

Aplicação de Engenharia Simultânea de Sistemas ao Monitoramento de Fronteiras Terrestres Brasileiras utilizando uma Missão de Constelação de Satélites

André F. Teixeira, Márcio W. S. Júnior, Ricardo M. Ferreira, Marcos V. P. Venanzi,
Fábio Swarovski, Gabriella C. Junqueira e Geilson Loureiro
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos/SP – Brasil

Resumo – O Brasil possui aproximadamente 16.886 km de fronteiras terrestres, onde apenas 4% são monitoradas pelo governo, o que pode facilitar atividades criminosas na fronteira. O emprego de soluções espaciais para aumentar esse monitoramento é promissor porém requer o desenvolvimento do produto bem como das organizações que compõem uma missão espacial. Este artigo propõe, por meio da Engenharia Simultânea de Sistemas (SCE), demonstrar a aplicação de suas técnicas no desenvolvimento de uma missão satelital de monitoramento de fronteiras terrestres. O *framework* utilizado analisa o desenvolvimento de produto e organização durante o ciclo de vida do sistema, através de análises de *stakeholders*, de requisitos, funcionais e de implementação, aplicadas iterativamente em diferentes níveis de abstração do sistema. Os processos de SCE possibilitaram a modelagem do sistema FrontSat e das organizações que compõem a missão, obtendo-se uma solução que cumpra as expectativas dos *stakeholder* durante todo o ciclo de vida do produto.

Palavras-Chave – Engenharia de sistemas, derivação de requisitos, constelação de satélites.

I. INTRODUÇÃO

O Brasil possui cerca de 16.886 km de fronteiras terrestres onde somente 4% (650 km) são monitoradas pelas forças do poder público [1] por meio do Sistema Integrado de Monitoramento de Fronteiras (Sisfron) [2], o que deixa uma grande brecha para a realização de atividades relacionadas a crimes de fronteira. A faixa de 150 quilômetros para o interior do país, a partir da linha divisória terrestre do território nacional, é considerada área de fronteira, onde nesse espaço militares têm poder de polícia. Para que haja um aumento do monitoramento dessas fronteiras, é necessário o emprego de recursos tecnológicos que sejam capazes de prover informações atualizadas e precisas o suficiente para ampliar o conhecimento atual dos ambientes de operações de segurança e defesa, o que auxiliaria numa mais eficiente tomada de decisão. Um dos recursos tecnológicos que pode ser empregado é o desenvolvimento e operação de sistemas satelitais de observação terrestre.

A justificativa para a missão de monitoramento de fronteiras terrestres via satélite se dá pela imensidão da região fronteira, o que dificulta a fiscalização em zonas remotas. Um sistema espacial tornaria possível o monitoramento

contínuo e eficaz, sendo capaz de detectar pequenos alvos, aglomerações de pessoas, veículos e aeronaves, contribuindo no combate à atividades criminosas na fronteira. Deste modo, o conceito FrontSat surge da necessidade do governo brasileiro de estabelecer meios mais eficazes para detectar e monitorar atividades suspeitas em suas fronteiras terrestres.

O desenvolvimento de um produto espacial apresenta um grande número de fatores que se interagem durante todo o ciclo de vida do desenvolvimento do produto, levando a caracterizar o desenvolvimento de um produto espacial como um projeto de alta complexidade. Técnicas tradicionais de gerenciamento de projeto não conseguem lidar com tamanha complexidade e volume de variáveis de um projeto espacial, assim necessitando o uso de outras abordagens, como a demonstrada neste trabalho, a engenharia simultânea de sistemas (SCE), do inglês *Systems Concurrent Engineering*.

O principal objetivo deste trabalho consiste na aplicação do processo de engenharia simultânea de sistemas no desenvolvimento de uma missão satelital de monitoramento de fronteiras terrestres brasileiras. Por meio de suas técnicas multidisciplinares, busca-se também demonstrar a eficácia do processo na derivação de uma árvore de requisitos, realizada simultaneamente para produto e organização, desmembrando os cenários mais relevantes de seu processo de ciclo de vida.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A complexidade de um projeto consiste na interdependência entre tecnologia de produto e processos, novidade e dificuldade em atingir aos objetivos e metas, o que em muitos aspectos é observado em sistemas espaciais [3]. Dessa forma, o pensamento sistêmico é uma abordagem de solução de problemas que cria uma visão holística e ajuda a identificar a dinâmica do sistema resultante das interações entre seus componentes [3]. A engenharia de sistemas encontra justamente no pensamento sistêmico sua base ao ser definida, dentre outras definições, como uma abordagem interdisciplinar colaborativa para analisar uma solução de um sistema balanceado para todo o ciclo de vida de um produto, visando satisfazer as expectativas das partes interessadas [4].

A abordagem de engenharia simultânea de sistemas (SCE) foca no desenvolvimento integrado de sistemas complexos, aplicando a engenharia de sistemas tanto para elementos do produto, quanto para organização, de maneira iterativa em todas as camadas da estrutura do sistema [5]. Na abordagem apresentada em [4], na dimensão de análise, todas as variáveis envolvidas num produto complexo são decompostos por um processo de análise sistemática. Tal análise começa à partir das necessidades das partes interessadas, transforma essas necessidades em requisitos, através da análise de requisitos,

André F. Teixeira, andre-zth@hotmail.com; Márcio W. Silva Jr, marciowaldir.sjr@gmail.com; Ricardo M. Ferreira, mfricardo@gmail.com; Marcos V. P. Venanzi, marcosvenanzi@gmail.com; Fábio Swarovski, fabio.swarovski@inpe.br; Gabriella C. Junqueira, gabcijunq@hotmail.com; Geilson Loureiro, geilson@lit.inpe.br.

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

projetando funções, à partir da análise funcional e chegando a apresentar candidatos à implementação com análise física [5]. A ES é, antes de tudo, obter o design certo e, em seguida, manter e aprimorar sua integridade técnica, além de gerenciar a complexidade com bons processos para obter o design correto[6].

A aplicação da engenharia simultânea evidenciada em [4] é significativa no âmbito deste trabalho, pois permite o uso desta abordagem no desenvolvimento de um sistema espacial complexo para a realização de uma missão identificada como de interesse do Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE), e mais especificamente, do Sistema Integrado de Monitoramento de Fronteira (Sisfron). O sistema FrontSat a ser demonstrado neste trabalho poderia ser indexado ao Sisfron, uma vez que este programa de monitoramento não conta com soluções satelitais para observação de fronteiras, mas sim, de comunicações, como o Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas (SGDC) [7-8].

III. APLICAÇÃO DA ENGENHARIA SIMULTÂNEA DE SISTEMAS

A. Análise da Missão

Inicialmente é realizada uma análise de missão, partindo do princípio da existência de uma necessidade. Como citado, o governo quer ser capaz de, por meios mais eficazes, detectar e monitorar atividades suspeitas nas fronteiras terrestres brasileiras, sendo esta uma necessidade identificada ou *need statement*. Tendo evidenciado a necessidade, o próximo passo é identificar os possíveis *stakeholders* dessa necessidade. Um diagrama IDEF0 foi utilizado para realizar a identificação dos *stakeholders* iniciais, como visto na Fig. 1:

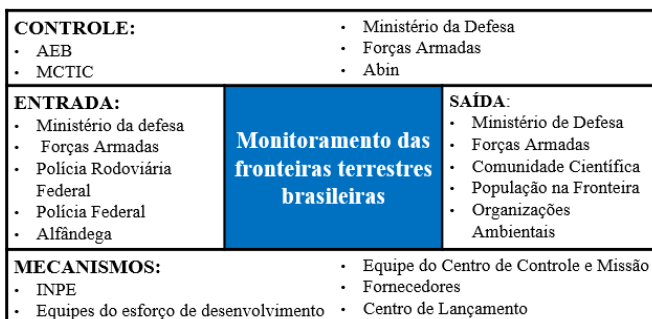


Fig. 1. Diagrama de identificação de *stakeholders* iniciais.

A seguir, na Tabela 1, são identificadas algumas metas e objetivos da missão, com base na necessidade inicial e seus *stakeholders*. Tais informações são importantes para o desenvolvimento do sistema.

TABELA I. DEFINIÇÃO DE METAS E OBJETIVOS

Metas	Objetivos
OBJ1. Monitorar toda a extensão das fronteiras terrestres brasileira	OBJ1.1 Obter um monitoramento de não menos que 95% das fronteiras terrestres.
OBJ2. Prover monitoramento contínuo das fronteiras terrestres	OBJ2.1 Detectar uma atividade suspeita em não mais que 3 horas. OBJ2.2 Monitorar e detectar no período noturno e diurno.
OBJ3. Monitorar e identificar com precisão movimentações em geral nos pontos de fronteiras mais isolados.	OBJ3.1 Identificar veículos de área mínima de 6m ² (resolução de 6m). OBJ3.2 Identificar alvos abaixo da copa das árvores
OBJ4. Prover confiabilidade das informações coletadas	OBJ4.1 Deve ser capaz de ter alta probabilidade de acerto nas detecções de atividades suspeitas

Como métrica para estimar a satisfação dos *stakeholders* nos cenários que sucederão, foram usados Medidas de Efetividade (MoE), utilizando como parâmetros estratégias de qualificação, critérios de aceitação e verificação para cada medida. A Tabela 2 a seguir apresenta alguns exemplos de MoE que foram derivados das metas e objetivos (Tabela 1).

TABELA II. EXEMPLOS DE MEDIDAS DE EFETIVIDADE (MOE)

MoE	Estratégia de Qualificação	Critério de Aceitação	Verificação	Rastreabilidade
Cobertura	Através da análise dos dados, medir área total monitorada	Cobrir uma área não menor que 95% das fronteiras terrestres brasileiras	Comparação da área coberta e área existente de fronteira	OBJ1.1
Acurácia	Análise estatística com base em dados de ação em campo	Probabilidade de veracidade da informação não menor do que 98%	Análise estatística de dados verídicos e dados de falhas	OBJ4.1
Resolução	Teste de detecção	Tamanho de alvo detectável 6 metros (resolução de 6m)	Análise dos dados obtidos	OBJ3.1 OBJ3.2
Disponibilidade	Análise de recebimento dos dados por período de tempo	Atualização dos dados num período de tempo não maior do que 3 horas	Análise dos dados de operação ao longo do tempo	OBJ2.1 OBJ2.2

Baseando-se no que o cenário operacional atual de monitoramento de fronteiras (avião radar, posto policial, Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), Forças Armadas e Polícia Federal) oferece para atender à necessidade inicial identificada neste trabalho, evoluções foram propostas para o mesmo de maneira a atender as expectativas dos *stakeholders*, com o uso de um sistema espacial. Decompondo-se as metas e objetivos, foram obtidas algumas capacidades do cenário proposto (Fig. 2).

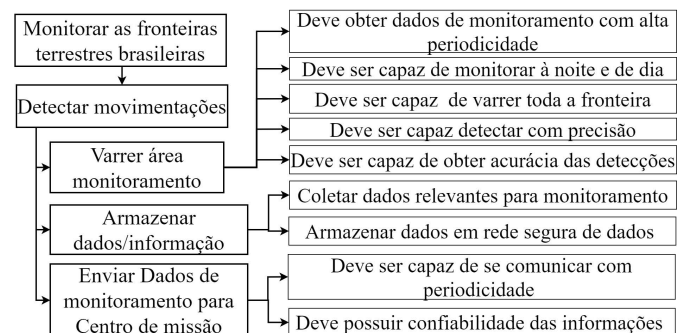


Fig. 2. Derivação das capacidades do cenário operacional proposto.

A partir dessas, foram definidos três conceitos de operações (CONOPS) para esta missão, tendo estes como principal diferença o tipo de abordagem satelital utilizada. Uma avaliação de vantagens e desvantagens é realizada para cada CONOPS de modo a selecionar a opção que mais se adequa à necessidade. Foi selecionado como sendo o que mais se adequa às necessidades dos *stakeholders*, o cenário que utiliza como solução uma constelação de satélites em órbita LEO, observado na Fig. 3, devido a sua alta taxa de revisita e resolução. Entretanto, não foram considerados fatores financeiros e custos de projeto na decisão do CONOPS.

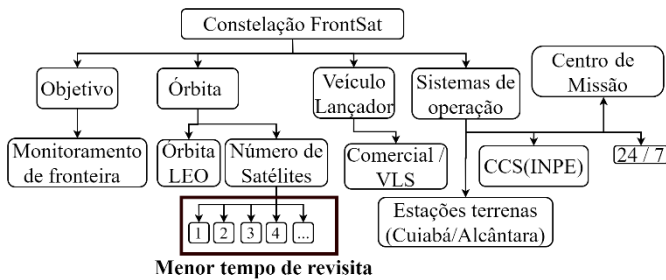


Fig. 3. Conceito de operação para o sistema proposto FrontSat.

Com o objetivo de rastrear os principais cenários operacionais entre o sistema, seus elementos juntamente com seu contexto, foi desenvolvida uma arquitetura operacional do sistema, visto na Fig. 4. Onde é possível observar o fluxo de material, energia ou informação entre os elementos físicos que compõem o sistema e o contexto:



Fig. 4. Arquitetura operacional do sistema FrontSat.

A constelação de satélites coleta os dados das fronteiras terrestres brasileiras, esses dados são recebidos através de diversas estações terrenas e são processados e encaminhados para o centro de controle e missão, neste caso, se for detectada a movimentação nas fronteiras, as tropas e agentes são acionadas pelo centro operacional de fronteiras terrestres, e posteriormente, são efetivadas as incursões na fronteira.

B. Processo de Ciclo de Vida

Diferentemente da engenharia de sistemas tradicional, a SCE analisa todo o ciclo de vida do sistema, pois entende que durante a sua vida, diferentes cenários podem se apresentar e a análise desses cenários é fundamental para que se garanta que o sistema irá se comportar como esperado durante todo seu ciclo de vida.

Os processos do ciclo de vida do sistema são definidos e desdobrados em cenários considerados relevantes, tanto para o produto, quanto para a organização. São, elencados também cenários de desenvolvimento e de não-desenvolvimento. Para exemplificar os processos de SCE, este trabalho demonstra sua aplicação em um cenário operacional de produto (em operação nominal). Na prática, durante o desenvolvimento, todas as análises e métodos são aplicados em todos os cenários relevantes do processo de ciclo de vida, o que permite, como exemplo do sistema FrontSat, derivar requisitos para produto e organização simultaneamente. A Fig. 5 apresenta os processos de ciclo de vida do produto e alguns de seus cenários relevantes.

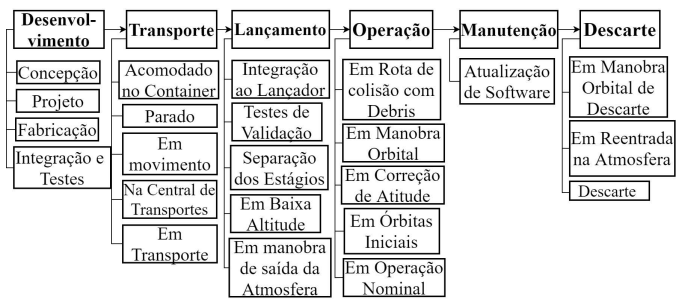


Fig. 5. Processo do ciclo de vida para um satélite da constelação.

C. Análise de Stakeholders

A análise de *stakeholders* é um processo que deve ser realizado iterativamente em diferentes cenários, tanto para produto quanto para organização visando identificar as partes que afetam ou são afetadas pelos processos de ciclo de vida do sistema. Aqui, utilizou-se o diagrama IDEF0 (Fig. 6), de maneira análoga ao demonstrado na seção de análise da missão, só que neste caso, para identificação dos *stakeholders* no cenário de produto em operação nominal.

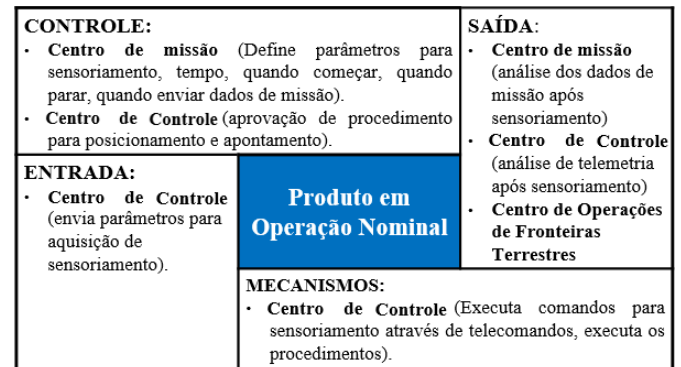


Fig. 6. Identificação dos *stakeholders* para o cenário operação nominal.

Desses, foram identificados alguns *concerns* (Tabela 3), os quais é possível atrelar MoEs. É importante elencar as preocupações de forma a garantir identificadores únicos, permitindo sua rastreabilidade com os requisitos.

TABELA III. IDENTIFICAÇÃO E RASTREIO DE PREOCUPAÇÕES (CONCERNS)

ID	Preocupação	Interessado
CO-1	Operacionalidade	Centro de Missão
CO-2	Controlabilidade	Centro de Controle
CO-3	Detectabilidade	Centro de Operações

A partir dos *concerns*, foram derivados utilizando elementos, métricas e medidas, as MoEs de cada *stakeholder*, como exemplo, controlabilidade, apresentado na Fig. 7.

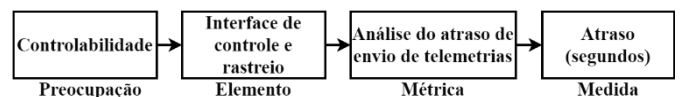


Fig. 7. Desdobramentos de um *concern* para obtenção de MoE.

Feito isso, são elaborados requisitos de *stakeholders*, baseados nas medidas definidas para os MoEs e rastreáveis nos *concerns*, para cada cenário relevante.

Os requisitos foram classificados em quatro categorias distintas (Tabela 4), (i) Tipo, podendo ser de capacidade (CAP) ou restrição (REST) em se tratando de requisitos de *Stakeholders*, ou Funcional (F), Performance (P) ou Condição (C) para requisitos de Sistema; (ii) Cumprimento, podendo ser

mandatário (M) ou Desejável (D); (iii) Origem, sendo requisito de Produto (P) ou Organização (O); (iv) Verificabilidade, podendo ser Inspeção (I), Teste (T), Análise (A) ou Simulação (S).

TABELA IV. REQUISITOS DE STAKEHOLDERS

ID	Descrição	Preoc	Tipo	CM	P/O	VF
RSTK1	O Centro de Missão deve ser capaz de processar os dados dos sensores da carga útil dos satélites.	CO-1	CAP	M	O	S
RSTK2	O Centro de Controle deve ser capaz de rastrear todos os satélites da constelação utilizando medidas de distância e velocidade (<i>ranging</i>).	CO-2	CAP	M	P	S
RSTK3	O Centro de Operações de Fronteiras Terrestres deve ser capaz de detectar alvos na fronteira a partir dos dados satelitais.	CO-3	CAP	M	P	A

D. Análise de Requisitos

Um fator crítico no desenvolvimento do projeto está na especificação de requisitos, pois sabe-se o impacto financeiro negativo que requisitos imprecisos ou mal definidos podem causar no projeto. As principais características de um bom requisito focam na clareza, concisão e simplicidade, deixando a elegância em segundo plano [9]. Com a aplicação da SCE, a análise de requisitos auxilia na alocação dos mesmos para organização ou produto, na sua classificação de hierarquia, nas prioridades, dentre outros. Assim, tanto os requisitos de *stakeholders* quanto os requisitos de sistemas, divididos em organização e produto, passam pela análise de requisitos. A Tabela 5 apresenta requisitos de sistemas derivados dos requisitos de *stakeholders* e exemplifica a análise de requisito apenas para o cenário produto em operação, entretanto esta etapa também deve ser realizada para todos os cenários considerados relevantes para o esforço de desenvolvimento.

TABELA V. REQUISITOS DE SISTEMAS

ID	Descrição	Rastreo	Tipo	CM	P/O	VF
RSTS1	O Centro de Missão deve possuir computadores de alto desempenho para processar o grande fluxo de dados de sensoriamento da carga útil.	RSTK1	F	M	O	I
RSTS2	O satélite deve ser capaz de enviar telemetrias à estação terrena a uma taxa que possibilite o seu rastreo durante a janela de visada.	RSTK2	F	M	P	T
RSTS3	Cada satélite deve possuir capacidade de sensoriamento com uma resolução de não mais que 6m.	RSTK3	P	M	P	T

E. Análise Funcional

Após a decomposição do ciclo de vida em vários cenários, é criado um diagrama de contexto funcional para cada cenário considerado relevante para o esforço de desenvolvimento, que representa os fluxos trocados entre os elementos do ambiente (externos ao sistema em estudo) com o sistema. Interessa-se saber que material, energia ou informação flui dos elementos do ambiente para o sistema no determinado cenário, e vice-versa. Na Fig. 8 é apresentado o diagrama de contexto funcional para produto em operação nominal. O objetivo nesta etapa é identificar os elementos do ambiente e como esses elementos interagem com o sistema. Através dessa análise, é possível derivar funções e a identificação de circunstâncias em que o sistema estará exposto em seus elementos do ambiente.



Fig. 8. Contexto funcional para o cenário operação nominal (produto).

Dos vários contextos desenvolvidos em vários cenários relevantes, são identificadas as principais circunstâncias para cada elemento do ambiente e suas interfaces. Utilizando o cenário operação nominal, para o elemento estações de rastreo e controle, são identificadas circunstâncias em que o produto pode enfrentar neste cenário, como satélite com visada das antenas e sem visadas das antenas, assim como para o elemento Sol, com circunstâncias de alta radiação solar e baixa radiação solar. Por meio das circunstâncias identificadas são realizadas análises de risco e de perigo, onde foi possível identificar funções e não funções que devem ser implementadas ao sistema, a fim de mitigar falhas identificadas na análise de circunstâncias. Posteriormente, foram identificados modos para cada cenário, levando-se em conta suas circunstâncias. O estudo de transição de modos é observado pela Fig. 9, onde é demonstrado a relação entre as circunstâncias e o modo em que o sistema se encontrará.

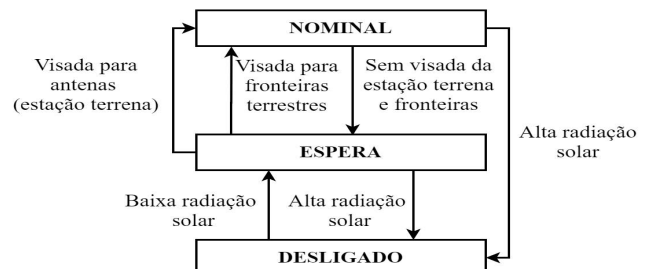


Fig. 9. Transição de modos para o cenário produto em operação.

Por meio do método de lista de eventos, ilustrado na Tabela 6, identificou-se estímulos tanto do ambiente no sistema como do sistema no ambiente. Esse método possibilitou obter dados que ajudaram na identificação de funções a serem implementadas, como por exemplo, a função sensoriamento/imagemamento.

TABELA VI. LISTA DE EVENTOS

Ambiente	Sistema
Estação Terrena recebe telemetria	Sistema envia telemetria
Estação terrena envia telecomandos (Controle de apontamento e especificações de captura)	Sistema processa e executa telecomandos de correções de apontamento
Fronteiras Terrestres com início de visada	Sistema processa e executa telecomandos Início de sensoriamento
Alta Radiação Solar (Explosões Solares)	Sistema recebe telecomando para desligamento
Baixa Radiação Solar	Sistema recebe telecomando religar
Estações Terrenas com visada	Sistema envia dados de missão
Sem visada (Estações Terrenas e Fronteiras)	Sistema em modo espera

O método parte da quebra de uma função principal, identificada a partir da lista de eventos, em várias outras pequenas funções. A Fig. 10 apresenta uma função principal inicial, “realizar sensoriamento das fronteiras”, e os elementos que interagem com o sistema quando este estiver executando esta função, de modo a identificar a dependência do sistema realizando essa função com os elementos do ambiente.

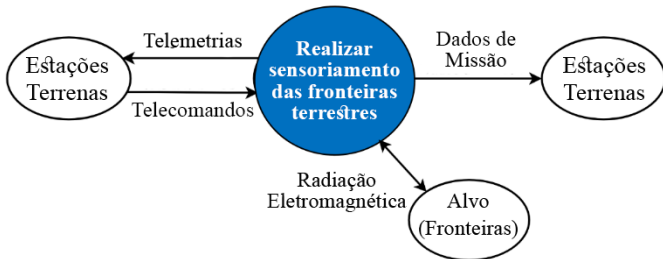


Fig. 10. Função principal.

Quebrando esta função, são identificadas algumas funções essenciais e outras necessárias ao sistema, como mostra a Fig. 11:

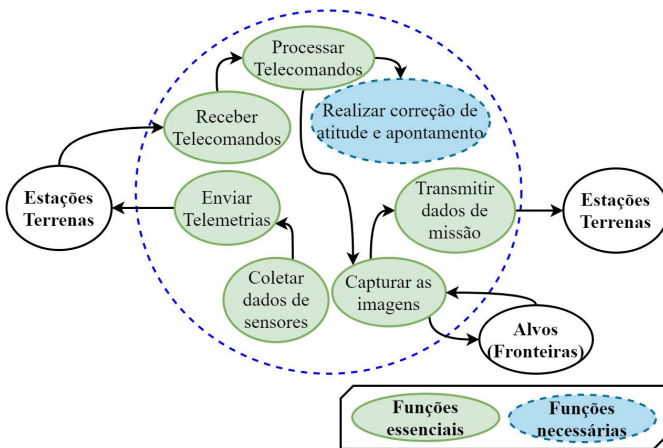


Fig. 11. Funções essenciais e necessárias ao sistema.

Através do método SCE, foi modelado estrutura e comportamento simultaneamente. Na Fig. 12 é apresentado uma decomposição lógica e temporal das funções, com auxílio de artifícios lógicos, o diagrama STD (*State Transition Diagram*) apresenta noção de condicionalidade e temporalidade.

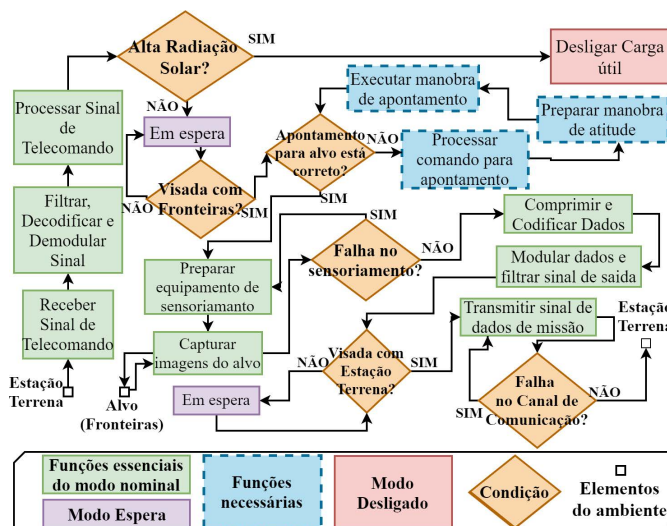


Fig. 12. STD para Produto em operação nominal.

Já o diagrama da Fig. 13, DFD (*Data Flow Diagram*), apresenta o fluxo de dados, modelando estrutura e comportamento em um só diagrama. Estes diagramas auxiliarão na etapa de alocação de funções e arquitetura.

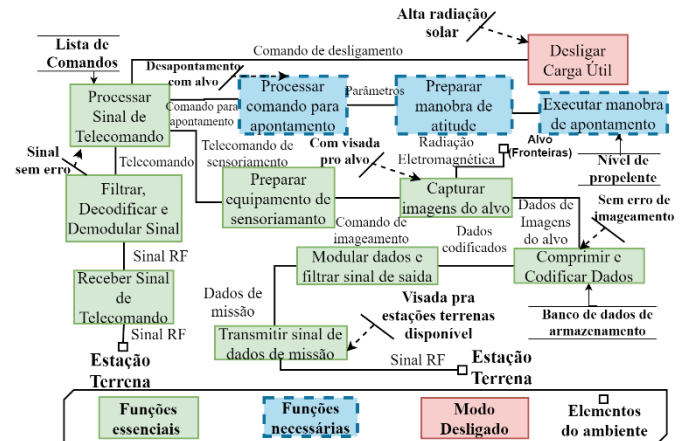


Fig. 13. DFD para Produto em operação nominal.

F. Arquitetura

A arquitetura do sistema e as atividades de design permitem a criação de uma solução global baseada em princípios, conceitos e propriedades logicamente relacionadas e consistentes entre si. A arquitetura e o design da solução têm recursos, propriedades e características que satisfazem, na medida do possível, o problema ou a oportunidade expressa por um conjunto de requisitos do sistema (rastreadíveis aos requisitos da missão/negócios e das partes interessadas) e conceitos de ciclo de vida (por exemplo, operacional) e são implementáveis por meio de tecnologias (por exemplo, mecânica, eletrônica, hidráulica, software, serviços, procedimentos) [10]. Com base nos diagramas e análises de fluxo de dados, bem como modelamento de estrutura e comportamento, obtidos nos passos anteriores, iniciou-se um processo iterativo com o objetivo de definir a arquitetura física do sistema e, através do projeto detalhado, se chegar ao componente.

O processo iterativo adotado consistiu em, a partir dos diagramas de fluxo de dados e de decomposição lógica e temporal das funções, determinar a arquitetura genérica, onde são especificados os tipos de componentes (mas não os componentes em si, não há aqui preocupação com características de desempenho de componentes). A Fig. 14 mostra a arquitetura genérica obtida para o produto em operação nominal.

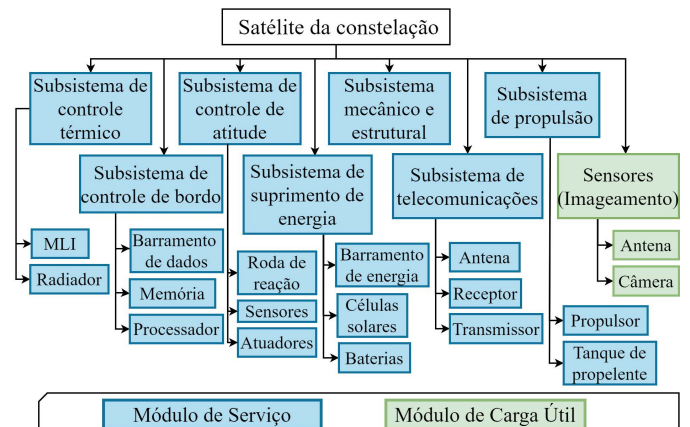


Fig. 14. Arquitetura física genérica para o produto.

Nos passos seguintes, foram analisados os diagramas de fluxo e de interconexão dos elementos da arquitetura genérica, que serviram de base para a etapa de alocação de funções. Nesta etapa, o processo iterativo se tornou mais evidente: foi proposta uma arquitetura física, a cada elemento físico tentou-se alocar funções, até que para cada elemento físico correspondesse a uma função (donde o termo “alocação” de função). A Tabela 7 mostra o resultado obtido, a matriz de alocação de funções para o produto em operação nominal.

É importante frisar que durante esse processo, é possível um elemento físico ser responsável por mais de uma função, entretanto a inversão não é verdade, sendo errado a alusão de mais de um componente para a realização da mesma função, neste caso, fica evidente que a função ainda pode ser quebrada para um nível de abstração abaixo.

TABELA VII. MATRIZ DE ALOCAÇÃO DE FUNÇÕES

Arquitetura genérica / Elementos funcionais	Subsistema Propulsão	Carga útil	Subsistema Controle de bordo	Subsistema TT&C
Processar telecomando			X	
Capturar imagens do alvo		X		
Filtrar, decodificar e demodular sinal				X
Receber sinal de telecomando				X
Enviar sinal de dados de missão				X
Executar manobra de apontamento	X			
Processar comando de apontamento			X	

Por fim, à matriz de alocação somou-se a alocação de requisitos para cada elemento, a seleção da melhor solução técnica para a função alocada e a elaboração do documento de controle de interface, que na implementação da solução servirá para checar se a interface não se desviou dos requisitos do sistema. O resultado final está resumido no diagrama de blocos da Fig. 15. Observe que no diagrama já foi estabelecido, em função das características das tecnologias disponíveis para o sistema em estudo, quais componentes serão reutilizados, quais serão desenvolvidos internamente e externamente, bem quais serão comerciais, “de prateleira” (COTS – *Commercial off-the-shelf*).

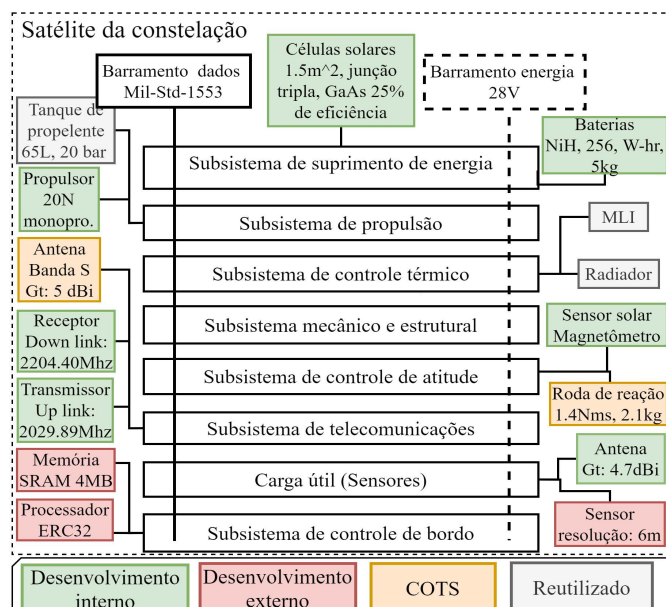


Fig. 15. Arquitetura física instanciada do sistema.

IV. DISCUSSÕES

A partir da declaração de necessidade, empregou-se o método proposto através de desdobramentos em diferentes níveis do sistema e da organização até a etapa de projeto detalhado. Durante o desenvolvimento do trabalho foi observado que com a aplicação dos métodos de SCE, vários problemas envolvendo fornecedores e transporte, por exemplo, foram descobertos no início do processo. Desta forma, os custos referente ao projeto se torna mais previsível, evitando aumento de custos inesperados. Além disso, ao conseguir identificar as diferentes variáveis do ciclo de vida do projeto em sua fase inicial, é possível trabalhar para um melhor gerenciamento dos recursos, sejam humanos, financeiros, organizacionais, existente e disponível do projeto, prevendo diversas situações que podem ocorrer, melhorando a forma de gerenciar projetos complexos como o trabalhado neste artigo.

V. CONCLUSÕES

O método de SCE demonstrou-se adequado para o desenvolvimento de sistemas complexos espaciais, especificamente o sistema de monitoramento de fronteiras - FrontSat. Foi possível identificar tanto no produto quanto no âmbito de organização os *stakeholders* iniciais e o desdobramento de seus interesses e preocupações para requisitos de sistema, que, ao final, resultaram na solução de constelação de satélites para monitoramento de fronteiras. Nesse contexto, foi possível considerar e analisar soluções para os problemas encontrados ao longo de todo o ciclo de vida do produto, integrando todos os elementos do processo para “fazer certo”, por meio de análises das partes interessadas, análise de requisitos, análise funcional e arquitetura.

REFERÊNCIAS

- [1] Jornal O Globo, “Apenas 4% das fronteiras do Brasil são monitoradas”. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/brasil/apenas-4-das-fronteiras-do-brasil-sao-monitoradas-20839665>>. Acesso em: 23/06/2019.
- [2] Ministério da Defesa, “Sisfron opera com 90% da sua capacidade tática”. Disponível em: <<https://www.defesa.gov.br/noticias/50004-sisfron-opera-com-90-da-sua-capacidade-tatica>>. Acesso em: 23/06/2019.
- [3] J. R. Cristobal, “Complexity of project management”, in Santander, Spain: Procedia Computer Science, 121, 2017, p.762-766.
- [4] G. Loureiro, “A systems engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products”, Ph.D. thesis, Loughborough University, Loughborough, UK, 1999.
- [5] G. Loureiro, et al, “Lessons learned in 20 years of application of systems concurrent engineering to space products”, in Elsevier Ltd, Acta Astronautica 151, 2018, p.44-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.05.042>.
- [6] W. Larson, “Applied space systems engineering”. Boston, Mass.: McGraw-Hill Learning Solutions, 2009.
- [7] I. N. Cossul, “Potencialidade do programa espacial brasileiro para a integração regional: aprofundamento da cooperação regional por meio do emprego das tecnologias de informação e comunicação”, em Revista Videre, v. 11, n. 21, 2019. DOI: 10.30612/videre.v11i21.10131
- [8] C. T. Amaral, G. K. A. Martins, L. J. A. Batista, N. N. Silva, V. G. S. Pinto, et al, “A importância estratégica de um satélite geostacionário de defesa e comunicações no confronto cibernético”, In: Congresso Acadêmico de Defesa Nacional, 14ª edição, 2017.
- [9] P. Kar, M. Bailey, “Characteristics of a good requirement”, in 6th INCOSE Symposium. (-)
- [10] D. Walden, G. Roedler, K. Forsberg, R. Hamelin and T. Shortell. INCOSE Systems Engineering Handbook. Hoboken: Wiley, 2015.