (MOTTA *et al.*, 2002)

Vale destacar que a pesquisa não considerou queimadas intencionais, como as usadas para abrir áreas de floresta para agropecuária, ou para limpar pastos. Nesses casos, o fogo pode gerar, inclusive, um benefício econômico. Entretanto, há um substancial dano socioeconômico do fogo acidental, que atinge áreas de pastagens e trechos de floresta que o agricultor não queria queimar - cerca de 45% do total danificado. (MOTTA *et al.*, 2002)

O problema sempre começa com um pequeno foco de incêndio - sendo que, todos os anos, dezenas de milhares deles são reportados (vide Anexo A), muitos dos quais evoluem e causam grandes danos.



FIGURA 1.1 – Incêndio em uma reserva ambiental da Amazônia, em agosto de 2020. (SOUZA, 2020)

Assim, o monitoramento de queimadas em uma área da magnitude da floresta amazônica se apresenta como um problema complexo e ainda não solucionado, que custa caro

aos cofres da nação brasileira.

1.2 Hipóteses

Em projetos com elevado grau de complexidade, comuns nas indústrias aeronáutica e aeroespacial, as propriedades de um sistema como um todo podem diferir substancialmente da simples soma das propriedades das partes. Nesse contexto, há a necessidade de planejar, organizar e elaborar estratégias para sistemas com um elevado número de variáveis, integrando diferentes disciplinas em sua resolução. Em resposta a essa necessidade, surge a engenharia de sistemas - termo introduzido na década de 1940 nos Laboratórios Bell (NISSAN, 1965).

Dentro dessa disciplina, o conceito de operações é um documento de requisitos de alto nível que fornece um mecanismo para os usuários descreverem suas expectativas do sistema. Assim, é utilizado como entrada para facilitar o desenvolvimento de especificações de requisitos, sendo projetado para fornecer uma visão geral de uma operação.

Nesse contexto, a documentação do conceito de operações é importante para definir com clareza o escopo, as capacidades, as funções, os relacionamentos, os cenários e os riscos de um sistema complexo. Tal abordagem é útil não só para a solução do monitoramento de queimadas na floresta amazônica, mas também para qualquer sistema complexo.

Entretanto, não há materiais suficientes em português para auxiliar na montagem do CONOPS. Para o desenvolvimento aeroespacial brasileiro, é importante ter uma metodologia clara e completa para o desenvolvimento, verificação e documentação do CONOPS.

1.3 Objetivo

O presente projeto de graduação consiste na estruturação de uma metodologia de construção de um conceito de operações, exemplificado para uma missão espacial de um nanossatélite de monitoramento de queimadas na floresta amazônica. A partir disso, objetiva-se facilitar a criação de um modelo de CONOPS baseado nas normas da *American National Standards Institute* e do *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, revisadas em 2018.

1.4 Organização do trabalho

O capítulo 1 contém a introdução do trabalho, onde são expostos a motivação do problema, a hipótese, o objetivo e a organização do trabalho.

No capítulo 2, é apresentada uma revisão bibliográfica do conceito de operações, definindo termos e contextualizando a metodologia aplicada.

O capítulo 3, de materiais e métodos, descreve o material base utilizado para a definição da metodologia de construção de um conceito de operações.

Em seguida, o capítulo 4 apresenta uma estrutura sistemática e replicável de desenvolvimento, validação e documentação de um CONOPS, exemplificado através de um sistema de um nanossatélite de monitoramento de focos de incêndio na floresta amazônica.

Por fim, o capítulo 5 conclui o trabalho.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Sistema

Para os fins deste trabalho, um sistema é definido como:

“Uma combinação de elementos interativos organizados para atingir um ou mais propósitos declarados. Um sistema pode ser considerado como um produto ou como os serviços que fornece. Na prática, a interpretação de seu significado é frequentemente esclarecida pelo uso de um substantivo associativo (por exemplo, sistema aeronáutico). Alternativamente, a palavra “sistema” pode ser substituída simplesmente por um sinônimo dependente do contexto (por exemplo, aeronave), embora isso possa obscurecer a perspectiva dos princípios do sistema.” (ANSI, 2018)

No início da atividade de desenvolvimento de um sistema, este é conceitual, por natureza. À medida em que é desenvolvido, o sistema torna-se realizado em hardwares, softwares, materiais, pessoal, instalações e processos.

Vale destacar que um sistema pode ser constituído por vários níveis, em que cada elemento de um nível inferior pode, por esta definição, ser considerado um sistema. Assim, um subsistema pode possuir todos os atributos de um sistema.

2.2 Conceito de operações

Para os fins deste trabalho, um conceito de operações é definido como:

“A definição do usuário de como a organização geral será operada para satisfazer sua missão. É uma declaração verbal e gráfica, em linhas gerais, das premissas ou intenções de uma organização (empresa) em relação a uma operação ou série de operações de sistemas organizacionais (empresariais) novos, modificados ou existentes.” (ANSI, 2018)

O conceito de operações (CONOPS), portanto, é um modelo abstrato criado por uma organização para descrever como pretende operar para atingir suas metas e objetivos. Pode ser de alto nível e independente dos sistemas particulares a serem utilizados na

organização ou nas operações da empresa ou pode ser desenvolvido como parte do processo de aquisição de um sistema novo, atualizado ou modificado.

Nesse contexto, o documento do conceito de operações pode ser definido como:

“Um documento para registrar um conceito de operações. Ele é desenvolvido no nível da organização (empresa), independente de qualquer solução específica de um sistema, para descrever como a organização (empresa) operará para executar a estratégia e a doutrina. O documento do conceito de operações não é um documento de requisitos. Ele descreve a intenção e o contexto operacional da organização (empresa) e é utilizado para derivar necessidades e requisitos.” (ANSI, 2018)

2.3 Conceito operacional

Para os fins deste trabalho, um conceito operacional é definido como:

“A definição do usuário de como um sistema específico será utilizado dentro da organização. Pode incluir um fluxo descendente das atividades do CONOPS a serem executadas usando o sistema específico e/ou uma declaração verbal e gráfica das premissas ou intenções de uma organização (empresa) em relação a uma operação ou série de operações de um sistema específico ou um conjunto relacionado de sistemas específicos novos, existentes ou modificados.” (ANSI, 2018)

Assim, o conceito operacional (OPSCON) é um modelo abstrato das operações de um sistema específico ou grupo de sistemas, geralmente desenvolvido como parte do processo de aquisição e utilizado durante todo o ciclo de vida do sistema.

Nesse contexto, o documento do conceito operacional (OCD) pode ser definido como:

“Um documento para registrar um conceito operacional. Ele é preparado no nível da organização aquisitora e do desenvolvedor para descrever como um sistema específico (novo, modificado ou existente) será operado para satisfazer suas necessidades de usuário e operador. A descrição é independente de soluções de projeto específicas, embora faça referência a uma possível solução de design no mais alto nível de abstração. O documento do conceito operacional não é um documento de requisitos. Ele descreve a intenção e o contexto operacional do sistema e é utilizado para derivar necessidades e requisitos.” (ANSI, 2018)

2.4 Relação entre o conceito de operações e o conceito operacional

O conceito de operações é um modelo de alto nível das operações de uma organização, sendo utilizado em conjunto com uma avaliação de inventário e uma análise de lacunas para se identificar deficiências e necessidades operacionais daquela. A identificação das necessidades organizacionais pode levar a mudanças na doutrina, organização, treinamento, material, liderança, educação, pessoal ou instalações, ou alguma combinação de tais mudanças. Também pode levar à modificação, atualização ou aquisição de um ou mais sistemas. Uma organização revisará e atualizará seu CONOPS regularmente. Ele pode ser documentado como um documento independente ou pode constituir seções do plano estratégico de longo prazo da empresa e do plano operacional anual.

O conceito operacional, por sua vez, é preparado para apoiar o desenvolvimento de um sistema novo ou modificado, podendo ser elaborado pelo cliente como parte do pedido de proposta. Também é preparado após o início da atividade de desenvolvimento do produto e é mantido durante todo o seu ciclo de vida.

Assim, o documento do OPSCON deve sempre refletir as informações da organização no documento do CONOPS. Vale destacar, também, que um conceito de operações pode levar à geração de vários conceitos operacionais, conforme ilustrado na Figura 2.1.

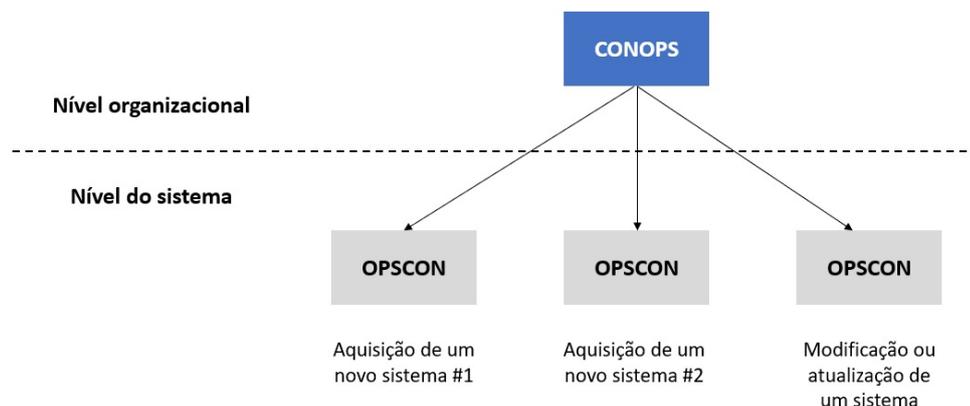


FIGURA 2.1 – Esquemática da relação entre o CONOPS e o OPSCON.

Para evitar a inclusão de informações de soluções específicas no documento operacional inicial, o comportamento operacional do sistema deve ser descrito na forma de capacidades e resultados. Inicialmente, qualquer referência a uma solução arquitetônica ou detalhada deve ser minimizada. À medida que o sistema é realizado e o documento de conceito operacional é revisado ao longo do ciclo de vida do produto, são incorporadas referências às características arquitetônicas específicas da solução.

3 Materiais e métodos

De modo a se criar uma metodologia de desenvolvimento do CONOPS e documentação na forma do OCD, utilizou-se como base os materiais da ANSI/AIAA G-043B-2018 e no material de Joseph F. Iaquinto, PE, apresentado na INCOSE. Os dois materiais foram fundidos e reescritos em uma linguagem fácil e exemplificada, com figuras refeitas de modo padronizado e em português. Também utilizou-se materiais complementares para cobrir tópicos específicos, de modo a enriquecer a análise - devidamente documentados nas referências do presente trabalho. A estrutura do passo a passo a ser detalhado é apresentada na Figura 3.1.

De modo a ilustrar os casos, utilizou-se como exemplo um nanossatélite de monitoramento infravermelho de focos de incêndio na floresta amazônica, sistema de nome “Firesat-22” ou, simplesmente, “F22”. Deve-se ressaltar, entretanto, que a apresentação exaustiva desse sistema não é o propósito deste trabalho, e nem a confecção de um CONOPS - mas sim a apresentação de uma metodologia de como criá-lo e utilizá-lo no contexto de sistemas complexos.

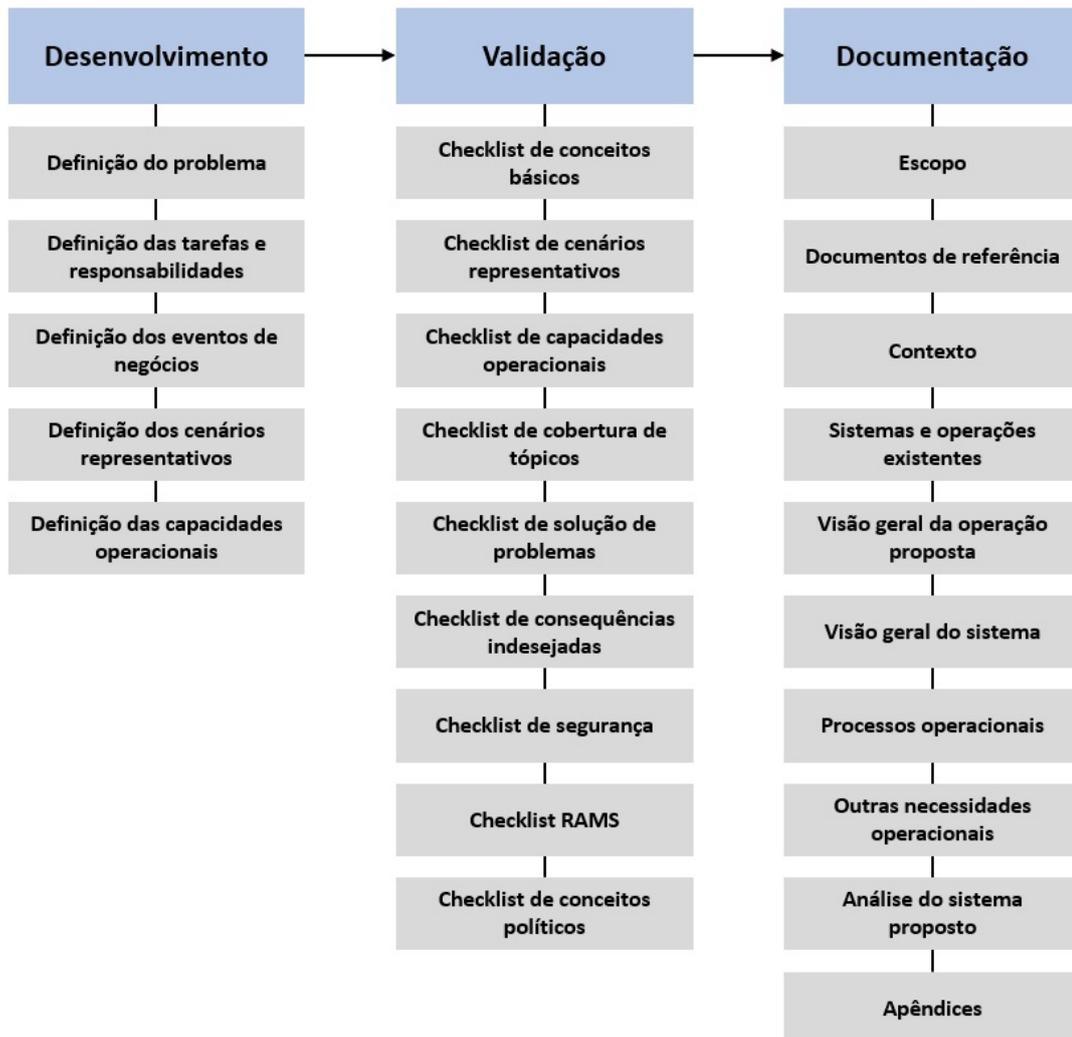


FIGURA 3.1 – Passo a passo da criação do conceito de operações.

4 Resultados

4.1 Desenvolvimento

Antes da escrita do documento em si, é importante seguir uma metodologia de desenvolvimento do CONOPS de modo a organizar as ideias e garantir que sejam abrangidos todos os tópicos importantes no ambiente operacional. De fato, o processo de desenvolvimento do conceito operacional de um sistema complexo é gradativo e metódico, partindo-se de definições macro até o grau de detalhamento necessário, sendo revisitado e validado até seu estado final, conforme ilustra a Figura 4.1.

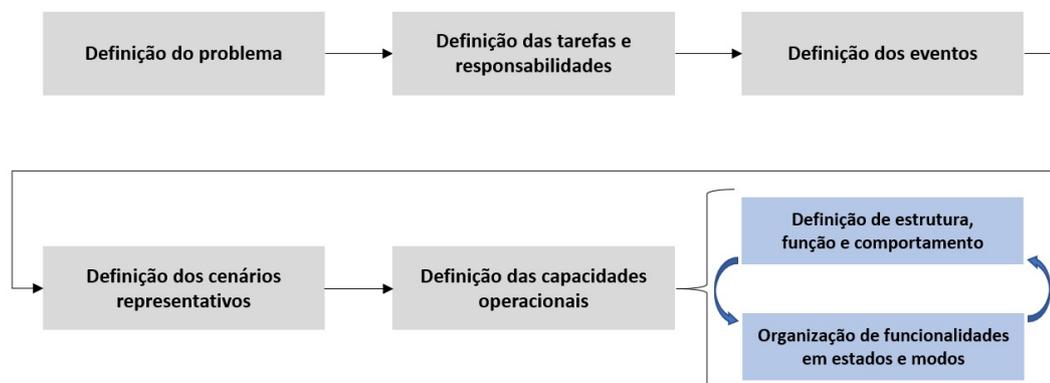


FIGURA 4.1 – O passo a passo do processo de desenvolvimento de um CONOPS.

4.1.1 Definição do problema

O primeiro passo no desenvolvimento de um conceito de operações é ter bem definido o problema a ser endereçado pelo sistema. Qual dor dos usuários está sendo resolvida? Qual o desafio a ser superado? Quais as necessidades do cliente?

A resposta para essas perguntas deve ser feita de maneira clara e precisa, na forma de uma declaração que identifica o que separa o estado presente do estado desejado. Para tal, é importante que engenheiros, arquitetos, implementadores, testadores, clientes e usuários

contribuam efetivamente nessa etapa, que pode ser realizada por meio de entrevistas para que se consolide os diferentes ângulos do problema.

De fato, pontos de vistas diferentes enriquecem o direcionamento da construção do produto final, conforme ilustrado na Figura 4.2. Uma “preocupação” é o motivo pelo qual um *stakeholder* adquire um sistema. Já um “ponto de vista” é uma especificação para construir e usar uma “visão”. Por fim, uma “visão” é uma representação do sistema como um todo da perspectiva de uma série de “preocupações”, sendo geralmente um modelo com propósitos específicos (IAQUINTO, 2012). Na seleção de perspectivas, é importante documentar e/ou ilustrar de forma simples e clara.

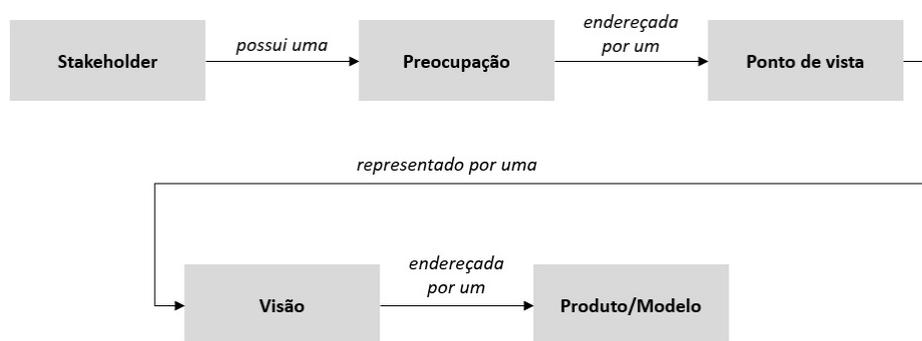


FIGURA 4.2 – Seleção de perspectivas.

Uma consequência imediata da delimitação do problema é o esclarecimento do escopo do sistema - uma declaração da extensão do problema o qual o sistema deve endereçar, sendo geralmente expresso em termos de diferentes tipos de missões a serem realizadas. Vale destacar que, de modo geral, é raro que o escopo seja definido rapidamente e por completo, fazendo-se necessário revisá-lo regularmente ao longo do desenvolvimento do CONOPS. Essa etapa é de crítica importância e servirá de base para os demais tópicos. Como enfatiza o manual americano:

“Sem uma definição clara de escopo acordada, qualquer esforço subsequente será difícil e potencialmente desperdiçado, devido a entendimentos conflitantes de escopo entre os membros da equipe e outros stakeholders.” (ANSI, 2018)

Paralelamente, os desenvolvedores precisam definir o contexto e as fronteiras do sistema, analisando o ambiente no qual o sistema operará e mapeando as interações externas. Aquele pode ser desmembrado em três grupos: contexto físico, funcional e organizacional.

O primeiro inclui todo o ambiente físico e material. Já o contexto funcional abrange decisões, ordens, regulamentos, estratégias políticas, geografia, finanças e mercado. Por fim, o âmbito organizacional consiste de todas as organizações com as quais os usuários e operadores interagirão na operação do sistema.

No processo inicial de desenvolvimento do escopo, contexto e fronteiras, vale considerar

o modelo “Building Block” publicado pela primeira vez no EIA 632 (ANSI, 1999). O diagrama, apresentado na Figura 4.3, ajuda a garantir que o desenvolvedor considere o ciclo de vida completo do sistema - o qual consiste de um produto final a ser entregue aos usuários, além de apêndices utilizados em outras fases do processo, alguns dos quais também podem ser entregues ao cliente.

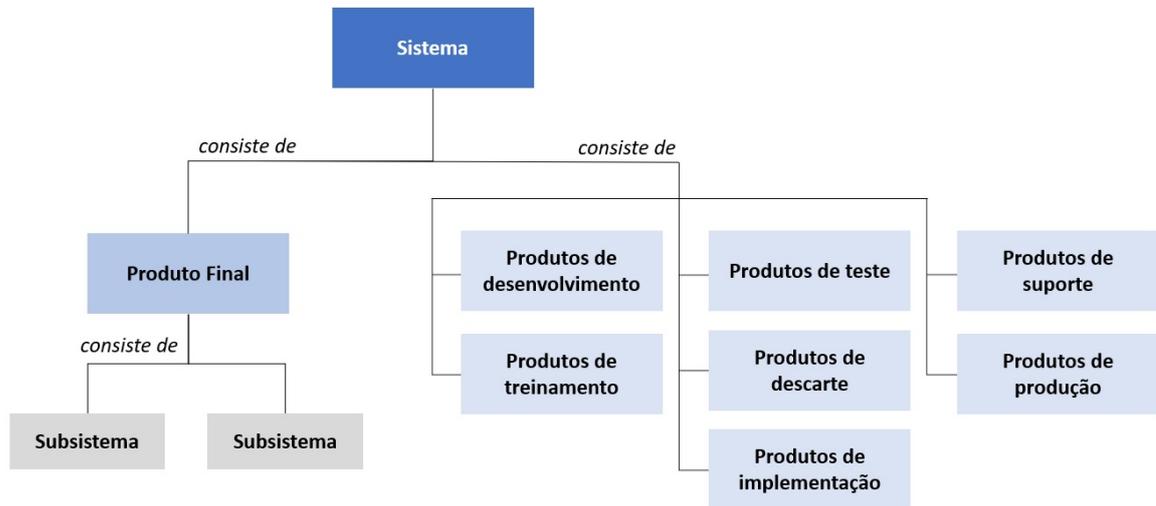


FIGURA 4.3 – Modelo de “Building Block”.

No caso base de incêndios florestais, o comandante do Corpo de Bombeiros do estado do Pará, por exemplo, poderia ter como problema a demora na detecção de focos, os quais só são reportados após os estragos serem de grandes dimensões. Por outro lado, o secretário do meio ambiente do estado do Amapá poderia sentir falta de uma base de dados históricos robusta para análise e prevenção. A partir disso, uma necessidade mais direta poderia ser depreendida, como a de se ter uma “base de monitoramento de focos de incêndios com atualização a cada 30 minutos e que armazene 10 anos de fenômenos históricos”, o que auxiliaria na definição do escopo de atuação do sistema.

4.1.2 Definição das tarefas e responsabilidades

A segunda etapa do desenvolvimento do CONOPS é a definição de tarefas e responsabilidades. Deve-se englobar os usuários, os operadores, clientes e demais *stakeholders* afetados pelo sistema. Algumas perguntas podem servir de guia para as definições:

- Como o sistema é organizado?
- Quais papéis caracterizam o que as pessoas fazem?
- Quais atividades são executadas por cada pessoa?

- Quais habilidades são necessárias para cada papel?
- Qual a relação entre as responsabilidades e as atividades?
- Qual a visão de negócios e como o sistema funciona a partir do ponto de vista de cada papel?
- Quais as relações entre os papéis e as localizações?

Para que se englobe todas tarefas e responsabilidades, com devidas atribuições, é importante que se tenha mapeados as estruturas e interfaces internas e externas do sistema. A Figura A.2 esquematiza a estrutura organizacional do sistema exemplo, enquanto a Figura 4.5 ilustra os diferentes *stakeholders* do mesmo.

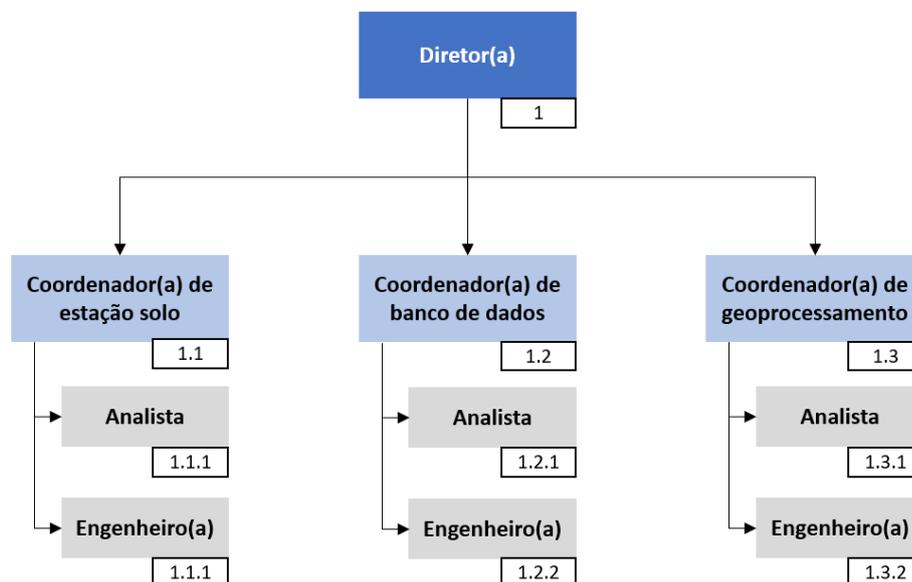


FIGURA 4.4 – Exemplo não exaustivo de organograma estrutural do F22.

4.1.3 Definição dos eventos de negócios

Os eventos são centrais para a criação do conceito de operações, e será um dos passos em que mais se demandará tempo no desenvolvimento do CONOPS, requerendo um entendimento da intenção do negócio em questão antes que a reação seja entendida. Tais eventos são os iniciadores dos processos do sistema e a fonte principal de informações para a criação do conceito de operações.

Uma vez entendido, no passo anterior, as pessoas envolvidas no sistema, começa-se a focar nos eventos e transações. No Firesat em questão, um exemplo de transação é “alertar o Corpo de Bombeiros”. Uma vez listadas as transações, deve-se entender os eventos iniciadores das mesmas - no nosso caso, “um incêndio é localizado”.



FIGURA 4.5 – Exemplo não exaustivo de *stakeholders* do F22.

É importante entender também os eventos que lidam com exceções - para o F22, poderia ser “o usuário não consegue acessar os dados”. Se o número de transações se tornar oneroso (por exemplo, mais de 6), é aconselhável induzir transações representativas, sendo que, para cada transação ou grupo de transações, é importante raciocinar sobre a importância da mesma do ponto de vista da execução do negócio. (IAQUINTO, 2012)

Outro ponto importante é garantir que os eventos sejam definidos de modo orientado aos negócios, como reconhecido pelo pessoal envolvido na execução, e utilizando a linguagem do negócio em questão. Vale destacar que a nomenclatura utilizada geralmente se relaciona com a divisão do trabalho e à localização. Por exemplo, “as contas a pagar da organização respondem ao evento de solicitação de pagamento”.

Em seguida, deve-se entender como o negócio reage aos eventos. De um lado, é importante mapear aqueles ligados a artefatos externos, como tecnológicos, políticos e culturais - isso pode ser descoberto através de entrevistas com os executores do negócio, estudos de competidores, consulta à literatura ou simples observação dos fatos. De outro lado, tem-se reações naturais de um dado negócio, que podem ser estudadas também por entrevistas com especialistas e análise histórica - mais fácil para tipos de negócio que existem há um longo período e possuem progressões claras. Fontes de consulta externas podem envolver clientes, governo, parceiros de negócio e até mesmo competidores, enquanto consultas internas são os próprios operadores e funcionários. Já quanto à observação temporal, deve-se atentar a ciclos de negócio (como o final de um período contábil, ou quando o nanossatélite completa uma órbita) e ciclos técnicos (manutenção de rotina a cada 2000h de operação, por exemplo).

Por fim, é importante se ter em mente que as pessoas vivem em um mundo de eventos de negócios, e não técnicos. A Tabela 4.1 ilustra diferentes exemplos de eventos de negócios e o contraste com as respectivas definições técnicas dos mesmos (não recomendada).

TABELA 4.1 – Exemplos de documentação de um evento na linguagem de negócios e na linguagem técnica.

Evento de negócio	Evento técnico
Um incêndio é localizado	O sensor infravermelho do satélite detecta uma alta temperatura
Um fragmento espacial chega próximo ao satélite	O sensor de proximidade do satélite registra uma assinatura relevante
O usuário não consegue acessar os dados	O servidor com a base de dados está fora do ar

Diante disso, a identificação de um evento de negócio pode ser facilitada quando entende-se que ele está em um nível de abstração consistente com executores - que entendem as definições e descrições do negócio - ao passo que também está em linguagem de negócio, e não técnica. Uma descrição apropriada de um evento contém três partes, como ilustrado na Figura 4.6. A primeira é a mudança em algum aspecto do negócio, devendo ser significativa para o mesmo, mas também significativa ao conceito de operações - trazendo uma nova informação relevante (segunda) que demande uma resposta do negócio (terceira), geralmente envolvendo algum grau de processamento e transformação do input. (IAQUINTO, 2012)



FIGURA 4.6 – Pilares de um evento de negócios.

4.1.4 Definição dos cenários representativos

O sucesso de um documento de CONOPS depende em grande parte do desenvolvimento de cenários operacionais, os quais devem descrever as visões dinâmicas da operação do sistema, primariamente do ponto de vista dos usuários. Um cenário útil é o que descreve a operação e manutenção do sistema durante um modo ou fase específica da missão, esclarecendo o quê, quando, onde, o porquê, quem e como. Cenários representativos são conceituais e devem ser cuidadosamente selecionados para representar as principais atividades do negócio, permitindo a exploração de alternativas. Eles guiam os stakeholders entre a definição do problema e a solução proposta.

Um cenário operacional deve ser uma história bem tecida, baseada na interação de alguns conceitos operacionais críticos - sendo importante limitar o número de conceitos operacionais abordados (idealmente apenas um por cenário). Além disso, deve-se ter em mente que eles serão usados como uma ferramenta para permitir que especialistas no domínio do negócio vislumbrem como os negócios mudarão como resultado da existência do sistema. Uma outra usabilidade dos cenários é como ferramenta para permitir que os responsáveis dentro da organização ensaiem seus trabalhos no futuro proposto (embora ainda seja muito maleável) - devendo, portanto, serem definidos de forma fidedigna.

Pode ser inviável descrever de modo extensivo todos os possíveis cenários operacionais. Assim, é importante selecionar um conjunto apropriado dos cenários mais úteis e frequentes para o sistema em questão.

A escrita de um cenário deve ser no formato de prosa, utilizando linguagem de negócio, e não técnica - são pequenas histórias sobre possibilidades reais. Os casos devem ser escritos sobre o negócio, explicando como o mesmo será influenciado pelo sistema - mas destacando o aspecto operacional, incluindo a descrição de tarefas e responsabilidades. Também é importante endereçar conceitos do negócio que sejam de interesse dos *stakeholders* alvo, como lucratividade e execução, não se esquecendo dos casos críticos excepcionais. Por fim, deve-se prover eventuais informações adjacentes necessárias ao correto entendimento do caso.

O principal desafio na construção de cenários é garantir que todas as capacidades operacionais passíveis de serem manifestadas pelo sistema estão abrangidas. Para tal, é importante definir um cenário para cada um dos eventos de negócio do passo anterior, incluindo eventos excepcionais e sequências de eventos. Deve-se também garantir que as tarefas e responsabilidades do CONOPS são endereçadas.

Em seguida, é necessário organizar um time interdisciplinar para percorrer cada passo de um cenário e descrever os resultados. Deve-se começar por um ou dois cenários representativos de condições normais de operação - criando-se, então, condições adicionais com foco em elementos específicos de interesse (como operações em condições limite, picos de

carga ou com capacidades degradadas). Nesse contexto, três principais análises podem ser realizadas: de objetivos operacionais, de comportamento estático e de comportamento dinâmico. A primeira gera os objetivos e critérios de sucesso, a segunda descreve como os elementos sistêmicos se interagem com o ambiente para atingir os objetivos, enquanto a última é dependente das primeiras. Além disso, nos casos em que houver flexibilidade ou variabilidade, o cenário deve refletir os múltiplos caminhos indicando variações e opções.

Vale destacar, por fim, que um cenário conceitual não é um cenário de desenvolvimento de software, mas sim de engenharia de sistemas. O primeiro utiliza UML e diagramas de caso de uso - possuindo diferentes motivações, níveis de abstração e pontos de vista.

Para o caso do Firesat, um exemplo de cenário a ser abordado é: “Usuário busca o histórico de incêndios florestais no Acre entre 2010 e 2020”.

4.1.5 Definição das capacidades operacionais

Capacidades operacionais são “conjuntos de habilidades, processos e rotinas específicos, desenvolvidos dentro do sistema de gerenciamento de operações, que são regularmente utilizados na solução de seus problemas através da configuração de seus recursos operacionais” (WU *et al.*, 2010). Elas são abstratas e derivadas dos cenários representativos, sendo compostas por três visões: estrutural, funcional e comportamental - como ilustrado na Figura 4.7.



FIGURA 4.7 – Modelo representativo das capacidades operacionais

A primeira consiste de partes físicas do sistema, como por exemplo a bateria, os painéis solares e a carga útil do nanossatélite. São geralmente apresentadas na forma de diagramas de blocos, e expressam as relações entre as partes estruturais. Deve ser expressado em conceitos básicos, sem ser muito específico - é algo conceitual. É frequentemente

considerada como a “arquitetura” do sistema, de modo incorreto.

Já a visão das funções define o que o sistema de fato faz, como “coletar dados infravermelhos da floresta amazônica”. Geralmente apresentadas com frases verbais, podendo ser ilustradas por diagramas de blocos para demonstrar relações temporais ou combinatórias. Novamente, vale destacar o uso de linguagem de negócio.

Por fim, a visão comportamental expressa como e quando o sistema manifesta suas funções, como por exemplo “Atualizar a base de dados online a cada 10 minutos”. Essa visão geralmente é apresentada como frases condicionais, em linguagem de negócio, devendo ser apoiada por diagramas de estado ou transições. Comportamentos são categorias para agrupar funções operacionais, sendo frequentemente baseadas no uso pretendido ou nos eventos de negócio. Tais comportamentos podem ter nomes, sendo chamados de “modos”, com sub-comportamentos sendo os “estados” - a hierarquização com dois níveis já é suficiente para o propósito do CONOPS. A Figura 4.8 ilustra exemplos de modos e estados do nanossatélite de monitoramento florestal.

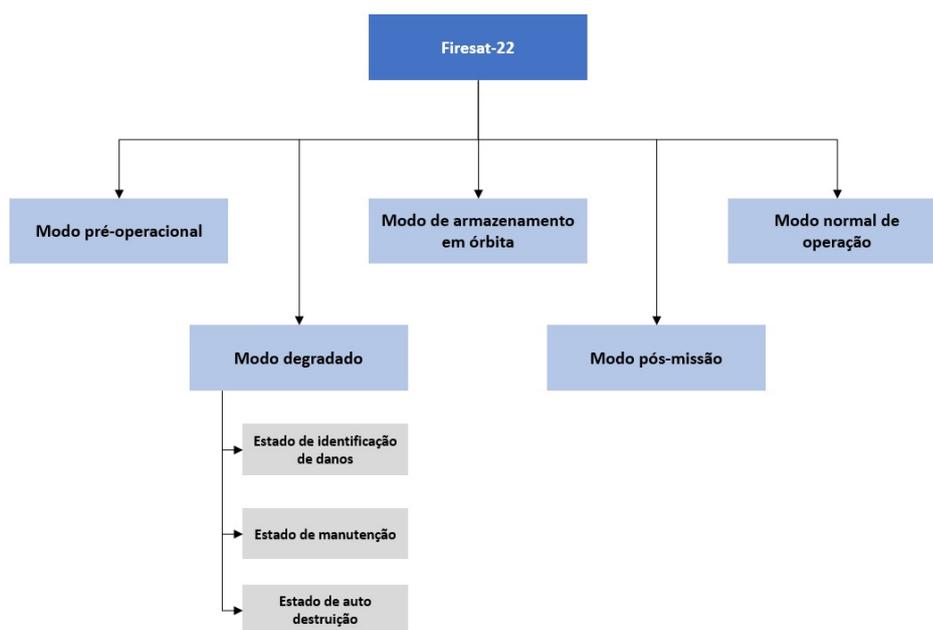


FIGURA 4.8 – Representação não exaustiva de modos e estados do sistema F22.

4.2 Validação

Após o desenvolvimento conceitual do CONOPS, é importante verificá-lo e validá-lo de modo a elevar sua fidedignidade, conforme ilustrado na Figura 4.9. Isso requer definição e entendimento claros sobre os objetivos que se têm em mente a partir da necessidade da existência do sistema em questão. Um *loop* de refinamento deve ser executado até

que o conceito de operações esteja em níveis aceitáveis dentro do contexto dos recursos disponíveis - sendo que um possível resultado dessa atividade é a decisão de cancelar a aquisição do sistema.

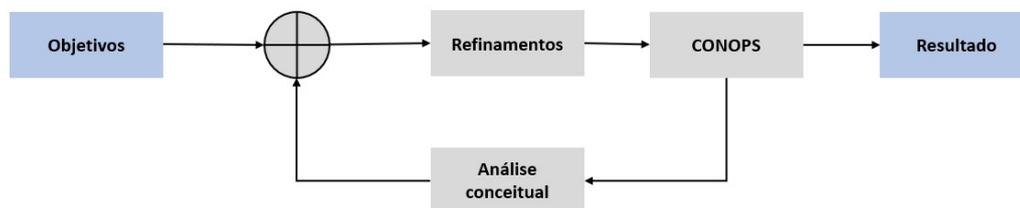


FIGURA 4.9 – O design conceitual inicial sempre requer refinamento.

4.2.1 Checklist de conceitos básicos

Antes de prosseguir com validações específicas, é importante garantir que a linguagem e metáforas utilizadas façam sentido aos usuários do sistema, e seja no contexto de negócios, e não técnico. Assim, vale fazer uso do auxílio dos *stakeholders* continuamente durante o desenvolvimento, e ainda mais na etapa de verificação.

Uma das verificações mais importantes é garantir que os usuários acreditam que seus objetivos são atingidos com o desenho conceitual operacional. Para tal, a verificação da realização dos objetivos pode exigir o desenvolvimento de protótipos, simulações e observações temporais.

4.2.2 Checklist de cenários representativos

O principal foco das validações consiste em um trabalho dos *stakeholders* de checagem dos cenários de modo a garantir que estejam corretos, executáveis, inteligíveis, claros, precisos, viáveis e completos - como detalhado na Tabela 4.2. Essa fase do desenvolvimento objetiva garantir que os cenários apresentados são adequados ao propósito do documento, e pode ser aprimorada com o uso de modelos executáveis e simulações em tempo real.

É importante que os desenvolvedores do CONOPS, com os testes, garantam que o conjunto de cenários seja suficiente, cobrindo os eventos incomuns importantes, e que os usuários possam realizar suas operações previstas dentro do escopo do cenário definido. As comunidades de usuários e de desenvolvimento devem estar intimamente envolvidas na validação dos cenários, assegurando que o sistema representa soluções potenciais para suas necessidades e identificando potenciais conflitos no domínio operacional.

TABELA 4.2 – Checklist de validação de cenários.

Item	Descrição
Correto	Cada cenário é uma representação adequada da intenção, é aceitável para a comunidade de usuários e operadores e inclui todas as características operacionais importantes necessárias para representar essas operações
Executável	Cada cenário fornece uma representação adequada das operações do usuário
Inteligível	Os usuários e operadores entendem cada cenário e os vêem como representantes de suas operações previstas
Claro	Os cenários não possuem ambiguidade
Preciso	Cada cenário fornece uma representação precisa de prováveis operações do usuário
Viável	Cada cenário descreve as operações do usuário que são viáveis, dada a natureza das operações e as habilidades dos usuários
Completo	O conjunto de cenários aborda todos os eventos importantes e incomuns, e os usuários e operadores podem realizar suas operações pretendidas dentro do escopo do conjunto de cenários

4.2.3 Checklist de capacidades operacionais

Outro ponto de validação são as capacidades operacionais. Elas devem estar inteligíveis (usuários entendem o que, quando e como os processos ocorrerão), corretas (usuários entendem como o sistema funciona e concordam que as capacidades beneficiam o processo) e completas (usuários conseguem atingir os objetivos de uso com tais capacidades). Também deve-se garantir que foram escritas em linguagem de negócios.

4.2.4 Checklist de cobertura de tópicos

A cobertura de tópicos também deve ser verificada no que tange à integração e interoperabilidade. As combinações de capacidades devem ser analisadas, juntamente com a relação entre novas capacidades e as existentes. A descrição de comportamentos individuais deve ser analisada no que tange à sua contribuição para o valor agregado. Deve-se, também, garantir que existem suficientes cenários de manutenção para evitar falhas sistêmicas que resultam de manutenção de subsistemas. Por fim, devem haver suficientes cenários legais e regulatórios.

4.2.5 Checklist de solução de problemas

Uma vez que a construção do sistema é motivada pela melhoria de uma prática existente, é interessante realizar comparações do estado presente com o futuro, selecionando

eventos de negócio significativos, assim como anomalias de interesse. As melhorias nos processos podem, então, ser quantificadas e comparadas com os objetivos. Aqui, vale calcular o retorno financeiro sobre o investimento, além de ganhos socioeconômicos e políticos. Por fim, é importante justificar as mudanças e validar se o problema de negócio foi de fato resolvido - atendendo para o caso do sistema introduzir novos problemas.

4.2.6 Checklist de consequências indesejadas

No processo de validação, é importante listar consequências indesejadas e não intencionais, procurando-as de modo *top-down* e também *bottom-up*, além de buscar um histórico das mesmas, quando possível. Deve-se, então, definir eventuais severidades de consequências indesejadas validadas com os usuários, procurar eliminá-las com reengenharia.

4.2.7 Checklist de segurança

Outro ponto de atenção é a segurança, analisando-se a vulnerabilidade do sistema, a privacidade de dados e a conformidade com as políticas regulatórias. Nesse quesito, é importante verificar a necessidade de certificações e se as capacidades de resposta a incidentes são adequadas.

4.2.8 Checklist RAMS

A análise RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) está ligada à análise de segurança abordada no tópico anterior, mas vale ser tratada separadamente com o foco em confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade - além de segurança voltada a aspectos físicos.

Quanto aos cenários, é importante entender ameaças à confiabilidade do sistema, analisar as métricas de performance - baseadas em linguagem de negócios - e riscos de falha através do FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). De modo semelhante, nas capacidades operacionais, é importante projetar análises das 4 áreas RAMS, além do FMEA.

4.2.9 Checklist de conceitos políticos

Em alguns contextos, a conceitualização de objetivos políticos pode ser a atividade mais importante da produção de um CONOPS. Nesse âmbito, os cenários devem clarificar tarefas entendendo a situação atual e abordando as mudanças políticas necessárias. Algumas perguntas que podem orientar esse processo são:

- Onde a informação reside?
- Onde a estrutura se localiza?
- Qual é o lucro ao fornecer as capacidades operacionais?
- Quais os custos de fornecimento das capacidades operacionais?

4.3 Documentação

Uma vez finalizados os processos de desenvolvimento e de validação, o último passo é a documentação do CONOPS sob a forma do OCD. Ele deve estar escrito de uma maneira autoexplicativa e acessível a uma gama de *stakeholders*. Recomenda-se que os tópicos ilustrados na Figura 4.3 sejam utilizados de modo a se produzir um documento organizado e completo, de acordo com o *American National Standards Institute* (ANSI, 2018). Vale destacar que o conteúdo deve ser adaptado e que o nível de detalhe a ser incluído normalmente dependerá de quando, no ciclo de vida do sistema, o OCD é preparado ou atualizado, e a finalidade para a qual ele está sendo desenvolvido.

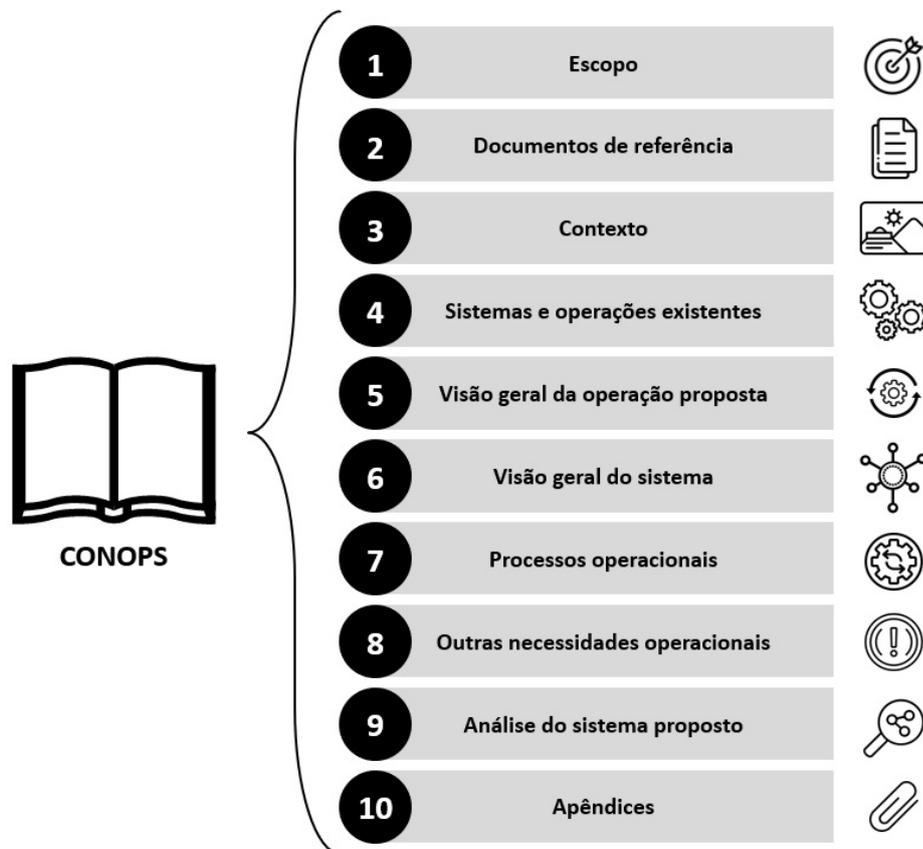


FIGURA 4.10 – Principais componentes de um CONOPS.

4.3.1 Escopo

A primeira seção de um OCD é o escopo. Nele, deve conter o número de identificação do sistema, com título e abreviação - se aplicável. Vale também introduzir o propósito do documento, seu público-alvo e sua estrutura.

4.3.2 Documentos de referência

Deve-se listar todos os documentos referenciados no OCD, incluindo número, título e fonte.

4.3.3 Contexto

Esta seção deve explicar informações gerais que possam ser úteis no entendimento do sistema. Informações que podem ser incluídas são detalhes e histórico das capacidades necessitadas, descrição em alto nível da estrutura organizacional, uma revisão dos *stakeholders* do sistema e discussão sobre os projetos relacionados. Assim, esse tópico ajuda a definir o por quê do sistema.

Vale destacar que, quando as informações forem relevantes apenas para o sistema existente ou proposto, elas devem ser fornecidas nas seções apropriadas, e não nesta.

4.3.4 Sistemas e operações existentes

Esta parte descreve os sistemas em vigor nas operações descritas no documento, além da natureza das operações sendo conduzidas. Ela é relevante apenas quando as capacidades já foram fornecidas por um sistema existente, e onde a discussão desse sistema é útil na compreensão da capacidade.

A estrutura do tópico 4.3.5 deve ser usada como guia, incluindo uma visão geral do ambiente de operação e de suporte desses sistemas, além do pessoal envolvido.

4.3.5 Visão geral da operação proposta

A quinta seção do OCD fornece uma visão geral das operações e do contexto operacional do sistema proposto, a partir das perspectivas dos usuários e dentro do ambiente operacional.

Aqui, é importante descrever as missões primárias e secundárias que o sistema vai endereçar, descrevendo, se aplicável, riscos e problemas potenciais - por exemplo, associ-

ados à localização das operações, estratégias utilizadas para cumprir a missão e táticas, métodos ou técnicas específicas empregadas. Assim, a primeira parte dessa seção deve descrever o quê o sistema deve fazer - assim como, até certa extensão, como e quando será feito. Vale destacar que a explicação de conceitos operacionais e técnicos chave deve ser feita de modo claro, em linguagem de negócios.

Um segundo ponto a ser abordado são as políticas e restrições operacionais, descrevendo seus usos e aplicabilidades no sistema em questão - como a disponibilidade de pessoal ou perfil climático. Assim, deve ajudar a definir onde o sistema operará em termos socioeconômicos e geopolíticos. De modo complementar, deve-se incluir aspectos físicos do ambiente operacional - como temperatura, nível de ruído e umidade.

Também é importante detalhar quem irá operar o sistema - relacionando funções a um organograma. Cada tipo de pessoal envolvido deve ter informações apropriadas, como responsabilidades, atividades performadas, nível de educação requisitado, características físicas eventualmente apropriadas, habilidades requeridas e a relação com os *stakeholders* definidos na seção 4.3.3.

Adicionalmente, deve-se descrever o conceito e o ambiente de suporte, incluindo políticas e restrições relevantes ao suporte do sistema, procedimentos operacionais relevantes ao mesmo, critérios de reparo e troca, níveis e ciclos de manutenção e equipamentos necessários. Descreve-se aqui o quê, como, onde e quando o suporte se dará.

Outro tópico relevante nessa seção é a justificativa e descrição de eventuais mudanças nos sistemas existentes. Deve-se descrever aspectos novos ou modificados das necessidades dos usuários, ameaças, missões, objetivos, ambientes, interfaces, pessoal ou outros fatores que requerem um sistema novo ou modificado. Também resume as deficiências ou limitações do sistema atual ou situações que o tornam incapaz de responder a estes fatores. Vale incluir uma classificação de prioridades sobre as eventuais mudanças necessárias.

Por fim, cabe realizar uma análise dos impactos em usuários, operadores e terceiros envolvidos na implementação da capacidade proposta. Seu propósito é fornecer um aviso prévio aos elementos e organizações envolvidos, os quais podem precisar tomar medidas em resposta às mudanças a serem feitas.

4.3.6 Visão geral do sistema

A intenção desta seção é fornecer uma visão geral do sistema - quando apropriado, uma descrição detalhada da arquitetura, funções e outras características podem ser referenciadas, mas não devem ser incluídas aqui. Ela é escrita a partir da perspectiva dos operadores e mantenedores do sistema, em seus ambientes operacionais. Vale pontuar que, à medida que o desenvolvimento sistêmico avança, esta seção é atualizada para descrever

o conceito operacional real do projeto.

Deve-se, primeiramente, incluir uma discussão sobre o escopo do sistema, descrevendo os usos primários do mesmo no contexto do ambiente operacional. Em sequência, vale abordar os objetivos do sistema - quantificados, quando possível, e com os eventuais atributos de performance. Fatores de qualidade geralmente analisados são acessibilidade, disponibilidade, confiabilidade, manutenção, transportabilidade, flexibilidade e expansão. Isso contribui para a definição do porquê o sistema deveria existir.

Adicionalmente, deve-se descrever quem são os usuários e operadores do sistema, relacionando-os com o pessoal descrito na seção anterior. É importante esclarecer a diferença entre ambos usuários e operadores, alencando responsabilidades e autoridades.

Dando sequência à seção, recomenda-se abordar os limites físicos e operacionais do sistema, identificando a relação entre sistemas no qual a organização é FoS/SoS. Aqui, defini-se, em parte, onde o mesmo é operado e suportado.

Adicionalmente, deve-se descrever, em alto nível, os estados e modos operacionais do sistema, relacionando-os aos vários processos operacionais e atividades dos usuários. Isso ajudará a definir como o sistema será operado.

Por fim, deve-se descrever as capacidades e arquitetura do sistema - definindo o que o sistema faz e do que ele consiste, respectivamente.

4.3.7 Processos operacionais

Este tópico do OCD deve ser escrito do ponto de vista operacional, descrevendo as missões e operações como elas provavelmente existirão, utilizando o sistema proposto. Ele resume, em prosa, os processos operacionais, fornecendo um modelo descritivo do fluxo sequencial de operações, incluindo entradas, saídas e outros riscos potenciais. Esta seção deve ser estruturada de acordo com as necessidades do público, podendo ser organizado de modo hierárquico de importância ou simplesmente como uma lista de processos.

Aqui, deve-se descrever variações das operações em diferentes situações, incluindo o porquê, quando, onde, quem, o que e como - detalhando também a ordem das atividades, tempo estimado e pessoal envolvido em um dado processo.

Informações adicionais que podem se fazer necessárias são o nível requerido de preparação do pessoal, as respostas temporais a diferentes estímulos de estresse e o sequenciamento de atividades ou tarefas que se desenrolam a partir desses estímulos. Vale, também, classificar a importância de cada operação.

4.3.8 Outras necessidades operacionais

Nesta parte do documento, espera-se uma comparação das necessidades do usuário/operador/cliente com as capacidades operacionais fornecidas pelo sistema - por exemplo, a quantificação do desempenho do sistema pode exigir uma extensa análise e modelagem do mesmo, as quais só poderão ser iniciadas em outras fases do estágio de desenvolvimento do ciclo de vida.

Por fim, vale discutir fatores de qualidade, como usabilidade, operabilidade e performance humana. Também pode-se incluir necessidades da missão, de segurança e de privacidade, destacando como o sistema irá endereçá-las.

4.3.9 Análise do sistema proposto

Esta seção provê um resumo qualitativo e quantitativo das vantagens e desvantagens advindas do sistema. Como positivo, pode-se discutir novas capacidades, capacidades aprimoradas e melhor desempenho - enquanto o lado negativo pode abordar, se aplicável, capacidades degradadas ou em falta, desempenho menor que o desejado, uso de recursos maior que o desejado, impactos operacionais, conflitos com premissas dos usuários e outras restrições. Vale, em paralelo, identificar e descrever alternativas consideradas ao sistema, *tradeoffs* relacionados e o racional para as decisões tomadas.

Outro ponto a ser incluído é um resumo qualitativo e quantitativo dos impactos do sistema por classe de usuário, além de potenciais riscos regulatórios e como o sistema lida com eles. Demais impactos relevantes também podem entrar nessa seção.

4.3.10 Apêndices

Recomenda-se que o OCD contenha apêndices para tratar de acrônimos, abreviações e glossários, além de detalhes dos cenários do sistema operacional. Os cenários devem se relacionar com os elementos operacionais definidos na seção 4.3.5 e abordar cada um dos processos operacionais documentados na seção 4.3.7.

Um conteúdo típico de um cenário aborda uma visão geral (resumo do contexto e missão, além de como o sistema cumprirá seu objetivo), sequência (fluxo de dados, estados e modos de transição), performance (tempos de resposta, confiabilidade, disponibilidade, medidas de eficiência), riscos potenciais ao usuário e operação (tipos de usuário e experiências, responsabilidades e autoridades, conforto dos usuário e operadores) e ambiente do sistema e instalações existentes (ambiente físico, riscos geográficos, necessidades de segurança, interfaces).

A Tabela 4.3 contempla os tópicos recomendados pela ANSI e os correlaciona com os capítulos do presente relatório.

TABELA 4.3 – Correlação de índices da estrutura do OCD.

Índice no relatório	Índice no OCD
4.3.1	1. Escopo 1.1. Identificação 1.2. Propósito do sistema 1.3. Visão geral do documento
4.3.2	2. Documentos de referência
4.3.3	3. Contexto
4.3.4	4. Sistemas e operações existentes
4.3.5	5. Visão geral da operação proposta 5.1. Missões 5.2. Políticas e restrições operacionais 5.3. Ambiente operacional 5.4. Pessoal 5.4.1. Estrutura organizacional 5.4.2. Perfil do pessoal 5.5. Conceito e ambiente de suporte 5.6. Justificativa e natureza das mudanças 5.6.1. Justificativa das mudanças 5.6.2. Resumo das mudanças necessárias 5.6.3. Mudanças consideradas mas não inclusas 5.7. Resumo dos impactos
4.3.6	6. Visão geral do sistema 6.1. Escopo do sistema 6.2. Objetivos e metas do sistema 6.3. Usuários e operadores 6.4. Interfaces do sistema 6.5. Estados e modos do sistema 6.6. Capacidades do sistema 6.7. Arquitetura do sistema
4.3.7	7. Processos operacionais
4.3.8	8. Outras necessidades operacionais 8.1. Necessidades da missão 8.2. Necessidades do pessoal 8.2.X. Tipo de pessoal
4.3.9	9. Análise do sistema proposto 9.1. Resumo das vantagens 9.2. Resumo das desvantagens/limitações 9.3. Alternativas consideradas 9.4. Resumo dos impactos por classes de usuários 9.5. Impactos regulatórios 9.6. Outros impactos
4.3.10	10. Apêndices A. Acrônimos, abreviações e glossário B. Cenários operacionais do sistema detalhados B.1. Processos operacionais B.1.X Cenário B.2. Cenários e condições comuns

5 Conclusões

A engenharia de sistemas foi criada com o objetivo de acessar soluções complexas com um método que propõe soluções derivando requisitos de necessidades. Dentro dela, o papel do conceito de operações é auxiliar os usuários e operadores de um sistema a mantê-lo e acessá-lo. A partir disso, conclui-se que o presente trabalho atingiu o objetivo de construir uma metodologia de desenvolvimento de um CONOPS baseado nas normas da ANSI/AIAA G-043B-2018, a partir do exemplo de monitoramento de queimadas na floresta amazônica.

De fato, descreveu-se os três principais passos para o resultado final documentado. Primeiramente, a etapa de desenvolvimento do conceito de operações evolui da definição do problema para a definição das tarefas e responsabilidades, dos eventos, dos cenários representativos, até chegar-se nas capacidades operacionais. O segundo grande passo é a validação, que permite um refino do CONOPS a partir de análises conceituais e verificações junto aos *stakeholders*. Por fim, o último passo é a documentação do trabalho, seguindo um modelo claro e inteligível pelos *stakeholders* do sistema, em linguagem de negócios e seguindo modelos internacionais.

Os próximos passos do trabalho será transportar o modelo apresentado para a realidade, descrevendo sistemas reais da Força Aérea Brasileira. Isso permitirá um maior controle e organização dos projetos das Forças Armadas, contribuindo para o desenvolvimento do Brasil.

Referências

ANSI. **Processes for Engineering a System**. Reston, 1999.

ANSI. **Guide to the Preparation of Operational Concept Documents**. Reston, 2018. 59 p.

CBMMT. Teoria básica do incêndio florestal. 2020. Disponível em: <<http://www.bombeiros.mt.gov.br>><http://www.bombeiros.mt.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2022.

GOV.BR. Agência nacional de telecomunicações - satélite. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/satelite>>. Acesso em: 30 out. 2022.

IAQUINTO, J. F. The conceptual design featuring the concept of operations. **International Council on Systems Engineering**, INCOSE, San Diego, 2012.

INPE. Equipe queimadas. 2022. Disponível em: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/links-adicionais/equipe-queimadas>>. Acesso em: 15 ago. 2022.

INPE. Estatísticas estados. nov. 2022. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/>. Acesso em: 07 nov. 2022.

INPE. Estatísticas países. 2022. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_paises/>. Acesso em: 15 ago. 2022.

INPE. Perguntas frequentes. 2022. Disponível em: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentesp6>>. Acesso em: 15 ago. 2022.

MOTTA, R. S. da; MENDONÇA, M. J. C.; NEPSTAD, D.; DIAZ, M. del C. V.; ALENCAR, A.; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. O custo econômico do fogo na Amazônia. **Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia**, IPEA, Rio de Janeiro, v. 912, 2002.

NISSAN, A. H. A methodology for systems engineering, arthur d. hall. **Research Management**, Routledge, Abingdon, v. 8, n. 1, p. 56–58, 1965.

PLANTE, J.; LEE, B. Environmental conditions for space flight hardware – a survey. 2004. Disponível em: <<https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fnep.nasa.gov%2Fdocuploads%2FC5E0869C-0469->

- 4D11-9FAA8012C8F52351\%2Fenvironmental\%2520Testing\%2520Survey-.docwdOrigin=BROWSELINK>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- SOUZA, C. de. Recorde, fúria dos incêndios na amazônia se intensifica em setembro. 2020. Disponível em: <<https://brasil.elpais.com/brasil/2020-10-01/recordes-furia-dos-incendios-na-amazonia-e-no-pantanal-se-intensifica-em-setembro.html>>. Acesso em: 07 nov. 2022.
- THOTHX. Argus 2000 ir spectrometer - owner's manual. 2018. Disponível em: <<http://thothx.com/getmedia/4c0d3242-b4fb-4e9d-abf7-85dbb5c6653f/20180815-Argus-2K-Owner-s-Manual,-Thoth-Technology,-rel-1-03-.aspx>><http://thothx.com/getmedia/4c0d3242-b4fb-4e9d-abf7-85dbb5c6653f/20180815-Argus-2K-Owner-s-Manual,-Thoth-Technology,-rel-1-03.aspx>. Acesso em: 15 out. 2022.
- UFRRJ. Combate a incêndios. 2000. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/comba.htm>><http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/comba.htm>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- WORLD ECONOMIC FORUM. What's the environmental impact of space debris and how can we solve it? 2022. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2022/07/environmental-impact-space-debris-how-to-solve-it/>>. Acesso em: 30 out. 2022.
- WU, S. J.; MELNYK, S. A.; FLYNN, B. B. Operational capabilities: The secret ingredient. v. 41, p. 721–754, nov. 2010. Disponível em: <https://pesquisa-eaesp.fgv.br/sites/gvpesquisa.fgv.br/files/arquivos/ann_-_operational_capabilities..._-_wiley_online_library.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- WXTRACK. 2022. Disponível em: <<http://www.satsignal.eu/software/wxtrack-.htm>><http://www.satsignal.eu/software/wxtrack-.htm>. Acesso em: 29 out. 2022.

Apêndice A - Exemplo ilustrativo

A.1 Escopo

A.1.1 Identificação

Este OCD se aplica ao sistema FIRESAT-22, número 0548186, abreviado por F22.

A.1.2 Propósito do sistema

O sistema em questão se propõe a monitorar queimadas na floresta amazônica brasileira, disponibilizando dados em tempo real de focos de modo a possibilitar um combate mais efetivo aos incêndios frequentes na região.

A.1.3 Visão geral do documento

Este documento visa atender os usuários e operadores do FIRESAT-22, facilitando a operação e interação com o mesmo. Seu conteúdo apresenta o contexto do problema, sistemas e operações existentes que tenham alguma relação com o sistema, visão geral da operação proposta e do sistema em questão, além dos processos operacionais e análises relevantes.

Os usuários aos quais este documento se destina são os Corpos de Bombeiros, ao Ibama e ao Instituto Florestal, além dos operadores e mantenedores do nanossatélite e da base de dados, sendo estes os principais stakeholders do sistema.

A.2 Documentos de referência

[1] Guide to the Preparation of Operational Concept Documents

ANSI. Guide to the Preparation of Operational Concept Documents. Reston, 2018. 59 p.

[2] Registro de Ocorrência de Incêndio

Ibama. Registro de Ocorrência de Incêndio. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/incendios-florestais/registro-ou-consulta-de-incendio/registro-de-ocorrencia-de-incendios-roi>>. Acesso em: 31. out. 2022.

[3] Perguntas Frequentes - Programa Queimadas

A. Setzer. INPE. Perguntas Frequentes - Programa Queimadas. São José dos Campos, 2020. Disponível em: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>>. Acesso em: 31. out. 2022.

[4] Argus 2000 IR Spectrometer

Thoth Technology, Inc. Argus 2000 IR Spectrometer. Ontario, 2018. 44 p.

A.3 Contexto

O monitoramento de queimadas e incêndios florestais em imagens de satélites é particularmente útil para regiões remotas sem meios intensivos e locais de acompanhamento, representando a situação geral do Brasil. Entretanto, também existem outros métodos, como a patrulha terrestre e a instalação de torres de vigilância. Após a detecção de uma queimada, órgãos competentes são acionados. A depender da região, este pode ser os Bombeiros, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente, o Ibama, a Prefeitura, o Instituto Florestal ou mesmo instituições não governamentais e/ou filantrópicas.

Deve-se estudar detalhadamente a situação antes de se tomar qualquer medida relativa ao combate. A primeira etapa desse estudo é uma avaliação criteriosa do incêndio propriamente dito (tamanho, extensão, velocidade de propagação, intensidade), além de uma avaliação da região (clima, vegetação, rede de aceiros, estradas, fontes de captação de água). A partir disso, definem-se a escolha do método de combate, a distribuição das brigadas de incêndio e a seleção dos recursos necessários para o combate efetivo ao incêndio florestal. (UFRRJ, 2000)

A.4 Sistemas e operações existentes

Atualmente, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibiliza gratuitamente dados meteorológicos, climáticos e ambientais, incluindo monitoramento e previsões de queimadas. Vale destacar que o instituto não tem atribuições para fiscalizar, controlar e combater o uso do fogo no País, e nem de punir os infratores. Os dados gerados são distribuídos para o público em geral e os agentes públicos com necessidades operacionais

especiais já conhecem os procedimentos de download automático e fazem uso destes dados para suas atividades específicas. (INPE, 2022d)

São utilizados todos os dez satélites, entre polares e geoestacionários, que possuem sensores óticos operando na faixa termal-média de 4um e que o INPE consegue receber. Em setembro de 2020, eram as imagens dos satélites polares, as AVHRR/3 dos NOAA-18 e 19, METOP-B e C, as MODIS dos NASA TERRA e AQUA e as VIIRS do NPP-Suomi e NOAA-20 e, as imagens dos satélites geoestacionários, GOES-16 e MSG-3. Cada satélite de órbita polar produz pelo menos dois conjuntos de imagens por dia, e os geoestacionários geram seis imagens por hora, sendo que no total o INPE processa automaticamente mais de 200 imagens por dia especificamente para detectar focos de queima da vegetação. As recepções são feitas nas estações de Cachoeira Paulista, SP (próximo à divisa com o RJ) e de Cuiabá, MT.

Os dados de focos de queima do sensor MODIS do satélite AQUA, que era utilizado como referência, deixaram de ser gerados entre 31/03/2022 e 13/04/2022 devido a problemas técnicos divulgados pela NASA. Por ser este o “satélite de referência”, as séries temporais de dados do Programa Queimadas foram prejudicadas e passou-se a divulgar também as análises dos dados de focos do sensor VIIRS do satélite SNPP. A Figura A.1 ilustra comparativo de detecção de focos entre os dois sistemas, de janeiro de 2012 a agosto de 2022.

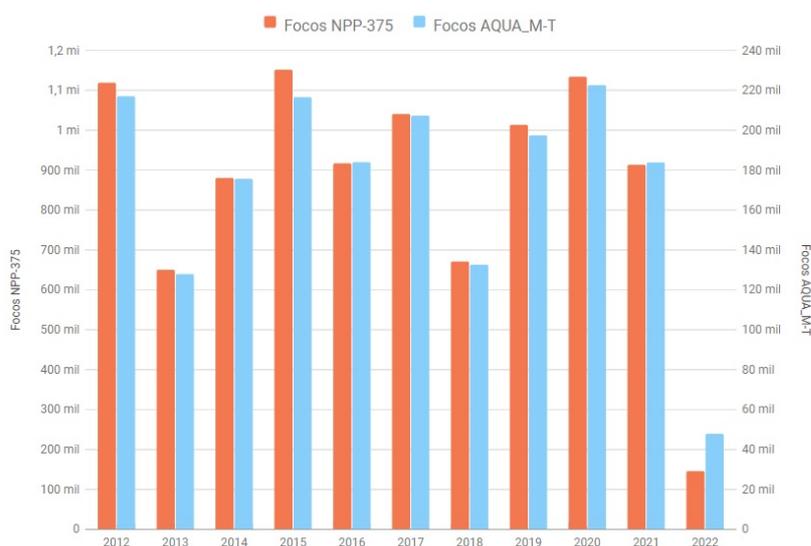


FIGURA A.1 – Número de focos de incêndio no Brasil detectados pelos satélites NPP e AQUA. (INPE, 2022c)

O custo é pago quase que integralmente com recursos do governo federal. Atualmente, a Ação Queimadas No. 20V9-2, do Plano Plurianual 0503 do Ministério do Meio Ambiente, transfere cerca de R\$ 800 mil/ano ao INPE para a operação e aperfeiçoamento deste sistema, sendo R\$ 0,7 milhão na categoria Custeio e R\$ 0,1 milhão em Capital. Quase

todo Custeio é gasto no pagamento de integrantes da equipe, que não são funcionários públicos; o valor de Capital é para compra de equipamentos de recepção e processamento de imagens dos satélites usados no monitoramento. O INPE contribui com cerca de duas vezes o valor da Ação quando considerados os funcionários de carreira, o uso de equipamentos como estações de recepção, supercomputador, equipes de suporte, pesquisadores, dentre outros. (INPE, 2022d)

A equipe fixa tem um servidor público federal na função de pesquisador com nível de doutorado que a coordena. Os produtos de satélites geoestacionários, de risco de fogo, de área queimada, e do Banco de Dados, cada um tem um técnico com MSc. dedicado. Um analista com MSc. cuida das melhorias no programa de extração de focos nas imagens NOAA, e outro analista mantém as páginas internet. Uma analista e um técnico estão desenvolvendo e implementando a página de queimadas no novo sistema Sigma. Vários engenheiros, técnicos e operadores controlam as estações receptoras e os computadores de processamento. Ao total, atualmente a equipe é composta por 16 técnicos e 16 colaboradores. (INPE, 2022a).

A.5 Visão geral da operação proposta

A.5.1 Missões

O sistema endereçará o monitoramento remoto da região de floresta amazônica brasileira, detectando focos de incêndio e facilitando o combate por parte das autoridades competentes. Será utilizado um nanossatélite com sensor infravermelho, integrado com antena no solo.

A.5.2 Políticas e restrições operacionais

Existem alguns cenários nos quais a detecção das queimadas é dificultada ou até mesmo impossibilitar (INPE, 2022d). Focos pequenos, com fretes de fogo com menos de 30 m, ou então se o fogo estiver apenas no chão de uma floresta densa, sem afetar a copa das árvores, dificilmente será detectado. Além disso, se a região estiver nublada, com muitas nuvens, no momento da medição, também pode afetar a leitura do sensor.

É importante, também, que a queimada esteja ocorrendo no momento que o satélite passar pela região - se for um fogo de curta duração, ocorrendo entre o horário das imagens disponíveis, não será detectado. Por fim, se o fogo estiver em uma encosta de montanha, enquanto que o satélite só observou o outro lado, também pode ser invisível ao sensor.

A.5.3 Ambiente operacional

O ambiente ao qual o sistema espacial estará sujeito é a órbita terrestre baixa (LEO), na faixa dos 400 km de altitude. As temperaturas podem oscilar entre -150°C a 60°C , dado um sombreamento de cerca de 30 minutos a cada órbita de 90 minutos. Em 1 ano, os satélites em LEO podem experimentar até 9.000 desses ciclos de temperatura (PLANTE; LEE, 2004).

A pressão atmosférica em voo esperada para hardwares em órbitas LEO é da ordem de 10^{-8} Pa, além de estarem suscetíveis a 11-26 impactos/ m^2 /ano. As condições de radiação ultravioleta podem variar entre 2.220 a 5.800 ESH/ano, uma energia aproximada de $118 \text{ W}/\text{m}^2$. A aceleração da gravidade, nessas condições, é menor que 10^{-3} g (PLANTE; LEE, 2004).

Já a operação terrestre, incluindo os servidores, antenas e a estação solo, estarão localizados no INPE, na cidade de São José dos Campos, SP.

A.5.4 Pessoal

A necessidade de pessoal diretamente envolvido na operação do sistema é de 10 pessoas, segundo a estrutura indicada na Figura A.2.

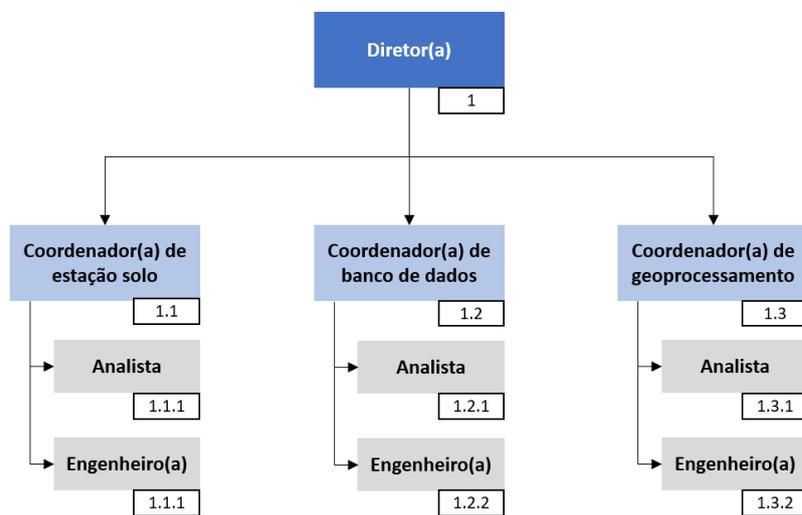


FIGURA A.2 – Organograma operacional do projeto.

A Tabela A.1 indica o perfil do pessoal envolvido na operação e manutenção do sistema, além do próprio usuário.

TABELA A.1 – Perfil do pessoal envolvido no sistema.

Tipo	Atividades	Requisitos
Diretor(a)	Liderar a equipe; dialogar diretamente com demais stakeholders; garantir o funcionamento global do sistema.	Pós graduação completa; inglês fluente; experiência de no mínimo 5 anos no setor; experiência prévia em liderança de equipes.
Coordenador(a)	Garantir que toda a sua área esteja funcionando adequadamente; prever e organizar manutenções; delegar atividades ao analista e engenheiro do time.	Pós graduação completa; experiência de no mínimo 5 anos na área de atuação.
Analista	Execução de tarefas operacionais; auxílio na manutenção dos sistemas.	Graduação ou curso técnico completo; experiência de no mínimo 2 anos na área de atuação.
Engenheiro(a)	Planejamento e construção de funcionalidades; manutenção dos sistemas.	Graduação completa; experiência de no mínimo 2 anos na área de atuação.
Usuário(a)	Receber a informação final, podendo utilizá-la para fins acadêmicos ou o combate direto aos incêndios.	Acesso ao banco de dados (internet).

A.5.5 Conceito e ambiente de suporte

O principal limitador no suporte ao sistema, no que tange ao hardware, é a distância física. Tal limitação pode ser parcialmente contornada com a instalação de baterias e sensores reservas no nanossatélite, dentro da viabilidade econômica - e dos requisitos volumétricos - do projeto. Também há os aparelhos da estação solo, os quais devem ser vistoriados periodicamente para garantir o correto funcionamento. Mas, de modo geral, o suporte se dá no nível dos softwares.

A função de suporte de software geralmente se concentra no monitoramento e manutenção das operações; no entanto, softwares também podem ser desenvolvidos para tornar as operações mais eficientes ou para assimilar novas funcionalidades.

Todo software operacional deve seguir práticas padrão de desenvolvimento e gerenciamento. Além disso, processos definidos serão usados e dados serão coletados sobre o desempenho desses processos, sendo os KPIs definidos e monitorados.

Todo o desenvolvimento e manutenção de software será realizado sem interferência no sistema operacional. Isso exigirá um ambiente de desenvolvimento e teste independente das operações, mas refletindo a configuração operacional completa. Vale destacar, também, a necessidade de se manter backups de software a cada modificação e atualização.

Sobre atualizações, quando for tomada a decisão de se usar um novo software, ou uma versão atualizada de um programa, o mesmo será testado antes da instalação. As fases de teste incluem desenvolvimento, aceitação e operações paralelas. Nenhum software operacional será introduzido no sistema operacional até depois de ter sido exaustivamente testado usando dados operacionais em ambiente de simulação de alta fidelidade.

O desenvolvimento e a manutenção de um software ou banco de dados é de responsabilidade do engenheiro da respectiva área, sob a supervisão de coordenador e o apoio de um analista. A depender da necessidade, tais atividades podem ser terceirizadas, sempre sob a supervisão do engenheiro e do coordenador, além da aprovação do diretor do sistema.

Por fim, o usuário final do sistema terá acesso a um canal de comunicação em que poderá denunciar falhas e instabilidades no sistema.

A.5.6 Justificativa e natureza das mudanças

O sistema vigente que mais se aproxima do projeto do FIRESAT-22 é o programa do INPE, citado no item 4.4. Por mais que o INPE consiga obter dados de 10 satélites, nenhum deles é 100% nacional, o que adiciona um risco sensível extra à operação. Além disso, o “satélite de referência” utilizado na década passada (AQUA) deixará de operar em um futuro próximo, pois ultrapassou em muito sua vida útil prevista de seis anos (foi lançado em Maio/2002) (INPE, 2022d).

Sendo assim, o momento é oportuno para a adoção de um satélite de referência nacional, o que também contribuirá para fomentar a indústria aeroespacial brasileira.

A.5.7 Resumo dos impactos

Os impactos diretos nos usuários dos sistemas, caso já utilizem os dados dos satélites internacionais, é mínimo, dado que o intuito é substituí-los com tecnologia nacional. Entretanto, a proposta é mobilizar e incentivar o máximo de stakeholders para garantir que utilizem o sistema, gerando assim alto impacto positivo nas regiões que não tinham apoio por imageamento.

Para o governo, de modo geral, haverá um impacto negativo na questão de maiores custos, mas com a positividade da independência tecnológica, que indiretamente leva a maior fomento científico e poderio de defesa ao país.

Ao meio ambiente, o impacto direto é minimamente negativo, no que se refere à confecção e operação do satélite em órbita, mas com um alto saldo positivo quando se considera o resultado da operação com a melhora na eficiência do combate a incêndios.

Por fim, as comunidades que vivem nas proximidades da floresta amazônica serão posi-

tivamente impactadas, sendo as mais beneficiadas com a operação, que prevenirá doenças respiratórias, diminuirá gastos com combate a queimadas, além de evitar onerosidades à economia local.

A.6 Visão geral do sistema

A.6.1 Escopo do sistema

O sistema é um nanossatélite de imageamento infravermelho em uma órbita terrestre baixa, integrado a uma base de dados pública de focos de incêndios na floresta amazônica.

A.6.2 Objetivos e metas do sistema

O sistema objetiva identificar incêndios de 100 m^2 com 90% de assertividade e, acima de 1000 m^2 , com 99%. Além disso, deve ser capaz de reportar o incidente na base de dados online em até 10 minutos depois de sua detecção. Por fim, a disponibilidade do servidor deve ser maior que 99.5% do tempo.

A.6.3 Usuários e operadores

O sistema possui 3 áreas de operação: a estação solo, o banco de dados e o geoprocessamento. O pessoal diretamente envolvido na operação do sistema são os senhores: Henrique Rosa, Lívia Campos, Beatriz Castro, Sara Lima, Miguel Flores, Yago Gonçalves, Augusto Silva, Tatiane Cruz, Davi Ramos e Juan Duarte. A Tabela A.2 detalha as posições de cada indivíduo, segundo a estrutura organizacional indicada anteriormente na Figura A.2.

TABELA A.2 – Nomes do pessoal envolvido em cada cargo.

Indicador	Cargo	Nome
1	Diretor	Henrique Rosa
1.1	Coordenadora de estação solo	Lívia Campos
1.1.1	Analista de estação solo	Beatriz Castro
1.1.2	Engenheira de estação solo	Sara Lima
1.2	Coordenador de banco de dados	Miguel Flores
1.2.1	Analista de banco de dados	Yago Gonçalves
1.2.2	Engenheiro de banco de dados	Augusto Silva
1.3	Coordenadora de geoprocessamento	Tatiane Cruz
1.3.1	Analista de geoprocessamento	Davi Ramos
1.3.2	Engenheiro de geoprocessamento	Juan Duarte

Já os usuários do sistema são, de maneira direta, o Coronel Manoel Vargas, comandante do corpo de bombeiros do estado do Amazonas, a senhora Carmelise Gusmão, presidente do Ibama, e o senhor Eduardo Vasconcelos, ministro do meio ambiente. Estes senhores firmaram parceria com o programa FIRESAT-22 de modo a testar as funcionalidades novas do sistema, dar feedbacks regulares e direcionar as operações de combate ao incêndio aos órgãos locais competentes.

Indiretamente, os usuários do sistema são qualquer indivíduo com acesso a internet, incluindo forças de prevenção e combate a incêndios, até pesquisadores ou a população em geral.

A.6.4 Interfaces e fronteiras do sistema

As fronteiras externas do sistema são duas: de um lado, o input vem do ambiente atmosférico da órbita LEO, e o outro, o output é uma página web com a base de dados em um formato user friendly. As interfaces internas são: (i) captação, da atmosfera para o sensor no nanossatélite; (ii) codificação, de voltagem para ondas eletromagnéticas da Banda S (2,0 a 4,0 GHz); (iii) decodificação de ondas para dados computacionais, na antena da estação solo; (iv) tratamento dos dados na base e (v) disponibilização dos mesmos na página web.

A.6.5 Estados e modos do sistema

O modo pré-operacional descreve um estado em que a órbita LEO foi atingida, mas as operações de missão de rotina ainda não começaram. Neste modo, é importante realizar testes de calibração e verificação de funcionalidades.

O estado de armazenamento em órbita é definido quando o nanossatélite está funcional, mas não sendo utilizado para fornecer qualquer serviço operacional. Nesse caso, deve ser comandado um modo de economia de energia, que permita o controle de atitude minimizando a necessidade de interação do operador.

O modo normal de operação da missão é definido como um nanossatélite que fornece o conjunto de dados e serviços da missão, de forma rotineira. Nesse caso, importante a interação constante do pessoal da estação solo, com o apoio dos times de geoprocessamento, de forma a garantir os inputs para a base de dados.

O estado do sistema pode ser declarado degradado quando um ou mais componentes ou serviços não cumprirem os requisitos da missão. Neste modo, o recurso em órbita pode ainda ser útil para o recurso parcial cumprimento da uma missão, cabendo aos operadores a execução da manutenção sistêmica e a avaliação da necessidade de substituição total ou

parcial do sistema.

Por fim, o estado de operação de pós-missão pode ocorrer quando, após o fim da missão para o qual o sistema fora concebido, ele ainda seja utilizado para fornecer serviços para uma missão suplementar. Nesse caso, o papel dos operadores será na eventual integração e operação do novo sistema.

No Apêndice B, é possível encontrar os detalhes de cada cenário, incluindo fluxo de dados, atribuição de atividades, performance e riscos.

A.6.6 Capacidades do sistema

O sistema é capaz de detectar focos de $100 m^2$ com 92% de assertividade e, acima de $1000 m^2$, com 99%. Além disso, reporta o incidente na base de dados online em um tempo médio de 3 minutos após de sua detecção. Por fim, a disponibilidade média do servidor é de 99.7% do tempo.

A eficiência e a responsividade na coleta de fótons do sensor infravermelho é apresentada na Figura A.3. Vale destacar que incêndios florestais possuem pontos com temperaturas que podem variar entre 300 a $1250^{\circ}C$, os quais emitem radiações nos intervalos de 1.9 até $5.0 \mu m$. (CBMMT, 2020)

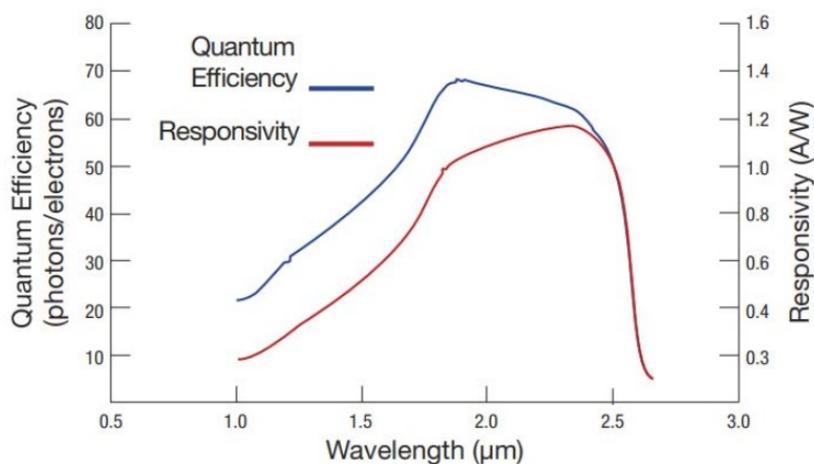


FIGURA A.3 – Eficiência e responsividade na detecção infravermelha do sistema. (THOTHX, 2018)

A.6.7 Arquitetura do sistema

O nanossatélite F22 é do tipo 3U, com dimensões 10cm x 10cm x 34cm e um peso de 5,327kg. Sua estrutura está esquematizada na Figura A.4

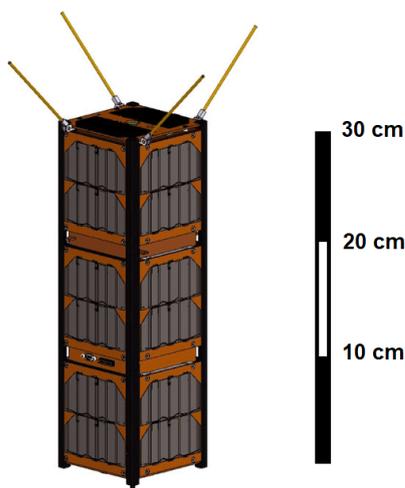


FIGURA A.4 – Desenho CAD do nanossatélite F22.

No quesito energético, é munido de 24 painéis solares com capacidade de geração conjunta de 6.9 W, voltagem de 3V e eficiência de 30%. Também possui bateria com 75Whr de capacidade e 3,7V de entrega, suficiente para 9 minutos de transmissão e 25 minutos de captação de dados, por órbita.

Para comunicações, possui 4 antenas que permitem 100° de largura de feixe e 6dB de capacidade. Para controle, possui 3 rodas de reação com 0.23mNm e dois propulsores de 10mN, além de GPS com 15m de precisão.

A carga útil é um espectrômetro infravermelho Argus 2000, com dimensões de 46mm x 80mm x 80mm e massa de 280g. Abrange um intervalo de 1000nm - 1700nm a uma resolução espectral de 6nm e 15° de ângulo de visada. A Figura A.1 esquematiza o sensor em questão.

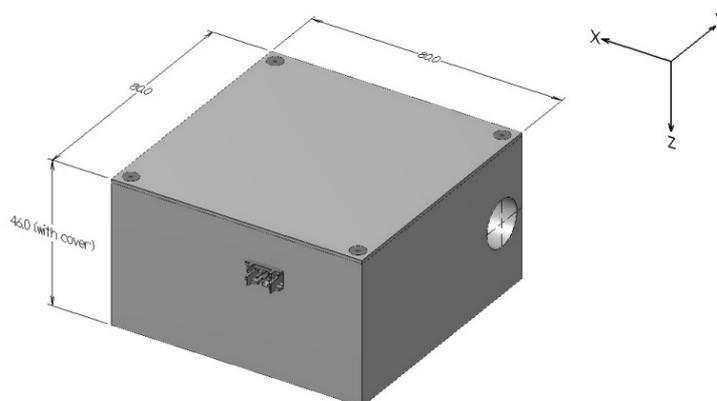


FIGURA A.5 – Eixos e dimensões do espectrômetro Argus 2000 (THOTHX, 2018)

Por fim, o segmento solo é composto por uma antena que comunica diretamente com o satélite, além do painel elétrico e do computador da base, os quais estão esquematizados

na figura A.6. A antena requer uma superfície plana de 1m x 1m com desobstrução de pelo menos 10° acima da linha do horizonte, além de uma fonte energética de 120V/15A, 60Hz. O painel provê a interface entre o usuário hospedado no computador e o input em radiofrequência da antena, requerindo 120V/12A, 60Hz de energia - mas duas baterias veiculares de 12V podem ser utilizadas para operação remota. Já o computador deve ser munido do software aberto WXTrack (WXTRACK, 2022).

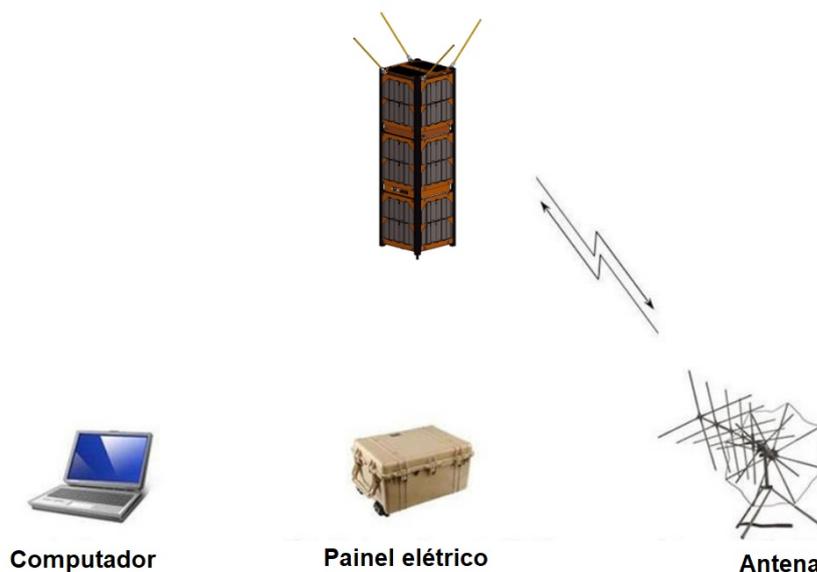


FIGURA A.6 – Esquemática do segmento solo.

A.7 Processos operacionais

O sistema F22 é um recurso que requer um alto nível de suporte operacional, com a utilização de boas práticas de operação e rigoroso gerenciamento de engenharia. Cabe aos operadores garantir a devida execução dos comandos do nanossatélite, monitorando a performance dele e da estação solo, além de serem capazes de reagirem a qualquer solicitação em tempo real ou anomalia.

O papel da equipe de estação solo é garantir que os sinais advindos da antena do satélite seja da melhor qualidade possível e se transforme em input legível para a equipe de geoprocessamento. A cada órbita do satélite (aproximadamente 1h30), os novos dados captados pelo sensor infravermelho deverão ser utilizados para a atualização da base disponibilizada para geoprocessamento, de forma automática. Esse processo deve demorar menos de 3 minutos, desde o recebimento de uma nova imagem da carga útil até sua renderização e disponibilização. O pessoal envolvido possui carga horária de 30 horas semanais, de modo presencial na base solo.

O time de geoprocessamento é responsável por correlacionar os sinais recebidos do

satélite com o mapa brasileiro, traduzindo dados brutos em informações legíveis para a equipe de banco de dados. Ao receber os dados a cada 1h30m, o sistema operado pelo time de geoprocessamento deve ser capaz de filtrar as informações e disponibilizá-las para a base de modo automático, durando no máximo 5 minutos. O pessoal envolvido possui carga horária de 30 horas semanais, de modo presencial ou remoto.

Cabe à equipe do banco de dados dispor as informações de uma maneira amigável ao usuário final e garantir a ininterruptibilidade do servidor. O recebimento da informação já processada até sua disponibilização online deve ser possível em menos de 2 minutos, de forma automática. O pessoal envolvido possui carga horária de 30 horas semanais, de modo presencial ou remoto.

Por fim, o diretor deve ser capaz de alinhar as três equipes e dialogar com os stakeholders de modo a cumprir com o objetivo do sistema. A meta de funcionamento do mesmo é que a detecção de um foco de incêndio seja disponibilizada no website aos usuários em menos de 10 minutos. O diretor possui carga horária de 40 horas semanais, de modo presencial, com disponibilidade para viagens.

A.8 Outras necessidades operacionais

A.8.1 Necessidades da missão

A missão em questão objetiva preencher gap entre o presente estado de monitoramento de incêndios florestais brasileiro e o requerido por uma das maiores economias do mundo, com grandezas continentais. Tal necessidade fica evidente quando se analisam os dados do IPEA (MOTTA *et al.*, 2002) sobre as consequências desse fenômeno: mais de R\$ 1,3 bilhões anuais em perdas diretas e indiretas, além da questão ambiental. Com o F22, será possível combater queimadas florestais com maior eficiência e menor dependência tecnológica estrangeira.

A.8.2 Necessidades pessoais

O sistema atenda a necessidades específicas dos diferentes stakeholders. Os Corpos de Bombeiros terão à disposição uma central de consulta com alta confiabilidade e em tempo real, facilitando o combate; as Secretarias Estaduais do Meio Ambiente contarão com mais recursos para prevenção e combate; o Ibama poderá realizar análises históricas mais profundas e detalhadas; o Instituto Florestal poderá endereçar melhor suas ações de preservação ambiental.

Além disso, stakeholders indiretos também terão necessidades supridas. As Prefeituras

terão maior controle sobre sua área de jurisdição; instituições não governamentais e/ou filantrópicas poderão direcionar melhor suas ações; pesquisadores poderão contar com maior base para análise; além de toda a população, que terá acesso a um acervo de dados nacionais, permitindo o fomento à conscientização ambiental.

A.9 Análise do sistema proposto

A.9.1 Resumo de vantagens

Comparativamente com o atual sistema de monitoramento, o F22 permitirá um contato próximo de todos os operadores com eventuais stakeholders, permitindo atender suas demandas de modo mais específico. Será, também, possível uma comunicação direta com a base nacional, reduzindo o tempo entre detecção e disponibilização dos dados. Por fim, mobilizará mais stakeholders em torno de uma solução centralizada, além de fomentar a independência tecnológica e aeroespacial brasileira.

A.9.2 Resumo de desvantagens

Pelo fato do atual procedimento pautar-se em sistemas de acesso livre e gratuito, a maior desvantagem é o custo aos cofres públicos. Há, também, o fato de sensores mais avançados e caros serem utilizados por eles, o que seria um “downgrade” na solução proposta. Por fim, uma limitação é o curto tempo de vida por se tratar de um nanossatélite.

No entanto, vale destacar que, a partir do sucesso dessa missão, com menos recursos e vida útil menor, poderá servir de base para posteriores investimentos em sistemas nacionais mais robustos.

A.9.3 Alternativas consideradas

Os componentes do sistema podem ser alterado, a depender do nível de investimento disposto a ser realizado. Com mais recursos, é possível investir em um sensor infravermelho com maior resolução, baterias com maior vida útil e sistemas computacionais da base solo com maior velocidade de download e upload. Por outro lado, menos recursos tornam necessário “enxugar” o sistema.

Alternativas para lidar com menos recursos pode ser adaptar o sistema para portar a carga útil de outro projeto, somando-se ambos os recursos, por exemplo. Ou tornar os requisitos menos rígidos, de modo a necessitar de menos pessoal e equipamentos. Também pode-se buscar parcerias com outros países que compartilham da floresta amazônica de

modo a se estender a solução e captar mais investimentos.

A.9.4 Impactos regulatórios

O uso de satélites no Brasil, em geral, requer autorização da Anatel. Para o sistema em questão, é necessário uma outorga de serviço limitado privado e autorização de radio-frequência (GOV.BR, 2020). O ambiente de regulação aeroespacial nacional ainda está em desenvolvimento, mas já se encontra maduro o suficiente para o projeto de nanossatélite em questão - o qual não deve produzir nenhum impacto regulatório.

A.9.5 Outros impactos

O impacto ambiental da existência física do sistema por si só é mínimo, embora o conjunto dos mais de 7,000 satélites em órbita atualmente - que podem se tornar centenas de milhares ainda nesta década - causarão uma poluição de detritos irreparável (WORLD ECONOMIC FORUM, 2022). Demais impactos não são significativos para o F22.

A.10 Apêndice A: Acrônimos, abreviações e glossário

ESH	Equivalent Sun Hours
GPS	Global Positioning System
Ibama	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LEO	Low Earth Orbit

A.11 Apêndice B: Cenários operacionais do sistema

A.11.1 Apêndice B.1: Cenário pré-operacional

O modo pré-operacional descreve um estado em que a órbita LEO foi atingida, mas as operações de missão de rotina ainda não começaram. O fluxo de dados é completo, com informações da espaçonave e da carga útil sendo recebidas pela equipe de base solo, com a última sendo repassada ao time de geoprocessamento, que filtra e encaminha à equipe de base solo. Entretanto, o servidor utilizado ainda é em modo teste e as informações coletadas são utilizadas para calibração e verificação de funcionalidades.

A performance será medida de acordo com o período de tempo necessário desde o atingimento da órbita até o início das operações, devendo ser menor que 48 horas. Já os riscos envolvidos são de colisão, queda ou não funcionamento das atividades basais da espaçonave.

O único exemplo desse cenário é após o lançamento do nanossatélite pelo foguete e colocação em órbita, até o momento de efetivo início das atividades.

A.11.2 Apêndice B.2: Cenário de armazenamento em órbita

O estado de armazenamento em órbita é definido quando o nanossatélite está funcional, mas não sendo utilizado para fornecer qualquer serviço operacional. O fluxo de dados é limitado à espaçonave, que envolve apenas funções basais por parte da equipe de base solo - mas com a desativação da carga útil. Nesse caso, deve ser comandado um modo de economia de energia, que permita o controle de atitude minimizando a necessidade de interação do operador.

A performance nesse estado é medida de duas formas: intervenções necessárias dos operadores, que deve ser menor que 2x ao dia, e nível de bateria, que deve ser sempre suficiente para mais de 1 hora de atividade constante. Os riscos envolvidos são os mesmos do cenário pré-operacional, adicionando-se o fator energético.

Um exemplo do estado de armazenamento em órbita é no período em que a espaçonave se encontra fora do alcance de visada do território brasileiro - ou quando, por motivos de manutenção ou força maior, as atividades são interrompidas.

A.11.3 Apêndice B.3: Cenário normal de operação

O modo normal de operação da missão é definido como um nanossatélite que fornece o conjunto de dados e serviços da missão, de forma rotineira. O fluxo de dados é completo, com informações da espaçonave e da carga útil sendo recebidas pela equipe de base solo, com a última sendo repassada ao time de geoprocessamento, que filtra e encaminha à equipe de base solo. Esta, por sua vez, disponibiliza as análises em formato acessível aos usuários finais na plataforma online.

No modo normal, a eficiência é medida de quatro formas: intervenções necessárias dos operadores, que deve ser menor que 10x ao dia; nível de bateria, que deve ser sempre suficiente para mais de 30 minutos de atividade constante; atitude orientada com a terra, que deve possuir erro menor que 1°; além de aproveitamento de imagens florestais com resolução mínima de acordo com os requisitos, que deve ser maior que 95% dos dados coletados. Os riscos envolvidos são os mesmos do cenário de armazenamento, adicionando-

se baixa nitidez na coleta de dados e descalibração no controle de atitude.

O único exemplo do cenário em questão é quando a espaçonave sobrevoar a floresta amazônica e estiver apto a coletar dados da mesma.

A.11.4 Apêndice B.4: Cenário degradado

O estado do sistema pode ser declarado degradado quando um ou mais componentes ou serviços não cumprirem os requisitos da missão. Nesse caso, o fluxo deve ser mantido igualmente ao cenário normal de operação, se possível - com eventuais alterações a serem discutidas entre os coordenadores das equipes, e as alternativas apresentadas ao diretor do sistema para avaliação e decisão final.

Caso seja necessário a substituição parcial do sistema, deve-se analisar os custos e alternativas para a situação, procedendo-se da mesma maneira como detalhado acima - análise dos coordenadores e decisão final do diretor. A manutenção, na medida do possível, deve ser priorizada. Já no caso de uma degradação avançada, que inviabilize a continuidade do sistema, deve-se avaliar - seguindo o mesmo protocolo citado - a possibilidade de operar em um estado pós-missão, ou o descarte completo do sistema, com eventual lançamento de um sistema substituto.

Medidas de eficiência nesse cenário serão definidas pelo diretor, com eventual contribuição da coordenação, para se adequar ao cenário vigente. Já os riscos residem na perda financeira associada à manutenção, substituição ou abortamento do sistema, além da eventual demissão dos operadores.

Vários exemplos podem ser dados do modo degradado, como colisão da espaçonave com detritos, bateria com incapacidade de reter carga por tempo suficiente, falhas no sistema operacional da base solo, ou defeitos em algum componente sistêmico.

A.11.5 Apêndice B.5: Cenário pós-missão

Por fim, o estado de operação de pós-missão pode ocorrer quando, após o fim da missão para o qual o sistema fora concebido, ele ainda seja utilizado para fornecer serviços para uma missão suplementar. O fluxo de dados será definido pelo diretor, com eventual suporte da coordenação, a depender de como o sistema será reaproveitado. Os operadores do sistema poderão continuar ou não no projeto, incluindo a coordenação e a diretoria, a depender da necessidade de contribuição na integração sistêmica, ou mesmo continuidade da missão e eventual lançamento de um sistema substituto.

Do mesmo modo que no cenário degradado, as medidas de eficiência serão definidas pela diretoria, com eventual participação da coordenação. Os riscos estão na eventual

demissão dos operadores, além da usabilidade de um eventual sistema que reaproveite o FIRESAT-22 poder estar comprometida, dado o desgaste operacional.

Exemplos desse modo de operação são se o sistema possuir duas cargas úteis operados por equipes diversas - como alternativa para redução de custos, citada anteriormente -, ou se o sensor infravermelho apresentar sua resolução deteriorada e incapaz de atender às necessidades da missão, mas que possa ser suficiente para alguma outra pesquisa sobre a temperatura do solo brasileiro, por exemplo.

Anexo A - Histórico de focos de incêndio no bioma amazônico brasileiro

Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
1998	-	-	-	-	-	1549	3192	20075	19214	8777	3833	2547	59187
1999	160	358	130	70	449	1439	3675	21525	16106	12794	4449	1703	62858
2000	87	182	405	92	930	3211	1510	12791	10062	10226	5497	3175	48168
2001	165	699	1134	617	916	4227	1816	17679	15528	14292	8346	4256	69675
2002	590	667	901	405	1490	5702	7529	43484	48549	27110	23660	9174	169261
2003	3704	1573	1997	1038	1983	6848	15918	34765	47789	25341	19631	13813	174400
2004	2178	805	1035	1012	3131	9179	19179	43320	71522	23928	26424	16924	218637
2005	4314	1048	758	832	1746	2954	19364	63764	68560	26624	16790	6966	213720
2006	1973	879	903	709	843	2522	6995	34208	51028	18309	17474	8579	144422
2007	1918	1761	1431	760	1176	3519	6196	46385	73141	28731	16025	5437	186480
2008	938	527	860	569	383	1248	5901	21445	26469	23518	15450	6145	103453
2009	1095	354	584	435	673	1023	2327	9732	20527	19323	19104	6505	81682
2010	1697	1147	1176	633	1026	1911	5868	45018	43933	14798	12167	5240	134614
2011	771	271	427	465	528	1083	2445	8002	16987	9760	9815	7632	58186
2012	1203	438	484	473	855	1875	3095	20687	24067	14814	13259	5469	86719
2013	1181	374	738	518	796	1450	2531	9444	16786	10242	6615	8013	58688
2014	1573	473	1010	632	673	1628	2766	20113	20522	13221	12169	7773	82553
2015	2042	1047	572	762	407	1287	2817	20471	29326	19469	16935	11303	106438
2016	4657	1559	2024	1075	895	1663	6120	18340	20460	14234	11610	5124	87761
2017	796	379	736	618	805	1759	7986	21244	36569	14457	14105	7985	107439
2018	1444	888	1359	513	772	1980	4788	10421	24803	10654	8881	1842	68345
2019	1419	1368	3383	1702	854	1880	5318	30900	19925	7855	11297	3275	89176
2020	1200	1196	1641	789	829	2248	6803	29307	32017	17326	6321	3484	103161
2021	794	864	643	615	1166	2305	4977	28060	16742	11549	5779	1596	75090
2022	1226	584	490	384	2287	2562	5373	33116	41282	13911	959	-	102174
Máximo*	4657	1761	3383	1702	3131	9179	19364	63764	73141	28731	26424	16924	218637
Média*	1561	820	1058	667	1014	2687	6213	26299	32110	16556	12735	6415	107921
Mínimo*	87	182	130	70	383	1023	1510	8002	10062	7855	3833	1596	48168

* O cálculo de máxima, média e mínima não consideram os valores do ano corrente.

** Os valores do mês mais recente do ano corrente são parciais porque compreendem as detecções do primeiro dia do mês até ontem, porém os demais valores compreendem o mês todo.

FIGURA A.1 – Comparação do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência do INPE no bioma amazônico, no período de 1998 até 06/11/2022. (INPE, 2022b)

