



Abordagem de Engenharia de Sistemas em Implantação de Projetos de Grandes Infraestruturas para o Setor Espacial

João Rizzetto Neto ¹, Geilson Loureiro ²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Aluno de Doutorado do curso de Eng. e Gerenciamento de Sistemas Espaciais - CSE.

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Professor Doutor do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais.

joao.rizzetto@inpe.br

Resumo. *O objetivo deste artigo é apresentar os conceitos de uma abordagem de engenharia de sistemas para a implantação de projetos de grandes infraestruturas para o setor espacial. A abordagem visa a melhoria do planejamento, execução e gestão dos processos relacionados ao ciclo de vida de grandes infraestruturas para o setor espacial, de sua fase de definição de conceito até sua implantação e disponibilização para operação. A abordagem proposta define as fases do ciclo de vida de implantação de uma infraestrutura para o setor espacial e as atividades a serem realizadas em cada fase.*

Palavras-chave: Engenharia de Sistemas; Ciclo de Vida de Projetos de Infraestrutura; Implantação de Grandes Infraestruturas para o Setor Espacial.

1. Introdução

Conforme definição ECSS, um sistema espacial é um conjunto de funções que interagem e se inter-relacionam para atingir um objetivo específico estabelecido por meio de uma missão espacial (ECSS-S-ST-00-01C, 2012). Em sua configuração mais frequente, um sistema espacial é composto pelos segmentos espacial, solo, aplicação, suporte e lançamento, conforme representado na Figura 1.

Exceto o segmento espacial, que é responsável pelo sistema que será enviado ao espaço, todos os outros segmentos necessitam da implantação de infraestruturas de grande porte para instalação e operação dos equipamentos necessários para cada atividade. A implantação destes tipos de infraestrutura incluem a execução de grandes obras civis e de sistemas de utilidades com características específicas, sendo processos que apresentam grandes desafios de ordem técnica e administrativa.

O objetivo deste trabalho é descrever uma abordagem de implantação de projetos de grandes infraestruturas para o setor espacial utilizando de forma customizada os conceitos de engenharia de sistemas. Estes conceitos, embora frequentemente utilizados em projetos de desenvolvimento no segmento espacial, são aplicados de forma marginal em projetos de implantação de grandes infraestruturas para o setor.

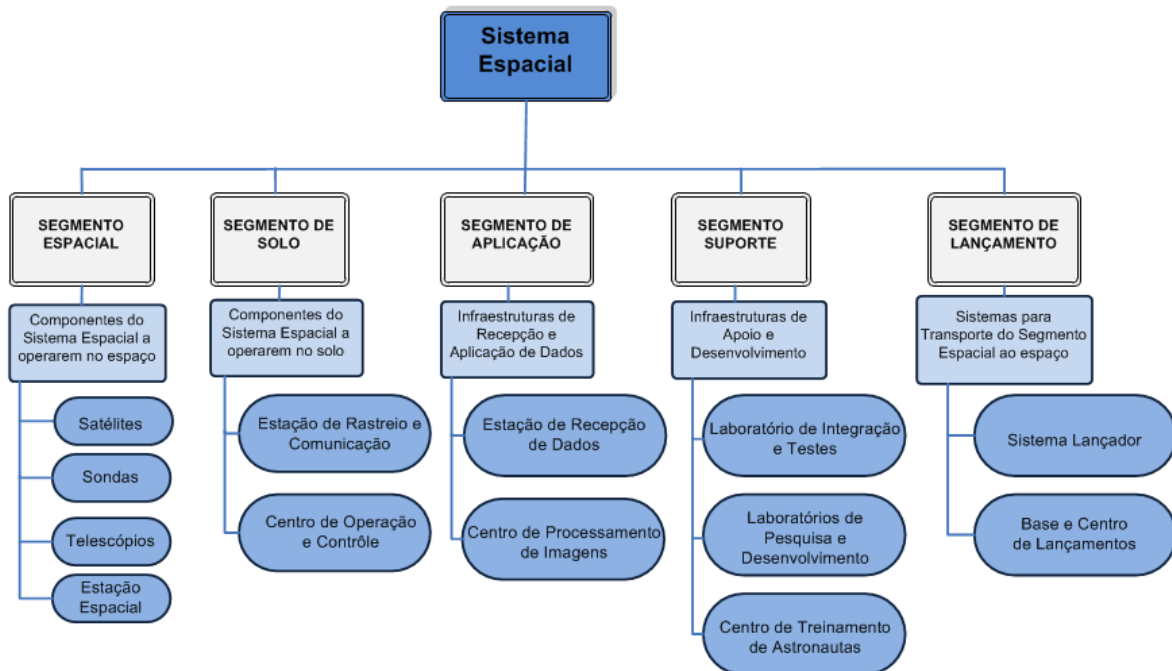


Figura 1. Sistema Espacial – Fonte ECSS-S-ST-01C) . [ECSS-S-ST-01C 2012]

2. Abordagem System Engineering (SE)

2.1 Engenharia de Sistemas

A Engenharia de Sistemas é uma abordagem multidisciplinar colaborativa de engenharia para derivar, desenvolver e verificar uma solução sistema balanceada ao longo do ciclo de vida e que atenda às expectativas dos “*stakeholders*” (LOUREIRO,1999).

A Engenharia de Sistemas possui seu foco principal na definição das necessidades e das funcionalidades requeridas dos clientes nas fases iniciais do ciclo de desenvolvimento, com ênfase na formalização e registro destes requisitos, para em seguida proceder com a síntese do projeto e validação do sistema, considerando todos os aspectos do sistema: operações, custo e cronograma, desempenho, testes, fabricação, treinamento, suporte e descarte. A Engenharia de Sistemas considera os aspectos comerciais e as necessidades técnicas de todos os clientes com o objetivo de oferecer um produto de qualidade que atenda às necessidades do usuário. (INCOSE 2006).

2.2 Ciclo de Vida do Projeto

Um dos conceitos fundamentais utilizados no gerenciamento de sistemas complexos é o conceito de fases do ciclo de vida completo do projeto. A decomposição do ciclo de vida completo do projeto em fases permite organizar todos os processos em grupos menores e mais facilmente gerenciáveis. A representação do ciclo de vida em fases possibilita ainda uma melhor visibilidade com relação ao progresso do projeto nos aspectos técnicos e orçamentários.



14º WETE

Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais

2.2.1 Ciclo de Vida Projetos NASA

Os projetos da NASA são inicialmente divididos em dois segmentos, o segmento de Formulação e o segmento de Implementação. No segmento de Formulação, os requisitos iniciais do sistema são estabelecidos, os conceitos (soluções) viáveis são determinados e a partir da análise destas possibilidades (trade off), uma definição do sistema a ser implantado é estabelecida. No segmento de Implementação, o projeto detalhado dos produtos do sistema é concluído e os produtos a serem implantados são fabricados, montados, integrados e testados. No final deste segmento, os produtos e sistemas são transferidos aos usuários finais para sua utilização e cumprimento da missão prevista.

Estes segmentos são subdivididos em sete fases que contemplam o ciclo de vida completo do projeto, iniciando pela chamada pré-fase A e na sequência as fases identificadas pelas letras de A, B, C, D, E e F.

Nos limites entre as fases do ciclo de vida do projeto, são estabelecidos eventos de decisão (Key Decision Points – KDP) que são os eventos através dos quais a autoridade decisória designada pela NASA decide se o projeto está habilitado para passar para a próxima fase do ciclo de vida ou para o próximo evento de decisão. Na Figura 2, está representada de forma esquemática a estrutura prevista pela NASA para abordar o ciclo de vida completo de um projeto.

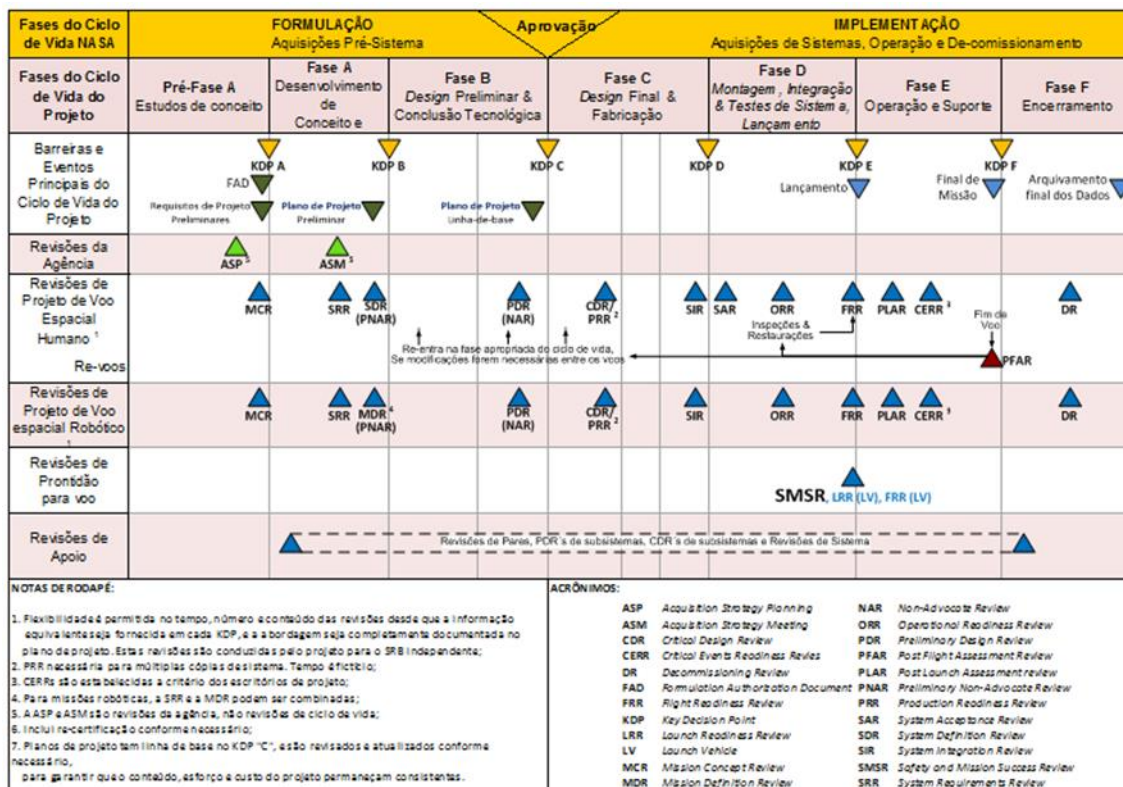


Figura 2. Fases do ciclo de vida dos projetos NASA. [Adaptado de NASA 2017]

2.2.2 Ciclo de Vida Projetos European Space Agency - ESA

Segundo a norma ECSS-M-ST-10C da ESA, para garantir uma abordagem de gerenciamento do projeto eficiente e eficaz, é necessária a definição de uma organização



formal do projeto considerando todas as atividades a serem desenvolvidas durante o ciclo de vida completo do projeto. Os projetos do segmento espacial tipicamente são divididos em sete fases relacionadas com sete conjuntos de atividades a serem desenvolvidas, iniciando pela fase 0 (zero) e na sequência as fases identificadas pelas letras de A, B, C, D, E e F.

2.2.2.1 Fase 0

Análise da missão e identificação de necessidades: fase conceitual de criação do projeto, tendo suas atividades usualmente coordenadas pelo idealizador e principal patrocinador do projeto, em colaboração com os stakeholders de primeiro nível e usuários finais do sistema. São definidas as necessidades da missão, as performances a serem atingidas e as restrições operacionais do projeto.

2.2.2.2 Fase A

Viabilidade: atividade usualmente coordenada pelo cliente de mais alto nível apoiado pelos principais fornecedores, com seus resultados relatados e discutidos com o grupo idealizador do projeto. São analisados e desenvolvidos os possíveis conceitos de sistemas e de operação visando confirmar a viabilidade técnica e programática de cada solução e a escolha da solução de projeto a ser desenvolvida.

2.2.2.3 Fase B

Definições Preliminares: são realizados estudos comparativos (trade-off) e identificado o conceito de sistema que será desenvolvido, entre as opções elencadas nas fases anteriores. A partir desta definição, é fixado o projeto preliminar do conceito do sistema e inicia-se os estudos de desenvolvimento das tecnologias críticas e das atividades de duração mais longa, visando compatibilizar as mesmas ao cronograma estabelecido.

2.2.2.4 Fase C

Definições Detalhadas: durante esta fase é definida a configuração final detalhada dos componentes, subsistemas e sistemas e desenvolvidos os projetos executivos dos elementos do sistema.

2.2.2.5 Fase D

Qualificação e Produção: nesta fase são realizadas as atividades de fabricação, testes de qualificação, montagem, integração e testes dos elementos e, na sequência, do sistema completo. São testadas e qualificadas as interfaces operacionais entre o sistema construído e as demais infraestruturas que fazem parte do conceito operacional.

2.2.2.6 Fase E

Operação: refere-se à colocação em serviço do sistema, dependendo do tipo de missão proposta, mas geralmente composta por atividades de preparação para colocação em órbita, execução de atividades associadas à operação do sistema e suporte às atividades da missão.

2.2.2.7 Fase F

Descarte: nesta fase são realizados os procedimentos planejados para o descarte do sistema, encerrando as atividades do ciclo de vida completo do sistema espacial;



3. Processo de Implantação de Infraestruturas no Setor Público

A abordagem de execução de obras públicas em geral é baseada nas definições e limitações impostas pela legislação e regras da administração pública, não sendo abordados os aspectos técnicos de desenvolvimento dos projetos necessários a implantações de infraestruturas de grande complexidade técnica.

Na estrutura governamental do Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE é subordinado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC, sendo o ator responsável pelas infraestruturas que viabilizam o programa espacial brasileiro. Tratando-se de um órgão público, o INPE segue a legislação e exigências de órgãos fiscalizadores públicos para a utilização e prestação de contas dos recursos destinados aos projetos de implantação de infraestruturas realizados pelo instituto.

A implantação de uma Grande Infraestrutura para o Setor Espacial (GISE) no Brasil deverá portanto, atender todas as exigências previstas no processo de contratação de obras públicas em geral. Segundo o manual de Obras Públicas do TCU (2014), o processo é dividido em uma série de etapas conforme representado no fluxograma representado na Figura 3.

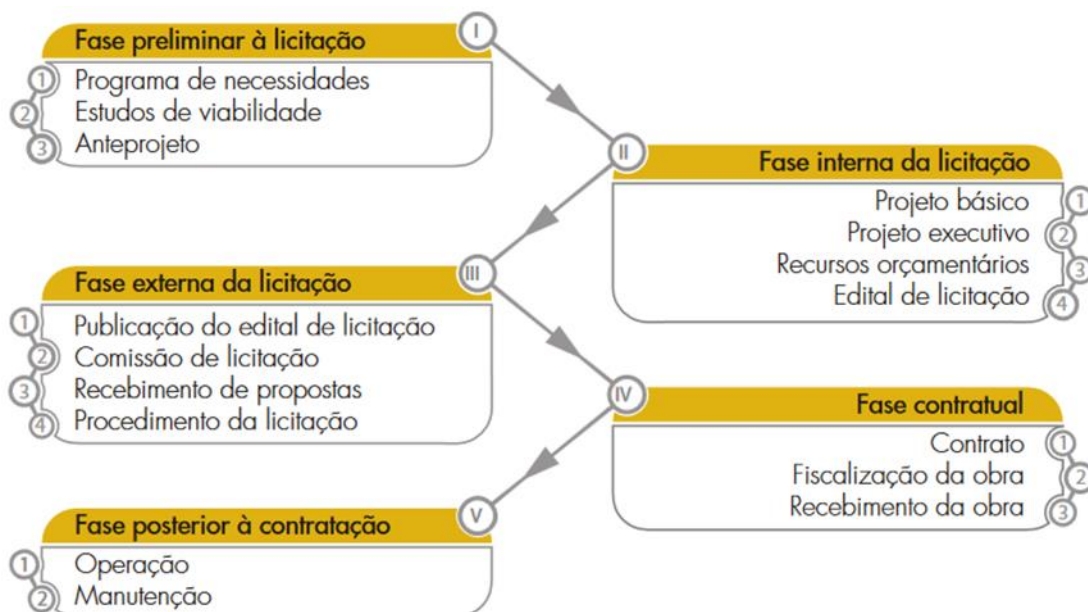


Figura 3. Fluxograma de Procedimentos de implantação de obra com recursos públicos. [Tribunal de Contas da União – TCU 2014]

3.1. Abordagem de Engenharia de Sistemas para implantação de Grandes Infraestruturas para o Setor Espacial (GISE)

Para esta abordagem, foi detalhado o ciclo de vida desde sua fase inicial até a fase de conclusão e aceitação dos serviços de execução de obras civis e instalações de utilidades. Os aspectos de implantação de equipamentos operacionais e operação funcional da infraestrutura não foram desenvolvidos nesta abordagem.



Os projetos de implantação de GISE serão divididos em cinco fases, iniciando pela fase 0 (zero) e seguindo na sequência pelas fases identificadas por algarismos romanos I, II, III e IV. A Figura 4 apresenta o framework detalhando as fases consideradas nesta abordagem.

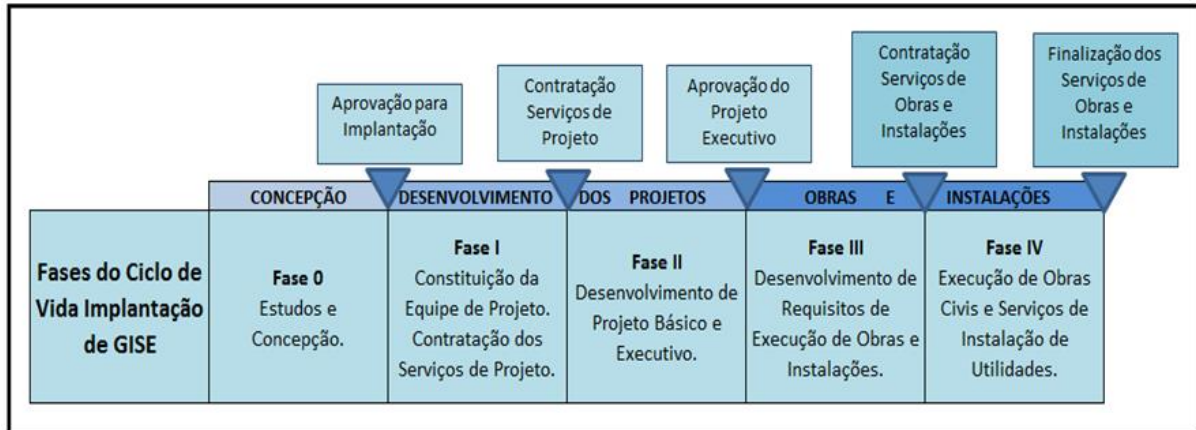


Figura 4. Fases do ciclo de vida de projetos GISE .

3.1.1 Fase 0 – GISE – Estudos e Concepção

Fase de criação e início do projeto de implantação da infraestrutura, geralmente coordenada pelo idealizador do projeto em cooperação com os futuros operadores do sistema.

Nesta fase são definidas as necessidades a serem atendidas pela infraestrutura, os principais equipamentos operacionais a serem implantados, as principais características físicas (layout e utilidades) da infraestrutura para abrigar os equipamentos operacionais e permitir a execução de atividades fim previstas. Nesta fase são definidos também os requisitos técnicos iniciais e uma estimativa de custos e prazos para a implantação.

O conceito desenvolvido nesta fase e seus respectivos custos e prazos para implantação são analisados pelo patrocinador do projeto, estando sujeitos a ajustes e revisões até apresentarem as condições de aceitação estabelecidas pelo patrocinador.

O final desta fase ocorre com a aprovação do processo de implantação, liberação de recursos e autorização de evolução para as fases de execução. Na Figura 5 está representada a sequência das principais atividades a serem desenvolvidas neste período.



Figura 5. Atividades da Fase 0 de projetos GISE .



3.1.2 Fase I – GISE – Requisitos dos Projetos

Esta fase é dedicada à estruturação da equipe de projeto e realização dos processos preparatórios para contratação dos serviços de desenvolvimento do projeto da implantação em suas várias modalidades, e é considerada a fase oficial de início do projeto de implantação, já que inicia com a aprovação do conceito elaborado na Fase 0 e a liberação efetiva de recursos para avanço dos trabalhos.

A execução do detalhamento do projeto de uma GISE é uma tarefa de grande complexidade envolvendo especialistas de diversos segmentos da engenharia e uma significativa carga de horas de projeto, sendo estes serviços usualmente contratados por meio de processo licitatório junto a empresas de serviços de projeto especializadas disponíveis no mercado. Os requisitos de projeto devem estar pré-estabelecidos e constarem na documentação do processo licitatório.

Para possibilitar a execução das atividades de definição de requisitos de projeto e garantir um gerenciamento eficiente e eficaz do desenvolvimento do projeto, é necessária a organização de uma equipe de projeto dedicada à implantação. A equipe de projeto poderá ser composta com profissionais para atender todas as necessidades do projeto ou, conforme recomendado na ECSS-M-ST-10C, possuir uma configuração mista com profissionais diretamente integrados à equipe complementada por consultores especializados e empresas de suporte técnico contratadas.

A definição e elaboração de documentos com os requisitos de projeto e as normas de relacionamento entre a empresa contratada para desenvolver o detalhamento do projeto e a instituição é de fundamental importância para o sucesso da execução do projeto e consequente execução dos serviços de implantação. Na Figura 6 está representada a sequência das principais atividades a serem desenvolvidas nesta fase.



Figura 6. Atividades da Fase I de projetos GISE .

3.1.3 Fase II – GISE – Desenvolvimento dos Projetos

Definida pelo processo licitatório realizado na Fase I, a empresa projetista vencedora do processo deve iniciar os trabalhos de desenvolvimento do detalhamento do projeto.

A equipe de projeto deverá ser capaz de transmitir e instruir a equipe técnica da contratada com relação aos requisitos necessários, analisando e avaliando cada fase de desenvolvimento do projeto e construindo passo a passo uma visão conjunta de solução de projeto para as necessidades e requisitos a serem atendidos.



A documentação do projeto deverá conter todas as informações necessárias para a contratação dos serviços de construção e execução das instalações de utilidades, bem como todos os detalhes necessários para a execução dos mesmos pelas empresas a serem contratadas para execução destes serviços na próxima fase.

O projeto completo deverá ser executado considerando uma sequência de etapas conforme representado na Figura 7, sendo a evolução entre etapas definida pela aprovação da equipe de fiscalização da etapa anterior concluída.

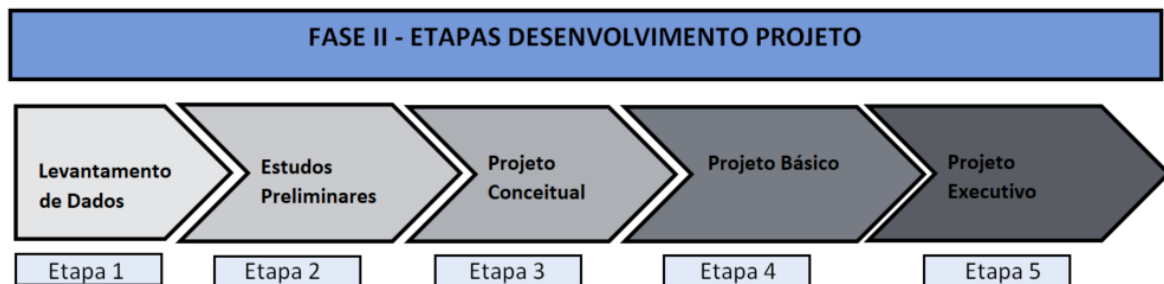


Figura 7. Atividades da Fase II de projetos GISE .

O estabelecimento de etapas sucessivas e complementares no desenvolvimento do detalhamento do projeto permite que as soluções propostas sejam analisadas na sua fase inicial, reduzindo-se e minimizando as necessidades de retrabalho nos serviços.

3.1.4 Fase III – GISE – Requisitos das Obras e Instalações

A Fase III é dedicada à elaboração da documentação técnica e administrativa para contratação dos serviços de execução das obras civis e das instalações de utilidades.

Devido às peculiaridades das instalações de utilidades das GISE e que as mesmas só podem ser executadas após a realização dos principais trabalhos estruturais de engenharia civil, é conveniente a separação dos processos de execução dos serviços entre obras civis e serviços de instalações de utilidades propriamente ditos.

Esta divisão permite avançar primeiramente na contratação das obras civis, com serviços prestados por empresas construtoras do segmento, incluindo no escopo apenas as instalações diretamente associadas aos serviços de construção civil, como por exemplo elementos de instalação embutidos, malhas de aterramento a serem realizadas previamente às fundações e proteção contra descarga atmosféricas, que protegem a instalação desde as fases iniciais.

Esta abordagem favorece a redução de custos de instalação, uma vez que atividades de construção civil e instalações de utilidades de grande porte são realizadas por empresas especializadas de diferentes segmentos, e a inclusão de todos os serviços em um só fornecimento obrigam as construtoras a subcontratarem os serviços de instalação com acréscimos de custos fiscais e operacionais. Na Figura 8 está representada a sequência das principais atividades a serem desenvolvidas nesta fase.

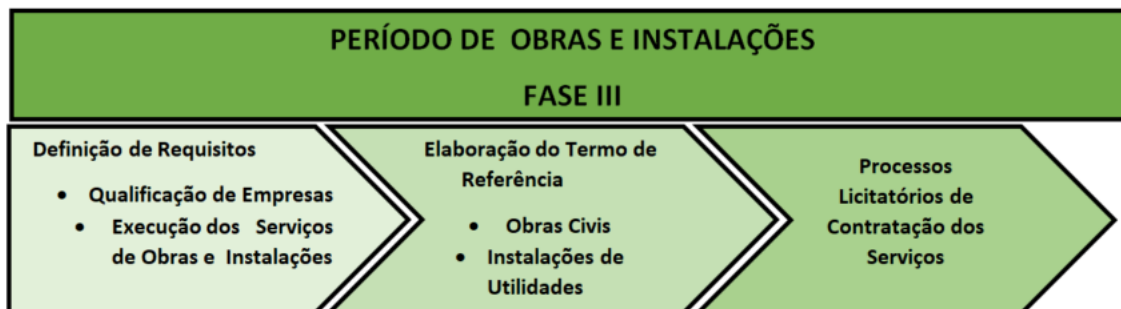


Figura 8. Atividades da Fase III de projetos GISE .

3.1.5 Fase IV – GISE – Execução de Obras e Instalações

Depois de homologadas as licitações e adjudicados o objeto das mesmas aos vencedores, o setor de contratos da instituição ou da fundação de apoio emite os contratos administrativos, habilitando o início das atividades da Fase IV.

A partir da assinatura do contrato e autorização formal da equipe de projeto, a empresa vencedora inicia o desenvolvimento dos trabalhos conforme planejado no projeto executivo, cabendo à equipe do projeto constituída, a gestão, o acompanhamento e a verificação de conformidade dos serviços executados.

A execução do contrato e a verificação da conformidade dos serviços com o previsto no projeto executivo deverá ser feito por uma equipe de fiscalização, que avalia o escopo e a qualidade do trabalho realizado em cada fase e autoriza o pagamento da parcela relativa a estes serviços bem como a continuidade de execução até que o escopo total seja totalmente finalizado.

Executado o contrato e, portanto, finalizada a execução dos serviços previstos (obras e instalações) , os mesmos serão aceitos e recebidos pela comissão de fiscalização, após vistoria que comprove a adequação dos serviços aos requisitos estabelecidos.

Na Figura 9 está representada a sequência das principais atividades a serem desenvolvidas nesta fase.



Figura 9. Atividades da Fase IV de projetos GISE .



4. Conclusão

O desenvolvimento e detalhamento da abordagem de engenharia de sistemas para a implantação de grandes infraestruturas no setor espacial com a criação do framework baseado na divisão do ciclo de vida das implantações em fases distintas e com definição dos processos a serem aplicados, produtos a serem elaborados e pontos de aprovação e decisão para mudança de fase, permite a organização do projeto de implantação de uma GISE de modo evolutivo, facilitando o gerenciamento das atividades a serem executadas. A definição de uma abordagem sistêmica possibilita ainda a repetibilidade dos processos e a aplicabilidade em projetos similares.

A abordagem de engenharia de sistemas em projetos de grandes infraestruturas foi utilizada recentemente no projeto de ampliação do Laboratório de Integração e Testes - LIT e considerando os resultados positivos que obteve, pode ser utilizada como uma referência para projetos futuros de implantação de grandes infraestruturas de sistemas espaciais que vierem a ser implantados pelo INPE ou outras instituições congêneres, bem como para a elaboração de novos trabalhos acadêmicos complementares que venham a desenvolver outros aspectos da abordagem de Engenharia de Sistemas na implantação de Grandes Infraestruturas do Setor Espacial. .

Referências

- ECSS (European Cooperation for Space Standardization). Space project management. Project planning and implementation. ECSS-M-ST-10C_Rev.1 2009
- ECSS-European Cooperation for Space Standardization. ECSS-S-ST-00-01C . glossary of terms. Noordwijk, The Netherlands, 2012.
- INCOSE-INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEM ENGINEERING. **INCOSE-TP-2003-002-03**: systems engineering handbook : a guide for system life cycle processes and activities. Seattle, USA, 2006. .
- Loureiro, G. A system engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products, 1999. 530 p. Thesis (PhD in Systems Engineering) - Loughborough University. Loughborough.
- NASA - National Aeronautics and Space Administration (2013) - NPR 7123.1B - NASA Procedural Requirements - Systems Engineering Processes and Requirements, USA,2013.
- NASA - National Aeronautics and Space Administration (2016) - Systems Engineering Handbook SP-2016-6105 Rev 2, Washington, DC, USA, 2016.
- Rizzetto Neto, J. Uma abordagem de engenharia de sistemas aplicada a projetos no setor espacial, 2020. Dissertação de Mestrado – Pós Graduação ETE/CSE INPE. São Jose dos Campos - SP.
- TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). **Obras públicas**: recomendações básicas para a contratação e fiscalização de obras de edificações públicas. 4.ed. Brasília, 2014.