

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEMEC - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Edson da Silva Lamounier Parreira

**GESTÃO DE PROJETO DO DESIGN DE UM GÊMEO DIGITAL
BASEADA EM REQUISITOS APLICADA A UMA PLATAFORMA DE
MANUFATURA ADITIVA, CUSTOMIZADA COM ROBÔ TIPO DELTA.**



SÃO CARLOS, SP
2022

EDSON DA SILVA LAMOUNIER PARREIRA

**GESTÃO DE PROJETO DO DESIGN DE UM GÊMEO DIGITAL
BASEADA EM REQUISITOS APLICADA A UMA PLATAFORMA
DE MANUFATURA ADITIVA, CUSTOMIZADA COM ROBÔ TIPO
DELTA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de São Carlos,
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Tácito
Malavolta

SÃO CARLOS, SP
2022



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA - CCEMec/CCET

Rod. Washington Luís km 235 - SP-310, s/n - Bairro Monjolinho, São Carlos/SP, CEP 13565-905
Telefone: (16) 33519703 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 37/2022/CCEMec/CCET

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

EDSON DA SILVA LAMOUNIER PARREIRA

GESTÃO DE PROJETO DO DESIGN DE UM GÊMEO DIGITAL, BASEADA EM REQUISITOS, APLICADA A UMA PLATAFORMA DE MANUFATURA ADITIVA CUSTOMIZADA COM ROBÔ TIPO DELTA

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos

São Carlos, 09 de novembro de 2022

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo
Orientador	Alexandre Tácito Malavolta
Membro da Banca 1	Luis Antonio Oliveira Araujo
Membro da Banca 2	Gustavo Franco Barbosa



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Franco Barbosa, Professor(a) do Magistério Superior**, em 09/11/2022, às 15:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luis Antonio Oliveira Araujo, Docente**, em 09/11/2022, às 15:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Tacito Malavolta, Docente**, em 09/11/2022, às 15:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **0857203** e o código CRC **242F7B39**.

Edson da Silva Lamounier Parreira

Gestão de projeto do design de um gêmeo digital baseada em requisitos aplicada a uma plataforma de manufatura aditiva, customizada com robô tipo Delta./ Edson da Silva Lamounier Parreira. – São Carlos, SP, 2022.

120f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Tácito Malavolta

Banca Examinadora: Pro. Dr. Luis Antonio Oliveira Araujo, Pro. Dr. Gustavo Franco Barbosa

Bibliografia

1. Gestão de projeto. 2. Product Lifecycle Management. 3. Gêmeo digital. I. Silva Lamounier Parreira, Edson da. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEMEC - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Folha de Aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a
Defesa Trabalho de conclusão de Curso do candidato Edson da Silva
Lamounier Parreira, realizada em 09/11/2022:

Prof. Dr. Alexandre Tácito Malavolta
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Gustavo Franco Barbosa
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Luis Antonio Oliveira Araujo
Universidade Federal de São Carlos

Dedico este trabalho ao meu avô Edson Parreira (*In memoriam*) que me ensinou muito com seu exemplo de caráter e carinho. Meus estudos e esforços, durante o curso de Engenharia Mecânica, sempre estiveram ligados a seu incentivo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me conduziu com as devidas lições de amor, fraternidade e compaixão.

Aos meus pais Enoedson Parreira e Samara Lamounier, minha irmã Andressa Parreira que sempre estiveram comigo, tanto nos bons quanto nos momentos difíceis.

Ao Prof. Dr. Alexandre Tácito Malavolta, meu orientado, por sua dedicação e paciência durante a execução deste trabalho. Seu conhecimento fez grande diferença no resultado final deste trabalho.

Agradeço aos professores Prof. Dr. Gustavo Franco Barbosa e Prof. Dr. Mariano Eduardo Moreno cuja dedicação e atenção foram essenciais para minha formação acadêmica.

À Beatriz Carvalho, que ao longo desses meses me deu não só força, mas apoio para vencer essa etapa da vida acadêmica.

Aos meus companheiros de graduação, Rafael Luporini, Bruno Albano, Bruno Bernardo, Dante Vecchia, Vitor Duarte, Camila Ogata, Gabriela Mascoloti, Pedro Napolitano, Pedro Cabegi, Amanda Sampaio e Filipe César. As risadas, conquistas, conhecimento, frustrações, festas e alegrias que vocês compartilharam comigo durante fizeram toda a diferença na minha vida.

Aos meus amigos de longa data, Gilberto Beltrame e Matheus Mattos, agradeço por crescerem comigo e estarem sempre presentes.

Aos meus amigos da Alemanha, Ruben, Karen, Davide, Sebastian, Danilo e Renan, que estiveram comigo durante esse período tão desafiador e cheio de aventuras. Vocês foram incríveis e carregaram vocês no meu coração.

Aos meus companheiros da Siemens e Daimler, por guiarem o meu desenvolvimento profissional e pessoal durante meus estágios.

À Engrenar Jr. pela oportunidade de impactar pessoas com projetos de engenharia e pelo convívio com pessoas extraordinárias.

À Universidade Federal de São Carlos e o seu corpo docente que durante minha formação, demonstrou comprometido com a qualidade e excelência do ensino público.

RESUMO

Na era da digitalização diversas tecnologias se tornaram essenciais, com intuito de aumentar a produtividade das indústrias e diminuir o impacto ambiental durante o ciclo de vida de produto. Isto faz com que as áreas de engenharia, marketing, vendas, entre outras que compõem uma empresa moderna, sejam movidas por dados, que se acumulam e tendem a ficar mais complexos com o tempo. Tecnologias de geração de informação e armazenamento se encontram em um estágio avançado nas indústrias nacionais. No entanto, mesmo que os dados de etapas do processo, como engenharia, manufatura, processos e serviços possam ser obtidos, a integração dos dados, gerenciamento e implementação no mundo virtual não são foco de pesquisas. Com o crescimento da demanda por produtos individualizados, o gêmeo digital oferece uma solução efetiva para modelamento, desenvolvimento e inovação. Este trabalho busca oferecer correspondência entre o produto real e o digital para melhor execução do design e gerenciamento do desenvolvimento do produto, fazendo com que o ciclo de vida fique mais eficiente, integrado e sustentável. Por meio do estudo realizado, uma estrutura foi desenvolvida para a iniciação de projetos de engenharia com o intuito da construção de um gêmeo digital e por fim, esta mesma estrutura de projeto foi colocada a prova por meio de um estudo de caso. A construção do gêmeo digital de uma plataforma de manufatura aditiva, customizada com robô tipo Delta foi iniciada em forma de um projeto integrado a partir dos requisitos, gerando ao final, um produto digital, com todas as informações integradas e relacionadas aos objetos do produto e projeto de engenharia. Portanto, afirma-se que a estrutura de processos criada apresenta uma estratégia válida e testada para a iniciação de qualquer projeto de gêmeo digital, de forma que o produto possa seguir o ciclo de vida com todas as informações necessárias para posterior desenvolvimento de manufatura e serviços.

Palavras-chave: Gestão de projeto. *Product Lifecycle Management*. Gêmeo digital. Requisitos. Design de produto.

ABSTRACT

In the digitalization era several technology features have become essential in order to increase the productivity of industries and decrease the environmental impact during the product life cycle. This means that engineering, marketing, sales, and other areas that constitute a modern company are driven by data, which accumulates and tends to become more complex with time. Information acquisition and data storage technologies are at an advanced stage in the national industries. However, even though data from process areas such as engineering, manufacturing, processes, and services can be obtained, data integration, management, and implementation in the virtual world are not a focus of research. With the growing demand for individualized products, the digital twin offers an effective solution for modeling, development, and innovation. This work seeks to provide a better product-digital interface for better design execution and product development management, making the life cycle more efficient, integrated, and sustainable. Through the conducted study, a framework was developed for the initiation of engineering projects with the intention of building a digital twin and finally, this same project structure was put to test by means of a case study. The construction of the digital twin of an additive manufacturing platform, customized with a Delta-type robot, was started in the form of an integrated project from the requirements, generating at the end, a digital product, with all information integrated and related to the product objects and engineering project. Therefore, it is stated that the created process structure presents a valid and tested strategy for the initiation of any digital twin project, so that the product can follow the life cycle with all the necessary information for further manufacturing and service development.

Keywords: Project management. *Product Lifecycle Management*. Digital twin. Requirements. Product design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Escopo do PLM	19
Figura 2 – <i>Desing</i> de produto baseado em um gêmeo digital	23
Figura 3 – Processo de Negócio Privado	26
Figura 4 – Processo Público	26
Figura 5 – Processo de Colaboração	27
Figura 6 – Eventos	27
Figura 7 – Atividade ou Tarefa	28
Figura 8 – <i>Gateways</i>	28
Figura 9 – Objeto de Dados	29
Figura 10 – Fluxo de Sequência	29
Figura 11 – Fluxo de Mensagem	30
Figura 12 – Associação	30
Figura 13 – Divisões	30
Figura 14 – Artefatos	31
Figura 15 – Componentes de áreas de processos	34
Figura 16 – Processo Operacional IPP&E	45
Figura 17 – Conceito do método ARCADIA	51
Figura 18 – Processo básico de testes	53
Figura 19 – <i>Framework</i> de processos global	57
Figura 20 – Processos de Gerenciamento de Projetos	59
Figura 21 – Processos de Desenvolvimento e Gerenciamento de Requisitos	67
Figura 22 – Processos de Modelagem de Sistemas	73
Figura 23 – Processos de Definição de Sistema e Implementação de <i>Design</i>	75
Figura 24 – Processos de Gerenciamento de Testes	81
Figura 25 – Processos de Gerenciamento de Parâmetros	85
Figura 26 – Requisitos de alto nível	87
Figura 27 – WBS do Programa	89
Figura 28 – Programa 3D <i>Large Printer</i>	90
Figura 29 – Eventos do Programa	90
Figura 30 – Cronograma de <i>sprints</i>	91
Figura 31 – Cronograma geral do programa	91
Figura 32 – Entregáveis do projeto	92
Figura 33 – Fluxo de trabalho de aprovação	95
Figura 34 – Eventos finalizados	96
Figura 35 – Cronograma finalizado	97
Figura 36 – Requisitos de clientes	98

Figura 37 – Requisitos de componentes e produto	99
Figura 38 – Definição de parâmetros	100
Figura 39 – Diagrama de capacidades operacionais	101
Figura 40 – Diagrama de arquitetura operacional	102
Figura 41 – Diagrama de arquitetura do sistema	103
Figura 42 – Diagrama de arquitetura lógica	104
Figura 43 – Diagrama de arquitetura física	105
Figura 44 – Modelagem 3D do conjunto completo	107
Figura 45 – Modelagem 3D do robô delta	107
Figura 46 – Estrutura de produto no Teamcenter	108
Figura 47 – Ponto máximo de deslocamento do patim da guia linear	109
Figura 48 – Ponto mínimo de deslocamento do patim da guia linear	109
Figura 49 – Requerimento de verificação	110
Figura 50 – Verificação no software de modelamento	111
Figura 51 – Gerenciamento de parâmetros	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Áreas de processos e suas categorias associadas	33
Tabela 2 – Níveis de Capacidade	35
Tabela 3 – Comparação entre CMMI e processo Gerenciamento de Projeto Integrado - IPM, PP	61
Tabela 4 – Comparação entre CMMI e processo de Desenvolvimento e Gerenciamento de Requisitos - RD, REQM	69
Tabela 5 – Comparação entre CMMI e processos de Solução Técnica - TS	78
Tabela 6 – Comparação entre CMMI e processos de Verificação - VER	83
Tabela 7 – Tabela de Riscos	93
Tabela 8 – Áreas de processo e a implementação de Práticas Genéricas	113
Tabela 9 – Implementação de Práticas Genéricas	115

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARCADIA	<i>Architecture Analysis & Design Integrated Approach</i>
BOM	<i>Bill of Materials</i> - Lista de Materiais
BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i>
CAD	<i>Computer-aided design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CMM	<i>Capability Maturity Model</i>
CMMI	<i>Capability Maturity Model® Integration</i>
GG	<i>Generic Goals</i> - Objetivos Genéricos
GP	<i>Generic Practices</i> - Práticas Genéricas
IMS	<i>Integrated Master Schedule</i> - Cronograma Mestre Integrado
IPM	<i>Integrated Project Management</i> - Gerenciamento de Projeto Integrado.
IPP&E	<i>Integrated Program Planning and Execution</i> - Execução e planejamento integrado de programas
LAB	<i>Logical Architecture Blank</i>
MBSE	<i>Model-Based Systems Engineering</i>
OAB	<i>Operational Architecture Blank</i>
OCD	<i>Operational Capabilities Diagram</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
PP	<i>Project Planning</i> - Planejamento de Projeto
RD	<i>Requirement Development</i> - Desenvolvimento de Requisitos
REQM	<i>Requirement Management</i> - Gerenciamento de Requisitos
SAB	<i>System Architecture Blank</i>
SG	<i>Specific Goals</i> - Objetivos Específicos

SP	<i>Specific Practices</i> - Práticas específicas
TS	<i>Technical Solution</i> - Solução Técnica
VER	<i>Verification</i> - Verificação
WBS	<i>Work Breakdown Structure</i> - Estrutura Analítica do Projeto

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS
LISTA DE TABELAS
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo Geral	17
1.2 Objetivos Específicos	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 <i>Product Lifecycle Management (PLM)</i>	18
2.1.1 Abordagem PLM	18
2.1.2 Sistema PLM - Teamcenter	20
2.2 Gêmeo digital	22
2.3 Modelo de gestão de projetos	24
2.3.1 Tradicional	24
2.3.2 Ágil	24
2.4 <i>Business Process Model and Notation 2.0 (BPMN 2.0)</i>	25
2.4.1 Elementos BPMN	27
3 METODOLOGIA	32
3.1 Modelo de gestão do ciclo de vida de produto - <i>Capability Maturity Model Integration (CMMI)</i>	32
3.1.1 Entendendo o CMMI	33
3.1.2 Plano de execução CMMI e avaliação de áreas	35
3.1.3 Objetivos Genéricos e Práticas Genéricas	36
3.1.4 Áreas de Processos	37
3.2 Metodologia de gerenciamento do projeto - <i>Integrated Program Planning and Execution (IPP&E)</i>	44
3.2.1 Definição da WBS do programa	46
3.2.2 Estimativa de custos e preparação do cronograma	46
3.2.3 Execução do Programa	47
3.2.4 Lições Aprendidas	47
3.3 Metodologia para desenvolvimento técnico do projeto - <i>Model-Based Systems Engineering (MBSE)</i>	48
3.3.1 Gerenciamento de requisitos	49
3.3.2 Modelagem de Sistema	50
3.3.3 Gerenciamento de Testes (Verificação)	53

3.3.4	Gerenciamento de parâmetros globais	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1	<i>Framework</i> para o desenvolvimento de um gêmeo digital	56
4.1.1	Gerenciamento de Projeto Integrado - IPM, PP	58
4.1.2	Gerenciamento de Requisitos - REQM, RD	66
4.1.3	Modelagem de Sistema - TS	72
4.1.4	Definição de Sistema e Implementação de Design	74
4.1.5	Verificação - VER	80
4.1.6	Gerenciamento de Parâmetros	85
4.2	Estudo de Caso - Plataforma de manufatura aditiva, customizada com robô tipo delta	86
4.2.1	Gerenciamento de Projeto Integrado	86
4.2.2	Gerenciamento de Requisitos	97
4.2.3	Modelagem de Sistema	100
4.2.4	Definição de Sistema e Implementação de Design	105
4.2.5	Verificação	110
4.2.6	Gerenciamento de parâmetros	111
5	CONCLUSÕES	113
6	TRABALHOS FUTUROS	118
7	REFERÊNCIAS	119

1 INTRODUÇÃO

A elaboração de produtos e serviços, que utilizam tecnologia de *big data*, vem crescendo, ao lado da aplicação de novas tecnologias da informação que estão sendo implementadas com o avanço da Indústria 4.0.

Na indústria, o ciclo de vida de produtos físicos já é gerenciados por dados, incluindo o *design*, manufatura e serviços. Entretanto, as pesquisas atuais focam somente no produto físico e deixam de lado os modelos virtuais dos mesmos (FEI *et al.*, 2018). Isso pode ser explicado pela falta de convergência entre o produto físico e sua representação virtual, além de que os dados do ciclo de vida do produtos ficam isolados, fragmentados e estagnados em cada uma das fases de desenvolvimento e implementação.

O gêmeo digital é uma simulação probabilística, multi física e multiescala de um produto complexo e se utiliza da iteração com o mundo real dos produtos físicos para espelhar a vida de seu respectivo gêmeo. (GLAESSGEN; STARGEL, 2012). Esta solução permite gerar uma estrutura de trabalho que integre os dados físicos com os virtuais para melhor servir o ciclo de vida do produto, assim como melhorar o *design*.

O produto virtual pode proporcionar a empresa o ciclo de vida completo correspondente ao produto físico desde que esse ciclo esteja bem definido em seus processos e ferramentas. Tanto para a criação do produto virtual quanto para o real, os projetos de desenvolvimento de produto dependem da capacidade de coordenação e colaboração entre inúmeros *stakeholders* que participam do processo (MALABAGI *et al.*, 2021). Portanto, a coordenação do fluxo de informações entre os times de *design* e gerentes de projetos é de grande importância para o sucesso do produto. Dito isso, o *Product Lifecycle Management* (PLM) centraliza os processos e informações em um único ambiente de colaboração, proporcionando uma única fonte de informação segura e atualizada em qualquer etapa do processo. (ZANCUL, 2009)

Pol *et al.* (2008) exploraram uma abordagem de negócios para coordenar os processos de *design* a partir da implementação de um sistema PLM para melhorar o desenvolvimento de produto em pequenas e médias empresas. Os mesmo autores publicaram um estudo que levanta os pré-requisitos para a implementação de uma gestão de dados e processos de produtos em uma empresa pequeno-médio porte. (POL *et al.*, 2005)

Fei *et al.* (2018) propõem um método detalhado de aplicação e um *framework* para o *design*, manufatura e serviço de um gêmeo digital de produto, além da aplicação de um gêmeo digital em cada uma dessas fases.

Com o PLM sendo a principal ferramenta de tomada de decisões para uma gestão de projetos eficiente, Malabagi *et al.* (2021) foca nos aspectos do ciclo de vida de produto para o sucesso da gestão de projetos, além da iteração do gerente de projeto com o sistema PLM escolhido.

Com base nesses estudos, é possível perceber que a utilização de *big data* e modelos PLM é uma ferramenta valiosa para a exploração completa do ciclo de vida de produto. Isso porque, com elas as empresas podem ter acesso a informações relevantes para a elaboração dos produtos e podem estruturar seus processos de uma maneira mais eficiente e sustentável, porém é possível perceber que a aplicação de modelos de gestão do ciclo de vida a um projeto de gêmeo digital são pouco explorados na literatura e que a integração de sistemas PLM para a tomada de decisões integrada a um projeto de um produto virtual ainda não foi implementada.

Visando então solucionar esses problemas, o presente projeto busca explorar metodologias de gestão de ciclo de vida de produto, gerenciamento de projeto e desenvolvimento baseados em modelos para a criação de uma estrutura que auxilie projetistas, pesquisadores e engenheiros na construção de gêmeos digitais de produtos inovadores, ou seja, produtos que ainda estejam na fase de definição de problemas e conceituação de soluções pelas partes interessadas.

Para a construção desta estrutura, 3 metodologias serão utilizadas. A primeira referente ao modelo de gestão do ciclo de vida do produto, que visa definir as áreas de processos de interesse para essas fases iniciais de um projeto e as duas últimas trazidas pela Siemens Digital Industries, trazendo os conceitos e ferramentas mais avançadas de PLM utilizadas por grandes empresas no mundo e que são pouco explorados no Brasil.

Aqui é importante destacar que a primeira metodologia estudada *Capability Maturity Model Integration* (CMMI) trás 22 áreas de processos, com as quais uma organização pode se ocupar durante o desenvolvimento e manutenção de produtos. Porém, para que seja possível delimitar o alcance do problemas e das soluções propostas neste trabalho somente 6 áreas de processo foram escolhidas, sendo elas Gestão de Projeto Integrado, Planejamento de Projeto, Gestão de Requisitos, Desenvolvimento de Requisitos, Solução Técnica e Verificação.

Essas áreas de processos foram estabelecidas como essenciais para a construção técnica de um gêmeo digital de produto. E outras áreas como gestão de custos, monitoramento e controle de projeto, qualidade, gestão de partes interessadas, entre outras fogem do escopo do trabalho atual.

A segunda metodologia é a *Model Based System Engineering* (MBSE) que garante o desenvolvimento de um produto que passe por uma definição de requisitos, modelagem de sistemas, modelamento 3D em software especializado, análises estruturais e de movimentação e por fim uma verificação dos requisitos por meio de testes e simulações.

A última metodologia explorará a gestão de projeto, programa e ativo operacional no contexto da utilização de um sistema PLM.

Com base nisso, o presente projeto busca definir o papel do PLM na iniciação de projetos de gêmeos digitais, desenvolvendo um modelo de projetos que seja aplicável a itens ou maquinários que necessitam ser reproduzidos em ambiente virtual.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é definir o papel do PLM na iniciação de projetos de gêmeos digitais, desenvolvendo um modelo de processos (*framework de processos*) que seja aplicável a itens ou maquinários que precisem passar pelas fases de definição de problema, concepção de sistema solução e verificação final do produto proposto em ambiente virtual. Além disso, o projeto de pesquisa de uma extrusora de bancada com robô tipo delta do Departamento de Engenharia mecânica da Universidade Federal de São Carlos será utilizado para estudo de caso de aplicação do *framework*.

1.2 Objetivos Específicos

- Construir *framework* de processos e tarefas a serem executadas para a iniciação de um projeto de gêmeo digital de produtos em fase conceitual de desenvolvimento.
- Estabelecer requisitos de produtos e projeto juntamente com *stakeholders* para a construção correta do produto por meio da verificação de requisitos e parâmetros.
- Definir as ferramentas e conceitos que o PLM traz para um desenvolvimento mais rápido, eficiente e sustentável de um mecanismo contido dentro do contexto da academia.
- Construir modelagem virtual de sistemas e performar simulação virtual para verificação de requisitos levantados no projeto.
- Proporcionar a construção de um gêmeo digital que possa servir de objeto de estudo para todas as fases da vida do produto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta abordagens dos temas referentes ao escopo deste trabalho.

2.1 *Product Lifecycle Management (PLM)*

2.1.1 Abordagem PLM

O livro *Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realisation* (STARK, 2020) define *Product Lifecycle Management (PLM)* como a atividade de negócio de gerenciar, da maneira mais eficiente, um produto ao longo de todo o ciclo de vida, desde a primeira ideia até a aposentadoria do mesmo.

De uma maneira geral o PLM busca aumentar o lucro, reduzir os custos e maximizar o valor da organização, já olhando mais de perto o PLM gerencia dados, informações, domínios e processos de maneira integrada.

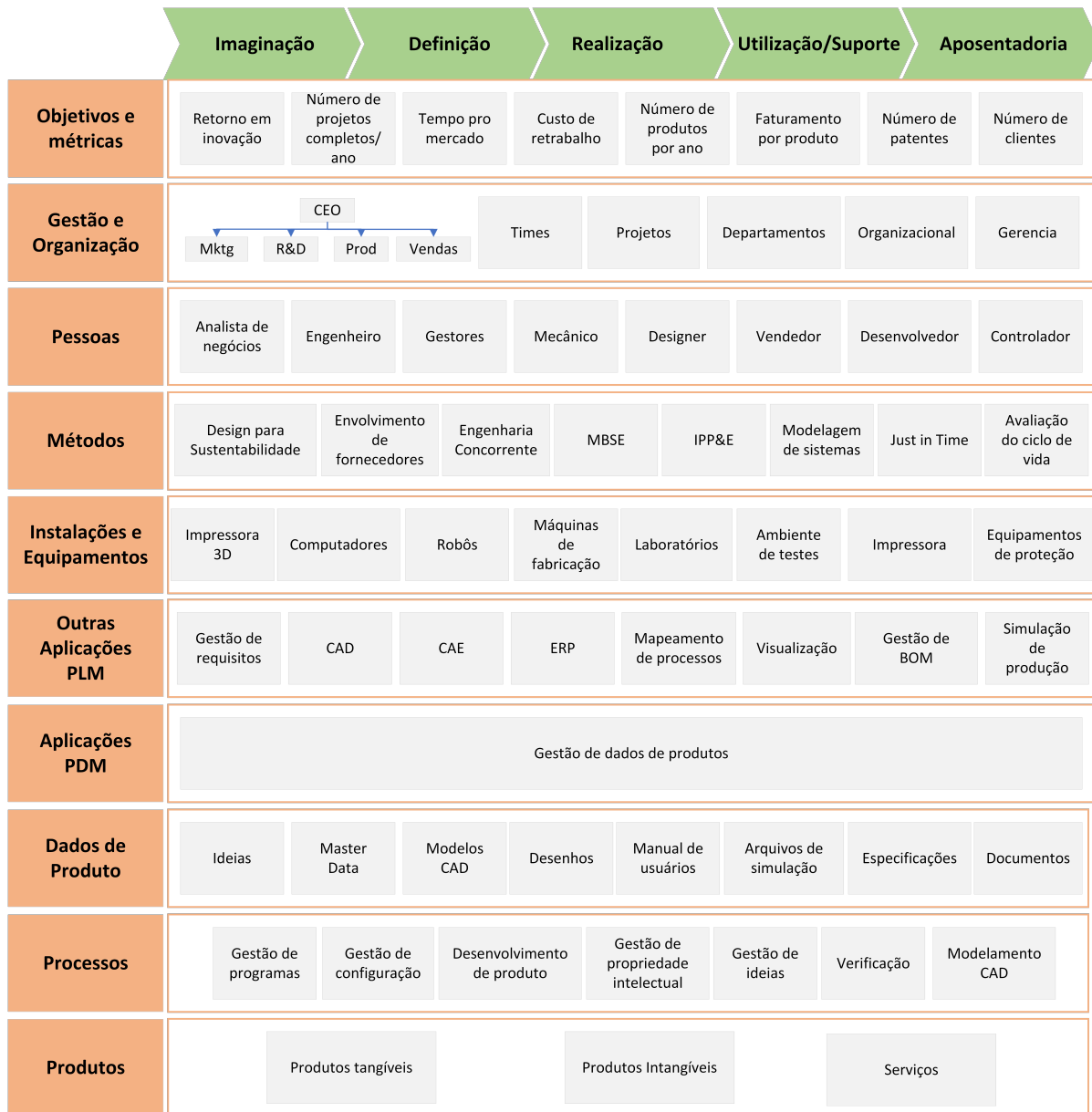
O acrônimo PLM é composto por 3 letras e a seguir cada uma dessas letras será destacada para o entendimento da abordagem de negócios. A letra P designa o produto, que é a fonte de renda da organização, sem o produto não há justificativa para uma organização existir. Existe uma grande variedade de tipos de produtos, sendo eles os tangíveis, como carros, motos, gasolina, shampoos e também há os intangíveis, como softwares, seguros, transações financeiras e serviços.

O L está ali para designar as fases do ciclo de vida. Stark (2020) apresenta 5 fases, e em cada uma dessas fases o produto está em um estado diferente. Durante a fase de imaginação, o produto é apenas uma ideia na cabeça das pessoas. Durante a fase de definição, as ideias estão sendo convertidas em uma descrição detalhada. Ao final da fase de realização, o produto existe em sua forma final (por exemplo, como um carro), na qual pode ser utilizado por um cliente. Durante a fase de utilização/suporte, o produto está com o cliente que o está utilizando. Eventualmente, o produto chega a uma fase em que não é mais útil. Ele é aposentado pela empresa, e descartada pelo cliente.

Por fim o M ou também conhecido pela parte de gestão, que basicamente se refere a necessidade de um produto ser gerenciado durante todas as fases do ciclo de vida para que ele seja rentável.

Na Figura 1 é apresentado o escopo do PLM, no eixo horizontal tem-se as fases do PLM e no eixo vertical, 10 componentes que, comumente, são abordados ao longo do ciclo de vida.

Figura 1 – Escopo do PLM



Fonte: Autor

Cada componente tem seu papel no ciclo de vida do produto e este papel é apresentado nos itens a seguir.

- **Objetivos e métricas:** Os objetivos expressam o que é esperado do PLM. Muitas vezes a performance operacional, redução de tempo para mercado e a qualidade do produto são alcançadas com a aplicação do PLM.
- **Gestão e organização:** Em um ambiente PLM existem inúmeros recursos para gerenciar relações complexas entre componentes, produtos e participantes. As organizações e planos devem ser considerados para atingir os objetivos

- Pessoas: Pessoas são necessárias para desenvolver e dar suporte a produtos. A empresa pode contratar pessoas que são altamente capacitadas que definem os requisitos para novos produtos, produzem esses produtos e dão suporte aos mesmos.
- Métodos: Para melhor produzir um produto diversos tipos de métodos são sugeridos, normalmente esses métodos buscam a redução de entrada de produto no mercado, melhoramento da qualidade, redução de custos e um serviço competente.
- Instalações e equipamentos: Estes elementos são utilizados durante todo o ciclo de vida do produto. Eles são necessários para desenvolver o produto, para produzi-lo, para mantê-lo, para a sua manutenção e para se desfazer dele.
- Outras Aplicações PLM: As aplicações PLM ajudam as pessoas a desenvolver e apoiar os produtos. Sem estas aplicações, é improvável que tantos produtos complexos e precisos pudessem ser desenvolvidos, produzidos e apoiados.
- Aplicações PDM: *Product Data Management* (PDM) tem o objetivo principal de gerenciar dados do produto. Ele pode gerenciar todos os dados do produto criados e utilizados durante todo o ciclo de vida do produto.
- Dados de Produto: Os dados de produto de uma empresa representam seu conhecimento coletivo. Como tal, é um bem importante, um recurso estratégico, e deve ser utilizado da maneira mais lucrativa possível. Eles têm que estar disponíveis, sempre que for necessário, onde for necessário, por quem precisar, ao longo de todo o ciclo de vida do produto.
- Processos: Em todas as empresas, existem atividades que são organizadas em processos e o PLM ajuda a institucionalizá-los.
- Produtos: Objeto principal do PLM, sem ele a empresa não tem receita. Portanto, se faz necessária uma gestão eficiente para que ele possa gerar grandes lucros para a organização.

2.1.2 Sistema PLM - Teamcenter

A abordagem PLM, definida na seção anterior não pode ser confundida com o sistema de informação ou software PLM. Zancul (2009) traz o seguinte trecho, que se refere a diferença entre abordagem e sistema.

Como PLM é usado para se referir tanto à abordagem como aos sistemas de informação, é importante distinguir quando o termo se refere a cada um desses dois significados. Por exemplo, a implantação do PLM (abordagem) envolve mudanças de processos e a revisão de conceitos utilizados na empresa (como a revisão do sistema de classificação de itens, entre outros). Já a implantação do PLM (solução de TI) enfatiza a instalação de um novo sistema de informação. Isso pode exigir a realização de mudanças

nos processos, mas a ênfase maior é em possibilitar a utilização dos novos recursos de TI (ZANCUL, 2009, pag-24).

Na era da informação atual as companhias devem superar alguns desafios para se manterem competitivas e lucrativas, enquanto os fabricantes tem menos tempo para levar ao mercado produtos cada vez mais complexos, a explosão do *big data* cria um ambiente competitivo para as organizações acharem as informações necessárias para o desenvolvimento e fabricação. E para complementar, as economias globais e a falta de recursos naturais forçam as organizações a fazerem mais com menos.

Esses desafios trazem a necessidade de uso da tecnologia para que possam ser diminuídos e até superados. Os sistemas de informação e softwares tem um papel fundamental entre essas tecnologias. Para muitos a jornada de digitalização começa com o uso de sistemas PDM, que controlam o volume de dados, complexidade e múltiplos tipos de dados que as organizações produzem. A partir do ponto que o PDM está implementado e os processos de engenharia funcionam bem, muitas companhias tomam o próximo passo, o sistema PLM, expandindo a informação do produto e automação de processos ao longo do ciclo de vida.

O Teamcenter é a espinha dorsal da colaboração, conectando todas as informações do portfólio do *Xcelerator* para criar um gêmeo digital mais abrangente. Além da engenharia, as aplicações especializadas do Teamcenter são otimizadas para melhorar funções e processos específicos, tais como planejamento, compras, aquisição, fabricação e serviços.

A seguir serão apresentadas as principais soluções e ferramentas do Teamcenter, para que seja possível a compreensão do alcance e impacto que este software pode ter.

- **Gestão de Lista de Materiais (*BOM Management*)**: Com produtos mais inovativos, a gestão de definições de produtos, contendo 10 partes ou 10 mil partes, se torna mais complexa. A solução oferece uma única fonte de informação para configurações de produtos, visualização de montagens e submontagens e colaboração com *stakeholders*.
- **Gestão de *design* mecânico**: Com o Teamcenter, os projetistas do *Mechanical Computer-Aided Design* (MCAD) podem acessar informações ao vivo a partir de sua ferramenta de projeto. Não há necessidade de procurar um sistema de arquivo para encontrar o que se precisa. É possível ver o estado de maturidade, revisão, onde foi usado, o que mudou, bem como ver as atribuições do projeto e muito mais. Tudo isso pode ser feito sem nunca deixar a ferramenta de projeto MCAD.
- ***Model Based Systems Engineering* (MBSE)**: Esta ferramenta conecta domínios de engenharia - mecânico, elétrico e software - com considerações como, requisitos, parâmetros, custos e manufaturabilidade. Em outras palavras, definir o que será construído, instruir as pessoas como construí-lo e orquestrar os demais processos do ciclo de vida.

- **Engenharia de requisitos do produto:** Esta capacidade proporciona um conteúdo contínuo de requisitos para que todos sejam influenciados pelos requisitos durante o projeto, criando produtos em conformidade com o projeto. Teamcenter conecta os requisitos do produto com os planos do programa, e verifica e valida os requisitos com os testes corretos, provas associadas, histórico e muito mais.
- **Planejamento de programas e execução de projetos:** Com esta solução pode-se desenvolver produtos complexos a partir de planos integrados e com a execução em um único sistema. Esta abordagem integrada permite que equipes dependentes em todas as disciplinas colaborem e comuniquem informações-chave de forma eficaz, encurtando o tempo de entrada no mercado.
- **Gestão de dados de simulação:** Gestão de dados de simulação ajuda a obter o controle dos dados e processos de simulação para evitar problemas comuns, tais como análises realizadas em dados obsoletos, pouca visibilidade dos resultados da simulação e resultados que chegam tarde demais para direcionar o projeto.

2.2 Gêmeo digital

O desenvolvimento de produto está migrando para uma era digital. Tecnologias computacionais estão ajudando engenheiros e designers a criarem componentes virtuais equivalentes aos componentes físicos. Essas tecnologias proporcionam um grande grau de flexibilidade do desenvolvimento, tornando possível uma resposta rápida a mudanças de requisitos, além de aprofundar o grau de complexidade dos produtos desenvolvidos atualmente.

A representação virtual do produto e das partes individuais é utilizada para análise, simulação e otimização e carrega algumas características em comum, como por exemplo:

- Modelo físico altamente preciso (térmico, fluido dinâmico, elastostático) do gêmeo físico.
- Conexão bidirecional com o gêmeo físico para atualizações do estado atual através do sistema de sensores e para controle do gêmeo físico através do gêmeo digital.
- Dados históricos do gêmeo digital.

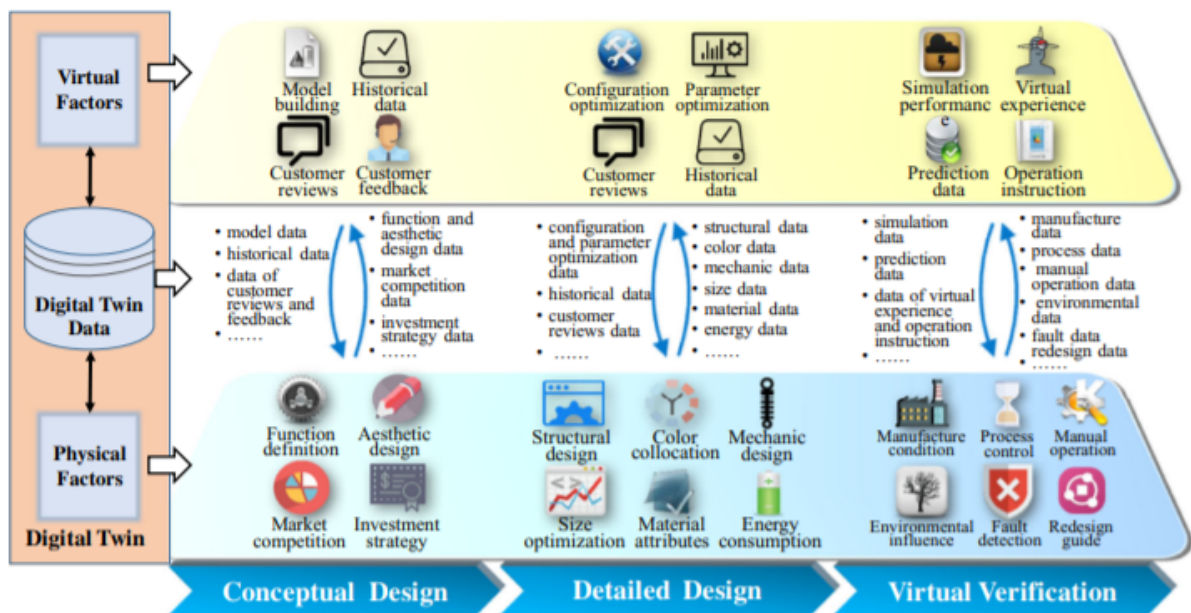
Essas características podem ser explicadas a partir de três aspectos.

1. Existem dois espaços em gêmeos digitais, espaço físico e espaço virtual. O espaço virtual é o reflexo real do espaço físico, e pode manter uma alta sincronização e fidelidade com o espaço físico.

2. Interação e convergência entre dados históricos e dados em tempo real. Os dados dos gêmeos digitais são mais abrangentes. Não apenas depende do conhecimento especializado, mas também coleta dados de todos os sistemas implantados em tempo real. Portanto, os dados podem ser minerados profundamente e utilizados de forma mais completa.
3. Gêmeos digitais podem atualizar dados em tempo real, para que os modelos virtuais possam sofrer melhorias contínuas através da comparação do espaço virtual com o físico espaço em paralelo.

Portanto, levando em consideração essa nova perspectiva de tecnologia, o uso do gêmeo digital pode ser expandido para o processo moderno de projeto de produtos. Já que não só prediz o modelo de comportamento como também pode propor soluções, que melhorem o sistema real o máximo possível. Na Figura 2 é mostrado o modelo de desenvolvimento de um gêmeo digital proposto por Fei *et al.* (2018).

Figura 2 – *Desing* de produto baseado em um gêmeo digital



Fonte: Fei *et al.* (2018)

Na Figura 2 é possível observar os fatores virtuais e reais que se integram em forma de dados e impulsionam o desenvolvimento do produto.

Para finalizar, este trabalho visa a aplicação do gêmeo digital para o desenvolvimento de um produto. Entretanto, este mesmo conceito e tecnologia pode ser aplicado para outras fases do ciclo de vida de produto, como por exemplo manufatura e serviços.

2.3 Modelo de gestão de projetos

Um projeto pode ser entendido como um esforço temporário para se criar um resultado exclusivo e de acordo com a norma NBR ISO 21500:2012 de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT, 2012) o gerenciamento de projetos consiste em aplicar métodos, ferramentas técnicas e competências no desenvolvimento de um projeto, integrando as diversas fases. Sendo assim, a equipe de gerenciamento precisa determinar necessidades e expectativas, tal como gerenciar estas influências no projeto, em relação aos requisitos que caracterizam o conhecimento.

Nesta seção serão apresentadas duas metodologias de gerenciamento de projeto: Tradicional (*Project Management Body of Knowledge* - PMBOK) e *Agile* (Scrum).

2.3.1 Tradicional

Criado pelo *Project Management Institute* o PMBOK é todo o conjunto de processos, melhores práticas, terminologias e diretrizes que são aceitos como padrão dentro da indústria de gerenciamento de projetos. Está alinhado a metodologia *waterfall*, que mapeia um projeto em fases distintas e sequenciais, com cada nova fase começando apenas quando a anterior tiver sido concluída. O sistema *waterfall* é o método mais tradicional para gerenciar um projeto, com membros da equipe trabalhando linearmente em direção a uma meta final definida. Cada participante tem um papel claramente definido, e nenhuma das fases ou metas deve mudar.

Como é um método sequencial, o método não é iterativo, o que significa que não se realiza o trabalho em ciclos, melhorando constantemente o produto original. Entretanto, justamente por ter pouca flexibilidade este método é escolhido para gerenciar, tipicamente, projetos de construção civil e outros projetos onde pode-se quebrar o projeto em projetos menores e gerenciáveis, que se tornam tarefas individuais.

Após as tarefas serem estabelecidas, as dependências entre tarefas e projetos podem ser estruturadas, gerando assim, uma lista sequencial de tarefas que devem ser executadas. Caso uma dessas tarefas não tenha terminado no tempo estipulado o projeto não avança até que ela seja completada.

Uma desvantagem do gerenciamento do projeto *waterfall* é que como cada passo é préplanejado em uma sequência linear, a estratégia é relativamente inflexível. Qualquer mudança nas prioridades ou necessidades das partes interessadas perturbará a ordem e exigirá uma revisão, ou possivelmente um projeto totalmente novo.

2.3.2 Ágil

A metodologia ágil é uma forma de gerenciar um projeto, dividindo-o em várias fases. Ela envolve colaboração constante com as partes interessadas e melhoria contínua em cada etapa. Uma vez iniciado o trabalho, as equipes passam por um processo de

planejamento, execução e avaliação. A colaboração contínua é vital, tanto com os membros da equipe quanto com as partes interessadas no projeto.

Dentro do escopo da metodologia ágil tem-se o Scrum, que fornece uma estrutura para equipes ágeis de ritmo rápido para priorizar, gerenciar e executar o trabalho. O Scrum apresenta 6 princípios para a metodologia.

- **Controle de processo empírico:** Todo o processo do Scrum é guiado por transparência, inspeção e adaptação a realidade.
- **Auto-organização:** Os membros dos times gerenciam suas próprias tarefas e resolvem os próprios problemas individualmente.
- **Time-boxing:** Prática onde um tempo fixo é alocado para certas atividades ou objetivos.
- **Priorização baseada em valores:** Os itens do catálogo de produtos são constantemente atualizados com base em seu valor e importância para o usuário final e partes interessadas.
- **Desenvolvimento iterativo:** Os objetivos no desenvolvimento de produtos são consistentemente revisados e atualizados para criar a melhor qualidade do produto e do processo de entrega.
- **Colaboração:** As reuniões diárias são uma oportunidade para colaborar e resolver problemas.

Em resumo, a metodologia Scrum é um processo de aprendizagem e disciplina que permite à equipe Scrum identificar maneiras de melhorar e entregar o produto da melhor qualidade ao usuário final.

2.4 *Business Process Model and Notation 2.0 (BPMN 2.0)*

Business Process Model and Notation 2.0 (Tradução livre: Modelo de processo de negócio e notação) fornece a organizações o entendimento dos processos internos por meio de uma visualização gráfica, com notações simples e normativas, de acordo com OMG (2011). Esses diagramas são construídos para serem usados pelas pessoas que desenham e gerenciam os processos de negócio da organização. BPMN segue a notação de fluxogramas de processos para facilitar a leitura e aplicabilidade, além disso, a semântica de execução BPMN é totalmente formalizada.

A seguir são trazidos 3 tipos básicos de modelos BPMN que podem ser usados, dado que o modelamento de processos de negócios é usado para comunicar uma variedade grande de informações para uma abrangente audiência.

- **Processos de Negócios Privados (Internos):** Processos internos específicos de uma organização, também chamados de fluxos de trabalho. Na Figura 3 está mostrado um exemplo de um processo de negócio privado.

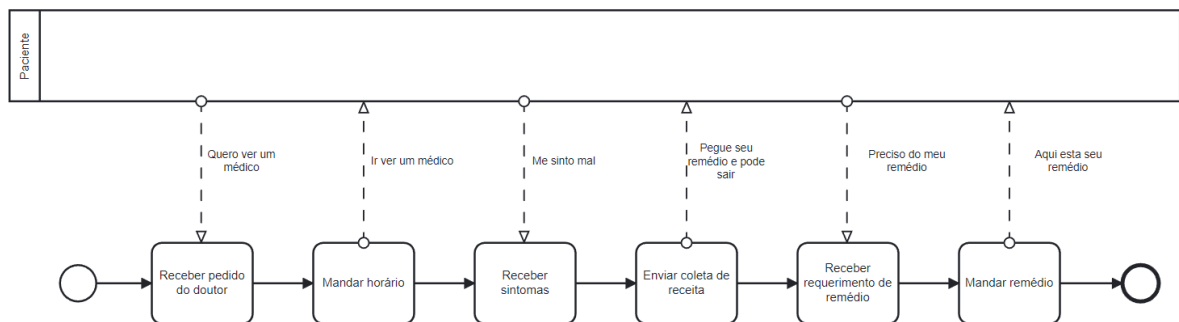
Figura 3 – Processo de Negócio Privado



Fonte: Adaptado de OMG (2011)

- **Processos públicos:** Representam a iteração entre processos privados, ou seja, atividades que são construídas para comunicar com outros participantes. Na Figura 4 está mostrado um exemplo de um processo público.

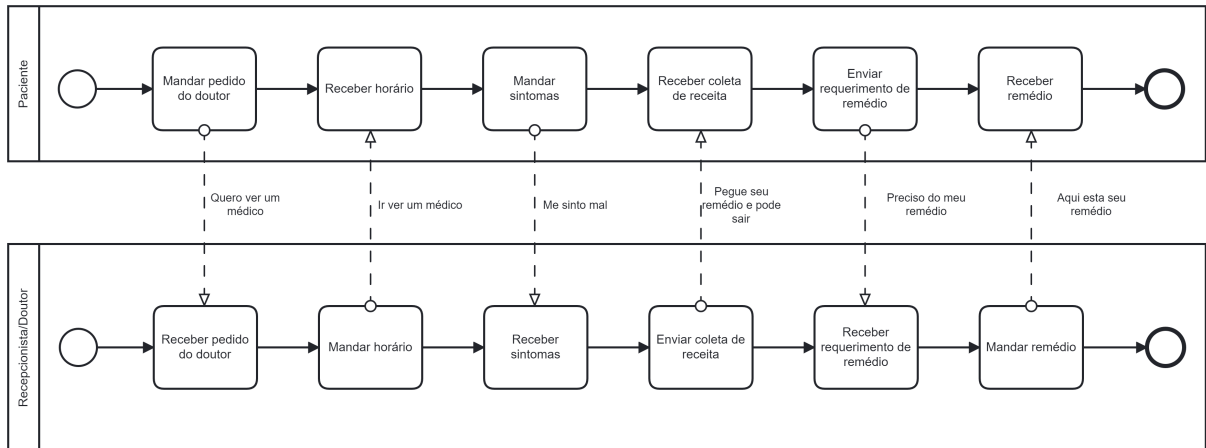
Figura 4 – Processo Público



Fonte: Adaptado de OMG (2011)

- **Colaboração:** Retrata as interações entre duas ou mais entidades empresariais. A Colaboração pode ser entendida como dois ou mais processos públicos que se comunicam entre si. Na Figura 5 está mostrado um exemplo de um processo de colaboração.

Figura 5 – Processo de Colaboração



Fonte: Adaptado de OMG (2011)

2.4.1 Elementos BPMN

Nesta seção serão descritos os elementos normativos da metodologia BPMN. Os elementos são divididos em cinco categorias: Objetos de Fluxo, Objetos de Dados, Objetos de Conexão, Divisões e Artefatos.

Objetos de Fluxo

Os Objetos de fluxo são os principais elementos gráficos que definem o comportamento dos processos de negócio. E dentro desta categoria há uma subdivisão entre Eventos, Atividades e *Gateways*.

Um evento é algo que acontece durante o processo e são representados por círculos que podem conter certas imagens no centro que diferenciam os diferentes resultados ou gatilhos. Na Figura 6 tem-se os eventos Início (indica o início de um processo), Intermediário (Este evento ocorre entre o início e o fim do processo) e Fim (indica a finalização de um processo).

Figura 6 – Eventos



Fonte: Autor

As atividade ou tarefa é um objeto genérico associado ao trabalho executado durante o processo de negócio, essas mesma atividades podem ser quebradas em subprocessos. Na Figura 7 tem-se a representação e tarefas e atividades e subprocessos.

Figura 7 – Atividade ou Tarefa



Fonte: Autor

Os *Gateways* são usados para controlar a divergência e convergência entre sequências de atividades, indicadores internos ao *gateway* indicam o tipo ao qual ele se refere. Na Figura 8 tem-se a representação dos *gateways* padronizados.

Figura 8 – Gateways



Fonte: Autor

- **Exclusivo:** Usado para criar caminhos alternativos dentro de um fluxo. Uma decisão pode ser estabelecida em forma de uma questão, dependendo da resposta um caminho alternativo pode ser tomado.
- **Baseados em Evento:** Eventos que ocorrem, causam uma ramificação do fluxo, basicamente a decisão do caminho é tomada por outro participante do fluxo, baseado em dados que não estão visíveis no diagrama atual.
- **Baseados em Evento Paralelo:** Este tipo de *gateway* também leva em consideração condições, entretanto quando o primeiro evento da condição é acionado, os outros não são automaticamente desabilitados, os outros eventos ainda podem ser acionados.

- **Inclusivo:** Também utilizado para criar caminhos alternativos mas também paralelos em um fluxo de trabalho. Todas as sequencias de fluxo com uma condição verdadeira serão seguidos, cada caminho é independente.
- **Complexo:** Utilizado para modelar comportamentos complexos. A descrição do *gateway* se faz importante para o entendimento do fluxo.
- **Paralelo:** *Gateway* utilizado pra sincronizar fluxos paralelos, cria fluxos paralelos sem ter que checar por nenhuma condição e todos os fluxos de atividades são executados.

Objetos de Dados

Na Figura 9 é mostrado o objeto que representa a entrada, saída e o objeto de dados em si. Dependendo da conexão com a atividade, este objeto pode representar a entrada de dados que devem ser consumida pela tarefa ou então a saída de dados gerada pela tarefa. Os objetos de dados podem representar um único objeto ou uma coleção de objetos.

Figura 9 – Objeto de Dados



Fonte: Autor

Objetos de Conexão

Existem três jeitos de conectar Objetos de Fluxo entre si ou com outra informações, sendo eles: Fluxos de Sequência, Fluxos de Mensagens, Associações.

Um fluxo de Sequência é utilizado para mostrar a ordem nas qual as atividades serão performadas em um processo. Cada Fluxo de Sequência tem somente uma fonte e um alvo e é representada como uma linha solida com uma seta na ponta, como é mostrado na Figura 10.

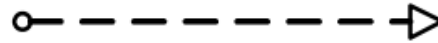
Figura 10 – Fluxo de Sequência



Fonte: Autor

Os Fluxos de Mensagens são usados para mostrar a troca de informação entre dois participantes e deve ser conectado entre duas Piscinas. A representação é uma linha tracejada com um círculo no início e uma seta no final, como na Figura 11.

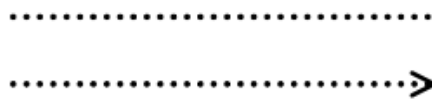
Figura 11 – Fluxo de Mensagem



Fonte: Autor

Para finalizar, as Associações são usadas para conectar Artefatos e Objetos de Dados à Objetos de Fluxo. Representados por uma linha pontilhada, como na Figura 12.

Figura 12 – Associação



Fonte: Autor

Divisões

Há duas maneiras de agrupar os elementos primários de modelagem, através de Piscinas ou Raias. As raias dentro de uma piscina mostram as atividades e os fluxos para um determinado papel ou participante, definindo quem é responsável pelas diferentes partes do processo. Na Figura 13 é mostrado um exemplo genérico de Piscina e Raias.

Figura 13 – Divisões



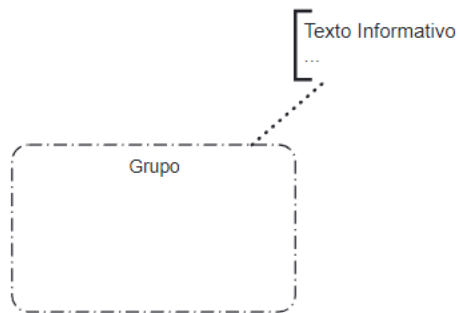
Fonte: Autor

Artefatos

Artefatos são Informações adicionais que desenvolvedores adicionam para acrescentar um nível de detalhe necessário ao diagrama. Um Grupo mostra um agrupamento lógico de atividades, mas não altera o fluxo do diagrama e uma Anotação oferece maiores

explicações para uma parte do diagrama. Na Figura 14, estão contidas as representações para os objetos desta categoria.

Figura 14 – Artefatos



Fonte: Autor

3 METODOLOGIA

Baseado na grande quantidade de dados gerados na construção de um projeto mecânico de uma plataforma de manufatura aditiva, customizada com robô tipo delta, uma estrutura de projeto baseada em dados para a construção de um gêmeo digital deve ser desenvolvida para que se possa obter um ciclo de validação entre o mundo digital e o físico.

A metodologia se divide em metodologia de criação e melhoramento de processos ou também entendida como um modelo de gestão do ciclo de vida de um produto. A segunda metodologia para gerenciamento de programas e projetos dentro do sistema PLM e por fim uma metodologia para desenvolvimento técnico do projeto, que começa na identificação dos requisitos chegando a verificação final do sistema.

Por ser tratar de um projeto de gêmeo digital de um mecanismo, se faz necessária a utilização de um software CAD, que englobe a elaboração do modelo 3D e a definição de movimentação do robô tipo delta estudado. O software escolhido foi o NX SiemensTM, devido a integração nativa com o software PLM, essa integração permite a completa utilização das ferramentas PLM aplicadas ao *design* do produto.

3.1 Modelo de gestão do ciclo de vida de produto - *Capability Maturity Model Integration (CMMI)*

O PLM apresenta uma vastidão muito grande em aplicação e ferramentas disponíveis, podendo ir desde o levantamento dos requisitos de projeto até os serviços de manutenção no cliente pós lançamento do produto. O foco de pesquisa é a coordenação de *design* e verificação de requisitos. Mas antes de aplicar os conceitos necessários para o desenvolvimento deste projeto se faz necessária a definição concreta dos mesmos.

No estado atual da indústria, existem modelos e metodologias que auxiliam uma empresa a melhorar seus processos e resultados. No entanto, a maioria dessas metodologias focam na melhora e estruturação de um único grupo de processos relacionados a uma área específica e não levam em consideração todo o ciclo de vida do produto.

Capability Maturity Model® *Integration* apresentado por Team (2010) consistem em melhores práticas que relacionam os desenvolvimento e manutenção de atividades que devem ser aplicadas para manter e construir produtos e serviços.

Team (2010) Apresenta 22 áreas de processos, nas quais as práticas do métodos devem ser empregadas para que haja uma melhora de desempenho de processos, estas 22 áreas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Áreas de processos e suas categorias associadas

Gestão de projetos	Gestão de processos	Engenharia	Suporte
<ul style="list-style-type: none"> • Gestão de projetos integrado • Monitoramento e controle de projeto • Planejamento de projeto • Gestão de projeto quantitativa • Gestão de riscos <ul style="list-style-type: none"> • Gestão de fornecedores 	<ul style="list-style-type: none"> • Inovação organizacional e implementação • Definição de processo organizacional <ul style="list-style-type: none"> • Foco de processo organizacional • Performance de processo organizacional • Treinamento Organizacional 	<ul style="list-style-type: none"> • Integração de projeto • Desenvolvimento de requisitos <ul style="list-style-type: none"> • Gestão de requisitos • Solução técnica <ul style="list-style-type: none"> • Validação • Verificação 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise casual e resolução • Gestão de configuração • Análise de decisão e resolução <ul style="list-style-type: none"> • Medidas e análises • Garantia de qualidade de processo e produto

Fonte: Autor

Dados estas áreas de processo, para este trabalho serão exploradas as seguintes áreas de processos, levando em consideração a fase de desenvolvimento de *design*, gestão de projeto, criação e verificação de requisitos: Gestão de projeto integrado, Planejamento de projeto, Desenvolvimento de requisito, Gestão de requisitos, Solução técnica e Verificação.

3.1.1 Entendendo o CMMI

O objetivo desta seção é entender os componentes de cada área de processo, entender os níveis de capacidade e como o CMMI será adotado para o projeto do gêmeo digital na academia.

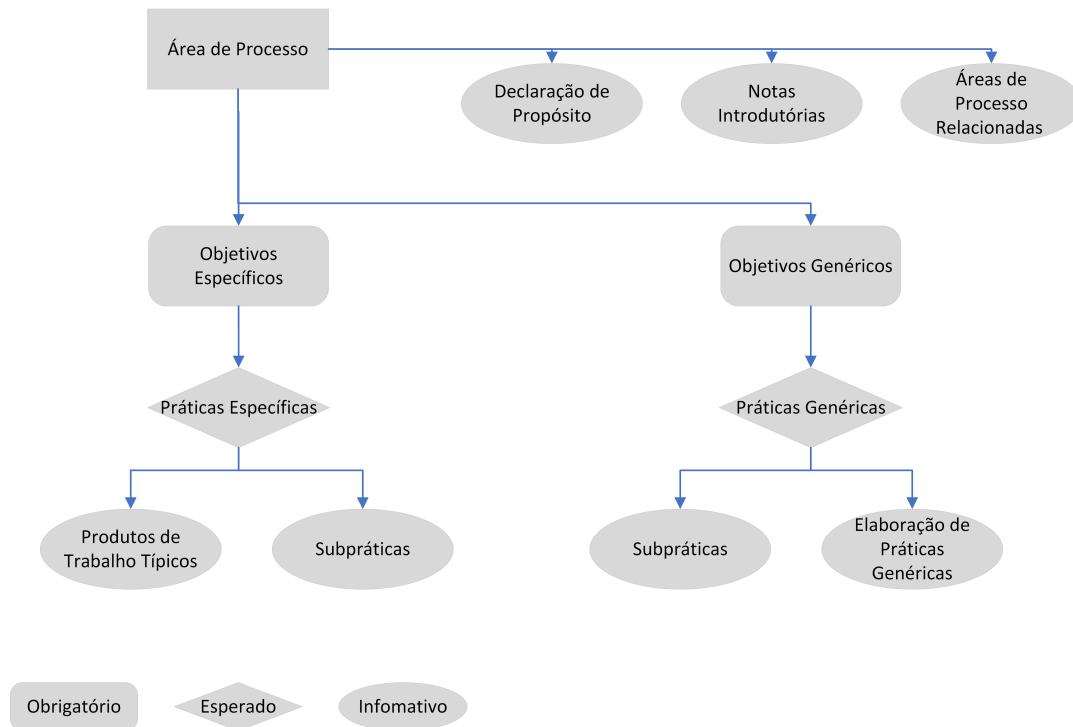
Componentes

Os componentes do modelo estão agrupados em 3 categorias.

- **Componentes Obrigatórios:** O que uma organização tem que implementar visivelmente em seus processos para satisfazer uma área de processos. Os componentes obrigatórios são especificados nos Objetivos Genéricos e Específicos (*Specific and Generic Goals* - GG e SG).
- **Componentes Esperados:** O que uma organização pode implementar para atingir um componente obrigatório. Componentes esperados incluem as Práticas Específicas e Genéricas (*Specific and Generic Practices* - SP e GP).
- **Componentes Informativos:** Oferecem detalhes que ajudam a organização começar a pensar na abordagem aos componentes obrigatórios e esperados.

Na Figura 15 (TEAM, 2010) é apresentada uma relação visual ente os componentes das áreas de processos.

Figura 15 – Componentes de áreas de processos



Fonte: Adaptado de Team (2010)

Níveis de Capacidade

Os níveis de capacidade são usados no CMMI para determinar o estado atual de uma área de processo e principalmente descrever o caminho recomendado para a melhoria dessa área ou de áreas de processos.

Para a representação contínua, utiliza-se Níveis de Capacidade (*Capability Level*). Para atingir um nível específico a organização deve atingir todos os objetivos determinados para aquele nível.

Um Nível de Capacidade consiste em um objetivo genérico e suas práticas genéricas relacionadas a uma área de processo, e ao satisfazer o objetivo genérico e suas práticas genéricas em cada nível de capacidade, tem-se efetivamente a melhoria do processo naquela área específica.

Na Tabela 2 são apresentados os níveis de capacidade e uma breve descrição.

Tabela 2 – Níveis de Capacidade

Nível de Capacidade	Descrição
0- Incompleto	Processo que ou não é realizado ou parcialmente realizado
1- Performado	Processo que satisfaça os objetivos específicos do área de processo.
2- Gerenciado	Processo performado que possui a infraestrutura básica de apoio. É executado de acordo com um plano; emprega pessoas qualificadas que têm recursos adequados para produzir resultados controlados; envolve as partes interessadas relevantes; é monitorado, controlado e revisado;
3- Definido	Processo gerenciado personalizado de acordo com as diretrizes e objetivos de negócio. Processos são tipicamente descritos com mais rigor e indica claramente o objetivo, entradas de informações, critérios de entrada, atividades, funções, medidas, etapas de verificação, saídas e critérios de saída
4- Gerenciado Quantitativamente	Processo definido que é controlado utilizando técnicas estatísticas. Processos quantitativos de qualidade e performance são estabelecidos.
5- Otimizado	Processo gerenciado quantitativamente que é melhorado com base na compreensão das causas comuns de variação inerentes ao processo. Foca em melhoramento contínuo.

Fonte: Autor

O nível visado para o projeto de melhoria vai definir quais objetivos e práticas genéricas serão empregadas na área de melhoria. Os Objetivos Genéricos evoluem de maneira que servem de base para o próximo nível.

3.1.2 Plano de execução CMMI e avaliação de áreas

A organização acadêmica não possui nenhuma área de processo implementada e não há nenhum processo definido para a execução do projeto de gêmeo digital. A partir disso, como já mencionado no texto foram selecionadas as áreas de processos e os próximos passos são a definição dos Objetivos Genéricos e Práticas Genéricas que devem ser atingidos para que se tenha um nível de capacidade estabelecido, porém para que isso seja possível as Práticas Específicas (processos de cada área devem estar definidos e implementados) devem ser definidas antes que se possa almejar um nível de maturidade acima do performado.

Inicialmente, busca-se um nível de capacidade Performado 1, dependendo da área de processo pode ser possível atingir os Objetivos Genéricos (G) e Práticas Gerias (GP) para níveis de capacidade gerenciado ou definido, porém só se poderá dizer com

certeza que determinada área de processo foi implementada de acordo com as diretrizes de nível superior ao performado após a finalização do planejamento do projeto. Pois com a finalização do planejamento tem-se todos as tarefas e processos a serem executados durante a fase de execução, validação e conclusão.

Importante destacar que algumas áreas de processos possuem praticas especificas que quando implementadas também implementam completamente uma prática genérica. O exemplo dado por Team (2010) é a área de processo Planejamento de Projeto e o GP 2.2 "Planeje o Processo", quando a área de planejamento de processo é estabelecida pode-se considerar que os processos foram definidos para o projeto inteiro. Portanto, o GP 2.2 está completo.

3.1.3 Objetivos Genéricos e Práticas Genéricas

A próxima seção descreve os Objetivos Genéricos e as Práticas Genéricas, seguidos de alguns exemplos relevantes para o projeto. Os Objetivos Genéricos são organizados em uma ordem numérica (GG 1 até GG 3) e as práticas genéricas de cada objetivo genérico são organizadas numericamente porém carregam o número do Objetivo Específico que as contém (Ex. GP 1.1).

- GG 1 - Atingir os objetivos específicos.
 - GP 1.1 - Performar Práticas Específicas: Desenvolver produtos e prestar serviços utilizando as Práticas Específicas das áreas de processo.
- GG 2 - Institucionalizar um processo Gerenciado.
 - GP 2.1 - Estabelecer uma Política Organizacional: Estabelecer uma política para planejar e executar processos.
 - GP 2.2 - Planejar o Processo: Estabelecer e manter o plano para performar o processo.
 - GP 2.3 - Prover Recursos: Fornece recursos adequados para a execução do processo, desenvolvimento dos produtos.
 - GP 2.4 - Atribuir responsabilidade: Responsabilidades podem ser atribuídas a partir de descrições criteriosas de trabalho ou pode ser feita dinamicamente desde que haja uma clara compreensão das responsabilidades.
 - GP 2.5 - Treinamento: Treinar pessoal, disponibilizando o set necessário de habilidades para performar os processos.

- GP 2.6 - Controlar Produtos de Trabalho: Estabelecer e manter a integridade do produto de trabalho. Em alguns casos é suficiente manter um controle de versionamento do produto, em outros casos é necessário que seja estabelecido formalmente configurações de produtos.
 - GP 2.7 - Identificar e envolver partes interessadas: Manter o envolvimento necessário das partes interessadas durante a execução do processo.
 - GP 2.8 - Monitoramento e Controle dos processos: Executar um monitoramento diário dos processos, com visibilidade e clareza. Avaliar o estado atual no projeto em relação ao plano, avaliar as possíveis mudanças de projeto, identificar e corrigir erros de planejamento.
 - GP 2.9 - Avaliar objetivamente a adesão: O objetivo dessa prática é garantir que os processos e os objetos de trabalho estejam sendo implementados de acordo com o planejado.
 - GP 2.10 - Revisão do status com a gerência de nível superior: Proporcionar gerência de alto nível com a visibilidade necessária para que eles possam verificar o status dos processos e atividades do projeto. Essa prática ajuda a garantir que decisões informadas e de qualidade possam ser feitas pelos gerentes responsáveis.
- GG 3 - Institucionalizar um Processo Definido: Os processos são institucionalizados como um processo definido.
 - GP 3.1 - Estabelecer um processo definido: A organização deve ter estabelecido os processos padrões que cobrem as áreas de processo, entretanto devem ter diretrizes para a customização de processos sob medida para determinado aplicação.
 - GP 3.2 - Coletar Experiências Relacionadas ao Processo: Coletar informações derivadas do planejamento e execução do processo. Exemplo de informações importantes a serem coletadas são produtos de trabalho, lições aprendidas, medições, e sugestões de melhoria. Esses documentos devem ser acrescentados ao um inventário da organização para que no futuro sejam usados como referência e base para melhorias.

3.1.4 Áreas de Processos

Nesta seção serão especificadas as áreas de processo, os Objetivos Específicos e as Práticas específicas que serão implementadas neste projeto.

Gerenciamento de projeto integrado (IPM)

O objetivo dessa área de processo é criar e manter o projeto e o envolvimento das partes interessadas. Com a concretização dessa área de processo tem-se um repertório de padrões de processos e para complementar a variabilidade entre projetos diminui, já que os mesmos podem compartilhar recursos, dados e lições aprendidas.

A área é composta por 2 Objetivos Específicos (SG) com Práticas Específicas (SP) em cada um. A seguir tem-se uma descrição de cada objetivo e prática.

- SG 1 - Usar o Processo Definido do Projeto: Utilizar processos contidos no conjunto de padrões da empresa e colocar sob medida na aplicação do projeto para desenvolver e entregar o produto.
 - SP 1.1 - Estabelecer o Processo Definido do Projeto: O processo definido do projeto consiste em processos definidos que formam um ciclo de vida integrado e coerente para o projeto.
 - SP 1.2 - Usar ativos do Processo Organizacional para planejar atividades de projeto: Quando disponíveis utilizar resultados e lições de projetos anteriores para o planejamento atual.
 - SP 1.3 - Estabelecer o ambiente de trabalho do projeto: Um ambiente de trabalho é composto, muitas vezes, por uma infraestrutura física, ferramentas e equipamentos para que as pessoas possam executar seus trabalhos.
 - SP 1.4 - Integrar Planos: Integrar planos de processos definidos de projeto, coordenação de partes interessadas, ativos de projeto e planos de critérios de entrada e saída de atividades.
 - SP 1.5 - Gerenciar o projeto utilizando planos integrados: Gerenciamento de projeto a partir dos processos definidos de projeto, plano de projeto e outros planos definidos para o projeto.
 - SP 1.6 - Estabelecer times: De acordo com as regras organizacionais, estabelecer times de projeto.
 - SP 1.7 - Contribuir para os ativos do Processo Organizacional: Contribuir com informações para melhoramento de processos, documentação e dados técnicos.
- SG 2 - Coordenar e colaborar com partes interessadas: Gerenciar as relações com partes interessadas do projeto.
 - SP 2.1 - Gerenciar o Envolvimento das Partes Interessadas: Coordenar quem deve participar das atividades, criação de agendas para atividades colaborativas.
 - SP 2.2 - Gerenciamento de dependências: Identificar as dependências críticas de projeto e interfaces de trabalho.
 - SP 2.3 - Resolver questões de coordenação: Identificar problemas, comunicar problemas e resolver problemas com as partes interessadas.

Planejamento de Projeto (PP)

O planejamento inclui estimar recursos necessários, negociar custos, criação de cronograma de projeto, estimar custos, datas, quantidade de trabalho e por fim fazer uma análise de riscos e planejar estratégias de mitigação. O termo plano de projeto vem sendo utilizado para definir a um plano geral que controla o projeto, esse plano pode ser composto por diversos outros documentos ou então um único documento que pretenda gerir todos os aspectos do projeto.

A área é composta por 3 Objetivos Específicos (SG) com Práticas Especificas (SP) em cada um. A seguir tem-se uma descrição de cada objetivo e prática.

- SG 1 - Estabelecer estimativas: Estabelecer os parâmetros do projeto para planejar, organizar, montar os times, coordenar tarefas e criar planejamento financeiro.
 - SP 1.1 - Definir escopo de projeto: Criar uma estrutura analítica de projeto para servir de panorama e *framework* inicial, gerando os chamados pacotes de trabalho.
 - SP 1.2 - Estabelecer estimativas de produtos de trabalho e atributos de tarefas: Estimar atributos de projeto, determinar a abordagem técnica do projeto (áreas técnicas exploradas).
 - SP 1.3 - Definir as fases do ciclo de vida do projeto: Definir fases do projeto, além das atividades relacionadas e recursos consumidos.
 - SP 1.4 - Estimativa de esforço e custo: Utilizar dados, parâmetros de outras experiências para estimar esforços e custos.
- SG 2 - Desenvolver um plano de projeto: Plano de projeto é um documento formal aprovado por gerentes de alto nível utilizado para gerenciar e controlar a execução do projeto.
 - SP 2.1 -Estabelecer o orçamento e o cronograma: O orçamento e o cronograma são baseados nas estimativas feitas no objetivo específico anterior.
 - SP 2.2 - Identificar riscos de projeto: Identificar riscos, probabilidades e impactos e plano de mitigação.
 - SP 2.3 - Plano de Gerenciamento de Dados: Determinar os dados que devem ser coletados e armazenados, definir mecanismos de arquivamento de dados.
 - SP 2.4 - Plano de recursos do Projeto: Definir os recursos de projeto e expandir WBS para pacotes de trabalho.
 - SP 2.5 - Plano de Conhecimento e Habilidades necessárias: Plano de treinamento equipes de projeto nos conhecimentos necessário para a performance das tarefas.

- SP 2.6 - Plano de envolvimento de partes interessadas: identificar pessoas que devem ser envolvidas no projeto e quantificar a relevância de cada um para determinadas fases do projeto.
 - SP 2.7 - Estabelecer o plano de projeto: Criar o documento que serve como plano de projeto.
- SG 3 - Obter o comprometimento com o plano: Garantir que todos na organização estejam comprometidos com o planejamento e prontos para a execução.
 - SP 3.1 - Revisar planos que afetam o projeto: Todos os planos desenvolvidos em diferentes áreas de processos devem ser revisados para garantir que possuem o mesmo escopo e guiam o projeto para um objetivo em comum.
 - SP 3.2 - Reconciliar o trabalho e os níveis de recursos: Comumente se faz necessário o ajuste entre estimativas de recursos e recursos disponíveis na hora da execução.
 - SP 3.3 - Obter o comprometimento com o plano: Identificar suporte necessário e comprometimento com partes interessadas.

Desenvolvimento de Requisitos (RD)

Esta área de processo desenvolve três tipos de requisitos, sendo eles do cliente, do produto e componentes do produto. Estes requisitos são refinados durante o ciclo de vida do produto, pois as decisões de projeto e a interação com as partes interessadas podem levar com que o desenvolvimento do produto tome outro caminho.

A área é composta por 3 Objetivos Específicos (SG) com Práticas Específicas (SP) em cada um. A seguir tem-se uma descrição de cada objetivo e prática.

- SG 1 - Desenvolver requisitos de clientes: Estabelecer os parâmetros do projeto para planejar, organizar, montar os times, coordenar tarefas e criar planejamento financeiro.
 - SP 1.1 - Obter Necessidades: Nesta prática deve-se ir além dos requisitos levantados pelo cliente, identificando as necessidades que não foram citadas pelo cliente.
 - SP 1.2 - Transformar as necessidades das partes interessadas em requisitos do cliente: As partes interessadas tem papel fundamental em definir as funções de negócio e também as funções técnicas do produto, portanto essas definições devem ser consideradas como requisitos de cliente.
- SG 2 - Desenvolver as requisitos do produto : Os requisitos do produto se referem as necessidades de cada fase do ciclo de vida do produto e são derivados dos requisitos do

cliente, de forma que o desenvolvimento dos conceitos de produto vão criar requisitos mais elaborados e precisos tecnicamente.

- SP 2.1 - Estabelecer os requisitos do produto e dos componentes do produto: Os requisitos de produto são a forma técnica de se expressar os requisitos dos clientes e são usados para decisões de desenvolvimento.
 - SP 2.2 - Atribuir os requisitos dos componentes do produto: Os requisitos dos componentes incluem forma, restrições de *design*, performance e funções para suprir os requisitos e facilitar produção.
 - SP 2.3 - Identificar requisitos de interface: Requisitos de interface se referem aos requisitos que moldam o contato e a relação ente componentes e funções do produto.
 - SP 2.4 - Analisar e validar os requisitos: Esta prática também serve para o objetivo específico de requisitos dos clientes. Análises devem ser realizadas para determinar o impacto que a solução planejada terá nos requisitos e expectativas.
- SG 3 - Analisar e validar os requisitos: Este objetivo também serve para o objetivo específico de requisitos dos clientes e produtos. Análises devem ser realizadas para determinar o impacto que a solução planejada terá nos requisitos e expectativas.
 - SP 3.1 - Estabelecer Conceitos e Cenários Operacionais: Conceitos operacionais e cenários são desenvolvidos para facilitar a seleção dos componentes do produto que, quando implementadas, irão satisfazer o uso pretendido do produto ou facilitar seu desenvolvimento e sustentação.
 - SP 3.2 - Estabelecer definição de funcionalidade requerida e atributos de qualidade: Criar uma descrição funcional dos sistemas, com ações, sequencias, *inputs*, *outputs* ou qualquer outra informação que explicita como o produto será utilizado.
 - SP 3.3 - Analisar requisitos: Os requisitos são analisados e define-se se são suficientes ou realmente relevantes para o desenvolvimento do projeto.
 - SP 3.4 - Analisar os requisitos para alcançar o equilíbrio: Modelos de análise, simulações e protótipos servem de base para analisar o equilíbrio entre os requisitos e restrições das partes interessadas.
 - SP 3.5 - Validar requisitos: Aplicar técnicas de análises, simulações, prototipagem e demonstrações para validar os requisitos.

Gerenciamento de Requisitos (REQM)

O objetivo é gerenciar todos os requisitos do projeto e quando esta área é implementada juntamente com a área de Solução Técnica os processos associados podem ser executados concorrentemente.

Após a criação dos requisitos pelas partes competentes, o comprometimento com os requisitos deve ser alcançado por parte dos participantes e a partir desse ponto, qualquer mudança e inconsistência entre os requisitos deve ser documentada para que seja possível manter rastreabilidade dentro do projeto.

A área é composta por 1 Objetivo Específico (SG) com Práticas Especificas (SP) em cada um. A seguir tem-se uma descrição de cada objetivo e prática.

- SG 1 - Gerenciar requisitos: Este objetivo específico trata-se de gerenciar mudanças, relações, alinhamento entre requisitos e tomar atitudes para a correção das inconsistências.
 - SP 1.1 - Entender requisitos: Esta prática trata do entendimento e alinhamento dos requisitos com as equipes de aplicação.
 - SP 1.2 - Obter comprometimento com os requisitos: Esta prática foca no acordo mútuo entre as partes responsáveis por executar ações que atendam os requisitos, de modo que estejam entendidos e concordados.
 - SP 1.3 - Gerenciar mudanças de requisitos: É importante que a organização tenha praticas para lidar com mudanças de requisitos e incorpora-las ao desenvolvimento do projeto.
 - SP 1.4 - Manter rastreamento bidirecional de requisitos: A rastreabilidade bidirecional permite identificar os requisitos fonte de um requisito de nível operacional e permite elencar os requisitos operacionais que derivam de um requisito de alto nível estratégico.
 - SP 1.5 - Garantir alinhamento entre trabalho do projeto e requisitos: Esta prática específica tem como objetivo identificar inconsistências entre o produto do trabalho e os requisitos de projeto, além de iniciar as ações corretivas para as inconsistências.

Solução Técnica (TS)

Esta é a área de processo onde os processos são direcionados para selecionar, desenvolver e implementar soluções para os requisitos levantados.

A área é composta por 3 Objetivos Específicos (SG) com Práticas Especificas (SP) em cada um. A seguir tem-se uma descrição de cada objetivo e prática.

- SG 1 - Selecionar soluções de componentes do produto: Selecionar uma solução é o produto final do levantamento de soluções e muitas vezes o uso de produtos que

já são comerciais são considerados em termos de custo, cronograma, performance e risco.

- SP 1.1 - Desenvolver soluções alternativas e critérios de seleção: Soluções alternativas devem ser identificadas e analisadas para permitir a seleção de uma solução equilibrada para os requisitos e funções.
 - SP 1.2 - Selecionar soluções de componentes do produto: A partir dos critérios de seleção estabelecidos, selecionar a solução que melhor cumpre os pontos desse critério.
- SG 2 - Desenvolver o *design*: Os *design* devem conter informações para implementação, modificação, manufatura, manutenção e serviços.
 - SP 2.1 - Desenvolver Produto ou componente de produto: A execução do produto é dividida em duas fases, sendo elas, o projeto conceitual e o detalhado.
 - SP 2.2 - Estabelecer pacote de dados técnicos: Este pacote é criado para documentar as definições de produto é mantido durante o ciclo de vida para armazenar detalhes e informações do produto.
 - SP 2.3 - Interface de projeto usando critérios: Os critérios para as interfaces frequentemente refletem parâmetros críticos que devem ser definidos, ou pelo menos investigados, para verificar sua aplicabilidade.
 - SP 2.4 - Realizar análises de fabricação, compra ou reutilização: Definir se os componentes do produto serão fabricados, comprados ou reutilizados de projetos anteriores.
- SG 3 - Implementar o *design* do produto: Os projetos de produtos são implementados a partir de seus *designs*.
 - SP 3.1 - Implementar o *design*: Com a finalização do projeto detalhado chega o momento do produto ser implementado.
 - SP 3.2 - Desenvolver documentação de suporte de produto: Esta prática visa a criação e a manutenção de documentação de produtos.

Verificação (VER)

O propósito dessa área de processo é garantir que os produtos do projeto atendam os requisitos especificados.

Verificação e validação são áreas similares mas diferem em um ponto muito específicos, enquanto validação garante que o produto foi construído para o uso intencional a verificação garante que o produto foi construído corretamente.

A área é composta por 3 Objetivos Específicos (SG) com Práticas Específicas (SP) em cada um. A seguir tem-se uma descrição de cada objetivo e prática.

- SG 1 - Preparar para a verificação: Preparar é um ponto crucial para a verificação. É neste momento que os testes, análises e demonstrações são definidos.
 - SP 1.1 - Selecionar produtos de trabalho para verificação: Deve-se selecionar os produtos de trabalho para verificação que mais contribuem para o comprimento de requisitos.
 - SP 1.2 - Estabelecer o ambiente de verificação: Pode-se escolher um produto de trabalho que deva ser verificado em uma instalação específica, um produto de trabalho que possa ser verificado em ambiente virtual ou com uma experimento científico.
 - SP 1.3 - Estabelecer procedimentos e critérios de verificação: Os critérios servem para verificar se os requisitos foram atingidos e os procedimentos servem para que haja um padrão na verificação.
- SG 2 - Realizar revisões por pares: As revisões por pares envolvem uma análise metódica dos produtos de trabalho pelos pares de produção para identificar defeitos e para recomendar outras mudanças.
 - SP 2.1 - Preparar revisão por pares: Identificar a equipe, preparar material e definir critérios da revisão.
 - SP 2.2 - Conduzir revisão por pares: O objetivo da revisão é descobrir e eliminar problemas de forma precoce.
 - SP 2.3 - Analisar dados da revisão por pares: Armazenar dados da verificação e analisar os dados da verificação.
- SG 3 - Selecionar produtos de trabalho selecionados: As atividades de verificação são comuns durante o ciclo de vida do produto e são usadas para verificar os produtos de trabalhos associados com manutenção, suporte e treinamento.
 - SP 3.1 - Performar verificação: Promover a detecção de problemas de forma precoce e solucionar esses problemas.
 - SP 3.2 - Analisar resultados de verificação: Comparar resultados reais com critérios de verificação para determinar a aceitação dos produtos de trabalho.

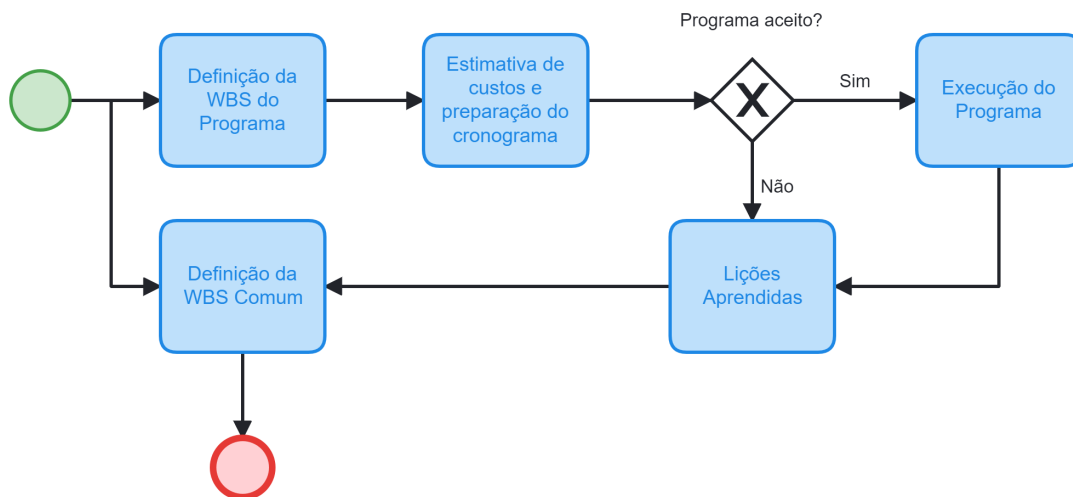
3.2 Metodologia de gerenciamento do projeto - *Integrated Program Planning and Execution (IPP&E)*

As organizações geralmente se baseiam em documento no Word, tabelas no Excel e ferramentas de cronogramas para planejar e controlar projetos e programas. A solução do

Teamcenter *Integrated Program Planning and Execution* (IPP&E - Execução e planejamento integrado de programas) garante uma perspectiva abrangente do planejamento de projetos, de modo a integrar custos, cronogramas, riscos e requisitos técnicos.

O Processo operacional sugerido por Siemens Digital Industries Software (2022a) está apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Processo Operacional IPP&E



Fonte: Autor

A seguir serão definidos os processos da solução:

- **Definição da WBS do programa:** A WBS é uma estrutura hierárquica, na qual o item mais inferior representa uma tarefa que deve ser entregue para atingir determinado objetivo, este nível mais inferior da estrutura hierárquica também é chamado de pacote de trabalho.
- **Estimativa de custos e preparação do cronograma:** Mão de obra, material, recursos humanos e outros custos são definidos nesta fase, além da criação do cronograma baseado nos pacotes de trabalho criados no processo anterior.
- **Execução do Programa:** Todo o planejamento do projeto feito previamente é executado no Teamcenter.
- **Definição da WBS Comum:** Esta fase consiste na definição de um template de WBS, que pode ser usada para programas semelhantes.
- **Lições aprendidas:** Com a finalização do programa, é comum a reunião de pontos importantes que devem ser levados para futuros programas e para que a organização possa aprender com seus desenvolvimentos e erros.

A seguir serão detalhados os processos utilizados para a construção do *framework* proposto.

3.2.1 Definição da WBS do programa

A WBS do programa proporciona uma estrutura para o trabalho necessário para atingir os objetivos do programa.

Um programa pode ser composto por projetos e subprojetos, que podem ser entendidos como subdivisões de organização do programa. Além dos projetos e subprojetos tem-se os eventos, que são a representação de um ponto no tempo importante para o programa, projeto ou subprojeto, alguns exemplos de eventos são: Aprovação do corpo executivo, reunião de lançamento do projeto, entrega de um *design* de produto chave, início da produção física ou então início dos testes e verificação.

Como padrão de criação da WBS, começa-se com o objetivo final para que depois haja uma subdivisão de objetivos em componentes gerenciáveis em termos de tamanho, esforço e duração.

Os níveis de uma WBS estão relacionados com os requisitos do programa. A partir dessa relação os objetivos técnicos detalhados são inseridos e os escopos de trabalho para cada objetivo é determinado. Os recursos, materiais e processos necessários para atingir o objetivo de cada pacote de trabalho é incrementalmente estimado.

Eventualmente estes pacotes de trabalho serão mapeados para uma tarefa em um cronograma e a sequência entre estas tarefas pode ser definida por uma relação de sequenciamento entre pacotes de trabalho.

Outros aspectos importantes para o programa são os riscos e oportunidades. Os riscos, de acordo com PMI (2013), são eventos ou condições incertas que, se ocorrerem, provocarão um efeito positivo ou negativo em um ou mais objetivos do projeto. Caso o resultado de um risco seja positivo o IPP&E chama de oportunidade.

3.2.2 Estimativa de custos e preparação do cronograma

Depois de estabelecer os objetivos, escopo e tarefas, a definição de custos e criação de cronogramas deve ser executada antes da execução do programa, importante destacar a relevância destas estimativas no processo de planejamento de projeto e programas.

Os custos relacionados a tirar o projeto do papel não serão estimados e não devem ser integrados aos planos do programa.

O entregável do programa é um objeto especial para o Planejamento do Programa e pode ser usado como um recipiente para os produtos de trabalho reais a serem criados ou modificados. Na abordagem integrada da gestão de programas os entregáveis são subprodutos dos pacotes de trabalho definidos na WBS, proporcionando uma conexão entre a WBS e os entregáveis dos eventos. O entregável do programa pode ser usado para:

- Agrupar o programa, o projeto, o subprojeto e os resultados do evento de uma maneira lógica, por exemplo, todos os documentos de qualidade.
- Criar contêiner para produtos de trabalho que ainda não existem.

A ferramenta de planejamento do programa permite a criação automática de cronogramas que controlam o trabalho necessário para completar os entregáveis dos eventos, em outras palavras, todo entregável precisa passar por um grupo de tarefas padrão.

Se necessário, os cronogramas individuais criados para cada entrega em um evento podem ser agrupados em um cronograma principal para esse evento. Pode-se repetir os passos anteriores para se criar os cronogramas mestres para cada evento do programa e a partir disso o cronograma mestre do programa vai agrupar todos os cronogramas para os eventos individuais.

3.2.3 Execução do Programa

A abordagem de gerenciamento de programas e projetos traz a vantagem de utilizar os mesmos cronogramas gerados durante a fase de planejamento na fase de execução, sendo assim, promovendo uma rastreabilidade completa entre objetos de trabalho e garantindo consistência entre os dados do projeto.

As tarefas são automaticamente iniciadas, pois podem ser configuradas com gatilhos de datas ou fluxos de trabalho, cada participante envolvido na execução desta tarefa irá receber uma mensagem dentro no Teamcenter contendo todas as informações necessárias para executar o trabalho.

É comum que durante a execução do programa hajam atrasados em tarefas específicas, os resultados podem estar em desacordo com a qualidade, tarefas podem ser rejeitadas. Para lidar com essas situações, muitas vezes, os cronogramas devem ser reestruturados para acomodar os desvios no percurso, adicionando novas tarefas, realocando recursos, modificando as datas de execução. A partir de um planejamento profundo e bem estruturado, deve-se fazer de tudo para seguir o cronograma, mas caso haja algum problema, os envolvidos no planejamento e execução deve se adaptar para a nova realidade, esta é a essência da fase de execução do programa.

3.2.4 Lições Aprendidas

Depois da finalização de um programa, a fase de lições aprendidas se inicia, nela a incorporação de conhecimento adquirido durante o planejamento e a execução do programa à base de conhecimento da organização é estabelecida.

Esta fase pode ser executada de diversas maneira, porém se baseia na criação de documentos e objetos de trabalho que servirão de estrutura para o planejamento e execução dos próximos programas e projeto. Estes documentos são armazenados no Teamcenter, muitas vezes como templates ou então são referenciados como recursos para a criação de outros programas.

3.3 Metodologia para desenvolvimento técnico do projeto - *Model-Based Systems Engineering* (MBSE)

Para compreender o MBSE (Sistemas de Engenharia Baseados em Modelos) primeiro se faz necessário o entendimento de *Systems Engineering*, ou em português, Sistemas de Engenharia. De acordo com Garrett (2019), sistemas de engenharia é uma abordagem de gestão, execução e manutenção de um sistema, essa abordagem envolve diversas disciplinas e deve ser estabelecida como um método.

Aprofundando um pouco mais na definição, um sistema é construído para atingir uma necessidade ou requisito e combina elementos funcionais para gerar o resultado esperado. Os elementos podem ser, softwares, hardwares, equipamentos, instalações físicas, força de trabalho e processos necessários para produzir os resultados que podem ser, propriedades, características, funções, comportamentos e performance.

Em outras palavras, é um jeito de se atingir requisitos, funcionais, físicos e operacionais de partes interessadas durante o ciclo de vida do produto, por meio do planejamento do custo, cronograma e outras restrições de projeto. Se tornando crucial para a organização do projeto, pois foca nas decisões técnicas do projeto.

E os sistemas de engenharia baseados em modelos se difere do sistemas de engenharia comum, pois foca em criar e usar modelos de domínios como fonte primordial de informação e troca de dados entre engenheiros, diferentemente do modelo baseado em documentos. Pode-se dizer que o modelamento CAD, *Computer Aided Engineering* (CAE), sistêmico, *Computer Aided Manufacturing* (CAM) e simulações suportam os requisitos de *design*, análises, verificação e validação dos produtos de projeto começando na fase conceitual e chegando as fases tardias do ciclo de vida do produto.

MBSE reúne o desenvolvimento de produtos de vários domínios (como mecânico, elétrico e software) juntamente com considerações como custo, confiabilidade e fabricação. O MBSE ajuda a definir o que será construído, verificar o projeto e orquestrar o processo de desenvolvimento.

O documento *Active Workspace 6.0 Model-Based Systems Engineering* (Siemens Digital Industries Software, 2022b) contém os processos de negócio definidos pela Siemens Software para o MBSE. A seguir serão apresentados esses processos.

1. **Planejar programa e produto:** Criar projeto, gerenciar mudanças, gerenciar problemas, planejar produto.
2. **Gerenciamento de requisitos:** Fornece as diretrizes para adquirir e gerenciar requisitos.
3. **Modelagem de sistema:** Fornece as diretrizes para criar modelos que representem com acurácia o produto.

4. **Gerenciamento de testes:** Apresenta as etapas para validar se o *design* foi modelado corretamente.
5. **Gerenciamento de parâmetros globais:** Define e gerencia os parâmetros do projeto.
6. **Definir solução física e criar layouts:** Esse processo após a completude do MBSE e fornece as instruções para criar os dados de *design* por meio do qual o produto vai ser fabricado.

3.3.1 Gerenciamento de requisitos

O projeto começa com a determinação de funções e formas que conduzem à requisitos que informam a arquitetura. À medida que os conceitos amadurecem, as exigências a nível de sistema podem mudar, assim como a compreensão geral de como o sistema se parece. Portanto tem-se requisitos de produto que geram requisitos de sistemas que em algum momento vão gerar requisitos de componentes.

É comum que uma organização use tabelas no Excel, documentos no Word e algumas ferramentas para achar esses tipos de documento quando elas lidam com a criação e gerenciamento de requisitos. O fato desses documentos estarem isolados em uma única máquina já é um problema, porém esse problema se agrava pois os dados e informações contidos nesses documentos não estão acessíveis para todos na organização e nem conectados com os dados de desenvolvimento.

O MBSE juntamente com o Teamcenter resolve esse problema, inserindo os requisitos no ciclo de vida do produto. De forma que a criação de requisitos será feita na plataforma e a ligação dos requisitos com os equipamentos, funções e parâmetros será feita e gerenciada pelo sistema PLM.

A seguir será apresentado os processos de negócio, de acordo com *Active Workspace 6.0 Model-Based Systems Engineering* (Siemens Digital Industries Software, 2022b).

1. **Criar ou importar requisitos:** Criar os requisitos e importar para o sistema.
2. **Adicionar conteúdo aos requisitos no sistema PLM:** Editar propriedades, modificar estrutura.
3. **Criar linha base de requisitos:** Gerar linha base de requisitos para comparação posterior.
4. **Associar requisitos com modelos de sistemas usando *trace links*:** Criar *trace links* e gerenciar conexões de requisitos com outros sistemas, conjuntos e subconjuntos.

De acordo com os processos de negócio definidos nessa seção, o primeiro passo a ser dado é a criação de requisitos.

Feita a importação dos requisitos para o sistema PLM é possível avançar para o processo número 2 dessa seção - Adicionar conteúdo aos requisitos no sistema PLM. Basicamente esse processo é a edição da estrutura de requisitos dentro do sistema PLM. Caso seja necessário pode-se adicionar requisitos ou parágrafos às especificações, reorganizar os números dos parágrafos, criar novos requisitos, reorganizar estrutura, deletar requisitos ou parágrafos.

Toma-se como definidos todos os requisitos iniciais de projeto depois da execução do processo 2, com isso pode ser gerado a linha base dos requisitos de projeto. Feito isso, o processo número 3 estará completo.

Por fim, o processo número 4 - Associar requisitos com modelos de sistemas usando *trace links* deve ser executado. Quando os requisitos e o modelamento do sistema estão completos os *trace links* vão garantir a conexão e rastreabilidade entre requisitos, funções, logicas e objetos físicos.

3.3.2 Modelagem de Sistema

Esta seção começa com uma definição de sistemas trazido por Sillitto *et al.* (2019).

Que diz que um sistema é um arranjo de partes ou elementos que juntos exibem um comportamento ou significado que os constituintes individuais não exibem. Serve para guiar o modelamento, simulação, otimização, verificação, produção e, por fim, a manutenção de produtos supercomplicados, desde que os requisitos possam ser refinados para restringir o processo de *design*, assegurando que possam ser validados e verificados.

O entendimento de engenharia de sistemas serve de base para a definição de MBSE. A modelagem de sistemas com MBSE permite governar domínios e coordenar o desenvolvimento de produtos através de uma abordagem que conecta os modelos do sistema, seus criadores e dados de desenvolvimento relevantes. Os processos de negócio da modelagem de sistema permite a criação de sistemas no contexto do projeto.

Fazendo um paralelo com o passado, talvez há menos de 20 anos atrás o armazenamento de dados relevantes ao *design* era feito em tabelas de Excel e documentos do Word, tudo girava em torno de documentos o que tornava difícil o gerenciamento de dados em uma perspectiva mais abrangente. Entretanto, MBSE tornou os elementos que eram baseados em documentos para baseados em modelos conectados por um segmento digital, que pode ser entendido como o alinhamento de programas funcionais de engenharia, cadeia de suprimentos, produção e suporte de produto.

A seguir será apresentado os processos de negócio para a modelagem de sistemas, de acordo com Siemens Digital Industries Software (2022b).

1. **Planejar projeto de sistemas:** Criar o contexto do sistema, definir arquitetura conceitual do sistema, buscar soluções similares para o sistema.
2. **Modelar o sistema solução:** Criar o modelo do sistema, decompor sistemas que

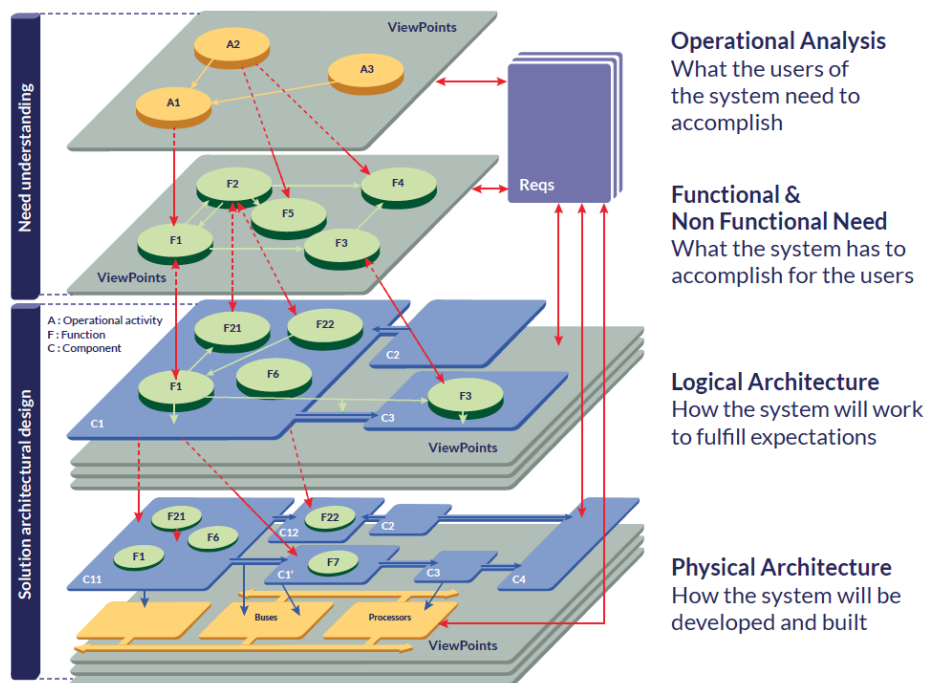
podem corresponder a submontagens, definir a interface entre elementos do sistema, gerar BOM da estrutura de produto.

3. **Preparar dados para simulação e verificação:** Associar atributos mensuráveis aos blocos do sistema, requerer análise de verificação.

Modelo de Sistemas - *Architecture Analysis & Design Integrated Approach* (ARCADIA)

O modelo de sistemas no qual esse projeto se baseia é chamado de ARCADIA. Este método é importante pois, auxilia no entendimento do problema, defini qual parte do problema será resolvido e ajuda a delimitar os meios pelos quais o problema será resolvido. A seguir está apresentado, na Figura 17, um diagrama esquemático do fluxo de modelamento de MBSE utilizando o método ARCADIA.

Figura 17 – Conceito do método ARCADIA



Fonte: (CAPELLA, 2022)

De acordo com Roques (2017) ARCADIA é um método de engenharia estruturado com o objetivo de definir e validar a arquitetura de sistemas complexos de engenharia. Permite a colaboração de *stakeholders* no processo de desenvolvimento.

Como princípios para a aplicação do ARCADIA tem-se o compartilhamento de metodologias entre *stakeholders*, para que a mesma informação, tecnologia do produto possa ser compartilhada e acessada por todos. As regras de verificação devem ser definidas em fases iniciais para proporcionar a verificação da arquitetura o mais rápido possível.

Como ultimo princípio tem-se a co- engenharia entre diferente níveis e domínios de aplicação, que é apoiada pela elaboração conjunta de modelos e os modelos elaborados por diferentes frentes de engenharia devem ser validados, deduzidos e conectados uns com os outros.

Como apresentado na Figura 17, o método é composto por 4 níveis de arquitetura e a seguir cada nível será devidamente introduzido.

Análise Operacional (*Operational Analysis*)

Nível inicial do método ARCADIA, objetiva identificar as necessidades dos usuários do sistema, em outras palavras pode ser interpretado pelas respostas das seguintes perguntas: O que os usuários do futuro precisam performar? Quais são os atores que vão interagir com o sistema? Quais serão as atividades destes atores? Como será a iteração entre os atores do sistema?

Análise de Sistema (*System Analysis*)

Com a análise operacional bem definida, o próximo nível de desenvolvimento do método ARCADIA é a Análise de Sistema, que envolve a identificação das funções e capacidades do sistema que vão satisfazer as necessidades operacionais.

Esta fase deve responder as seguintes perguntas: O que o sistema deve proporcionar para o usuário? Quais as funções que são necessárias pelos usuários? (calcular a velocidade dos motores, detectar interferências)

Arquitetura Lógica (*Logical Architecture*)

Esta fase se baseia na identificação de componentes lógicos dentro do sistema. Independentemente de tecnologias disponíveis as relações e considerações devem ser definidas para que o sistema funcione para cumprir todas as expectativas levantadas nas fases anteriores. Os componentes lógicos serão definidos de forma que carregam as funções.

Arquitetura Física (*Physical Architecture*)

Ultimo nível abordado neste trabalho, possui como objetivo a definição final da arquitetura do sistema, acrescenta funções necessárias para implementação, escolhas técnicas e os componentes físicos. Para que esteja de acordo com o método esta fase tem que responder com propriedade a seguinte pergunta: como o sistema será desenvolvido e construído?

System Modeling Workbench

Para este projeto, como ferramenta de modelamento, foi escolhido o Software System Modeling Workbench by Capella, pois é um software desenvolvido especialmente para o modelamento utilizando o método ARCADIA e possui um integração muito bem estruturada com o Teamcenter, na qual os requisitos e parâmetros do Teamcenter podem

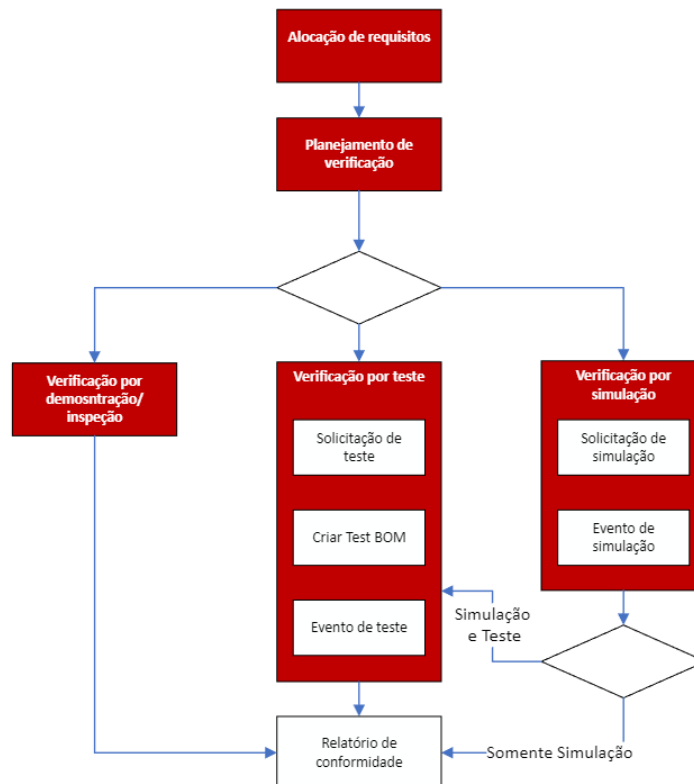
interagir com as funções e componentes do ARCADIA.

3.3.3 Gerenciamento de Testes (Verificação)

Também conhecido por verificação e validação, o gerenciamento de testes é usado para garantir que as especificações e requisitos estejam sendo cumpridas no projeto. Validação garante que o produto esteja de acordo com as demandas das partes interessadas enquanto verificação garante que o produto esteja de acordo com regulações e requisitos.

A construção do produto integrado ao sistema PLM permite a execução de um processo que vai garantir que o produto certo está sendo construído, no documento *Active Workspace 6.0 Model-Based Systems Engineering* (Siemens Digital Industries Software, 2022b) está contido a Figura 18, um diagrama comum dos processos de testes.

Figura 18 – Processo básico de testes



Fonte: Adaptado de Siemens Digital Industries Software (2022b)

1. **Alocação de requisitos:** Criar conexão entre requisitos, especificações e produto e partes de produtos.
2. **Planejar verificação:** Planejar atividades necessárias para garantir que os requisitos sejam cumpridos, identificar modelos de simulação, planejar tempo de testes e definir parâmetros para serem medidos.

3. **Verificação por demonstração/inspeção:** Caso o produto físico já exista, essa é uma maneira de verificação de como foi construído.
4. **Verificação por teste:** Iniciar a solicitação de teste contendo as tarefas que devem ser executadas, iniciar teste entre requisitos mensuráveis específicos, requisitos de teste e condições de teste.
5. **Verificação de requisitos por simulação:** Performar uma simulação de engenharia e determinar se o *design* satisfaz os requisitos de produto.
6. **Relatório de conformidade:** Relatar conformidade com requisitos e obter status de verificação (verificado ou não verificado) depois de completar as tarefas definidas para coleta de dados suficientes.

Planejamento de verificação

Planejamento de verificação fornece as atividades necessárias para identificação, consolidação, e conexão dos artigos de testes e modelos de simulação. Para que a fase de planejamento de testes seja bem sucedida, os artigos de testes (itens de teste) e modelos de simulação devem estar relacionados apropriadamente com os requisitos que os definem.

Verificação e teste de requisitos

Como pode-se ver na Figura 18 a execução da verificação se divide em 3 caminhos: Verificação por Inspeção/Demonstração, Verificação por Teste e Verificação por simulação. A seguir cada uma dos caminhos de verificação serão detalhados em suas tarefas.

Verificação por Inspeção/Demonstração

Pode-se verificar requisitos pela simples inspeção do produto físico ou por uma demonstração para as partes envolvidas relevantes. Entre os modelos de verificação apresentados neste projeto é o mais simples e é executado exclusivamente em domínio físico, porém seus resultados devem ser documentados em ambiente virtual para que se mantenha a rastreabilidade.

Verificação por Teste

A Verificação por teste é feita quando se quer verificar requisitos de produto por meio de um teste físico, em outras palavras, se faz necessária a construção de um protótipo físico baseada em um configuração de testes capaz de suportar instrumentos de medição.

Verificação por Simulação

Este tipo de verificação compreende as tarefas para verificar requisitos através de simulações e análises em ambiente virtual. Dados de modelos CAE/CAD são integrados

ao Teamcenter para que seja possível fazer verificação estrutural, de movimentação, de fluidos, aerodinâmica e análises de geometria.

3.3.4 Gerenciamento de parâmetros globais

A solução de gerenciamento de parâmetros globais permite a definição e gestão de diferentes tipos de parâmetros a partir de uma única fonte que é compartilhada entre os domínios de engenharia. É possível maximizar a reutilização e a consistência dos valores dos parâmetros em todos os estágios de desenvolvimento e em múltiplos programas, já que o trabalho com definições únicas e compartilhadas permite evitar a duplicação de parâmetros em diferentes domínios de engenharia.

A solução de gerenciamento de parâmetros globais no Teamcenter permite a criação e operação de dicionários de parâmetros e a captura de valores de parâmetros associados às suas definições. Os dicionários de parâmetros funcionam como um repositório para armazenar as definições de parâmetros para um determinado projeto de engenharia.

Já a definição de parâmetro é criada para estabelecer um valor ótimo e um intervalo de aceitação de *design* que pode ser usado por engenheiros em diferentes frentes de trabalho e componentes de produtos distintos. São criadas as definições para que não seja necessária a criação de diversos parâmetros que possuam o mesmo nome e características, como por exemplo a definição de parâmetros Peso. Peças diferentes tem pesos diferentes, portanto criamos uma única definição de parâmetro chamada Peso e para cada peça este parâmetro é associado com um valor ótimo diferente e um intervalo de aceitação específico para a peça.

Cabe finalizar as designações desta seção com os parâmetros. Que derivam das suas definições e tem como objetivos armazenar resultados de medições ou de servir como *input* para *designs*. Um parâmetro tem um valor único e varia entre os limites configurados nas suas definições, além disso deve ser associado a um item, parte, componentes de sistema, requisito dados de simulação ou dados CAD. São características de um modelo que fornece uma medida de forma, encaixe e função em termos de comportamento esperado. Pensando em um desenvolvimento de um veículo, alguns exemplos de parâmetros são: saída de monóxido de carbono, eficiência de combustível, velocidade máxima, tempo de vida de peças em estresse.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Objetivo deste capítulo é apresentar os resultados do processo de criação de um *framework* de iniciação de um projeto de gêmeo digital na academia. Além desta estrutura será também apresentado o estudo de caso da aplicação deste *framework*.

As discussões sobre os resultados e aspectos específicos do projeto também serão trazidos neste capítulo.

4.1 *Framework* para o desenvolvimento de um gêmeo digital

Esse projeto busca satisfazer a metodologia de construção de processos em uma organização (CMMI). No Capítulo 3 foram exploradas as definições e particularidades desse método. Classificar organizações de acordo com o nível de maturidade dos processos internos e definir, em detalhes, os processos que devem ser executados e os objetivos específicos de cada área de processo é uma grande vantagem deste método.

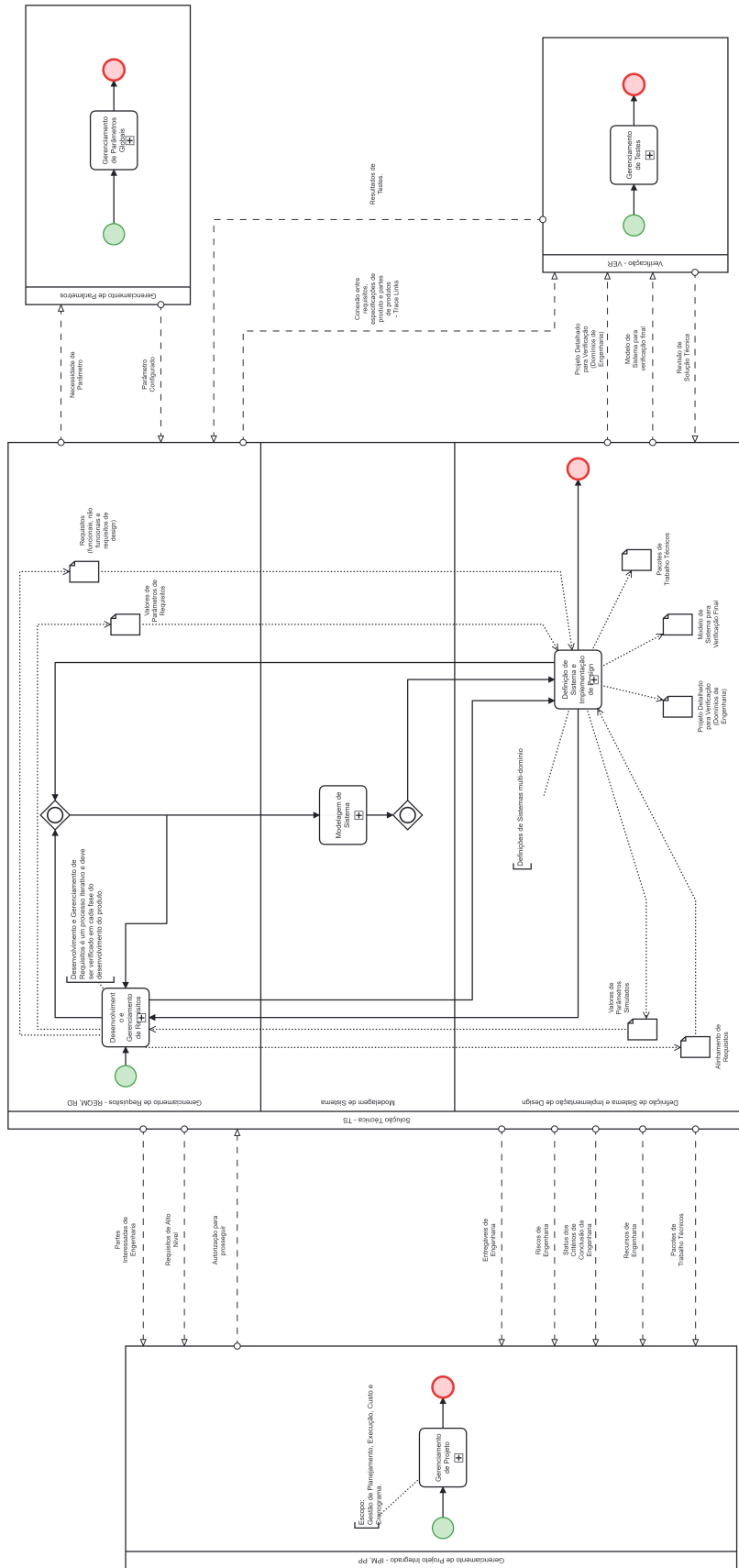
Para a aplicação no projeto de uma impressora 3D com robô tipo delta, parte-se do princípio que o nível de maturidade é o 0 (incompleto), onde os processos dentro das áreas de interesse não são realizados ou são parcialmente realizados. Para que se possa alcançar o nível 1 - Performado, a implementação e execução dos objetivos específicos deve acontecer.

Então, dado as áreas de processo selecionadas (Planejamento de Projeto - PP; Gerenciamento de projeto integrado - IPM; Desenvolvimento de Requisitos - RD; Gerenciamento de Requisitos - REQM; Solução Técnica - TS; Verificação - VER), tem-se os objetivos específicos e práticas específicas que devem ser satisfeitos para que se atinja o nível 1- Performado. O detalhamento das práticas e objetivos específicos é trazido na seção seção 3.1.4.

Seguindo com o desenvolvimento foram escolhidas metodologias aplicadas a soluções de softwares Siemens, que buscam satisfazer a implementação e execução das áreas de processo trazidas pelo CMMI. Portanto, para as áreas de PP e IPM a solução é o IPP&E, para as demais tem-se o MBSE. Importante destacar que para a solução técnica há a possibilidade de inúmeras metodologias de execução, a escolha depende de quais domínios de engenharia serão alcançados e a profundidade e complexidade do resultado esperado. Tendo isso em vista, dentro da metodologia do MBSE na área de processo de TS, serão utilizados o método de desenvolvimento de sistema ARCADIA, modelamento 3D no software NX e simulação de movimentação no software NX.

A partir da base estabelecida pelas metodologias e baseado também em desenvolvimento e implementação de projetos PLM, foi possível criar um *framework* global para a iniciação de um projeto de gêmeo digital. A Figura 19 apresenta a estrutura criada.

Figura 19 – Framework de processos global



Fonte: Autor

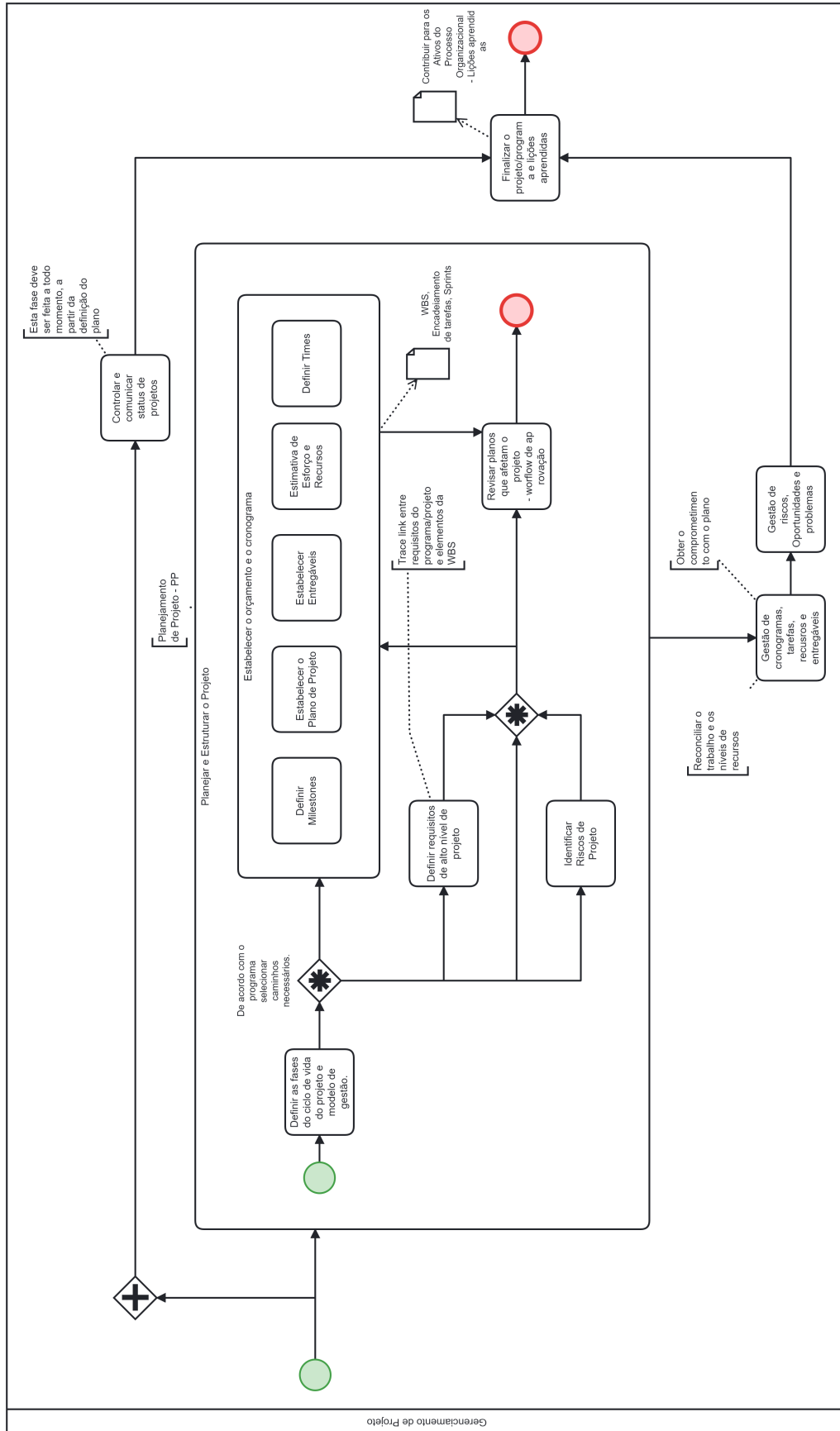
Na Figura 19 tem-se as áreas de processos IPM e PP, TS, VER e Gerenciamento de Parâmetros. Essas quatro podem ser entendidas como as grandes áreas de processos que irão definir o projeto. Dentro da área de processo de TS, há uma subdivisão entre 3 outras áreas, sendo elas Gerenciamento de Requisitos (REQM, RD), Modelagem de Sistema e Definição de Sistema e Implementação de *Design*. As linhas pontilhadas entre as áreas de processos designam trocas de informações que devem ser geradas em uma determinada área e consumidas em outra. Por fim, os itens mostrados como se fossem páginas de um documento são produtos de saída de algum processo (*outputs*), podendo ser documentos no Word, uma WBS, o projeto 3D de um componente, que muitas vezes também são gerados em uma tarefa específica de uma área de processo e devem ser consumidos em outra área de processo. Na Figura 19 o fluxo de outputs também está definido por uma linha pontilhada, porém está menos espaçada.

A seguir, cada uma das áreas de processos serão especificadas em tarefas e pacotes de trabalho e para completar será dada a justificativa para a escolha das tarefas de acordo com as metodologias trazidas neste projeto (CMMI, IPP&E, MBSE, ARCADIA, Modelamento 3D no NX e simulação 3D no NX).

4.1.1 Gerenciamento de Projeto Integrado - IPM, PP

A primeira área de processo a ser explorada é a de Gerenciamento de Projeto Integrado, que engloba as áreas IPM e PP do CMMI. Nesta área de processo tem-se um subprocesso definido por Gerenciamento de Projeto, na Figura 20 estão mostradas as tarefas deste subprocesso.

Figura 20 – Processos de Gerenciamento de Projetos



Fonte: Autor

A seguir, serão definidos em tópicos cada uma das subtarefas e além disso haverá uma comparação com os métodos explorados no projeto servindo também como justificativa para a escolha destas tarefas.

- **Definir as fases do ciclo de vida do projeto e modelo de gestão:** Definir até que fase o projeto de iniciação de um gêmeo digital irá alcançar, podendo passar por conceito, desenvolvimento, protótipo, lançamento, manufatura, distribuição, uso, serviços e reciclagem. Além de definir como o projeto será gerenciado (*Agile*, tradicional ou um modelo híbrido).
- **Estabelecer o orçamento e o cronograma:** Identificar premissas do cronograma, identificar restrições, definir cronograma e orçamento, estabelecer critérios das ações corretivas.
 - **Definir *Milestones*:** Definir datas pré-estabelecidas como importantes e que funcionam como pontos de divisão, fragmentando o cronograma em partes.
 - **Estabelecer o Plano de Projeto:** Construir documentação necessária para gerenciar o projeto.
 - **Estabelecer Entregáveis:** Estabelecer Entregáveis: Definir os *outputs* de tarefas dentro do escopo do projeto.
 - **Estimativa de Esforço e Recursos:** Processo de desenvolvimento de uma aproximação dos recursos monetários necessários para completar as atividades do projeto.
 - **Definir Times:** Estruturar times de projetos e times dentro da organização. Os times servem para delimitar grupos de responsabilidades.
- **Definir requisitos de alto nível de projeto:** Identificar os requisitos iniciais do projeto que foram identificados, inicialmente, pelas partes interessadas e que, posteriormente, serão detalhados.
- **Identificar Riscos de Projeto:** Identificar riscos de custo, técnicos, de desempenho, execução, estratégicos, operacionais, legais e organizacionais.
- **Revisar planos que afetam o projeto - *workflow* de aprovação:** A revisão é feita a partir de um *workflow* no TC que envolve os gerentes e responsáveis técnicos.
- **Gestão de cronogramas, tarefas, recursos e entregáveis:** Tarefa que busca gerir informações dos itens do cronograma, atualização de tarefas, controle de recursos e obtenção e aprovação de entregáveis.
- **Gestão de riscos, oportunidades e problemas:** Definidos os riscos e oportunidades, os mesmos devem ser acompanhados durante a execução para uma possível tomada de decisão, tanto para mitigação de riscos quanto para aproveitamento de oportunidades.

- **Controlar e comunicar *status* de projetos:** Esta fase deve ser feita a todo momento, a partir da definição do plano já que o projeto estará em andamento e todas as partes interessadas devem estar atualizadas quanto ao *status* do projeto.
- **Finalizar o projeto/programa e lições aprendidas:** Com esta tarefa, busca-se um encerramento formal do projeto, com uma última entrega definida no plano e a elaboração de documentos de lições aprendidas.

Para efeito de comparação na Tabela 3 está apresentada, na coluna da esquerda, as práticas específicas das áreas de processo PP e IPM e na coluna da direita como estas práticas estão refletidas no processo de Gerenciamento de Projeto.

Tabela 3 – Comparação entre CMMI e processo Gerenciamento de Projeto Integrado - IPM, PP

	CMMI	<i>Framework</i> de Projeto
Planejamento de Projeto - PP	SP 1.1 - Definir escopo de projeto	A definição do escopo está atrelada a definição da WBS e aos pacotes de trabalho.
	SP 1.2 - Estabelecer estimativas de produtos de trabalho e atributos de tarefas	Definição de tarefas, entregáveis e pacotes de trabalho.
	SP 1.3 - Definir as fases do ciclo de vida do projeto	Definir as fases do ciclo de vida do projeto e modelo de gestão: Definir até que fase o projeto de iniciação de um gêmeo digital irá alcançar.
	SP 1.4 - Estimativa de esforço e custo	Neste projeto os custos não serão estimados.
	SP 2.1 -Estabelecer o orçamento e o cronograma	Neste projeto os custos não serão estimados, porém o estabelecimento de cronogramas compõe a tarefa - Estabelecer o orçamento e o cronograma
	SP 2.2 - Identificar riscos de projeto	Tarefa - Identificar Riscos de Projeto.

Continuação da Tabela 3

	<p>SP 2.3 - Plano de Gerenciamento de Dados</p> <p>SP 2.4 - Plano de recursos do Projeto</p> <p>SP 2.5 - Plano de Conhecimento e Habilidades necessárias</p> <p>SP 2.6 - Plano de envolvimento de partes interessadas</p> <p>SP 2.7 - Estabelecer o plano de projeto</p>	<p>O Teamcenter e o IPP&E estabelecem um ambiente colaborativo para o desenvolvimento de produtos compostos de tecnologias mecânicas, eletrônicas, de software e de controle.</p> <p>Executado na tarefa de Estabelecer Orçamento e Cronograma. Todos os planos de recursos empregados serão feitos nessa fase, com a definição de recursos e alocação.</p> <p>Devido ao ambiente de aplicação ser na academia não há necessidade de implementar essa prática específica, não há complexidade suficiente da estrutura organizacional.</p> <p>Os recursos humanos devem aprender as ferramentas necessárias e adquirir conhecimentos necessários.</p> <p>Partes interessadas são geridas pelo programa e o modelo de dados do próprio Teamcenter, já que ele fornece um ambiente gerencia informações de produtos e processos de desenvolvimento em todos os domínios.</p> <p>O Plano do Projeto é o programa devidamente definido no Teamcenter</p>
--	--	---

Continuação da Tabela 3

	SP 3.1 - Revisar planos que afetam o projeto	Os planos devem ser revisados e aprovados - Tarefa de Revisar planos que afetam o projeto - <i>workflow</i> de aprovação.
	SP 3.2 - Reconciliar o trabalho e os níveis de recursos	Feito na tarefa de Gestão de cronogramas, tarefas, recursos e entregáveis. Comumente se faz necessário o ajuste entre estimativas de recursos e recursos disponíveis na hora da execução.
	SP 3.3 - Obter o comprometimento com o plano	Feito na tarefa de Gestão de cronogramas, tarefas, recursos e entregáveis. Identificar suporte necessário e comprometimento com partes interessadas.
Gerenciamento de projeto integrado - IPM	<p>SP 1.1 - Estabelecer o Processo Definido do Projeto</p> <p>SP 1.2 - Usar ativos do Processo Organizacional para planejar atividades de projeto</p>	<p>Definição do BPMN. Método de fluxograma que modela as etapas, de ponta a ponta, de um processo de negócios planejado</p> <p>Para este projeto, inicialmente não existe ativos do processo organizacional, já que o mesmo está sendo definido. Porém, a pesquisa deste projeto de trabalho de conclusão de curso pode ser considerada ativo, já que foi utilizada para a construção do <i>framework</i></p>

Continuação da Tabela 3

	<p>SP 1.3 - Estabelecer o ambiente de trabalho do projeto</p> <p>SP 1.4 - Integrar Planos</p> <p>SP 1.5 - Gerenciar o projeto utilizando planos integrados</p> <p>SP 1.6 - Estabelecer times</p>	<p>Ambiente de trabalho de projeto: Estrutura de Laboratórios de Nullen (ferramentas inclusas), Teamcenter, NX, Simcenter, SMW, Microsoft Office.</p> <p>Planos integrados pelo Teamcenter e a ferramenta de IPP&E (Gestão de programas e projetos). É possível garantir que os planos estarão integrados entre si, com os domínios de engenharia e com requisitos além de estarem sempre em sincronia com o que está sendo executado de fato.</p> <p>Acompanhamento e gestão de projetos pelo Teamcenter e a ferramenta de IPP&E (Gestão de programas e projetos). É possível garantir que os planos estarão integrados entre si, com os domínios de engenharia e com requisitos além de estarem sempre em sincronia com o que está sendo executado de fato.</p> <p>Feito na tarefa - Definir Times.</p> <p>Estabelecimento de times por meio da organização do Teamcenter.</p>
--	--	--

Continuação da Tabela 3

	<p>SP 1.7 - Contribuir para os ativos do Processo Organizacional</p>	<p>Todas as informações de projeto e decisões tomadas estarão armazenadas o Teamcenter, sendo possível elaboração de documentos de melhoramento - documento de lições aprendidas no final do projeto. Feita na tarefa - Finalizar o projeto/programa e lições aprendidas</p>
	<p>SP 2.1 - Gerenciar o Envolvimento das Partes Interessadas</p> <p>SP 2.2 - Gerenciamento de dependências</p> <p>SP 2.3 - Resolver questões de coordenação</p>	<p>Partes interessadas são geridas pelo programa e o modelo de dados do próprio Teamcenter, já que ele fornece um ambiente gerencia informações de produtos e processos de desenvolvimento em todos os domínios. Dependências são geridas pelo programa e o modelo de dados do próprio Teamcenter, já que ele fornece um ambiente gerencia informações de produtos e processos de desenvolvimento em todos os domínios. Gestão de recursos humanos na ferramenta IPP&E e atribuição de tarefas em <i>workflows</i>, criação de cronogramas.</p>

Fonte: Autor

A gestão de projetos recebe as seguintes informações e pacotes de trabalho da área de processo Gerenciamento de Requisitos - REQM, RD: Partes Interessadas de Engenharia, Requisitos de Alto Nível. E envia uma Autorização para Prosseguir com o trabalho após a definição dos requisitos de alto nível.

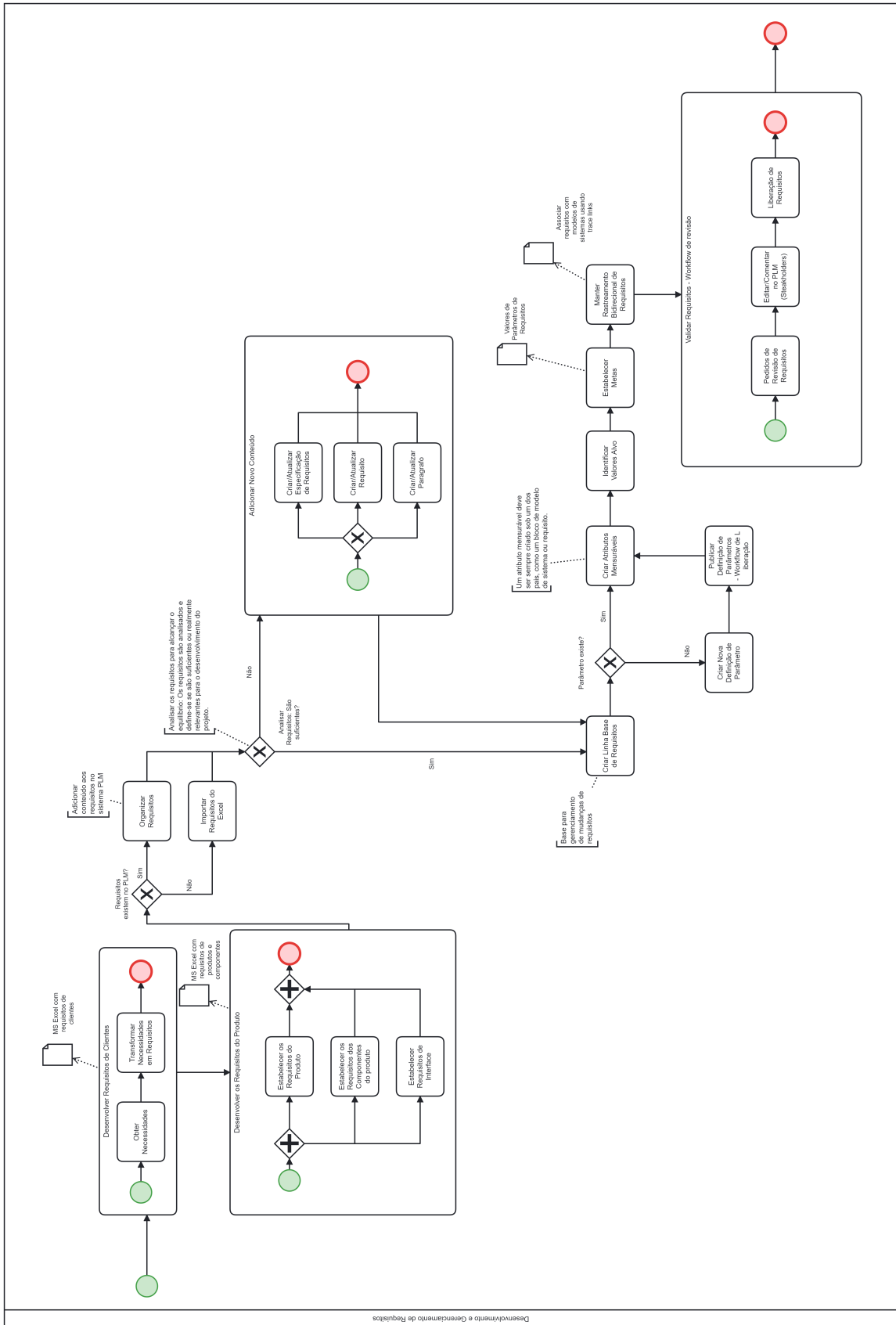
Já a troca de informação com Definição de Sistema e Implementação de *Design* se

dá da seguinte forma. Recebimento dos Entregáveis de Engenharia, Riscos de Engenharia, *Status* dos Critérios de Conclusão da Engenharia, Recursos de Engenharia, Pacotes de Trabalho Técnicos.

4.1.2 Gerenciamento de Requisitos - REQM, RD

A segunda área de processo é a de Gerenciamento de Requisitos - REQM, RD com o subprocesso Desenvolvimento e Gerenciamento de Requisitos mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Processos de Desenvolvimento e Gerenciamento de Requisitos



Fonte: Autor

A seguir, estão definidos em tópicos cada uma das subtarefas.

- **Desenvolver Requisitos de Clientes:** Estabelecer os parâmetros do projeto para planejar, organizar, montar os times, coordenar tarefas e criar planejamento financeiro.
 - **Obter Necessidades:** Nesta prática deve-se ir além dos requisitos levantados pelo cliente, identificando as necessidades que não foram citadas pelo cliente.
 - **Transformar Necessidades em Requisito:** As partes interessadas tem papel fundamental em definir as funções de negócio e também as funções técnicas do produto, portanto essas definições devem ser consideradas como requisitos de cliente.
- **Desenvolver os Requisitos do Produto:** Os requisitos do produto se referem as necessidades de cada fase do ciclo de vida do produto e são derivados dos requisitos do cliente, de forma que o desenvolvimento dos conceitos de produto vão criar requisitos mais elaborados e precisos tecnicamente.
 - **Estabelecer os Requisitos do Produto:** Os requisitos de produto são a forma técnica de se expressar os requisitos dos clientes e são usados para decisões de desenvolvimento.
 - **Estabelecer os Requisitos dos Componentes do produto:** Detalhar requisitos de produtos para que cheguem ao nível de componentes de produtos.
 - **Estabelecer Requisitos de Interface:** Requisitos de interface se referem aos requisitos que moldam o contato e a relação ente componentes e funções do produto.
- **Organizar Requisitos:** Adicionar conteúdo aos requisitos no sistema PLM.
- **Importar Requisitos do Excel:** Caso os requisitos não existam no sistema PLM, eles devem ser importados e organizados de acordo com as diretrizes da organização.
- **Adicionar Novo Conteúdo:** Após a importação dos requisitos inicialmente definidos, se faz uma análise se eles são suficientes para a construção do produto, caso não sejam surge a necessidade de expandi-los.
 - **Criar/Atualizar Especificação de Requisitos:** Criar nova estrutura de requisitos.
 - **Criar/Atualizar Requisito:** Criar novos requisitos.
 - **Criar/Atualizar Paragrafo:** Atualizar descrição de requisitos.
- **Criar Linha Base de Requisitos:** Base para gerenciamento de mudanças de requisitos.
- **Criar Nova Definição de Parâmetro:** Definição de parâmetro é criada para estabelecer um valor ótimo e um intervalo de aceitação de *design* que pode ser usado por engenheiros em diferentes frentes de trabalho e componentes de produtos distintos.

- **Publicar Definição de Parâmetros - *Workflow* de Liberação:** Aprovar definição de parâmetro através de um *workflow* de aprovação.
- **Criar Atributos Mensuráveis:** Um atributo mensurável deve ser sempre criado sob um dos pais, como um bloco de modelo de sistema ou requisito.
- **Identificar Valores Alvo:** Estabelecer resultado específico e mensurável que é alocado ao produto, normalmente estabelecido de acordo com os objetivos de negócio da organização.
- **Estabelecer Metas:** Estabelecer resultado esperado que deve ser obtido através de uma verificação, essa pode ser um valor fixo ou pode estar contida em um intervalo mensurável.
- **Manter Rastreamento Bidirecional de Requisitos:** Criar *trace links* entre parâmetros, requisitos e itens de desenvolvimento.
- **Validar Requisitos - *workflow* de revisão:** Deve ser realizado um *workflow* simples de aprovação que envolva os gerentes e responsáveis técnicos.
 - **Pedidos de Revisão de Requisitos:** Criação do *workflow*.
 - **Editar/Comentar no PLM:** Revisão dos requisitos caso necessário.
 - **Liberação de Requisitos:** Aprovação e liberação de *status* para requisitos.

Na Tabela 4 está a comparação entre as práticas específicas das áreas de processo REQM e RD e os processos adotados pelo *framework* desenvolvido.

Tabela 4 – Comparação entre CMMI e processo de Desenvolvimento e Gerenciamento de Requiitos - RD, REQM

	CMMI	<i>Framework</i> de Projeto
Desenvolvimento de Requisitos - RD	SP 1.1 - Obter Necessidades	Feito na tarefa - Obter Necessidades.
	SP 1.2 - Transformar as necessidades das partes interessadas em requisitos do cliente	Feito na tarefa - Transformar Necessidades em Requisitos.
	SP 2.1 - Estabelecer os requisitos do produto e dos componentes do produto	Feito na tarefa - Estabelecer os Requisitos do Produto.

Continuação da Tabela 4

	<p>SP 2.2 - Atribuir os requisitos dos componentes do produto</p> <p>SP 2.3 - Identificar requisitos de interface</p> <p>SP 2.4 - Analisar e validar os requisitos</p> <p>SP 3.1 - Estabelecer Conceitos e Cenários Operacionais</p> <p>SP 3.2 - Estabelecer definição de funcionalidade requerida e atributos de qualidade</p> <p>SP 3.3 - Analisar requisitos</p> <p>SP 3.4 - Analisar os requisitos para alcançar o equilíbrio</p> <p>SP 3.5 - Validar requisitos</p>	<p>Feito na tarefa - Estabelecer os Requisitos dos Componentes do produto.</p> <p>Feito na tarefa - Estabelecer Requisitos de Interface.</p> <p>Está prática é executada durante a tomada de decisão do <i>gateway</i>: Analisar Requisitos: São suficientes?</p> <p>Acontece na modelagem do sistema operacional. Em específico esta prática é realizada na Modelagem de sistema e tem como resultado os modelos de cenários operacionais.</p> <p>Acontece na modelagem de sistema funcional - Criar uma descrição funcional dos sistemas, com ações, sequencias, inputs, outputs ou qualquer outra informação que explicita como o produto será utilizado.</p> <p>Está prática é executada durante a tomada de decisão do <i>gateway</i>: Analisar Requisitos: São suficientes?</p> <p>Está prática é executada durante a tomada de decisão do <i>gateway</i>: Analisar Requisitos: São suficientes?</p> <p>Feito na tarefa - Validar Requisitos - <i>Workflow</i> de revisão.</p>
--	--	--

Continuação da Tabela 4

Gerenciamento de Requisitos - REQM	SP 1.1 - Entender requisitos	Subproduto do processo - Desenvolvimento e gerenciamento de requisitos (Identificado no diagrama principal). <i>Trace links</i> auxiliam neste entendimento, já que o requisitos está vinculado com diversas documentações necessárias para entendimento.
	SP 1.2 - Obter comprometimento com os requisitos	Feito com o Teamcenter e processo de verificação. Os requisitos são incluídos em um processo de ciclo fechado, em que os requisitos estão vinculados à maneira como são verificados e validados.
	SP 1.3 - Gerenciar mudanças de requisitos	Gerenciamento de mudanças não será feito neste projeto, porém haverá a criação da linha base de requisitos para posterior comparação.
	SP 1.4 - Manter rastreamento bidirecional de requisitos	Associar requisitos com modelos de sistemas usando <i>trace links</i> . Feito na tarefa - Manter Rastreamento Bidirecional de Requisitos.

Continuação da Tabela 4

	SP 1.5 - Garantir alinhamento entre trabalho do projeto e requisitos	Esta prática é executada na área de processo de Verificação e no subprocesso de Gerenciamento de testes. O resultado do gerenciamento é a obtenção dos <i>status</i> de alinhamento de desalinhamento dos produtos com os requisitos que o delimitam.
--	--	---

Fonte: Autor

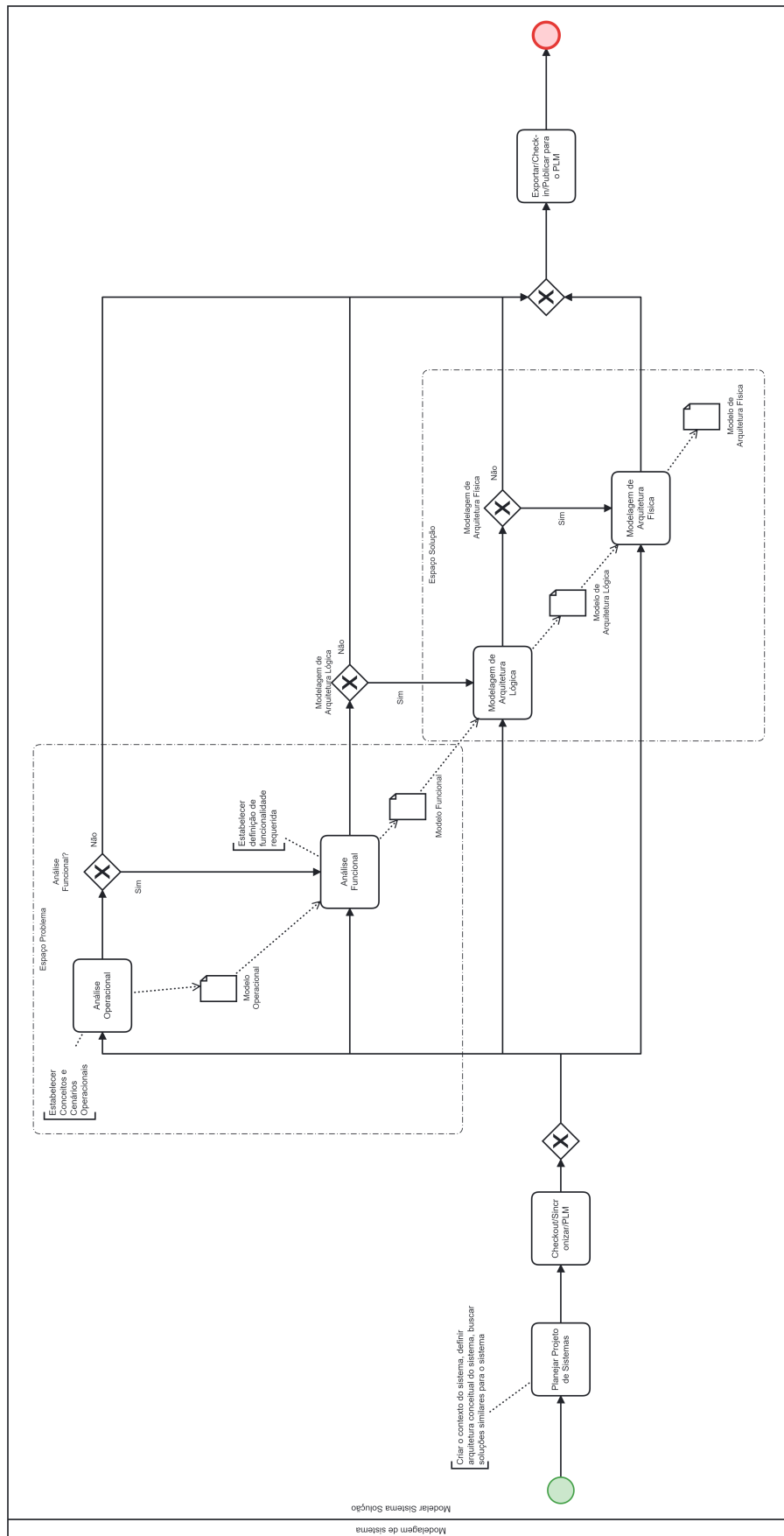
No diagrama de BPMN principal, apresentado na Figura 19, há uma troca de objetos entre os processos de Desenvolvimento e Gerenciamento de Requisitos e Definição de Sistema e Implementação de *Design*.

No Desenvolvimento e Gerenciamento de Requisitos são gerados Valores de Parâmetros de Requisitos, Requisitos (funcionais, não funcionais e requisitos de *design*) e um alinhamento entre domínios de engenharia e requisitos criados. E o mesmo subprocesso recebe Valores de Parâmetros Simulados para posterior comparação.

4.1.3 Modelagem de Sistema - TS

Dentro da Solução Técnica tem-se a Modelagem de Sistemas e o subprocesso é mostrado na Figura 22.

Figura 22 – Processos de Modelagem de Sistemas



Fonte: Autor

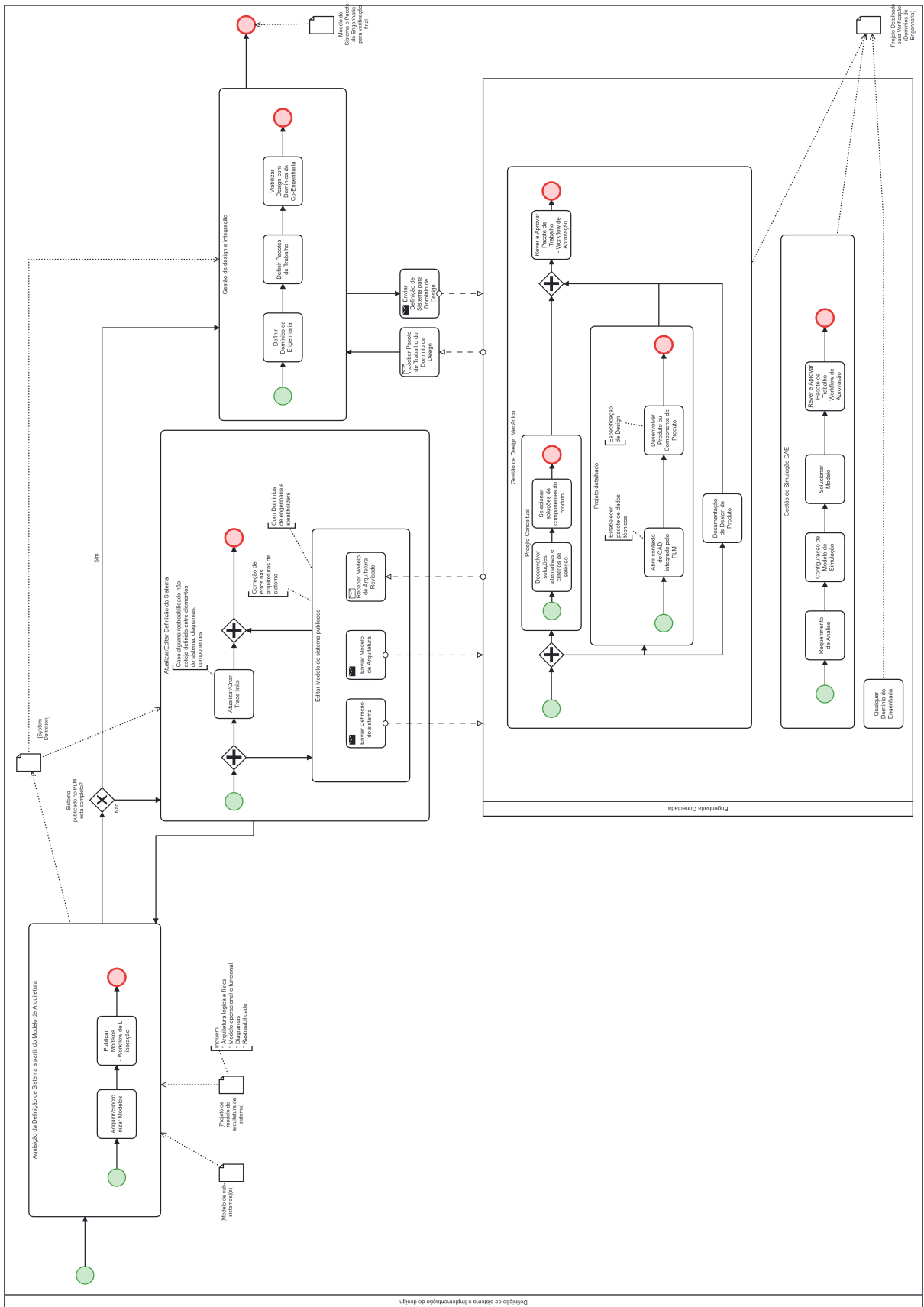
A seguir tem-se a definição das tarefas.

- **Planejar Projeto de Sistemas:** Criar o contexto do sistema, definir arquitetura conceitual do sistema, buscar soluções similares para o sistema.
- **Checkout/Sincronizar/PLM:** Fazer o *check-out* do modelo atual no PLM para ser possível a utilização em software de modelamento de sistemas System Modeler Workbench.
- **Organizar Requisitos:** Adicionar conteúdo aos requisitos no sistema PLM.
- **Análise Operacional:** Identificar as necessidades dos usuários do sistema, Estabelecer Conceitos e Cenários Operacionais (SP 3.1 de RD).
- **Análise Funcional:** Estabelecer definição de funcionalidade requerida e atributos de qualidade (SP 3.2 de RD), identificação das funções e capacidades do sistema que vão satisfazer as necessidades operacionais.
- **Modelagem de Arquitetura Lógica:** Relações e considerações devem ser definidas para que o sistema funcione para cumprir todas as expectativas levantadas nas fases anteriores. Os componentes lógicos serão definidos de forma que carregam as funções.
- **Modelagem de Arquitetura Física:** Definição final da arquitetura do sistema, acrescenta funções necessárias para implementação, escolhas técnicas e os componentes físicos.
- **Exportar/Check-in/Publicar para o PLM:** Depois da criação das arquiteturas o modelo de sistemas deve ser sincronizado com o Teamcenter.

4.1.4 Definição de Sistema e Implementação de Design

Este é um subprocesso mais complexo da Solução Técnica pois contém a integração dos domínios de engenharia e a execução propriamente dita dos pacotes de engenharia, em outras palavras o produto e suas simulações. Na Figura 23 está contido o diagrama do subprocesso de Definição de Sistema e Implementação de *Design*.

Figura 23 – Processos de Definição de Sistema e Implementação de Design



- **Aquisição da Definição de Sistema a partir do Modelo de Arquitetura:** Nesta tarefa acontece uma liberação dos sistemas definidos na tarefa/processo de Modelagem de Sistemas.
 - **Adquirir/Sincronizar Modelos:** Condensar modelos de sistemas vigentes para produtos.
 - **Publicar Modelos - *Workflow* de Liberação:** Essa liberação, pode ser entendida como uma aprovação do modelo de sistemas. A partir dessa liberação os domínios de engenharia receberão os modelos para desenvolvimento de projetos específicos.
- **Atualizar/Editar Definição do Sistema:** Caso os sistemas não estejam completos ou de acordo com as definições de engenharia, se faz necessária a atualização dos mesmos.
 - **Atualizar/Criar *trace links*:** Atualizar conexões entre requisitos, componentes, parâmetros ou qualquer itens de trabalho.
 - **Enviar Definição do sistema:** Enviar definição de sistemas atuais para os domínios de engenharia para que possam ser revisados ou modificados.
 - **Enviar Modelo de Arquitetura:** Enviar modelo de arquitetura atual para os domínios de engenharia para que possa ser revisado ou modificado.
 - **Receber Modelo de Arquitetura Revisado:** Após a revisão esta tarefa recebe os modelos atualizados dos domínios de engenharia.
- **Gestão de *design* e integração:** Fluxo de informações no desenvolvimento de produtos inovadores e integração de domínios de engenharia.
 - **Definir Domínios de Engenharia:** Definir quais domínios de engenharia serão explorados e utilizados para a concepção do produto.
 - **Definir Pacotes de Trabalho:** Definir pacotes de trabalho de engenharia, em outras palavras, o trabalho necessário para tirar a construção do produto.
 - **Viabilizar *Design* com Domínios de Co-Engenharia:** Esta tarefa baseia-se na integração entre domínios de engenharia, que muitas vezes devem trabalhar em conjunto para a execução do projeto. O Teamcenter proporciona essa integração, pois é ator central na gestão de dados, de *stakeholders* e funciona como uma única fonte de verdade e informações.
- **Receber Pacote de Trabalho do Domínio de *Design*:** Os domínios de engenharia executam o trabalho de desenvolvimento e retornam com um pacotes de dados que deve ser aprovado no final do fluxo.

- **Enviar Definição de Sistema para Domínio de *Design*:** Os sistemas aprovados após a modelagem devem ser encaminhados para os domínios de engenharia para posterior desenvolvimento, revisão e implementação.
- **Gestão de *Design Mecânico*:** Para este projeto o *design* mecânico é um domínio de engenharia central para o desenvolvimento do produto.
 - **Projeto Conceitual:** Os projetistas definirão os conceitos, estéticas e principais funções do novo produto.
 - **Desenvolver soluções alternativas e critérios de seleção:** Soluções alternativas devem ser identificadas e analisadas para permitir a seleção de uma solução equilibrada para os requisitos e funções.
 - **Selecionar soluções de componentes do produto:** A partir dos critérios de seleção estabelecidos, selecionar a solução que melhor cumpre os pontos desse critério.
 - **Projeto detalhado:** Os projetistas devem concluir a construção do protótipo do gêmeo digital, além de definir as funções, configurações, parâmetros e dados de teste baseados no estado atual de desenvolvimento.
 - **Abrir contexto do CAD integrado pelo PLM:** Garantir que todo o trabalho seja executado integrado ao PLM.
 - **Desenvolver Produto ou Componente de Produto:** Desenvolvimento propriamente dito dos componentes e do produto baseados nos requisitos.
 - **Documentação de *Design* de Produto:** Documentação de todas as informações pertinentes ao projeto no software PLM.
 - **Rever e Aprovar Pacote de Trabalho - *Workflow* de Aprovação:** A revisão é feita a partir de um *workflow* no Teamcenter que envolve os gerentes e responsáveis técnicos.
- **Gestão de Simulação CAE:** Obter controle dos dados e processos de simulação no contexto de um sistema de gerenciamento de ciclo de vida do produto (PLM).
 - **Requerimento de Análise:** Criar requerimento de análise no Teamcenter, basicamente serve de caixa de armazenamento para as análises feitas.
 - **Configuração de Modelo de Simulação:** Configurar modelo de simulação em software adequado.
 - **Solucionar Modelo:** Solucionar modelo de simulação e obter resultados.
 - **Rever e Aprovar Pacote de Trabalho - *Workflow* de Aprovação:** A revisão é feita a partir de um *workflow* no Teamcenter que envolve os gerentes e responsáveis técnicos.

Para concluir, na Tabela 5 está apresentada a comparação da área de processo TS com os processos definidos no *framework* deste projeto.

Tabela 5 – Comparação entre CMMI e processos de Solução Técnica - TS

CMMI		<i>Framework</i> de Projeto
Solução Técnica - TS	SP 1.1 - Desenvolver soluções alternativas e critérios de seleção	Feito em Gestão de <i>Design</i> Mecânico na tarefa - Desenvolver soluções alternativas e critérios de seleção. Também executado na modelagem de arquitetura física, onde os componentes são escolhidos.
	SP 1.2 - Selecionar soluções de componentes do produto	Feito em Gestão de <i>Design</i> Mecânico na tarefa - Selecionar soluções de componentes do produto. O desenvolvimento do produto começa com a Análise Operacional e Análise funcional passando também pela Modelagem de arquitetura Lógica e Física.
	SP 2.1 - Desenvolver Produto ou componente de produto	Após estas etapas há o desenvolvimento de componentes 3D e simulação em ambiente virtual.

Continuação da Tabela 5

	<p>SP 2.2 - Estabelecer pacote de dados técnicos</p> <p>SP 2.3 - Interface de projeto usando critérios</p> <p>SP 2.4 - Realizar Análises de Fabricação, Compra ou Reutilização</p> <p>SP 3.1 - Implementar o <i>design</i></p>	<p>O Teamcenter e o IPP&E estabelecem um ambiente colaborativo para o desenvolvimento de produtos compostos de tecnologias mecânicas, eletrônicas, de software e de controle, proporcionando o controle dos pacotes de dados gerados pelos domínios de engenharia.</p> <p>Os pacotes de dados técnicos são criados nos softwares e gerenciados pelo Teamcenter.</p> <p>Os critérios de interface são interpretados como requisitos de comunicação entre componentes e domínios de engenharia.</p> <p>Não será realizado nesta fase do projeto.</p> <p>A implementação no caso deste projeto fica limitada ao ambiente virtual, portanto com a finalização da verificação do projeto detalhado este processo estará completo.</p> <p>Para os caso em que o projeto irá se estender aos protótipos, a implementação do <i>design</i> pode ser feita com os testes físicos.</p>
--	--	--

Continuação da Tabela 5

	<p>SP 3.2 - Desenvolver documentação de suporte de produto</p>	<p>Documentação de <i>design</i> de produto - Gestão de <i>design</i> e Simulação CAD. Como uma particularidade deste projeto, devido ao uso do PLM integrado a todas as ferramentas de desenvolvimento, a documentação sempre estará feita e armazenada de maneira consistente.</p>
--	--	--

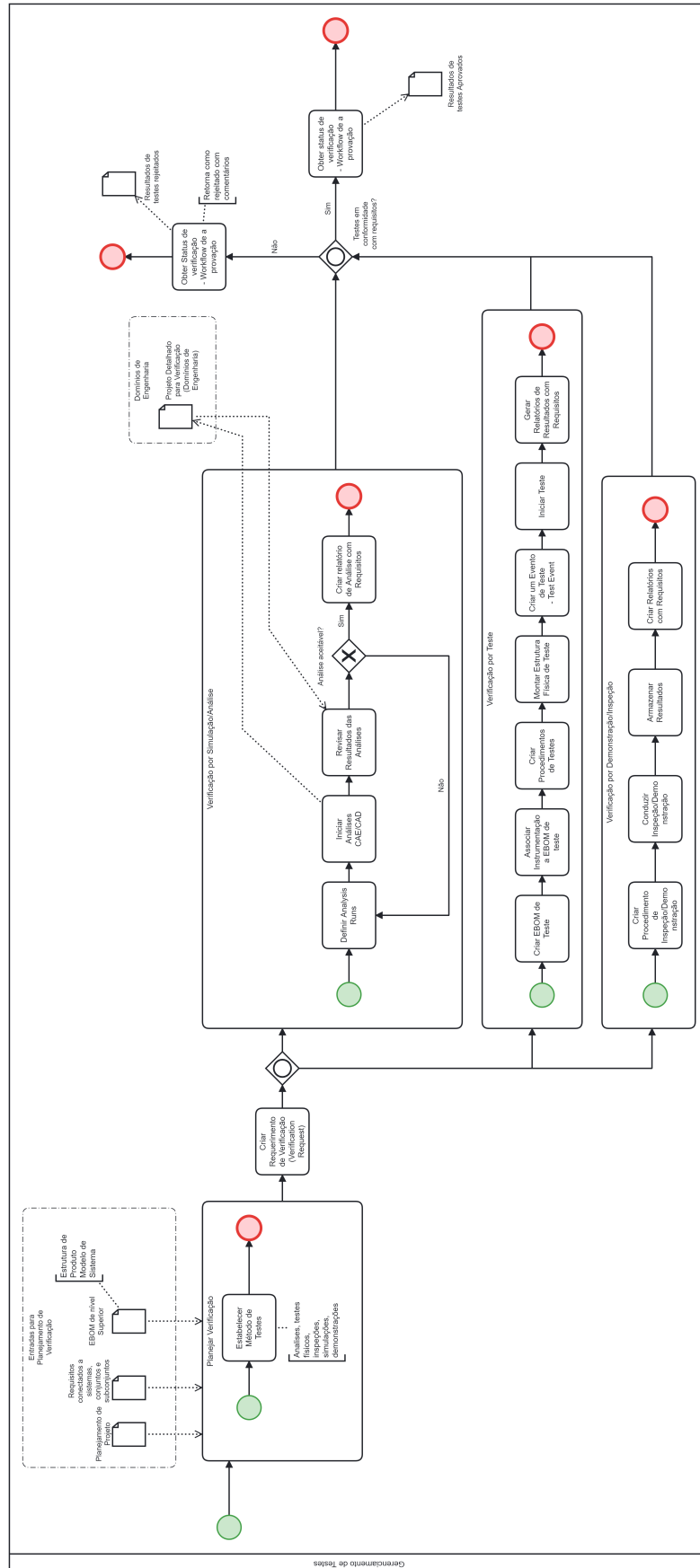
Fonte: Autor

O subprocesso Definição de Sistema e Implementação de *Design* gera algumas saídas de documentos e informações importantes que serão consumidas por outras áreas, sendo elas: Projeto Detalhado para Verificação (Domínios de Engenharia) , Modelo de Sistema para Verificação Final consumidos pela área de Verificação, Pacotes de Trabalho Técnicos utilizados para o planejamento do projeto.

4.1.5 Verificação - VER

A área de processo de verificação é chave para garantir que o produto está sendo construído de uma maneira correta e de acordo com os requisitos e parâmetros levantados durante o projeto. Na Figura 24 está mostrado o diagrama de tarefas para o subprocesso Gerenciamento de Testes contido na área de Verificação.

Figura 24 – Processos de Gerenciamento de Testes



Fonte: Autor

A seguir tem-se a definição das tarefas.

- **Planejar Verificação:** Planejar tarefas que devem ser executadas nos testes de requisitos.
 - **Estabelecer Método de Testes:** Iniciar a atividade de teste, definindo os métodos de teste para cada requisito.
- **Criar Requerimento de Verificação:** Especifica um grupo de requisitos que devem ser verificados juntos.
- **Verificação por Simulação/Análise:** Esta tarefa contém passos para a verificação de requisitos a partir de Análises CAD e/ou Simulação.
 - **Definir *Analysis Runs*:** Criar objeto no Teamcenter de para capturar múltiplas iterações de valores de simulação.
 - **Iniciar Análises CAE/CAD:** Performar análises e resolver simulações nos softwares adequados.
 - **Revisar Resultados das Análises:** Os resultados devem ser revisados pelos domínios de engenharia.
 - **Criar relatório de Análise com Requisitos:** Gerar relatórios de simulação e de conformidade com requisitos.
- **Verificação por Teste:** Verificar requisitos de produto por meio de um teste físico.
 - **Criar BOM de Teste:** Criar uma definição de BOM específica para as configurações de teste.
 - **Associar Instrumentação a BOM de teste:** Como é um teste físico é comum que aparelhos de instrumentação sejam usados, estes aparelhos devem estar contidos na BOM de Teste.
 - **Criar Procedimentos de Testes:** Elaborar procedimentos que serão utilizados durante o teste para garantir reprodutibilidade e segurança.
 - **Montar Estrutura Física de Teste:** Para uma determinada configuração do teste, construir produto de teste.
 - **Criar um Evento de Teste - Test Event:** Após a construção da estrutura, deve-se iniciar o evento de teste.
 - **Iniciar Teste:** Iniciar teste para coletar dados no sistema de teste.
 - **Gerar Relatórios de Resultados com Requisitos:** Gerar relatórios de teste e de conformidade com requisitos.
- **Verificação por Demonstração/Inspeção:** Verificar requisitos pela simples inspeção do produto físico ou por uma demonstração para as partes envolvidas relevantes.

- **Criar Procedimento de Inspeção/Demonstração:** Elaborar procedimentos que serão utilizados durante a demonstração para garantir reprodutibilidade e segurança.
 - **Conduzir Inspeção/Demonstração:** Executar demonstração para verificação de requisitos.
 - **Armazenar Resultados:** Gerar e armazenar dados da demonstração no ambiente do Teamcenter.
 - **Criar Relatórios com Requisitos:** Gerar relatórios de demonstração e de conformidade com requisitos.
- **Obter *status* de verificação - *Workflow* de aprovação:** Após a análise dos dados coletados durante os testes, os resultados devem receber os *status* de Aprovados ou rejeitados dependendo dos critérios estabelecidos e analisados.

A comparação entre o *framework* construído para o projeto e as práticas específicas da área de processo VER está mostrada na Tabela 6.

Tabela 6 – Comparação entre CMMI e processos de Verificação - VER

	CMMI	<i>Framework</i> de Projeto
Verificação - VER	SP 1.1 - Selecionar produtos de trabalho para verificação	Feito na tarefa - Planejar Verificação em Gerenciamento de Testes
	SP 1.2 - Estabelecer o ambiente de verificação	Feito na tarefa - Criar Requerimento de Verificação. Já que o requerimento de verificação serve para agrupar os requisitos que devem ser verificados juntos. Esta mesma prática é executada na tarefa - Montar Estrutura Física de Teste.
	SP 1.3 - Estabelecer procedimentos e critérios de verificação	Os procedimentos são criados nas tarefas - Definir Analysis Runs, Criar Procedimentos de Testes e Criar Procedimento de Inspeção/Demonstração.

Continuação da Tabela 6

		Para o Teamcenter a revisão por pares é executada sempre que há um <i>workflow</i> de aprovação em andamento, pois os resultados devem ser analisados por diferentes pessoas, com funções diferentes na organização.
	SP 2.1 - Preparar revisão por pares	Após a iniciação da verificação os resultados devem ser aprovados ou rejeitados por meio de um <i>workflow</i> de aprovação.
	SP 2.2 - Conduzir revisão por pares	Com a finalização do <i>workflow</i> de aprovação, o teste recebe um <i>status</i> de aprovação ou rejeição.
	SP 2.3 - Analisar dados da revisão por pares	Feito nas tarefas - Verificação por Simulação/Análise Teste/Demonstração
	SP 3.1 - Performar verificação	No Requerimento de verificação cada requisito analisado recebe um <i>status</i> de conformidade ou inconformidade.
	SP 3.2 - Analisar resultados de verificação	

Fonte: Autor

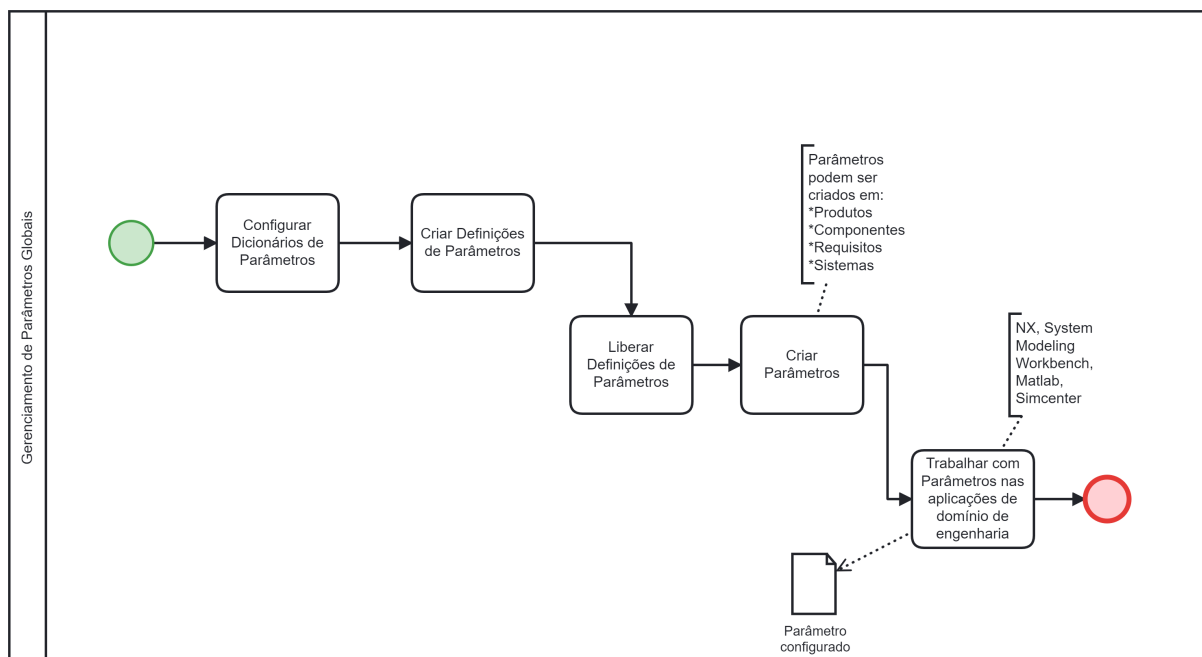
Para a execução do subprocesso de Gerenciamento de teste, algumas informações devem ser consumidas de outras áreas de processo e subprocessos. A área Gerenciamento de Requisitos - REQM, RD fornece a Conexão entre requisitos, especificações de produto e partes de produtos (*trace links*) e recebe Resultados de Testes dos requisitos.

A Definição de Sistema e Implementação de *Design* fornece as informações de Projeto Detalhado para Verificação (Domínios de Engenharia) e Modelos de Sistema para verificação final. Por outro lado ela deve receber a informação da necessidade Revisão de Solução Técnica por parte da Verificação.

4.1.6 Gerenciamento de Parâmetros

A área de gerenciamento de parâmetro é a última a ser explorada e não se relaciona diretamente com nenhuma área de processo trazida pelo CMMI, porém é de suma importância a sua existência para a aplicação do PLM no projeto. Esta área garante que os parâmetros utilizados pelos requisitos estejam bem estruturados e garante também a rastreabilidade dos parâmetros ao longo do ciclo de vida do produto. Na Figura 25 está apresentado o subprocesso Gerenciamento de Parâmetros Globais.

Figura 25 – Processos de Gerenciamento de Parâmetros



Fonte: Autor

A seguir tem-se a definição das tarefas.

- **Configurar Dicionários de Parâmetros:** Configurar repositório para armazenar as definições de parâmetros para um determinado projeto de engenharia.
- **Criar Definições de Parâmetros:** São criadas as definições para que não seja necessária a criação de diversos parâmetros que possuam o mesmo nome e características.
- **Liberar Definições de Parâmetros:** Aprovar definições de parâmetros através de um *workflow*.
- **Criar Parâmetros:** Associar definições de parâmetros a requisitos criando assim as metas e valores ótimos.
- **Trabalhar com parâmetros nas aplicações de domínio de engenharia:** Depois da associação dos parâmetros com os requisitos que os determinam, eles estão prontos

para serem consumidos durante o desenvolvimento do produto ou durante a verificação dos requisitos de produto.

Está área de processo recebe as necessidades de parâmetros de acordo com os requisitos configurados em Gerenciamento de Requisitos - REQM, RD e envia os parâmetros configurados para a mesma área de processo.

4.2 Estudo de Caso - Plataforma de manufatura aditiva, customizada com robô tipo delta

Nesta seção serão apresentados os resultados do projeto do sistema de movimentação de um robô delta que será utilizado em uma impressora 3D. Estes resultados são frutos do processo desenvolvido neste trabalho de conclusão de curso, podendo ser documentos, design mecânicos, cronogramas ou simplesmente definições para a facilitação e entendimento do processo. Esta seção é dividida nas áreas de processo e em cada uma delas serão apresentados os resultados obtidos.

4.2.1 Gerenciamento de Projeto Integrado

Os resultados obtidos para o subprocesso - Definir as fases do ciclo de vida do projeto e modelo de gestão - são apresentados a seguir.

Levando em consideração as fases do ciclo de vida definidos na seção 2.1, este projeto busca atender as fases de imaginação, definição e realização do produto.

As fases de imaginação e definição, podem ser entendidas como a determinação das capacidades operacionais e modelagem de sistemas a partir dos requisitos de alto nível e requisitos de produtos e componentes. Na fase de realização tem-se a construção do produto em si, utilizando os sistemas e requisitos para a obtenção do gêmeo digital e verificação para ver se o mesmo foi desenvolvido da maneira correta.

Quanto ao modelo de gestão será escolhido um modelo híbrido entre uma metodologia ágil e uma metodologia tradicional trazidos na seção 2.3.

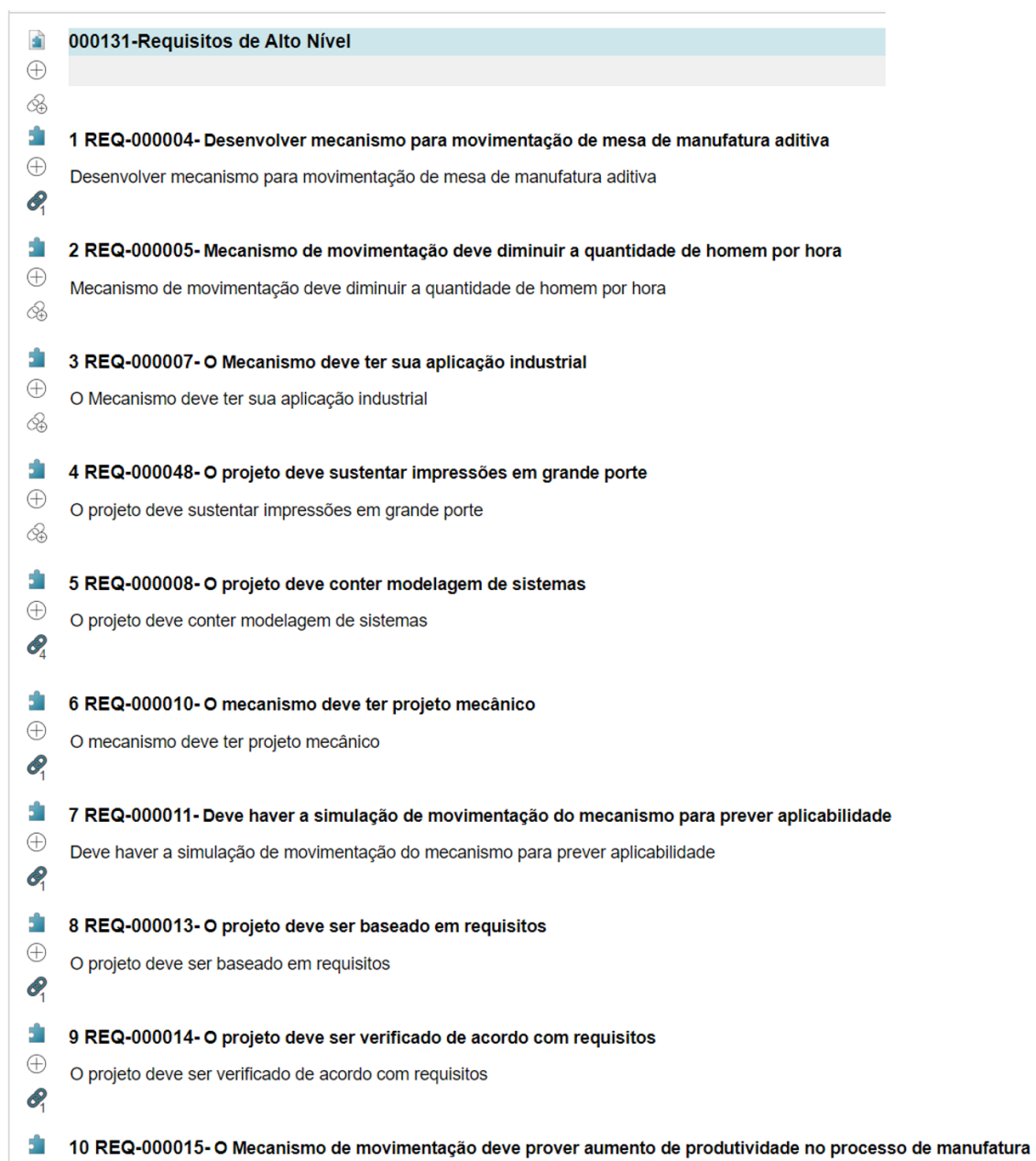
Houve a construção da WBS onde os pacotes de trabalho serão levantados. Estes pacotes são agrupados em *sprints* que devem ser sequenciadas, ou seja, só há o avanço para a próxima *sprint* quando a anterior é completa. Este aspecto define a parte da metodologia *waterfall* no projeto. Entretanto, enquanto a *sprint* estiver acontecendo não há, formalmente, uma sequência de tarefas que deve ser entregue. Por outro lado deve haver uma priorização dos requisitos que devem ser implementados e deve haver também a colaboração com *stakeholders* para a melhor entrega possível. Em outras palavras, durante a *sprint* a funcionalidade do produto que deve ser entregue é mais importante do que a simples completude de tarefas.

Esta estrutura garante a velocidade da metodologia ágil, combinada com a previsibilidade de um cronograma de projetos completo e tradicional.

Dado que a metodologia ágil busca uma incrementação do plano de projeto, como resultado da colaboração entre partes interessadas e times de desenvolvimento durante as *sprints*, este trabalho não tem um cronograma inicial totalmente estático, sendo que após a conclusão de cada sprint pode haver a mudança de planejamento de acordo com os objetivos de projeto.

O projeto propriamente dito começa com a reunião dos requisitos de alto nível, que são necessidades do negócio que o projeto visa resolver. Para este projeto foram definidos os requisitos apresentados na Figura 26. Importante destacar que os requisitos de alto nível guiam a construção da WBS.

Figura 26 – Requisitos de alto nível

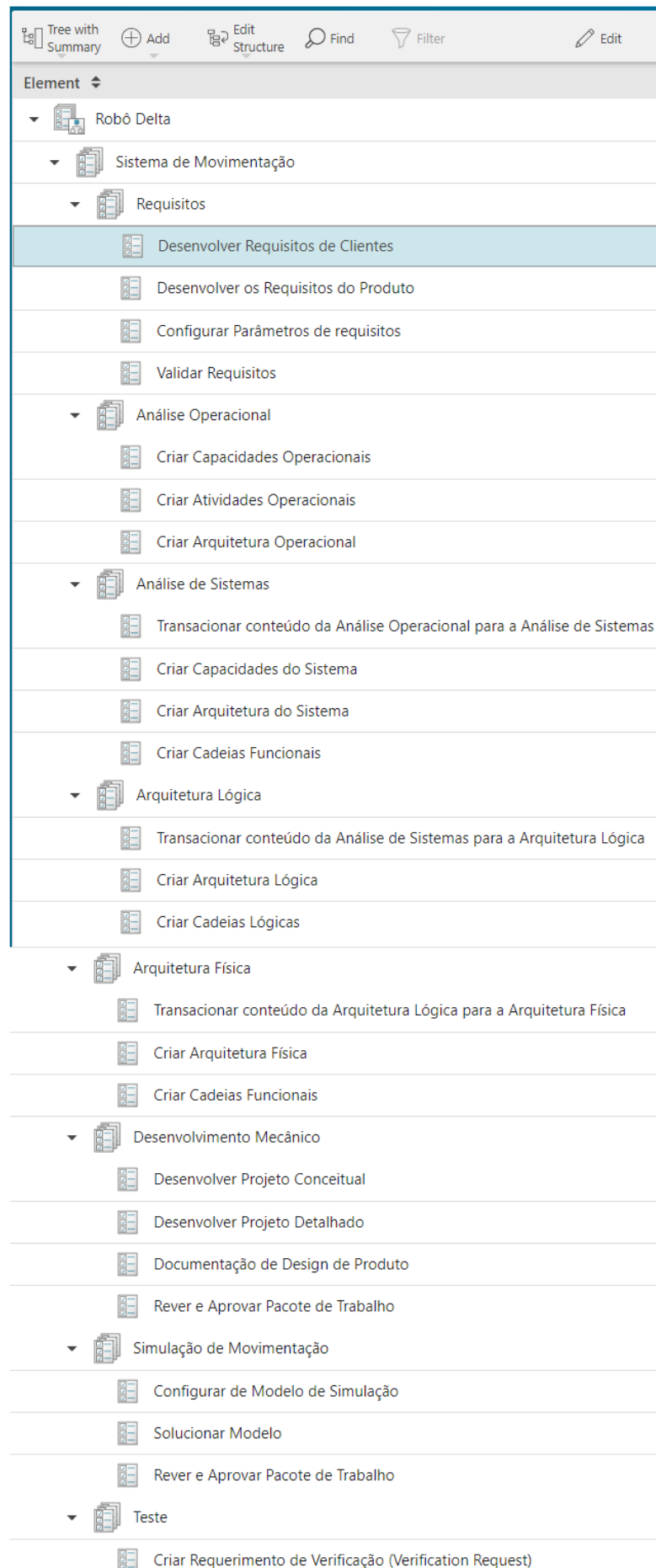


Fonte: Autor

Para responder a tarefa - Estabelecer o orçamento e o cronograma - tem-se os seguintes resultados.

Foi estruturada a WBS do programa mostrada na Figura 27, que engloba os principais pacotes de trabalho.

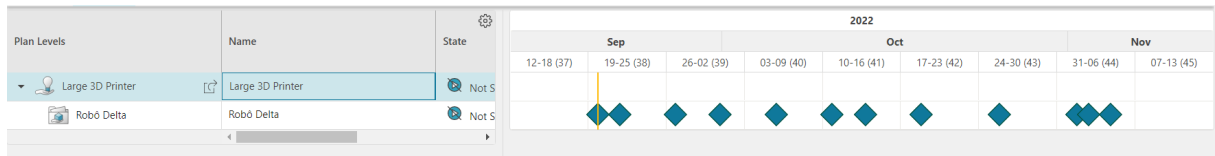
Figura 27 – WBS do Programa



O Plano de projeto é representado nas Figuras 28, 29, 30, 31 e 32.

Na Figura 28 é mostrado o plano do programa da 3D *Large Printer*, que engloba o subprojeto do desenvolvimento do robô delta para movimentação da mesa da impressora.

Figura 28 – Programa 3D *Large Printer*



Fonte: Autor

Os pontos em azul na Figura 28 são os eventos de relevância. Eventos podem ser entendidos como marcos no projeto e simbolizam a finalização de uma etapa importante para o programa, como: a finalização dos teste, finalização do projeto detalhado ou dia de homologação do produto. Na figura 29 estão mostrados os eventos definidos.

Figura 29 – Eventos do Programa

Name	Description	Type	State	Planned	IMP Element ID	Forecasted	Actual	Event Code
◆ Aprovação do plano de projeto		Event	☐	19-Sep-2022 17:00				
◆ Aprovação da Lista de Requisit...		Event	☐	21-Sep-2022 17:00				
◆ Finalização da Análise Operaci...		Event	☐	26-Sep-2022 17:00				
◆ Finalização da Análise de Siste...		Event	☐	30-Sep-2022 17:00				
◆ Finalização da Arquitetura Lógi...		Event	☐	05-Oct-2022 17:00				
◆ Finalização da Arquitetura Física		Event	☐	10-Oct-2022 17:00				
◆ Sistema Final para verificação		Event	☐	13-Oct-2022 17:00				
◆ Finalização do design Mecânico		Event	☐	18-Oct-2022 17:00				
◆ Finalização de simulações		Event	☐	25-Oct-2022 17:00				
◆ Finalizar verificação por Simula...		Event	☐	01-Nov-2022 17:00				
◆ Obtenção do status de verifica...		Event	☐	02-Nov-2022 17:00				
◆ Final do projeto		Event	☐	04-Nov-2022 17:00				

Fonte: Autor

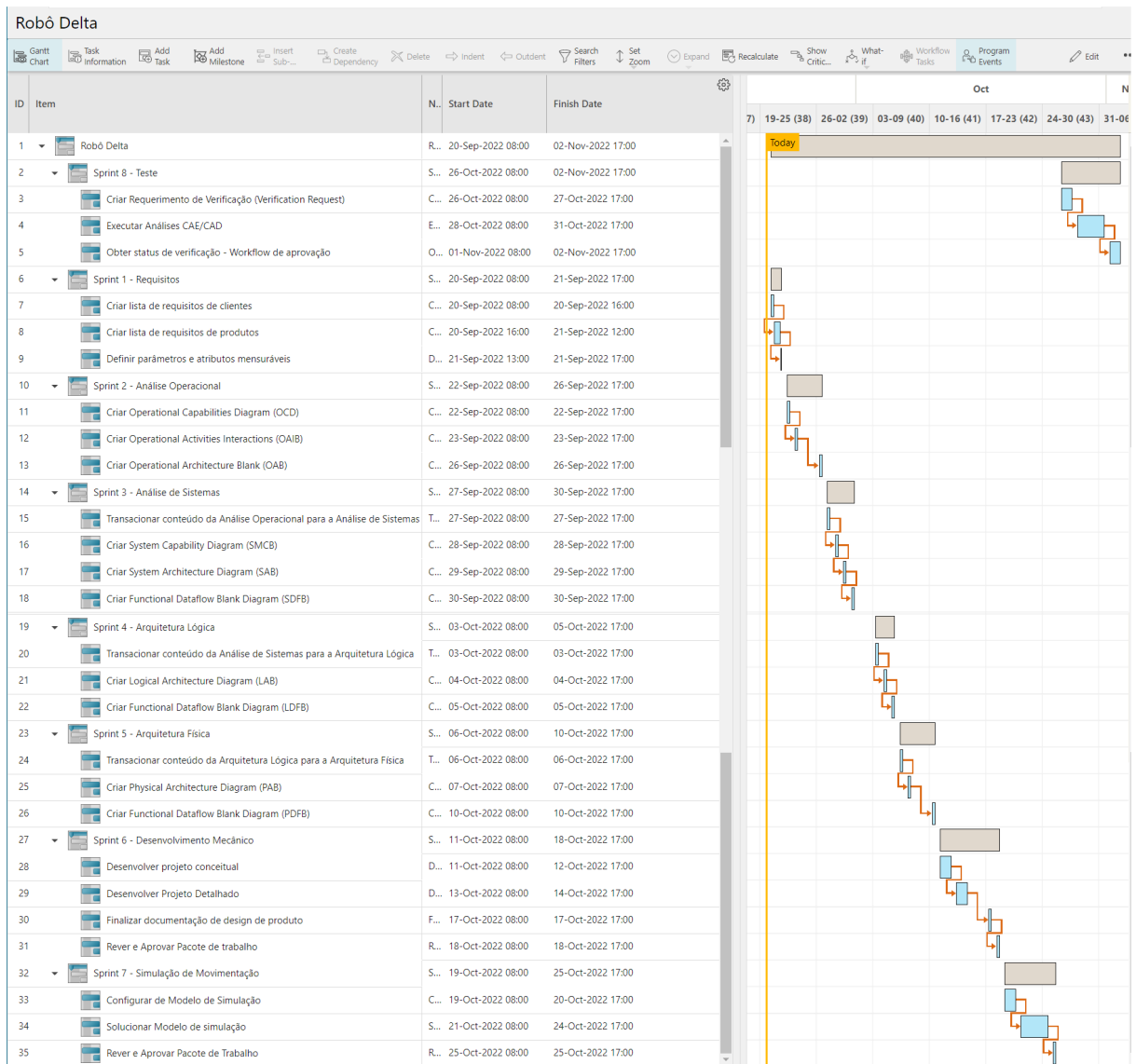
Uma série de cronogramas que representam as *sprints* do projeto são mostradas na Figura 30, já na Figura 31 tem-se o cronograma geral do programa.

Figura 30 – Cronograma de *sprints*

Name	Description	Summary Status	Priority	Work Effort	Start Date
Sprint 1 - Requisitos		Not Started	Medium	15h	20-Sep-2022 08:00
Sprint 2 - Análise Operac...		Not Started	Medium	24h	22-Sep-2022 08:00
Sprint 3 - Análise de Sist...		Not Started	Medium	32h	27-Sep-2022 08:00
Sprint 4 - Arquitetura Ló...		Not Started	Medium	24h	03-Oct-2022 08:00
Sprint 5 - Arquitetura Fis...		Not Started	Medium	24h	06-Oct-2022 08:00
Sprint 6 - Desenvolve...		Not Started	Medium	32h	11-Oct-2022 08:00
Sprint 7 - Simulação de ...		Not Started	Medium	24h	19-Oct-2022 08:00
Sprint 8 - Teste		Not Started	Medium	24h	26-Oct-2022 08:00

Fonte: Autor

Figura 31 – Cronograma geral do programa























Fonte: Autor

Para finalizar o plano de projeto na Figura 32 são exibidos os entregáveis que

foram posteriormente alocados nos eventos que os englobam. Esses objetos servem de contêineres para os itens de projeto que serão desenvolvidos e anexados.

Figura 32 – Entregáveis do projeto

	Definições de parâmetros e atributos mensuráveis 000136 Revision: A	
	Lista de requisitos de produto 000135 Revision: A	
	Lista de requisitos de clientes 000134 Revision: A	
	Validação de requisitos e parâmetros 000152 Revision: A	
	Verification request 000151 Revision: A	
	Modelos de resultado 000150 Revision: A	
	Modelos de simulação configurados 000149 Revision: A	
	Produtos ou Componentes de Produto 000148 Revision: A	
	Soluções alternativas e soluções de produto 000147 Revision: A	
	Functional Dataflow Blank Diagram (PDFB) 000146 Revision: A	
	Physical Architecture Diagram (PAB) 000145 Revision: A	
	Functional Dataflow Blank Diagram (LDFB) 000144 Revision: A	
	Logical Architecture Diagram (LAB) 000143 Revision: A	
	Functional Dataflow Blank Diagram (SDFB) 000142 Revision: A	
	System Architecture Diagram (SAB) 000141 Revision: A	
	System Capability Diagram (SMCB) 000140 Revision: A	
	Operational Architecture Blank (OAB) 000139 Revision: A	
	Operational Activities Interactions (OAIB) 000138 Revision: A	
	Operational Capabilities Diagram (OCD) 000137 Revision: A	

Fonte: Autor

Os riscos do projeto foram identificados e estão exibidos na Tabela 7. Quando em fala-se em adoção de novas tecnologias é possível destacar o risco - Falha em obter o comprometimento do usuário - que tem uma grande probabilidade e um impacto muito grande, já que toda estrutura criada para o projeto pode ser colocada de lado em preferência aos métodos tradicionais, aos quais o time e a organização já estão acostumados.

Tabela 7 – Tabela de Riscos

Descrição do risco	Estratégia de mitigação	Grupo do risco	Probabilidade	Impacto
Novas tecnologias não comprovadas	Fornecer treinamento na nova tecnologia e organizar o treinamento de conhecimento de domínio	Tecnologia	Médio	Médio
Mudança nos requisitos	Aprovação e validação dos requisitos em cada fase de implementação.	Mudança	Relativamente baixo	Alto
Má antecipação do orçamento necessário para entregar a implementação completa	Implementação de fases e definições prioritárias	Custo	Relativamente baixo	Relativamente Alto
Perda do conhecimento	Material de treinamento padrão.	Conhecimento	Relativamente Alto	Médio
Falha em obter o comprometimento do usuário	Criando um senso de propriedade, minimizando assim o risco de que o sistema seja rejeitado.	Recursos Humanos	Alto	Alto

Continuação da Tabela 7

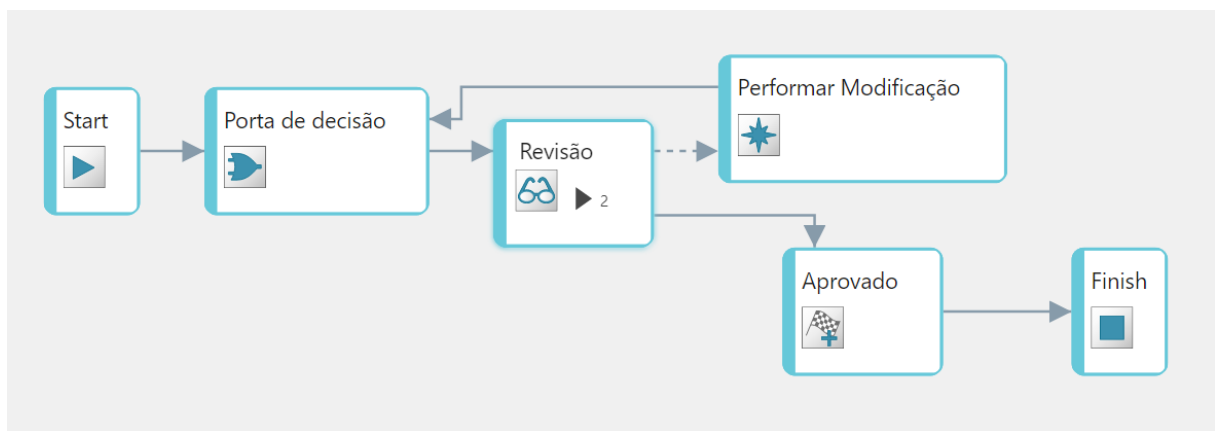
Escassez de pessoal	Avaliar o custo e agendar o impacto de cada mudança na dinâmica da organização.	Planejamento	Médio	Relativamente Alto
Pouca atenção para quebrar o desenvolvimento e a implementação em etapas gerenciáveis	Avaliar o custo e agendar o impacto de cada alteração para requisitos e especificações.	Planejamento	Relativamente baixo	Relativamente baixo
Casos de teste inadequados e geração de dados de teste inadequados	Criação e execução de um plano de implementação de testes	Tecnologia	Médio	Alto
Entregar sistema de maneira apressada	Certifique-se de que a qualidade de todos os processos seja atendida antes de entregar qualquer solução ao cliente.	Tecnologia	Médio	Relativamente Alto
Falta de habilidades tecnológicas	O usuário pode precisar de treinamento prático adicional para continuar seu trabalho	Conhecimento	Relativamente Alto	Médio

Fonte: Autor

Uma etapa importante que ocorre durante todo o projeto é o fluxo de trabalho de aprovação (Revisar planos que afetam o projeto - *workflow* de aprovação), este objeto

dispara tarefas automáticas aos responsáveis selecionados para que haja uma revisão e aprovação de pacotes de trabalho. Na Figura 33 está exposto o fluxo utilizado durante todo o projeto para as tarefas que pedem aprovação de dados. O fluxo se inicia e vai para a tarefa de - Revisão -, onde o gerente responsável é escolhido para dar o parecer sobre o entregável. Caso o pacote de dados não esteja de acordo com os critérios do gerente o fluxo segue para a tarefa - Performar modificação-. Após as modificações feitas o fluxo retorna para a tarefa de revisão onde poderá ser aprovado ou rejeitado novamente, caso esteja tudo de acordo ele é aprovado e recebe um *status* de - Aprovado -, fazendo com que o pacote de dados fique bloqueado para novas edições.

Figura 33 – Fluxo de trabalho de aprovação



Fonte: Autor

A partir da subtarefa - Planejar e Estruturar o Projeto- seguem o controle e gerenciamento.

- Gestão de cronogramas, tarefas, recursos e entregáveis.
- Gestão de riscos, oportunidades e problemas.
- Controlar e comunicar *status* de projeto.

As tarefas de gestão devem ser executadas a todo o momento que o projeto está ativo, portanto não há um objeto que simbolize a finalização ou execução da mesmas. São tarefas com resultados não visualizáveis mas de suma importância para a conclusão do projeto.

A última subtarefa - Finalizar o projeto/programa e lições aprendidas - é a finalização formal e o cliente recebe o produto pronto. Nesta tarefa também são recolhidos os *feedbacks* dos integrantes de execução, da gerencia e dos clientes. Esses *feedbacks* são armazenados juntamente com todos os dados gerados durante e o projeto e devem ser disponibilizados para consultas posteriores.

Nas Figuras 34 e 35 estão contidos, respectivamente, os eventos de programa com *status* completos e os cronogramas devidamente concluídos.

Figura 34 – Eventos finalizados

Name	Descri...	Type	State
 Aprovação do plano de projeto		Event	
 Aprovação da Lista de Requisitos e Parâmetros		Event	
 Finalização da Análise Operacional		Event	
 Finalização da Análise de Sistemas		Event	
 Finalização da Arquitetura Lógica		Event	
 Finalização da Arquitetura Física		Event	
 Sistema Final para verificação		Event	
 Finalização do design Mecânico		Event	
 Finalização de simulações		Event	
 Finalizar verificação por Simulação		Event	
 Obtenção do status de verificação.		Event	
 Final do projeto		Event	

Fonte: Autor

Figura 35 – Cronograma finalizado

ID	Item	Start Date	Finish Date	State	Duration
1	Robô Delta	20-Sep-2022 08:00	02-Nov-2022 17:00	Complete	254.0h
2	Sprint 8 - Teste	26-Oct-2022 08:00	02-Nov-2022 17:00	Complete	48.0h
3	Criar Requerimento de Verificação (Verification Request)	26-Oct-2022 08:00	27-Oct-2022 17:00	Complete	16.0h
4	Executar Análises CAE/CAD	28-Oct-2022 08:00	31-Oct-2022 17:00	Complete	16.0h
5	Obter status de verificação - Workflow de aprovação	01-Nov-2022 08:00	02-Nov-2022 17:00	Complete	16.0h
6	Sprint 1 - Requisitos	20-Sep-2022 08:00	21-Sep-2022 17:00	Complete	14.0h
7	Criar lista de requisitos de clientes	20-Sep-2022 08:00	20-Sep-2022 16:00	Complete	5.0h
8	Criar lista de requisitos de produtos	20-Sep-2022 16:00	21-Sep-2022 12:00	Complete	5.0h
9	Definir parâmetros e atributos mensuráveis	21-Sep-2022 13:00	21-Sep-2022 17:00	Complete	3.0h
10	Sprint 2 - Análise Operacional	22-Sep-2022 08:00	26-Sep-2022 17:00	Complete	24.0h
11	Criar Operational Capabilities Diagram (OCD)	22-Sep-2022 08:00	22-Sep-2022 17:00	Complete	8.0h
12	Criar Operational Activities Interactions (OAIB)	23-Sep-2022 08:00	23-Sep-2022 17:00	Complete	8.0h
13	Criar Operational Architecture Blank (OAB)	26-Sep-2022 08:00	26-Sep-2022 17:00	Complete	8.0h
14	Sprint 3 - Análise de Sistemas	27-Sep-2022 08:00	30-Sep-2022 17:00	Complete	32.0h
15	Transacionar conteúdo da Análise Operacional para a Análise de Sistemas	27-Sep-2022 08:00	27-Sep-2022 17:00	Complete	8.0h
16	Criar System Capability Diagram (SMCB)	28-Sep-2022 08:00	28-Sep-2022 17:00	Complete	8.0h
17	Criar System Architecture Diagram (SAB)	29-Sep-2022 08:00	29-Sep-2022 17:00	Complete	8.0h
18	Criar Funcional Dataflow Blank Diagram (SDFB)	30-Sep-2022 08:00	30-Sep-2022 17:00	Complete	8.0h
19	Sprint 4 - Arquitetura Lógica	03-Oct-2022 08:00	05-Oct-2022 17:00	Complete	24.0h
20	Transacionar conteúdo da Análise de Sistemas para a Arquitetura Lógica	03-Oct-2022 08:00	03-Oct-2022 17:00	Complete	8.0h
21	Criar Logical Architecture Diagram (LAB)	04-Oct-2022 08:00	04-Oct-2022 17:00	Complete	8.0h
22	Criar Funcional Dataflow Blank Diagram (LDFB)	05-Oct-2022 08:00	05-Oct-2022 17:00	Complete	8.0h
23	Sprint 5 - Arquitetura Física	06-Oct-2022 08:00	07-Oct-2022 17:00	Complete	16.0h
24	Transacionar conteúdo da Arquitetura Lógica para a Arquitetura Física	06-Oct-2022 08:00	06-Oct-2022 17:00	Complete	8.0h
25	Criar Physical Architecture Diagram (PAB)	07-Oct-2022 08:00	07-Oct-2022 17:00	Complete	8.0h
26	Sprint 6 - Desenvolvimento Mecânico	11-Oct-2022 08:00	18-Oct-2022 17:00	Complete	48.0h
27	Desenvolver projeto conceitual	11-Oct-2022 08:00	12-Oct-2022 17:00	Complete	16.0h
28	Desenvolver Projeto Detalhado	13-Oct-2022 08:00	14-Oct-2022 17:00	Complete	16.0h
29	Finalizar documentação de design de produto	17-Oct-2022 08:00	17-Oct-2022 17:00	Complete	8.0h
30	Rever e Aprovar Pacote de trabalho	18-Oct-2022 08:00	18-Oct-2022 17:00	Complete	8.0h
31	Sprint 7 - Simulação de Movimentação	19-Oct-2022 08:00	25-Oct-2022 17:00	Complete	40.0h
32	Configurar de Modelo de Simulação	19-Oct-2022 08:00	20-Oct-2022 17:00	Complete	16.0h
33	Solucionar Modelo de simulação	21-Oct-2022 08:00	24-Oct-2022 17:00	Complete	16.0h
34	Rever e Aprovar Pacote de Trabalho	25-Oct-2022 08:00	25-Oct-2022 17:00	Complete	8.0h

Fonte: Autor

4.2.2 Gerenciamento de Requisitos

As lista de requisitos de cliente e produto trazidos nas Figuras 36 e 37 são resultados das tarefas de obtenção e organização de requisitos de clientes e produtos do *framework*.

Figura 36 – Requisitos de clientes

000132-Requisitos de Cliente	
	1 REQ-000016- Mecanismo de movimentação deve ser autônomo para manufatura aditiva
	Durante operação deve funcionar sem intervenção humana
	2
	2 REQ-000017- O robô deve ser fácil de montar
	O robô deve ser fácil de montar
	2
	3 REQ-000018- O sistema deve ser de fácil manutenção
	O sistema deve ser de fácil manutenção
	3
	4 REQ-000019- O sistema deve operar sem grandes pausas
	O sistema deve operar sem grandes pausas
	1
	5 REQ-000020- Deve ser fácil iniciar um trabalho.
	Deve ser fácil iniciar um trabalho.
	1
	6 REQ-000022- O sistema deve ser de baixo custo
	O sistema deve ser de baixo custo
	7 REQ-000021- Deve ser possível fazer melhoramentos no sistema
	Deve ser possível fazer melhoramentos no sistema
	1
	8 REQ-000023- O sistema deve ser de baixo ruído
	O sistema deve ser de baixo ruído
	9 REQ-000024- Processo de fabricação acessível para produzir o protótipo de robô
	Para produzir o protótipo do robô a manufatura deve ser acessível
	1
	10 REQ-000025- O robô deve ter um design bonito e bom acabamento
	O robô deve ter um design bonito e bom acabamento
	1
	11 REQ-000026- Mecanismo de movimentação deve ser de fácil programação
	Mecanismo de movimentação deve ser de fácil programação.
	2
	12 REQ-000027- O Mecanismo de movimentação deve prevenir perda de material
	Em caso de falha o sistema deve travar a produção
	1
	13 REQ-000049- Deve ser possível a produção de peças de grande porte
	Deve ser possível a produção de peças de grande porte
	1
	14 REQ-000051- O mecanismo deve ter instrumentação para possibilitar monitoramento contínuo
	O mecanismo deve ter instrumentação para possibilitar monitoramento contínuo
	1

Observa-se que os requisitos de produtos e componentes são obtidos a partir de um aprofundamento dos requisitos trazidos pelos clientes. Os requisitos de produtos e componentes, normalmente, levantam questões práticas e técnicas sob as quais o produto deve ser desenvolvido. Comumente, os requisitos de produtos e componentes carregam parâmetros, atributos mensuráveis, que os delimitam e completam. Os parâmetros, objetivos e intervalos de aceitação criados são mostrados na Figura 38.

Figura 38 – Definição de parâmetros

PARAMETER DEFINITIONS										
Name	Data Type	Units	Goal	Min	Max	Release Sta...	Date Modified	ID	Default	
Altura da área de trabalho.	Double	mm	470	400	545		28-Sep-2022	000517		
Altura total da máquina.	Double	mm	2500	2200	2700		28-Sep-2022	000518		
Comprimento do fuso.	Double	mm	650				28-Sep-2022	000513		
Comprimento útil do fuso.	Double	mm	545	500	650		28-Sep-2022	000515		
Distância entre fusos.	Double	mm	350	320	370		28-Sep-2022	000514		
Largura total da máquina.	Double	mm	1130	1000	1200		28-Sep-2022	000519		
Número de peças.	Double	each	110	100	120		28-Sep-2022	000522		
Peso do sistema.	Double	kg	5	3	10		28-Sep-2022	000509		
Peso do sistema.	Double	kg	5	3	10		28-Sep-2022	000520		
Peso total da máquina.	Double	kg	150	100	200		28-Sep-2022	000521		
Raio da mesa.	Double	mm	102.5				28-Sep-2022	000512		
Raio da área de trabalho.	Double	mm	100	90	103		28-Sep-2022	000516		
Volume do espaço de trabalho.	Double	m ³	1				28-Sep-2022	000511		

Fonte: Autor

Ao fim do processo de Gerenciamento de Requisitos, pede-se que os mesmos sejam revisados e recebam o *status* de aprovados.

4.2.3 Modelagem de Sistema

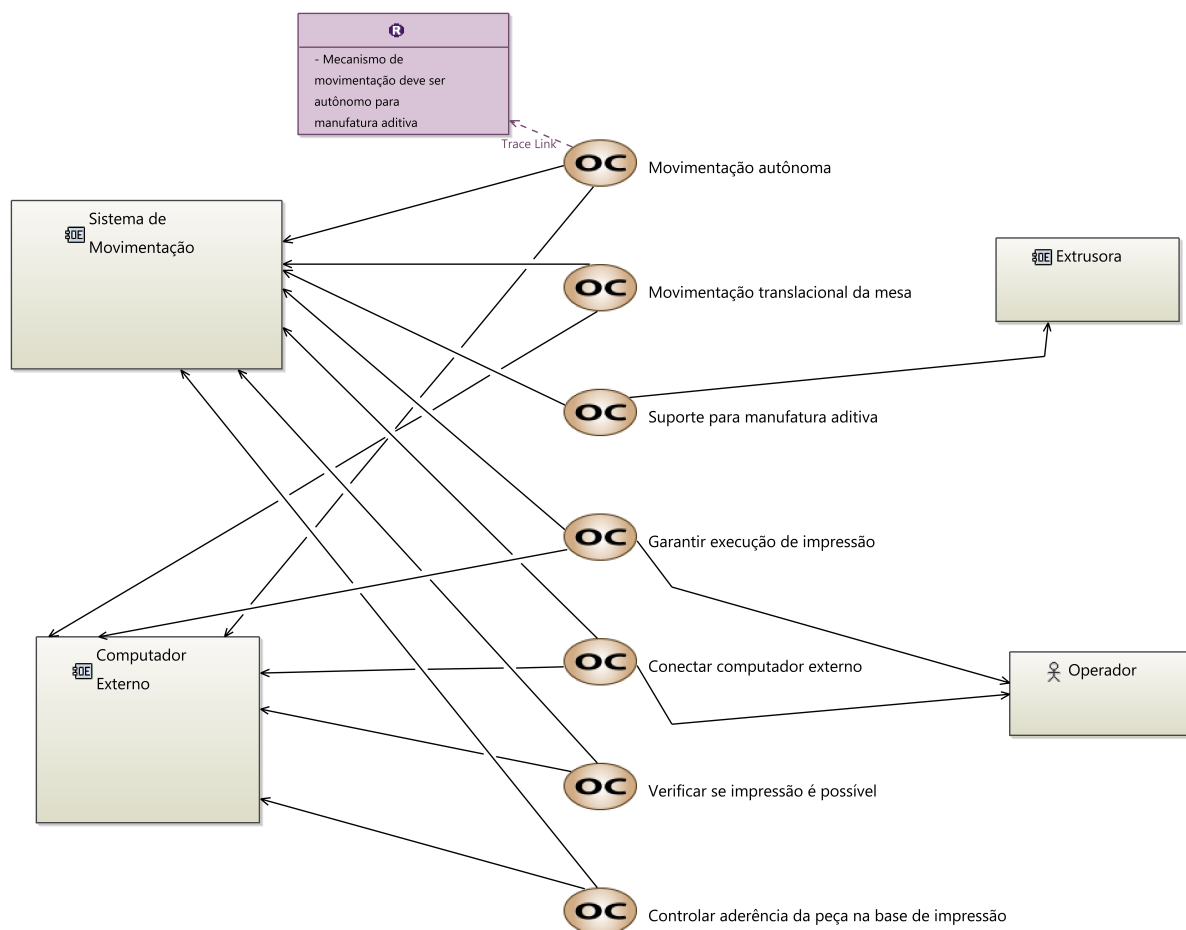
A Modelagem de sistemas é composta por Análise Operacional, Análise funcional, Modelagem de Arquitetura Lógica e Modelagem de Arquitetura Física. O método ARCA-DIA apresentado é baseado na criação de diagramas que relacionam funções lógicas com possíveis soluções para o sistema. A ideia foi partir de um conceito e capacidades básicas e ir desenvolvendo o sistema e requisitos para que se possa chegar em uma solução para o produto final.

Começa-se pela Análise Operacional, na qual as capacidades operacionais dos *stakeholders* são capturadas e consolidadas, os comportamentos dos usuários são traçados e atividades operacionais para que as capacidades sejam entregues são elencadas.

O primeiro diagrama construído, apresentado na Figura 39, foi o *Operational Capabilities Diagram* (OCD) ou em português Diagrama de Capacidades Operacionais. Nele estão dispostas as capacidades operacionais que o sistema deve entregar e os atores

envolvidos. Nota-se, que nesta fase não se sabe ainda qual vai ser a solução proposta para o sistema de movimentação mas já se sabe com quem e com o que o sistema vai interagir. Importante destacar o quadrinho roxo que aparece no diagrama, este tipo de quadrinho faz referência a requisitos gerados a partir dos objetos aos quais estão conectados, estes requisitos são os mesmos que foram apresentados na seção anterior.

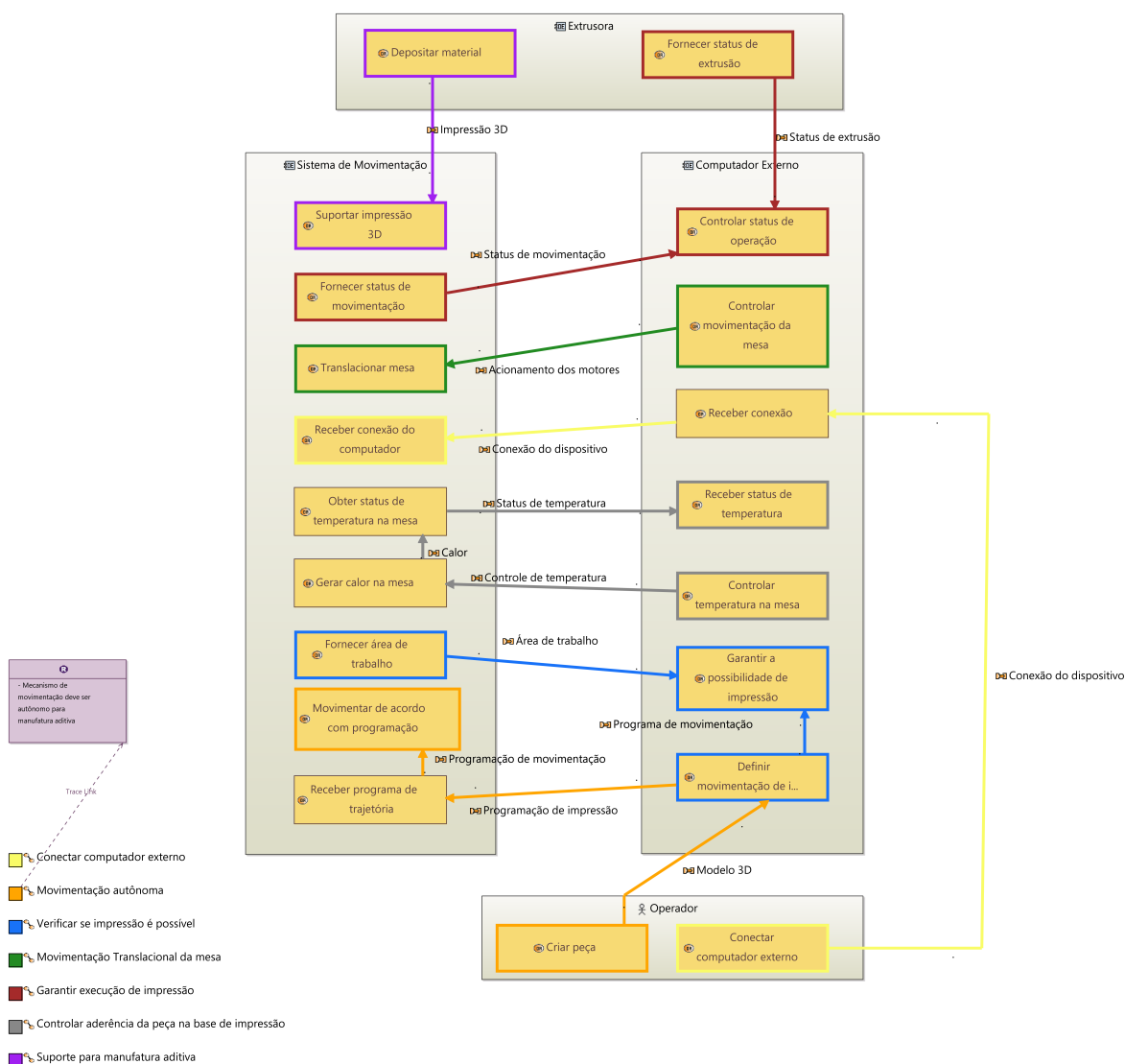
Figura 39 – Diagrama de capacidades operacionais



Fonte: Autor

O segundo diagrama da Análise Operacional é o *Operational Architecture Blank* (OAB) ou Arquitetura Operacional e é mostrado na Figura 40. Nele estão definidas as atividades operacionais que devem ser executadas pelos atores envolvidos no processo. A observação a ser feita é referente ao sequenciamento de atividades, cada sequência de atividades tem uma cor e serve para descrever as capacidades operacionais que devem ser entregues.

Figura 40 – Diagrama de arquitetura operacional

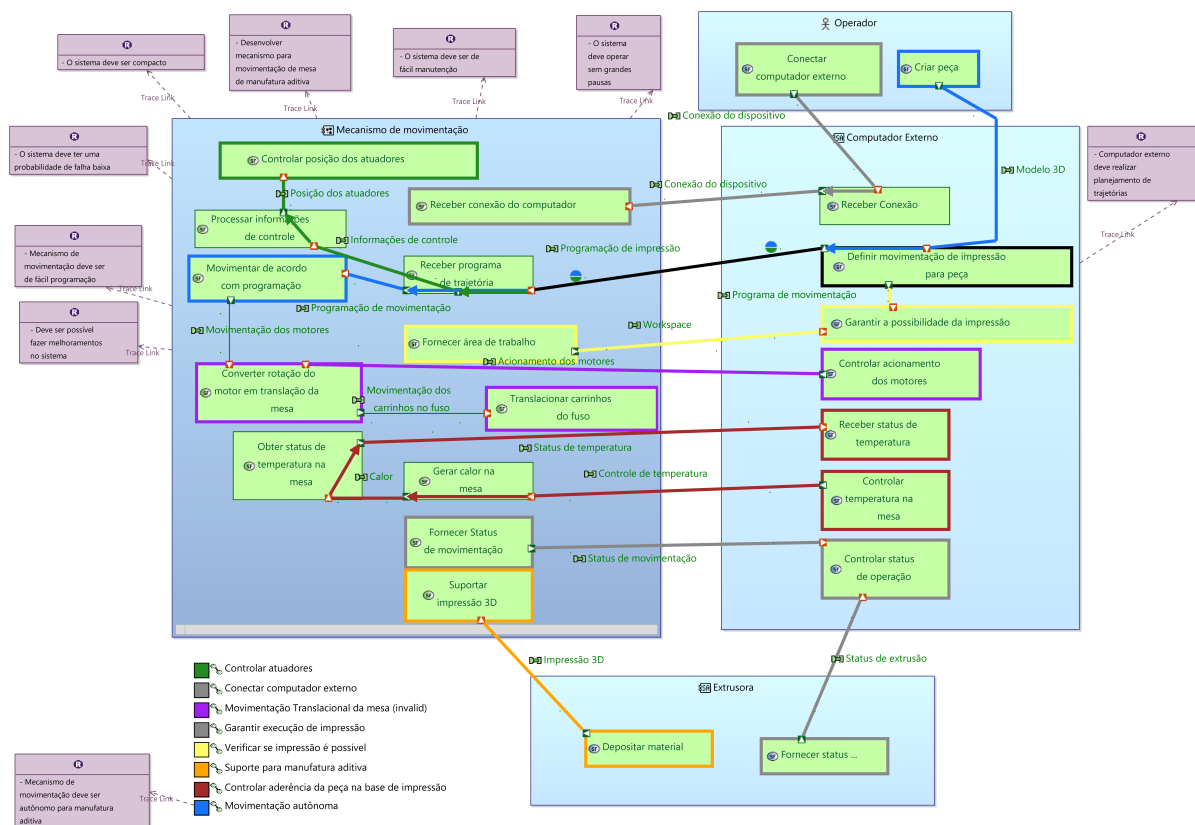


Fonte: Autor

A segunda etapa do método ARCADIA é a Análise de Sistemas, na qual as fronteiras do sistema a ser desenvolvido é estabelecida e os requisitos são consolidados com o objetivo de levantar as funções que o sistema deve entregar ao usuário.

Um diagrama é definido nesta fase e é apresentado na Figura 41. Chamado de *System Architecture Blank* (SAB) ou Arquitetura do Sistema, ele organiza funções sistêmicas e mostra o que deve ser realizado pelo sistema e como o sistema se comunica com os atores. Novamente, tem-se a definição das cadeias funcionais que entregam as capacidades elencadas no diagrama anterior.

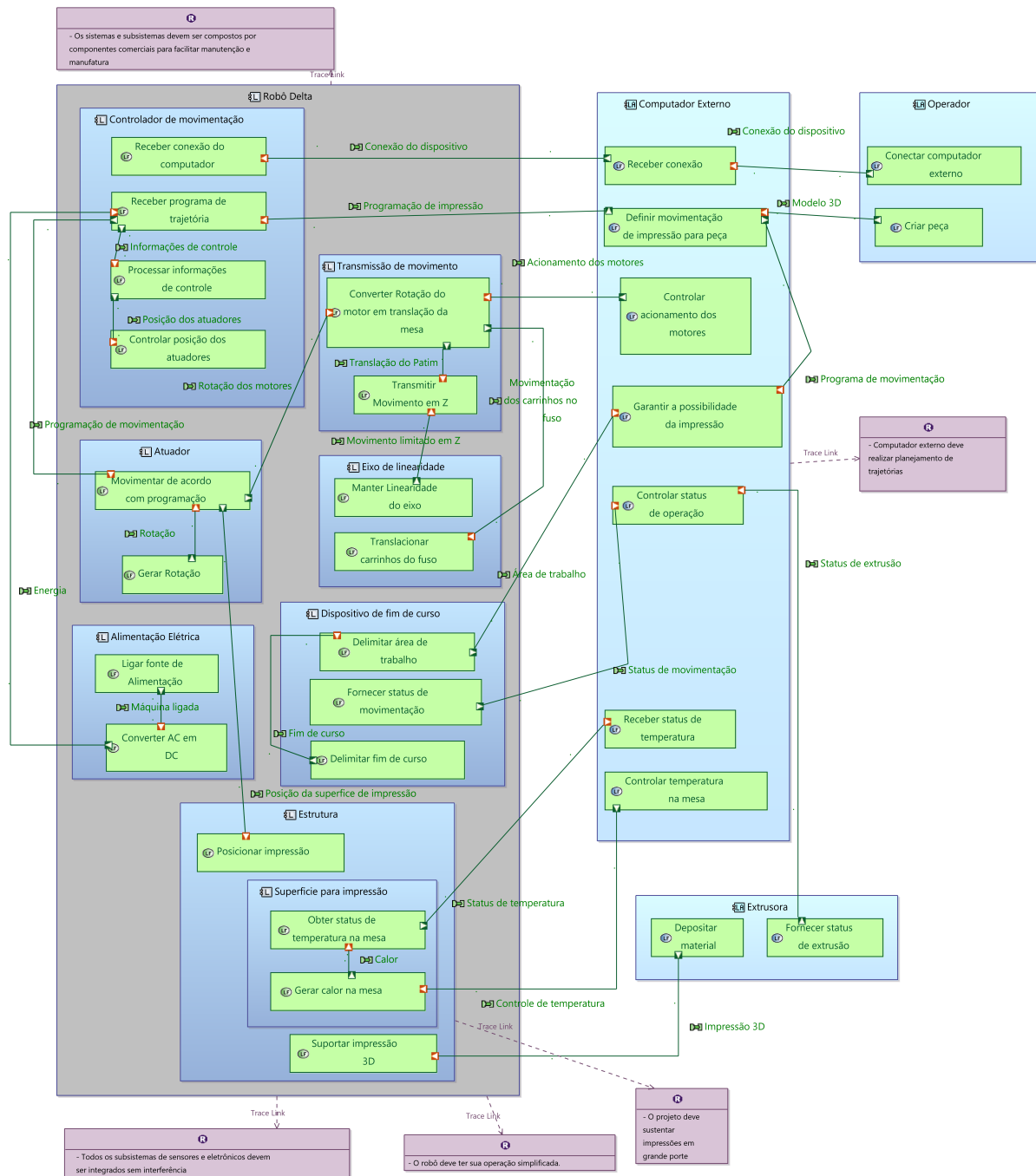
Figura 41 – Diagrama de arquitetura do sistema



Fonte: Autor

Para a Modelagem de Arquitetura Lógica foi escolhido a construção do diagrama *Logical Architecture Blank* (LAB) ou Diagrama de Arquitetura Lógica, apresentado na Figura 42. Neste diagrama o sistema final começa a tomar forma. O sistema é subdividido em componentes que são responsáveis por entregar as funções lógicas definidas. Nota-se que neste diagrama já há uma definição do sistema de movimentação, tendo sido escolhido o robô delta como solução. Alguns outros requisitos importantes são definidos nesta fase, já que os engenheiros começam a ter uma ideia de como o sistema final vai se comportar e quais os componentes necessários para que as capacidades sejam entregues.

Figura 42 – Diagrama de arquitetura lógica

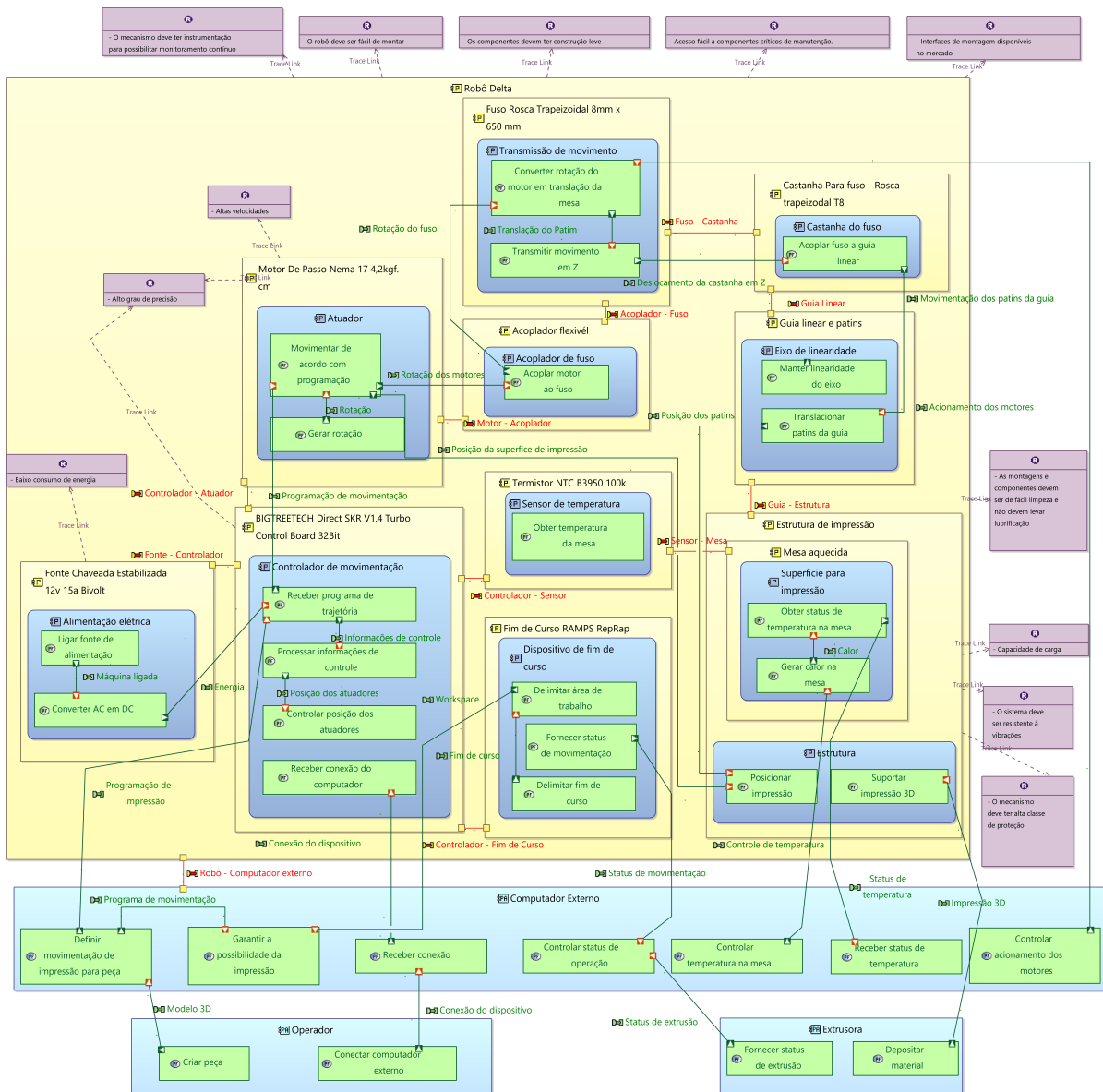


Fonte: Autor

Para finalizar com o processo de modelagem de sistema tem-se a Modelagem de Arquitetura Física, na qual o sistema ganha especificações de como ele será desenvolvido e construído. Componentes de hardware são acrescentados, ligações físicas, como cabeamento, são definidas, os softwares que serão embarcados também são acrescentados. Está é a fase do método no qual o sistema mais se assemelha com a realidade do produto final, e para isso foi desenvolvido a o diagrama *Physical Architecture Blank* (PAB) ou em português

Diagrama de Arquitetura Física, exibido na Figura 43. Verifica-se que há a criação de componentes físicos com os nomes e atributos comerciais, há a indicação de conexão física e não somente a indicação de troca de comportamento e funções.

Figura 43 – Diagrama de arquitetura física



Fonte: Autor

Com isso tem-se o sistema completamente definido e assim se torna possível o avanço para a integração dos sistemas com os domínios de engenharia.

4.2.4 Definição de Sistema e Implementação de Design

Com a finalização do sistema e aprovação pelos clientes e gerentes responsáveis, as seguintes subtarefas de aprovação de sistemas do processo - Definição de sistema e

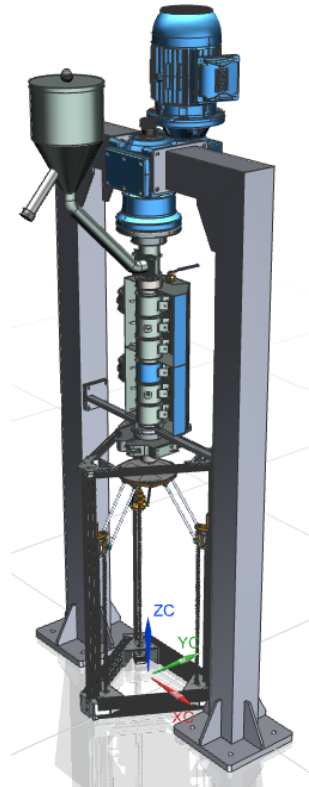
Implementação de *design* - foram completas.

Chega-se então na tarefa de - Gestão de *design* e integração -, na qual os domínios de engenharia, sob os quais o produto será desenvolvido, devem ser definidos, os pacotes de trabalho devem ser enviados para os engenheiros e desenvolvedores e o trabalho concorrente deve ser viabilizado. Quanto aos domínios de engenharia, são explorados o *design* CAD mecânico e simulação de movimentação 3D. Os pacotes de trabalho são a criação do mecanismo em sistema CAD e a simulação de movimentação do robô delta, para averiguação do espaço de trabalho e comportamento cinemático. Como o sistema PLM Teamcenter está sendo usado a engenharia concorrente está sendo viabilizada.

A partir da definição trazida acima se faz possível o avanço do projeto para o desenvolvimento do produto propriamente dito. O primeiro domínio a ser explorado é o de *design* mecânico. O *framework* pede um projeto conceitual e para este projeto o autor Cortés *et al.* (2017) apresenta soluções para a criação de um robô para impressão 3D, com base neste projeto foram criados os projetos conceituais apresentado na modelagem física do sistema proposto (Figura 43).

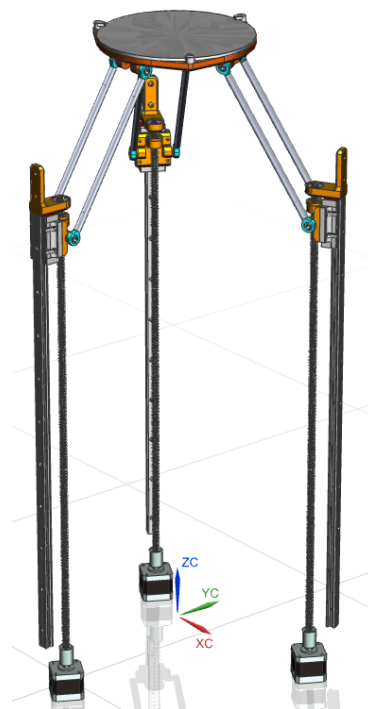
Com o projeto conceitual estabelecido pode-se avançar para o detalhamento do mesmo. Sendo assim, o modelamento CAD 3D da impressora de grande porte com sistema de movimentação tipo delta foi executado e é apresentado nas Figuras 44 e 45. Na Figura 44 a montagem completa é mostrada, enquanto na Figura 45 somente o sistema de movimentação da mesa, robô Delta, é exibido.

Figura 44 – Modelagem 3D do conjunto completo



Fonte: Autor

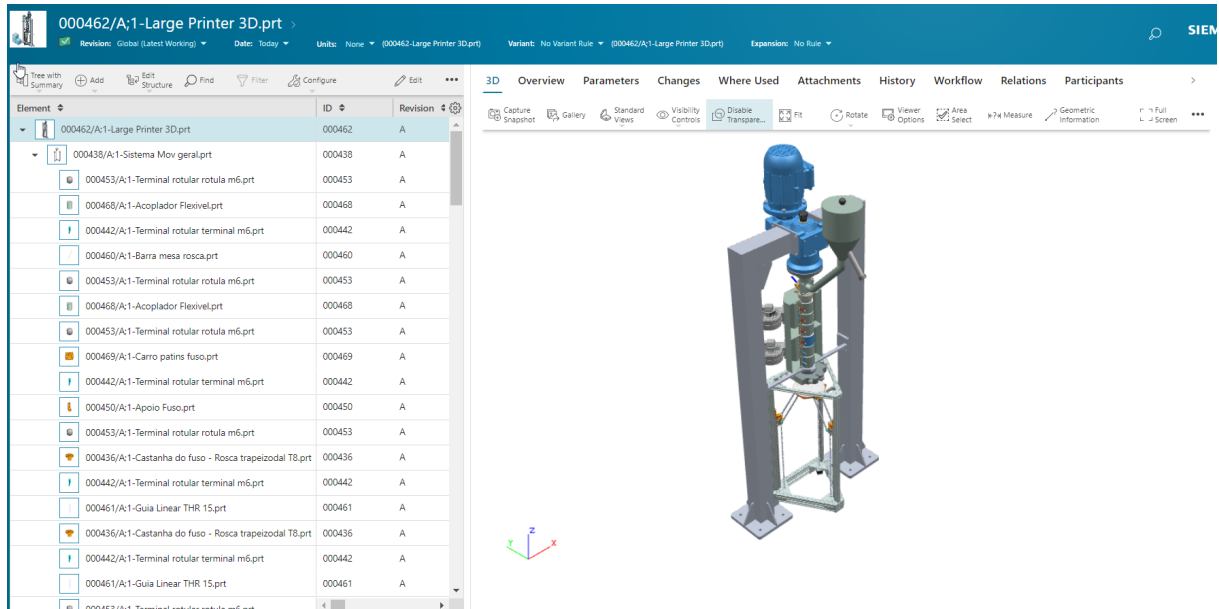
Figura 45 – Modelagem 3D do robô delta



Fonte: Autor

Destaca-se que a mesma estrutura de produto construído no software de modelamento 3D está disponível no sistema PLM Teamcenter, como mostrado na Figura 46. Este ponto é importante, pois independente do software a mesma estrutura de produto pode ser trabalhada, ou seja somente há uma fonte de informações para todos na organização.

Figura 46 – Estrutura de produto no Teamcenter



Fonte: Autor

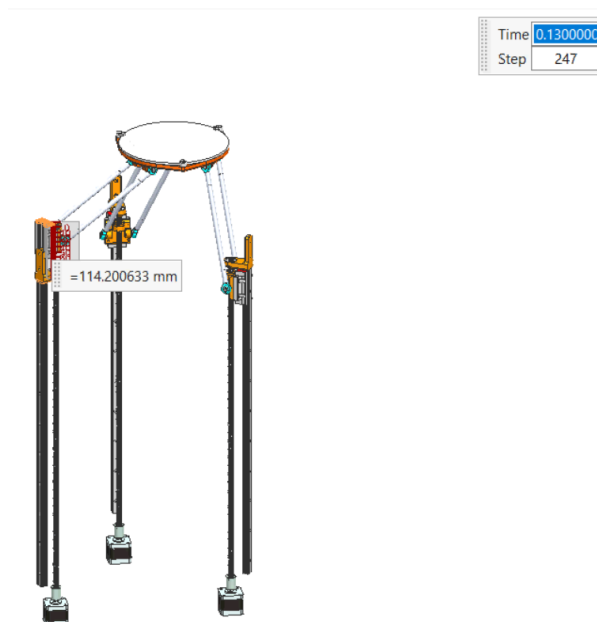
O último domínio de engenharia é o de simulação e para isso foram criadas simulações de movimentação de mecanismo. A ideia era simular o movimentação do robô para a impressão de uma peça que ocupe a totalidade do espaço de impressão na mesa. A mesa tem um raio de 102.5 mm, porém de acordo com os programas de impressão 3D a área útil de impressão se limita a 90 mm de raio.

Foi programado a movimentação da mesa para uma impressão de um cilindro de 90 mm de raio. O ponto de início da simulação foi no fim de curso superior, para que haja uma referência para a medição de deslocamento do patins.

Após a simulação foi possível observar o comportamento dos patins da guia linear e estabelecer o intervalo de translação na direção Z. Por meio de dados coletados este intervalo está restrito a um deslocamento positivo de 114,20 mm ocorrido no *step* 247, enquanto o deslocamento negativo máximo na direção Z foi de 31, 03 mm e ocorre no *step* 1648.

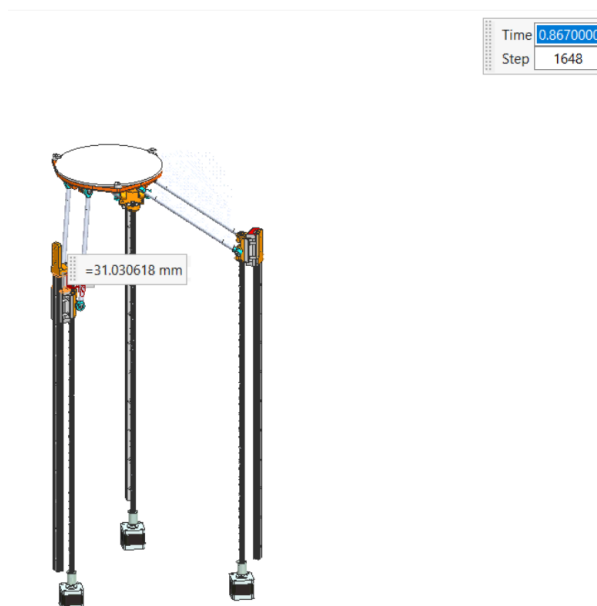
Nas Figuras 47 e 48 estão mostrados os deslocamentos do patins máximo e mínimo respectivamente.

Figura 47 – Ponto máximo de deslocamento do patim da guia linear



Fonte: Autor

Figura 48 – Ponto mínimo de deslocamento do patim da guia linear



Fonte: Autor

Constata-se então, que para a mesa se movimentar em uma trajetória de uma circunferência de 90 mm de raio, contida no plano de impressão, os patins da guia linear se deslocam 114,20 mm para cima e 31.03 mm para baixo do plano inicial de referência. Portanto, esses valores devem ser subtraídos do comprimento útil do eixo para que se obtenha a altura do espaço de trabalho da impressora. O valor do espaço de trabalho é apresentado na seção de verificação.

4.2.5 Verificação

A última etapa do *framework* é a de verificação e ela começa com o planejamento da verificação. Para planejar é necessário estabelecer o método de teste e neste projeto o teste a ser executado é uma simulação trazida na seção anterior, combinada com uma análise dos parâmetros de geometria levantados durante a execução dos processos.

Como resultados desta etapa são apresentadas as Figuras 49 e 50. A Figura 49 mostra o requerimento de verificação dentro do Teamcenter, este objeto tem o intuito de colocar em um só lugar todos os requisitos, funções, peças, sistemas e parâmetros mensuráveis a serem verificados.

Figura 49 – Requerimento de verificação

The screenshot displays the Teamcenter interface for a verification request. The main content area is divided into three sections: Requirements, Parameters, and a summary chart. The Requirements table lists five items, with one failing. The Parameters table lists 11 items, with one failing. The summary chart shows 4 passes, 1 fail, and 0 no results.

Element Name	Revisi...	Target	Result	Owner	Type	Structure
Amplo espaço de tra...	A	True	Pass	Edson Parreira (...)	Requirement Revisi...	False
O robô deve suporta...	A	True	Fail	Edson Parreira (...)	Requirement Revisi...	False
O sistema deve ser c...	A	True	Pass	Edson Parreira (...)	Requirement Revisi...	False
Os componentes dev...	A	True	Pass	Edson Parreira (...)	Requirement Revisi...	False
Os sistemas e sub sist...	A	True	Pass	Edson Parreira (...)	Requirement Revisi...	False

Name	Revision	Usage	Result	Measure...	Goal	Min	Max	Units	Src
Altura da área de trabal...	A	Output	Pass	464.7	470	400	545	mm	REQ-0
Altura total da máquina.	A	Output	Pass	2438.33	2500	2200	2700	mm	REQ-0
Comprimento do fuso.	A	Output	Pass	650	650			mm	REQ-0
Comprimento útil do fu...	A	Output	Pass	545	545	500	650	mm	REQ-0
Distância entre fusos.	A	Output	Pass	329.39	350	320	370	mm	REQ-0
Largura total da máqui...	A	Output	Pass	1136	1130	1000	1200	mm	REQ-0
Número de peças.	A	Output	Pass	106	110	100	120		REQ-0
Peso do sistema.	A	Output	Pass	4.2831	5	3	10	kg	REQ-0
Peso total da máquina.	A	Output	Pass	159.6096	150	100	200	kg	REQ-0
Raio da mesa.	A	Output	Pass	102.5	102.5			mm	REQ-0
Raio da área de trabalho.	A	Output	Pass	90	100	90	103	mm	REQ-0
Volume do espaço de tr...	A	Output	Fail	0.011825175	1			m^3	REQ-0

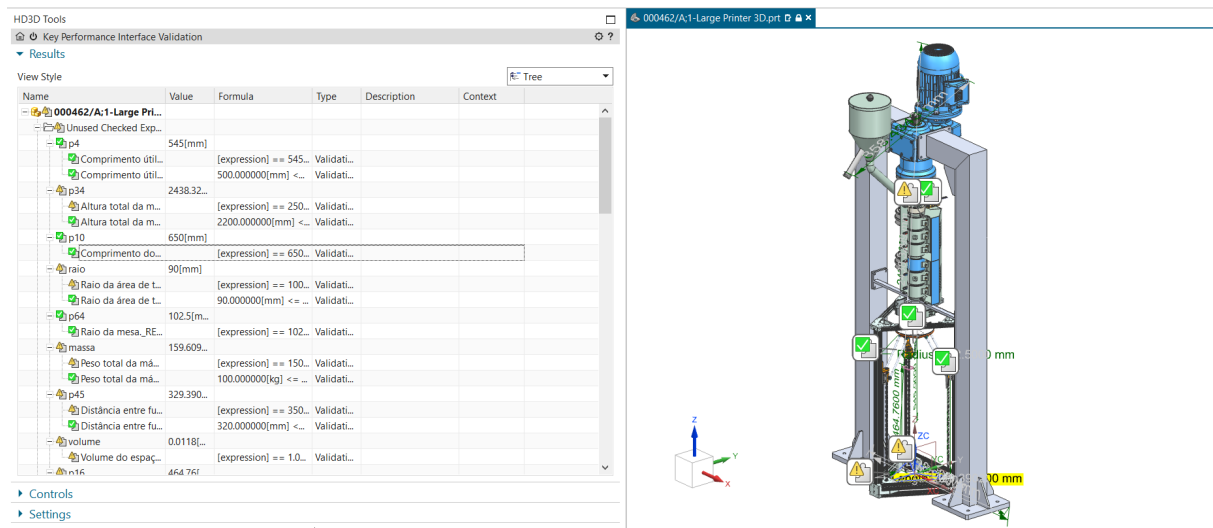
Fonte: Autor

O requerimento de verificação separa, basicamente, os parâmetros e os requisitos definidos por eles. Sendo assim, se todos os parâmetros de medição estiverem de acordo com as definições e intervalos de aceitação, o requisito é tido como aprovado no teste, caso

o contrário ele é reprovado. No projeto, todos os parâmetros medidos no produto estão entre os intervalos de aceitação, exceto o parâmetro que diz que a área de trabalho da impressora deve ser de 1 m^3 . A falha deste parâmetro, faz com que o seu requisito também seja rejeitado.

Uma parte relevante deste projeto é mostrar como estas medições de parâmetros foram obtidas. Primeiramente é importante destacar que como o projeto trata de um gêmeo digital, os testes tem que ser desenvolvidos em ambiente virtual e para isso o Teamcenter e o software NX Siemens disponibilizam ferramentas de capturas de medições que são convertidas nos parâmetros de projeto. Na Figura 50 está exibida uma tela do software de modelamento 3D, na qual os parâmetros do requisito de verificação estão sendo confirmados por meio de medições e expressões do próprio modelo 3D. Desta forma, há uma correspondência exata entre dados de testes e os dados de desenvolvimento do produto.

Figura 50 – Verificação no software de modelamento



Fonte: Autor

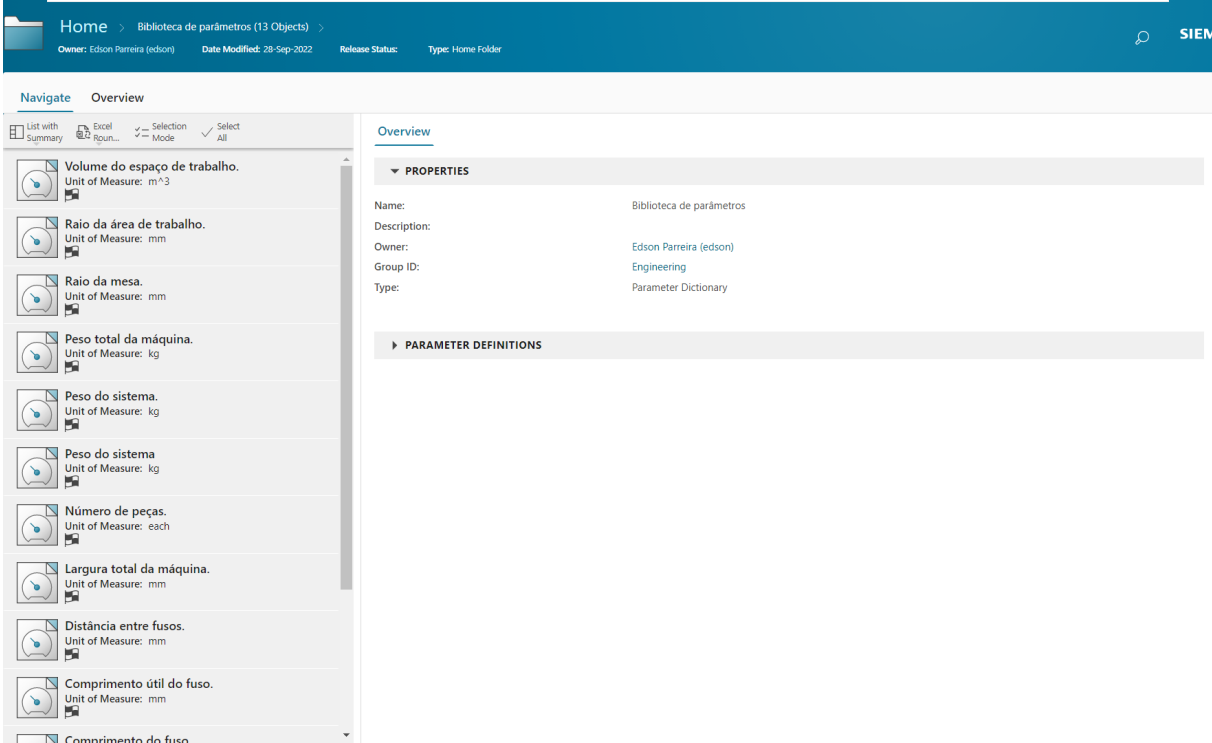
Note que na janela gráfica há uma referência aos parâmetros analisados e se por acaso o produto sofrer alguma alteração que modifique os parâmetros, automaticamente a verificação estará fora dos intervalos de aceitação definidos, fazendo com que o requisito seja rejeitado. Essa integração, torna o gêmeo digital mais próximo a realidade e faz com que a organização poupe recursos e tempo no desenvolvimento de produtos.

4.2.6 Gerenciamento de parâmetros

Esta etapa se baseia no gerenciamento dos parâmetros dentro do sistema PLM, ela é uma etapa de apoio e o único resultado apresentado é a criação da biblioteca de

parâmetros e a aprovação dos mesmos por meio de um fluxo de trabalho de aprovação. Pode-se observar este resultado na Figura 51.

Figura 51 – Gerenciamento de parâmetros



The screenshot displays a software interface for parameter management. The top navigation bar shows the current location as 'Home > Biblioteca de parâmetros (13 Objects)'. Below this, there are tabs for 'Navigate' and 'Overview'. The 'Overview' tab is active, showing a list of parameters on the left and their properties on the right.

Parameter List (Left Pane):

- Volume do espaço de trabalho. Unit of Measure: m³
- Raio da área de trabalho. Unit of Measure: mm
- Raio da mesa. Unit of Measure: mm
- Peso total da máquina. Unit of Measure: kg
- Peso do sistema. Unit of Measure: kg
- Peso do sistema. Unit of Measure: kg
- Número de peças. Unit of Measure: each
- Largura total da máquina. Unit of Measure: mm
- Distância entre fusos. Unit of Measure: mm
- Comprimento útil do fuso. Unit of Measure: mm
- Comprimento do fuso

Overview Panel (Right Pane):

PROPERTIES

Name:	Biblioteca de parâmetros
Description:	
Owner:	Edson Parreira (edson)
Group ID:	Engineering
Type:	Parameter Dictionary

PARAMETER DEFINITIONS

Fonte: Autor

5 CONCLUSÕES

Como explorado na seção 3.1, para atingir o nível de maturidade desejado, basta cumprir as práticas genéricas dos objetivos genéricos.

Portanto, para este projeto, observa-se que o resultado obtido no *framework* busca cumprir completamente o objetivo genérico GG 1 - Attingir os objetivos específicos. Porém, nem todas as práticas específicas das áreas de processos foram implementadas no *framework*. Este detalhe faz com que tecnicamente, o GG 1 não esteja satisfeito e conseqüentemente o nível de maturidade 1 não seja atingido.

Entretanto as práticas específicas que não foram executadas não são relevantes para o nível do projeto e nem para o tamanho da organização, sob a qual o CMMI está sendo empregado. Sendo assim, o nível de maturidade 1 foi alcançado pois, há a satisfação de todas as práticas específicas relevantes ao projeto definido.

Como também foi definido na metodologia tem-se os níveis de maturidade 2 (Gerenciado) e 3 (Definido), com seus Objetivos Gerais e Práticas Genéricas que devem ser satisfeitas. Enquanto Objetivos Genéricos e Práticas Genéricas são os componentes modelo que abordam diretamente a institucionalização de um processo em toda a organização, muitas Áreas de Processo também abordam a institucionalização, apoiando a implementação das Práticas Genéricas. Algumas Áreas de Processos contém algumas Práticas Específicas que podem implementar completamente uma Prática Genérica.

A Tabela 8 descreve as áreas de processo que suportam a implementação de práticas genéricas, de acordo com Team (2010).

Tabela 8 – Áreas de processo e a implementação de Práticas Genéricas

Prática Genérica	Áreas de processo e a implementação de Práticas Genéricas
GP 2.2 - Planejar o Processo	Planejamento de projeto implementa a GP 2.2 completamente já que pode ser entendida como o planejamento geral dos processos do projeto.
GP 2.3 - Prover Recursos	A SP 2.4 -Plano de recursos do Projeto da área de processo Planejamento de projeto implementa completamente a GP 2.3, identificando os processos necessários, papéis e responsabilidades para assegurar o pessoal adequado, as instalações, equipamento, e outros bens necessários para o projeto.

Continuação da Tabela 8

GP 2.4 - Atribuir responsabilidade	A SP 2.4 - Plano de recursos do Projeto da área de processo Planejamento de Projeto implementa completamente a GP 2.4, identificando os processos necessários, papéis e responsabilidades para assegurar o pessoal adequado, as instalações, equipamento, e outros bens necessários para o projeto.
GP 2.5 - Treinamento	A SP 2.4 da área de processo Planejamento de Projeto implementa completamente a GP 2.5, identificando os processos necessários, papéis e responsabilidades para assegurar o pessoal adequado, as instalações, equipamento, e outros bens necessários para o projeto.
GP 2.7 - Identificar e envolver partes interessadas (<i>stakeholders</i>)	A SP 2.6 - Plano de envolvimento de partes interessadas da área de processo Planejamento de Projeto implementa a parte de identificar os <i>stakeholders</i> . A SP 2.1 de Gerenciamento de projeto integrado implementa a parte de envolver os <i>stakeholders</i> .
GP 3.1 - Estabelecer um processo definido	A SP 1.1 - Estabelecer o Processo Definido do Projeto da área de processo Gerenciamento de Projeto Integrado implementa completamente a GP 3.1
GP 3.2 - Coletar Experiências Relacionadas ao Processo	A SP 1.7 - Contribuir para os ativos do Processo Organizacional da área de processo Gerenciamento de Projeto Integrado implementa completamente a GP 3.2, coletando experiências relacionadas ao processo derivadas de planejamento e execução integrada atividades de gerenciamento de projetos.

Fonte: Autor

Observa-se que todas as práticas genéricas para o GG 3 - Institucionalizar um Processo Definido foram cumpridas. Para a completar o Objetivo Genérico 2 - Institucionalizar um processo Gerenciado faltam as Práticas Genéricas GP 2.1, 2.6, 2.8, 2.9 e 2.10. A seguir, na Tabela 9, estão mostrados como que essas práticas foram implementadas para o projeto.

Tabela 9 – Implementação de Práticas Genéricas

Prática Genérica	Implementação de Práticas Genéricas
GP 2.1 - Estabelecer uma Política Organizacional	As Políticas Organizacionais são guias orientadoras que balizam as ações para o atingimento das metas e objetivos estabelecidos para a organização. Como se trata de um projeto da academia, as políticas organizacionais da organização (Universidade) definem este Pratica Genérica.
GP 2.6 - Controlar Produtos de Trabalho	O controle de mudanças e versionamento de objetos e dados é feito diretamente no Teamcenter, fornecendo uma definição única e consistente das características, regras e conteúdo do produto em todo o processo de definição e execução do produto.
GP 2.8 - Monitoramento e Controle dos processos	O Teamcenter juntamente com a ferramenta de IPP&E permite o acompanhamento diário de processos e tarefas dentro da organização. Onde é possível também avaliar o andamento dos cronogramas e caso seja necessário implementar correções aos planos inicialmente definidos.

Continuação da Tabela 9

<p>GP 2.9 - Avaliar objetivamente a adesão</p>	<p>Para garantir que os processos e os objetos de trabalho estejam sendo implementados de acordo com o planejado, este projeto faz o uso das ferramentas de IPP&E e fluxos de trabalho no Teamcenter. Os entregáveis de cada fase do projeto ficam armazenados em recipientes de dados, os quais podem ser visitados e revisados para que obtenham <i>status</i> de aprovação ou rejeição. Esses <i>status</i> são dados a partir de fluxos de trabalho que envolvem a análise do entregável por diferentes pessoas com papéis diferentes na organização.</p>
<p>GP 2.10 - Revisão do <i>status</i> com a gerência de nível superior</p>	<p>Esta Prática Genérica pode ser observada na execução da tarefa - Controlar e comunicar <i>status</i> de projetos, contida no subprocesso - Gerenciamento de Projeto. Tanto a gerência de alto nível quanto os executores do projeto terão acesso os <i>status</i> do cronogramas e eventos, além de ter acesso a todas as informações e dados gerados no desenvolvimento.</p>

Fonte: Autor

Como observado, o projeto desenvolvido contempla todas as práticas genéricas dos níveis de maturidade 1, 2, 3. Portanto, conclui-se que o nível de maturidade alcançado pelo projeto desenvolvido neste trabalho de conclusão de curso é o nível 3 (Definido), o que é um feito relevante, já que é a primeira vez que o sistema PLM é incorporado a gestão do ciclo de vida de produto na organização.

O nível de maturidade 4 (Gerenciado Quantitativamente) não é possível de ser alcançado pois não há dados estatísticos que auxiliam no melhoramento contínuo da organização. Este dados são coletados com o tempo, e não houveram projetos suficientes no formato sugerido por este projeto para que os dados fossem coletados. Como consequência o nível 3 é o máximo que é possível chegar no momento que este projeto estendo entregue.

O *framework* permitiu a execução planejada e organizada do estudo de caso. Fazendo assim, uso das funcionalidades do software que permitem gerenciar o ativo

operacional de projeto. Conclui-se que as informações de gestão foram integradas com os dados do ativo operacional, facilitando a gestão de resultados e controle de projetos, além de reduzir redundância de comunicação, dado que os documentos estão conectados e disponíveis para todos. Foi comprovada também a flexibilidade e customização dos processos de gerenciamento de projetos, pois os mesmos se adaptam a diferentes tipos e tamanhos de organizações.

Outro grande desafio abordado por este projeto foi a rastreabilidade dos requisitos durante todo o projeto. Os processos de gestão e desenvolvimento de requisitos juntamente com o sistema PLM possibilitaram o acompanhamento e desenvolvimento dos diversos níveis de especificações. Os dados foram conectados aos objetos de desenvolvimento, fazendo com que o produto final se aproxime ao máximo ao resultado esperado do cliente.

O método ARCADIA juntamente com os processos desenvolvidos permitiram uma abordagem sistêmica do problema do cliente e uma maturação gradual da solução, partindo, inicialmente de requisitos de alto nível e capacidade desejáveis e chegando a uma proposta de sistema com componentes e funções lógicas programáveis. Esta etapa clareou a visão do que deve ser desenvolvido e o que não deve.

Para a implementação de design foi assegurado que todos os dados de desenvolvimento de *design* partiram de um sistema e estudo conceitual estruturado e documentado. Decisões de projeto foram baseadas em dados da organização e os objetos de desenvolvimento foram integrados com os parâmetros mensuráveis, requisitos e gestão de projeto, facilitando a vida dos gestores e designers.

A última etapa de verificação foi baseada em dados reais obtidos e integrados em uma única plataforma, poupando recursos, garantindo uma única fonte de informação e minimizando o retrabalho. Ao final do desenvolvimento o *framework* garante que as especificações do cliente estão sendo cumpridas e o produto vai ter a forma e a função para a solução do desafio apresentado ao time de projeto.

Por fim, conclui-se que o *framework* proposto se apresenta como estratégia válida e testada para a iniciação de projetos de gêmeos digitais e apresenta um diferencial positivo muito grande quanto ao direcionamento de decisões de projetos baseados em dados e requisitos de clientes, manutenção de dados, gestão de ativo operacional, controle de informação e processos quando comparado com projetos semelhantes realizados fora do sistema PLM e sem a utilização da estrutura proposta.

6 TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho estabelece a possibilidade de desenvolvimento de trabalhos futuros. A seguir são apresentadas algumas sugestões.

- Continuação de desenvolvimento do *framework* para alcançar mais fases do ciclo de vida de produto.
- Implementação de diferentes domínios de engenharia no *framework* de projeto.
- Testes físicos e coleta de dados no sistema PLM.
- Gestão de manufatura do sistema de movimentação - Robô Delta - da impressora 3D de grande porte.
- Construção completa do gêmeo digital integrando o processo de manufatura aditiva com a movimentação do robô delta.
- Controle mecatrônico em ambiente virtual do Robô delta e integração com o gêmeo digital.
- Expandir a aplicação de funcionalidades do sistema de referência de sistemas PLM.
- Implementar sistema PLM Teamcenter em uma organização de ensino e pesquisa.

7 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 21500:2012 - Orientações sobre gerenciamento de projeto**. Rio de Janeiro, Brasil, ABNT, 2012.
- CAPELLA. **Capella MBSE Tool - Arcadia**. 2022. Acesso em: 1 set. 2022. Disponível em: <<https://www.eclipse.org/capella/arcadia.html>>.
- CORTÉS, E. *et al.* Enfoque sobre o desenvolvimento de um robô com arquitetura paralela 5r para manufatura aditiva. In: **IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação-COBEF**. [S.l.: s.n.], 2017.
- FEI, T. *et al.* Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Springer Nature BV, v. 94, n. 9-12, p. 3563–3576, 2018.
- GARRETT, S. **2.0 Fundamentals of Systems Engineering**. 2019. NASA. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/seh/2-fundamentals>>.
- GLAESSGEN, E.; STARGEL, D. The digital twin paradigm for future nasa and us air force vehicles. In: **53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference 20th AIAA/ASME/AHS adaptive structures conference 14th AIAA**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1818.
- MALABAGI, S. *et al.* Product lifecycle management (plm): A decision-making tool for project management. In: AIP PUBLISHING LLC. **AIP Conference Proceedings**. [S.l.], 2021. v. 2358, n. 1, p. 100013.
- OMG. **Business Process Model and Notation (BPMN), Version 2.0**. 2011. Disponível em: <<http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>>.
- PMI (Ed.). **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)**. 5. ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2013. ISBN 978-1-935589-67-9.
- POL, G. *et al.* Prerequisites for the implementation of a product data and process management tool in sme. In: **DS 35: Proceedings ICED 05, the 15th International Conference on Engineering Design, Melbourne, Australia, 15.-18.08. 2005**. [S.l.: s.n.], 2005. p. 95–96.
- POL, G. *et al.* Implementation of collaborative design processes into plm systems. **International Journal of Product Lifecycle Management**, Inderscience Publishers, v. 3, n. 4, p. 279–294, 2008.
- ROQUES, P. **Systems architecture modeling with the Arcadia method: a practical guide to Capella**. [S.l.]: Elsevier, 2017.
- Siemens Digital Industries Software. **Active Workspace 6.0 Integrated Program Planning and Execution**. 2022. Acesso em: 1 set. 2022. Disponível em: <<https://docs.sw.siemens.com/en-US/product/282219420/doc/PL20210421143110249.ippe/html/xid1926803>>.

Siemens Digital Industries Software. **Active Workspace 6.0 Model-Based Systems Engineering**. 2022. Acesso em: 1 set. 2022. Disponível em: <<https://docs.sw.siemens.com/en-US/product/282219420/doc/PL20210421143110249.MBSE/html/xid1065746>>.

SILLITTO, H. *et al.* Systems engineering and system definitions. In: **INCOSE**. [S.l.: s.n.], 2019.

STARK, J. Product lifecycle management (plm). In: **Product lifecycle management (Volume 1)**. [S.l.]: Springer, 2020. p. 1–33.

TEAM, C. P. Cmmi for development, version 1.3. 2010.

ZANCUL, E. d. S. Gestão do ciclo de vida de produtos: seleção de sistemas plm com base em modelos de referência. **São Carlos: Escola de Engenharia de Sao Carlos da Universidade de Sao Paulo**, 2009.