



UNIVERSIDADE DE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS JOINVILLE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIAS MECÂNICAS

LUANA DE OLIVEIRA

**MÉTODO PARA PROJETO DE VAGÕES FERROVIÁRIOS**

JOINVILLE

2019



Luana de Oliveira

## **MÉTODO PARA PROJETO DE VAGÕES FERROVIÁRIOS**

Dissertação submetida ao Programa de Engenharia e Ciências Mecânicas da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas  
Orientador: Prof. Dr. Régis Kovacs Scalice

Joinville

2019

Ficha de identificação da obra Biblioteca Universitária da UFSC.

Oliveira, Luana

Método para projeto de vagões ferroviários / Luana Oliveira ; orientador, Régis Kovacs Scalice, 2019.  
160 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas, Joinville, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia e Ciências Mecânicas. 2. Projeto de vagões . 3. Método de projeto. 4. Segmento ferroviário. 5. Ensino. I. Kovacs Scalice, Régis. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas. III. Título.

Luana de Oliveira

**Método para projeto de vagões ferroviários**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Alexandre Mikowski, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Diogo Lôndero da Silva, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. José Oliveira da Silva, Dr.  
Universidade Estadual de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas.

---

Prof. Régis Kovacs Scalice, Dr.  
Coordenador do Programa

---

Prof. Régis Kovacs Scalice, Dr.  
Orientador

Joinville, 27 de agosto de 2019.

Este trabalho é dedicado aos meus pais que sempre me apoiaram em todas as decisões da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais que sempre me incentivaram a estudar, sobretudo na realização do mestrado.

Ao meu namorado Everton pelo apoio, carinho e compreensão.

Agradeço a DEUS por me dar saúde para prosseguir em meios às dificuldades encontradas.

Ao meu orientador Régis e a banca examinadora pela disponibilidade para ler, avaliar e contribuir com a dissertação aqui apresentada.

Agradeço as empresas fabricantes de vagões brasileiras que contribuíram para realização deste trabalho.

Agradeço aos alunos da matéria EMB5510 - Vagões Ferroviários e Carros Metroviários da UFSC- Joinville no período de 2018/1, que aplicaram parte da metodologia proposta apresentada neste trabalho.

Agradeço ao Programa de Engenharia e Ciências Mecânicas pelo apoio na realização deste projeto

Agradeço a CAPES e ao programa de Pós-ECM pelo incentivo da bolsa estudantil realizada até o presente momento.

Acender velas ilumina  
o silêncio das coisas  
esquecidas no porão

(Caco de Oliveira, 2013)

## RESUMO

O transporte de mercadorias nas malhas ferroviárias brasileiras vem demonstrando um crescimento no número de vagões em tráfego além de um aumento considerável em relação à tonelada quilômetro útil transportada nestes vagões, com isso as indústrias ligadas ao segmento ferroviário, sobretudo no projeto de vagões ferroviários estão buscando realizar projetos dentro das expectativas dos clientes além das expectativas internas das indústrias deste segmento. As empresas que projetam vagões ferroviários no Brasil devem levar em consideração diversas particularidades tais como: normatização, condição da via permanente, cálculo estrutural, dinâmica veicular, processos de fabricação, análise financeira, além de outros aspectos pertencentes ao segmento ferroviário. O objetivo geral deste trabalho é propor um método para o projeto de vagões ferroviários, que seja capaz de atender a todos os modelos convencionais de vagões, além de atender as demandas específicas de cada cliente, e que possa ser aplicado nos ambientes industriais e, sobretudo no âmbito acadêmico. O método proposto para projeto de vagões ferroviários irá aplicar a ferramenta DSM (Design Structure Matrix), no qual auxiliará a estruturação deste método. Além de utilizar práticas identificadas na literatura científica sobre métodos de desenvolvimento de produtos. Tem-se como resultado deste trabalho a proposta de um método para projetos de vagões ferroviários, visando, sobretudo sua aplicação educacional. Tendo sido validado por representantes estratégicos das empresas fabricantes de vagões no Brasil no âmbito industrial. O método proposto para de projetos de vagões ferroviários apresentado neste trabalho pode auxiliar o âmbito industrial, no que se refere à gestão de projetos de vagões, bem como a padronização das etapas, fases e tarefas presentes no projeto de vagões ferroviários. Cada empresa fabricante de vagões poderá personalizar este método de acordo com a sua necessidade. Portanto, este trabalho estruturou um método para projeto de vagões ferroviários, com o auxílio da ferramenta DSM, além de utilizar como base outros métodos de desenvolvimento identificados na literatura. A estrutura do método proposto contida neste trabalho, foi subdividida em 3 fases, tais como: Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado. A aplicação deste método foi realizada no âmbito educacional, no projeto de diferentes tipos de vagões. Porém a avaliação deste método foi realizada, sobretudo no âmbito industrial por representantes estratégicos pertencentes às empresas fabricantes de vagões ferroviários do Brasil.

**Palavras-chave:** Método de Projeto. Segmento Ferroviário. Projeto de Vagões. Ensino.

## ABSTRACT

Freight transport in the Brazilian rail network has been showing a growth in the number of wagons in traffic, besides a considerable increase in relation to the useful tonne transported in these wagons, with this the industries related to the rail segment, especially in the rail wagons project, are seeking carry out projects within the expectations of customers beyond the internal expectations of industries in this segment. Companies that design railway wagons in Brazil should take into account several particularities such as: standardization, permanent track condition, structural calculation, vehicle dynamics, manufacturing processes, financial analysis, and other aspects pertaining to the railway segment. The general objective of this paper is to propose a method for the design of railway wagons, which is capable of meeting all conventional models of wagons, as well as meeting the specific demands of each customer, and which can be applied in industrial environments and, above all, in the academic field. The proposed method for railway wagon design will apply the DSM (Design Structure Matrix) tool, which will help to structure this method. In addition to using practices identified in the scientific literature on product development methods. The result of this work is the proposal of a method for railway wagon projects, mainly aiming at its educational application. Having been validated by strategic representatives of the wagon manufacturing companies in Brazil in the industrial area. The proposed method for railcar design presented in this paper can help the industrial scope, regarding the management of railcar projects, as well as the standardization of the stages, phases and tasks present in the railcar project. Each wagon manufacturer can customize this method according to their needs. Therefore, this work has structured a method for designing railway wagons, with the aid of the DSM tool, as well as using as a basis other development methods identified in the literature. The structure of the proposed method contained in this work was subdivided into 3 phases, such as: Informational Design, Conceptual Design and Detailed Design. The application of this method was carried out in the educational field, in the design of different types of wagons. However, the evaluation of this method was carried out, mainly at the industrial level, by strategic representatives belonging to the Brazilian railcar manufacturing companies.

**Keywords:** Design Method. Railway Segment. Wagon Project. Teaching.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Material rodante em operação no Brasil em 2017. ....	19
Figura 2 – Produção de vagões no Brasil entre o período de 2000 a 2018 .....	19
Figura 3 – Tipos de vagões.....	20
Figura 4 – Comparação entre os métodos para o DNP .....	26
Figura 5 – Percentuais das fases de DP contidas nas estruturas DNP citadas na tabela 2 .....	29
Figura 6 – Estrutura do projeto informacional do método proposto por Rozenfeld.....	31
Figura 7 – Estrutura do projeto conceitual do método proposto por Rozenfeld.....	33
Figura 8 – Atividades da fase do PD do método proposto por Rozenfeld .....	36
Figura 9 – Classificação de vagão ferroviário em projeto.....	38
Figura 10 – Codificação alfanumérica de vagões.....	39
Figura 11 – Codificação grupo A (X1-tipo do vagão).....	39
Figura 12 – Superestrutura do vagão .....	40
Figura 13 – Estrutura do vagão .....	40
Figura 14 – Infraestrutura do vagão .....	41
Figura 15 – Componentes do truque.....	41
Figura 16 – Sistema do aparelho de choque e tração .....	42
Figura 17 – Sistema de freio do vagão .....	43
Figura 18 – Matriz de estrutura de projeto (DSM).....	51
Figura 19 – Matriz DSM contendo interação do tipo paralelo .....	52
Figura 20 – Matriz DSM contendo interação do tipo sequencial .....	52
Figura 21 – Matriz DSM contendo interação do tipo acoplada.....	52
Figura 22 – Estrutura geral do método proposto para projeto de vagões ferroviários .....	55
Figura 23 – Estrutura detalhada do projeto informacional do método proposto .....	57
Figura 24 – Estrutura detalhada do projeto conceitual do método proposto .....	64
Figura 25 – Estrutura detalhada do projeto detalhado do método proposto.....	74
Figura 26 – Sequência da RSL realizada para este projeto de pesquisa.....	105
Figura 27 – Bancos de dados selecionados .....	105
Figura 28 – Termos de buscas utilizadas na RSL.....	106
Figura 29 – Combinações realizadas na RSL.....	106
Figura 30 – Quantidade de artigos pré-selecionados.....	106
Figura 31 – Após inserir as limitações nas buscas na RSL .....	107

Figura 32 – Após a leitura dos títulos e palavras-chaves na RSL .....	108
Figura 33 – Classificação dos artigos pré-selecionados na RSL .....	109
Figura 34 – Quantidade de artigos separados por tipo de classificação .....	109
Figura 35 – Período de publicação dos artigos selecionados na RSL .....	111
Figura 36 – Quantidade de artigos realizados por pesquisadores através da RSL .....	112

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Projeto informacional, conceitual e detalhado do método de Rozenfeld .....	27
Tabela 2 – Métodos de desenvolvimento de produtos encontrados na literatura.....	28
Tabela 3 – Atividades do projeto informacional proposto por Rozenfeld e Back .....	30
Tabela 4 – Atividades do projeto conceitual proposto por Rozenfeld, Back e Ulrich .....	32
Tabela 5 – Atividades do PP, PD, PS proposto por Back, Rozenfeld e Ulrich.....	35
Tabela 6 – Normas da ABNT referente ao projeto de vagões ferroviários .....	44
Tabela 7 – Questionário referente ao projeto de vagões .....	48
Tabela 8 – Tarefas incluídas e retiradas do PI após a aplicação acadêmica e análise industrial .....	80
Tabela 9 – Resultado da aplicação acadêmica referente ao projeto informacional.....	80
Tabela 10 – Tarefas incluídas do PC após a aplicação acadêmica e análise industrial.....	83
Tabela 11 – Resultado da aplicação acadêmica referente ao projeto conceitual.....	83
Tabela 12 – Desenhos detalhados referentes ao projeto do vagão .....	86
Tabela 13 – Simulações estruturais referentes ao PD do vagão .....	86
Tabela 14 – Questões para avaliar a aplicabilidade do método no ambiente acadêmico .....	88
Tabela 15 – Tarefas que não apresentaram unanimidade para serem inclusas no método .....	91
Tabela 16 – Questionário final para avaliar o método proposto.....	92
Tabela 17 – Tarefas retiradas do método proposto após análise industrial .....	93
Tabela 18 – Artigos selecionados na RSL deste projeto .....	110
Tabela 19 – Lista de artigos da RSL contendo o maior número de citações.....	111
Tabela 20 – Artigos que abordam parcialmente o objetivo deste trabalho .....	112
Tabela 21 – Resultado da RSL .....	112
Tabela 22 – Codificação do grupo A (X1 e X2 - tipo e subtipo do vagão).....	113
Tabela 23 – Codificação do grupo A (X3- bitola e peso bruto) .....	114
Tabela 24 – Componentes do truque e suas funções .....	115
Tabela 25 – Componentes do conjunto aparelho choque e tração .....	116
Tabela 26 – Sistema de freio e suas funções .....	116
Tabela 27 – Tarefas do DSM do projeto informacional.....	117
Tabela 28 – DSM referente ao projeto informacional do método proposto.....	118
Tabela 29 – Tarefas do DSM do projeto conceitual.....	119
Tabela 30 – DSM referente ao projeto conceitual do método proposto.....	121

Tabela 31 – Tarefas do DSM do projeto detalhado.....	122
Tabela 32 – DSM referente ao projeto detalhado do método proposto.....	123
Tabela 33 – Formulário I do projeto informacional do método proposto .....	124
Tabela 34 – Descrição das tarefas, entradas e saídas do projeto informacional.....	126
Tabela 35 – Ferramentas de apoio para a realização das tarefas do PI .....	127
Tabela 36 – Cronograma referente ao projeto do vagão ferroviário .....	128
Tabela 37 – Principais mercadorias transportadas pelo modal ferroviário .....	128
Tabela 38 – Classificação do tipo de carga perigosa.....	128
Tabela 39 – Identificação do tipo do vagão.....	129
Tabela 40 – Altura dos engates do vagão .....	130
Tabela 41 – Identificação das obras de arte existentes no percurso .....	130
Tabela 42 – Características dimensionais do vagão .....	130
Tabela 43 – Classificação da via permanente.....	131
Tabela 44 – Liberação parcial do projeto informacional (LPPI).....	131
Tabela 45 – Término do projeto informacional (TPI) .....	132
Tabela 46 – Formulário II do projeto conceitual do método proposto.....	133
Tabela 47 – Descrição das tarefas, entradas e saídas do projeto conceitual.....	136
Tabela 48 – Ferramentas de apoio para a realização das tarefas do PC .....	138
Tabela 49 – Revisão do projeto conceitual (RPC) .....	139
Tabela 50 – Funções dos sistemas de um vagão .....	139
Tabela 51 – Benchmark para seleção dos sistemas ferroviários .....	139
Tabela 52 – Classificação do aparelho de choque e tração .....	140
Tabela 53 – Liberação parcial do projeto conceitual (LPPC) .....	140
Tabela 54 – Descrição dos pontos críticos na fase do PC .....	140
Tabela 55 – Término do projeto conceitual (TPC).....	140
Tabela 56 – Elementos de segurança para cada tipo de vagão .....	141
Tabela 57 – Elementos de segurança para o projeto de vagão .....	141
Tabela 58 – Formulário III do projeto detalhado do método proposto .....	142
Tabela 59 – Descrição das tarefas, entradas e saídas do projeto detalhado.....	144
Tabela 60 – Ferramentas de apoio para realização das atividades do PD .....	145
Tabela 61 – Revisão do projeto detalhado (RPD) .....	146
Tabela 62 – Seleção dos sistemas e subsistemas para o projeto do vagão .....	146
Tabela 63 – Desenhos detalhados referentes ao projeto do vagão .....	146
Tabela 64 – Formulário de apoio à simulação estrutural do vagão .....	147

Tabela 65 – Lista de materiais referente ao projeto do vagão .....	148
Tabela 66 – Checklist para verificação de aplicação de estratégias de DFMA.....	148
Tabela 67 – Plano macro de processo de fabricação .....	148
Tabela 68 – Procedimento operacional padrão (POP).....	149
Tabela 69 – Simulação da dinâmica do vagão .....	149
Tabela 70 – Memorial de cálculos referente ao projeto do vagão.....	149
Tabela 71 – Indicação da pintura e marcação do vagão .....	150
Tabela 72 – Descrição dos pontos críticos na fase do PD .....	150
Tabela 73 – Checklist de normas de projetos de vagões ferroviários .....	150
Tabela 74 – Checklist do projeto do vagão .....	151
Tabela 75 – Termo de aprovação do projeto do vagão.....	154
Tabela 76 – Termo de aprovação da produção do vagão-piloto.....	154
Tabela 77 – Término do projeto detalhado (TPD) .....	154
Tabela 78 – Análise industrial referente às atividades do PI.....	155
Tabela 79 – Análise industrial referente às atividades do PC .....	156
Tabela 80 – Análise industrial referente às atividades do PD .....	157

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAR	Associação Americana de Ferrovias
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABIFER	Associação Brasileira da Indústria Ferroviária
ACT	Aparelho de Choque e Tração
APP	Acompanhar Produto e Processo
BOM	Lista de Materiais
CAD	Desenho Assistido por Computador
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DC	Desenvolvimento Conceitual
DFD	Projeto para Desmontagem
DFE	Projeto para o Meio Ambiente
DFMA	Projeto para Montagem e Fabricação
DNP	Desenvolvimento de um novo Produto
DP	Descontinuar o Produto
DSM	Matriz de Estrutura de Projeto
IPV	Início do Projeto do Vagão Ferroviário
LP	Lançamento do Produto
LPCC	Liberação Parcial do Projeto Conceitual
LPPI	Liberação Parcial do Projeto Informacional
PC	Projeto Conceitual
PD	Projeto Detalhado
PEP	Planejamento Estratégico do Produto
PI	Projeto Informacional
PNP	Planejamento do Projeto
PP	Projeto Preliminar
PPR	Preparação da Produção do Produto
PROD	Produção
PS	Projeto do Sistema
QFD	Desdobramento da Função Qualidade
RPC	Revisão do Projeto Conceitual
RPD	Revisão do Projeto Detalhado
RSL	Revisão Sistemática da Literatura

SSC's	Sistema, Subsistema e Componentes
TPV	Término do Projeto do Vagão Ferroviário
TPC	Término do Projeto Conceitual
TPD	Término do Projeto Detalhado
TPI	Término do Projeto Informacional
TR	Teste e Refinamento
VLTs	Veículo Leve sobre Trilhos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1	OBJETIVOS.....	22
1.2	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	23
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	23
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....</b>	<b>24</b>
2.1	DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS .....	24
2.2	PROJETO INFORMACIONAL .....	30
2.3	PROJETO CONCEITUAL .....	32
2.4	PROJETO DETALHADO .....	35
2.5	CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE VAGÕES FERROVIÁRIOS .....	38
<b>2.5.1</b>	<b>Classificação dos vagões.....</b>	<b>38</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Superestrutura do vagão.....</b>	<b>39</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Estrutura do vagão .....</b>	<b>40</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Infraestrutura do vagão .....</b>	<b>41</b>
2.6	NORMAS PARA O PROJETO DE VAGÕES.....	43
2.7	ARTIGOS VOLTADOS AO DESENVOLVIMENTO DE VAGÕES .....	45
2.8	COMENTÁRIOS FINAIS .....	46
<b>3</b>	<b>MÉTODO PROPOSTO.....</b>	<b>47</b>
3.1	ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO SOBRE PROJETOS DE VAGÕES APLICADOS NA INDÚSTRIA BRASILEIRA .....	47
3.2	MATRIZ DE ESTRUTURA DE PROJETO (DSM).....	51
3.3	DESCRIÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO .....	53
<b>3.3.1</b>	<b>Projeto informacional .....</b>	<b>56</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Projeto conceitual .....</b>	<b>63</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Projeto detalhado .....</b>	<b>72</b>
3.4	COMENTÁRIOS FINAIS .....	78

<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO ACADÊMICA E INDUSTRIAL DO MÉTODO PROPOSTO ..</b>	<b>79</b>
4.1	AVALIAÇÃO ACADÊMICA .....	79
4.1.1	Análise da aplicabilidade do método no âmbito educacional.....	88
4.1.2	Análise crítica após a aplicação do método no âmbito educacional .....	89
4.2	AVALIAÇÃO INDUSTRIAL .....	90
4.2.1	Análise crítica após a aplicação do método no âmbito industrial.....	93
4.3	COMENTÁRIOS FINAIS .....	95
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>96</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>99</b>
	<b>APÊNDICE A – Histórico da produção de vagões no Brasil .....</b>	<b>104</b>
	<b>APÊNDICE D – Componentes do truque .....</b>	<b>115</b>
	<b>APÊNDICE E – Componentes do ACT e sistema de freio .....</b>	<b>116</b>
	<b>APÊNDICE F – DSM do projeto informacional .....</b>	<b>117</b>
	<b>APÊNDICE G – DSM do projeto conceitual .....</b>	<b>119</b>
	<b>APÊNDICE H – DSM do projeto detalhado.....</b>	<b>122</b>
	<b>APÊNDICE I – Checklist do projeto informacional do método proposto.....</b>	<b>124</b>
	<b>APÊNDICE J – Descrição das tarefas, entradas e saídas do PI.....</b>	<b>126</b>
	<b>APÊNDICE K – Formulário de apoio ao projeto informacional .....</b>	<b>128</b>
	<b>APÊNDICE L – Checklist do projeto conceitual do método proposto .....</b>	<b>133</b>
	<b>APÊNDICE M – Descrição das tarefas, entradas e saídas do PC .....</b>	<b>136</b>
	<b>APÊNDICE N – Formulário de apoio ao projeto conceitual .....</b>	<b>139</b>
	<b>APÊNDICE O – Elementos de segurança para o projeto de vagões .....</b>	<b>141</b>
	<b>APÊNDICE P – Checklist do projeto detalhado do método proposto .....</b>	<b>142</b>
	<b>APÊNDICE Q – Descrição das tarefas, entradas e saídas do PD .....</b>	<b>144</b>
	<b>APÊNDICE R – Formulário de apoio ao projeto detalhado.....</b>	<b>146</b>
	<b>APÊNDICE S – Análise industrial referente às atividades do PI, PC e PD .....</b>	<b>155</b>

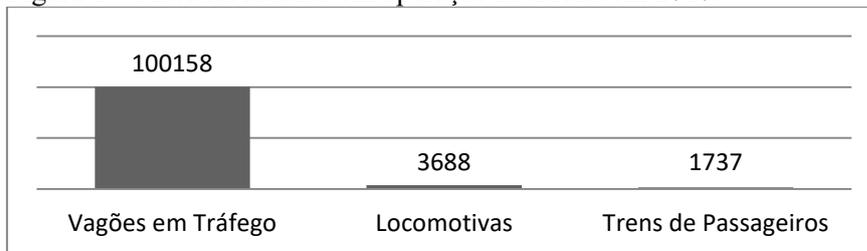


## 1 INTRODUÇÃO

Conforme o boletim estatístico divulgado pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) referente ao ano de 2019, o Brasil apresenta uma quantidade de material rodante aproximadamente de 106 mil unidades, sendo que aproximadamente 101 mil são vagões ferroviários.

É considerado material rodante todo veículo que trafega sobre os trilhos de uma ferrovia, portanto dentro desta perspectiva podem ser considerados vagões, trens de passageiros, locomotivas e veículos de manutenção. A Figura 1 apresenta a quantidade de material rodante em operação no ano de 2017 no Brasil.

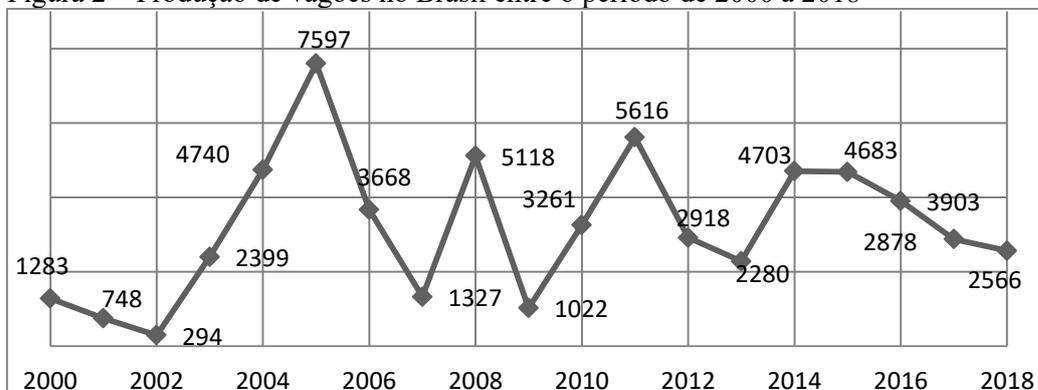
Figura 1 – Material rodante em operação no Brasil em 2017.



Fonte: Adaptado do Anuário CNT do Transporte Estatísticas consolidadas (2018).

Conforme dados identificados pela Associação Brasileira da Indústria Ferroviária (ABIFER) o histórico de produção de vagões no Brasil gira em torno de 3 a 3,5 mil unidades por ano, todavia este mercado apresenta características cíclicas de produção, conforme visualizado na Figura 2.

Figura 2 – Produção de vagões no Brasil entre o período de 2000 a 2018



Fonte: Adaptado ABIFER (2019).

O histórico de produção vagões no Brasil apresenta instabilidades devido a mudanças políticas e situações econômicas do país, sobretudo entre os anos de 1989-2002, que foram produzidas menos de mil vagões por ano neste período, no Apêndice A apresenta-se o histórico de produção nacional de vagões ferroviários entre os anos de 1970-2018, conforme (ABIFER, 2019).

Os principais tipos de vagões que realizaram transportes no Brasil são do tipo Gôndola e Hopper. Estes dois tipos de vagões, juntos, representam aproximadamente 80% entre todos os tipos de vagões que são utilizados para transporte no modal ferroviário no país. Na Figura 3 estão identificados todos os tipos de vagões.

Figura 3 – Tipos de vagões

TIPO DO VAGÃO	CARGA	DESENHO ILUSTRATIVO
GÔNDOLA	Granéis sólidos e produtos diversos que podem ser expostos	
HOPPER	Granéis corrosivos e/ou sólidos que não podem ser expostos ao tempo e abertos para os granéis que podem ser expostos	
FECHADO	Granéis sólidos, ensacados, caixarias, cargas unitizadas e transporte de produtos em geral que não podem ser expostos	
PLATAFORMA	Cargas de contêineres, madeira, produtos siderúrgicos ou peças de grande dimensão	
TANQUE	Cargas líquidas não corrosivas e derivados de petróleo e também cimento a granel	

Fonte: Adaptada de Randon, Frateschi, Allen Modelismo (2019).

De acordo com a ABIFER dentre seus associados em 2019 têm-se 8 empresas fabricantes de veículos ferroviários, todavia somente 3 empresas produzem vagões de carga (hopper, gôndola, plataforma, fechado, tanque) no país.

Conforme pesquisa com os fabricantes de vagões ferroviários no Brasil descrito no capítulo 3 deste trabalho, somente uma empresa tem um método formal para o projeto de vagões ferroviários. Neste sentido, este trabalho visa propor um método para projeto de vagões ferroviários englobando os projetos Informacional, Conceitual e Detalhado.

A utilização de um método para o projeto de vagões ferroviários no âmbito industrial é importante, pois:

- Auxilia no entendimento das tarefas que englobam o projeto de vagões ferroviários;
- Identificam as etapas, atividades e tarefas e, sobretudo as relações existentes durante o projeto de vagões;
- Formaliza uma estrutura para o projeto de vagões ferroviários;
- Melhora o gerenciamento do projeto, devido à utilização de um método conhecido pela equipe de projeto;
- Busca reduzir o tempo de projeto e diminuição de tarefas de retrabalho durante o projeto de um vagão;
- Aumenta a eficácia do projeto, pois busca satisfazer as necessidades de cada cliente.

Na Revisão Sistemática da Literatura (RSL), apresentada no Apêndice B, foram selecionados cinco artigos com a alta aderência ao tema do trabalho, pois estes são os artigos que retratam, ainda que de forma parcial, o objetivo deste trabalho. São eles:

- Segundo Ding. *et al.* (2012) um modelo de design de um produto aplicado a sistemas mecânicos complexos baseia-se em 4 níveis de design: sistema, subsistema, produto e componentes. No nível do sistema, o design se concentra em seleções de tecnologia, configuração e identificação das restrições técnicas. No nível do subsistema, o design está preocupado com o comportamento dinâmico. No nível do produto, o projeto tem o foco no estrutural, e no nível do componente o design tem o foco de interação do produto.
- Liu, D.Z., Liu, M. e Zhong (2004) menciona a necessidade de analisar o processo de desenvolvimento do produto com o objetivo de incluir características de Engenharia Simultânea, pois o processo de desenvolvimento do produto tradicional é serial e a utilização deste processo

tende aumentar o tempo de projeto. Neste artigo mostra a aplicação da análise do processo de desenvolvimento de produto em uma empresa de material rodante na China. A utilização da metodologia tradicional para o desenvolvimento do material rodante era de 15 meses, todavia com a utilização da metodologia de desenvolvimento proposta reduziu-se para 10 meses o tempo de projeto.

- Dindeleux, Durand e Delsaut (2005) descreve a metodologia desenvolvida pela ALSTOM denominada como EFICARE com o objetivo de atender as exigências do cliente em relação a confiabilidade e ao custo do ciclo de vida. Pode ser aplicado nas quatro fases de desenvolvimento, tais como: licitação, especificação, projeto preliminar e projeto detalhado. A aplicação do método EFICARE indica ganhos potenciais com uma proporção de pelo menos 10 vezes.
- Meinel e Paryanto (2016) buscam compreender as especificações e funções de uma estrutura de modelagem de simulação de um trem virtual. Macii et al. (2015) descreve o processo para o desenvolvimento de equipamentos de segurança utilizados no transporte ferroviário, com o objetivo de realizar a monitoração inteligente de sistemas de diagnósticos orientados para a segurança.

A leitura completa desses artigos permite observar que nenhum destes descreve por completo, um método específico o projeto de vagões ferroviários, contendo, sobretudo, a descrição detalhada de suas fases, atividades e tarefas, visando à realização de aplicações industriais ou acadêmicas de projeto de vagões. Portanto, o método proposto neste trabalho é inédito no ambiente acadêmico, conforme identificado através da RSL realizada.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é a propor um método para o projeto de vagões ferroviários. Espera-se que este método seja capaz de atender a todos os modelos convencionais de vagões de carga, bem como às demandas específicas de cada cliente. Para atingir tal resultado são almejados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar aspectos metodológicos relevantes;

- Verificar junto à indústria as práticas adotadas no projeto de vagões ferroviários;
- Propor um método para o projeto de vagões ferroviários;
- Avaliar a aderência do método proposto aos processos praticados nas empresas fabricantes de vagões ferroviários;
- Avaliar a aplicabilidade do método proposto para fins educacionais.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

A estrutura do método para projeto de vagões ferroviários proposto neste trabalho aborda somente o Projeto Informacional, Conceitual e Detalhado. Além disso, este método trata especificamente do projeto de novos vagões ferroviários, portanto adaptações e reprojetos em vagões ferroviários já existentes não são abordados neste método. A utilização do método proposto será somente possível na indústria ferroviária, não sendo possível a aplicação em outros setores industriais. Todavia o método proposto poderá ser utilizado no ambiente acadêmico para o projeto de vagões ferroviários.

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este texto está organizado em cinco capítulos, o Capítulo 1 retrata a introdução ao tema de dissertação, o Capítulo 2 menciona sobre conceitos introdutórios sobre os vagões ferroviários e referenciais bibliográficos sobre o desenvolvimento de produtos, o Capítulo 3 propõe o método de projetos vagões ferroviários contendo a descrição do método proposto. O Capítulo 4 demonstra a aplicação de parte do método proposto para projeto de um vagão realizado no âmbito educacional, além de conter a avaliação da aplicabilidade para fins educacionais deste método, todavia neste capítulo será demonstrada principalmente a avaliação do método proposto no âmbito empresarial por parte de representantes estratégicos das empresas fabricantes de vagões no Brasil, por fim o Capítulo 5 descreve a análise e conclusão dos resultados obtidos referente ao método para o projeto de vagões ferroviários.

## 2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Neste capítulo apresenta-se o referencial bibliográfico dos assuntos relevantes para a construção do método para projeto de vagões ferroviários, tais como: desenvolvimento de produtos, projeto informacional, conceitual e detalhado e por fim conceitos básicos sobre os vagões.

### 2.1 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

O desenvolvimento do produto é um conjunto de atividades que começam com a percepção das oportunidades do mercado e terminam com a produção, venda e por fim a entrega do produto, (ULRICH; EPPINGER, 1995). Para Krishnan e Loch (2005) o processo de desenvolvimento de novos produtos pode ser definido como um conjunto de atividades que começam com a resposta a uma oportunidade do mercado e termina com a entrega de produto ou serviço.

A necessidade do desenvolvimento de produtos é influenciada por tendências do mercado ou pela busca da resolução de problemas identificados pelos clientes, conforme (WILSON, 2005). Logo, a realização de desenvolvimento de produtos é fundamental para o sucesso das corporações, além de ser uma vantagem competitiva quando o produto atende as expectativas dos clientes, conforme (LOCH; KAVADIAS, 2008).

É importante salientar a importância da identificação das necessidades dos clientes no desenvolvimento do produto, pois com estes dados os projetistas conseguem esboçar as ideias de concepção do produto, segundo (WILSON, 2005). Estas necessidades podem ser identificadas no resultado de muitas ações, sobretudo em pesquisas diretas, grupo de discussão, sistema de sugestões, além da comunicação com os consumidores, conforme (ANNACCHINO, 2006). Conclui-se que o sucesso econômico da empresa depende, sobretudo, da habilidade de identificar as necessidades dos clientes e desenvolver produtos conforme estas necessidades, (ULRICH; EPPINGER, 1995).

Produto é um objeto constituído industrialmente com características e funções de modo a atender as necessidades dos clientes, de acordo com Back *et al.* (2008), entretanto desenvolvimento é um conjunto de atividades que possuem objetivos específicos, são únicos e temporários, tem um início, meio e fim determinados, conforme (ROZENFELD *et al.*, 2006).

O ambiente para o desenvolvimento de produtos é muito complexo, pois ocorre uma sobreposição atividades, custos limitados e, sobretudo a busca para redução do tempo no desenvolvimento dos projetos, de acordo com (DRIVA; PAWAR; MENON, 2000). Engloba atividades de planejamento e projeto, pesquisa de mercado, projeto do produto, processo de fabricação, plano de distribuição e por fim descarte, portanto para auxiliar o projeto de desenvolvimento de um produto com eficiência, é necessária a utilização de um método de projeto do produto, segundo (BACK *et al.*, 2008).

Segundo Trott (2005) uma equipe de desenvolvimento de produtos, pode conter diversos integrantes dependendo da complexidade do produto e do projeto, porém cada indivíduo da equipe deve possuir conhecimentos específicos, além de serem capazes de compartilhar ideias e de trabalhar em grupo em prol de um objetivo final. É importante salientar que algumas pessoas do time de desenvolvimento devem ter domínio de ferramentas tecnológicas computacionais tais como: a utilização de programas para a geração de desenhos por computador (CAD) e outros programas para realização de diversas simulações no processo de desenvolvimento de produtos, conforme (BARCZAK; GRIFFIN; KAHN, 2009).

De acordo com Ulrich e Eppinger (1995) o custo do desenvolvimento do produto está proporcionalmente ligado à quantidade de pessoas no time de desenvolvimento além do tempo para o desenvolvimento dos projetos, enfatizando assim a importância da utilização de métodos no desenvolvimento de produtos.

Portanto para reduzir os riscos no desenvolvimento de produtos as empresas aplicam um processo estruturado, no qual é dividido em fases tais como: geração de ideias, avaliação, desenvolvimento de conceitos e testes, estratégia de marketing, desenvolvimento, análise de negócios, desenvolvimento de produtos, testes de mercado e comercialização, segundo (NIJSSEN; LIESHOUT, 1995). Logo, a utilização de um método estruturado para o DNP é uma das sete características de sucesso no desenvolvimento do projeto, conforme (BRETHAUER, 2002).

Um exemplo na evolução do lançamento e desenvolvimento de produtos é encontrado na indústria automotiva, atualmente o desenvolvimento de uma geração de tem um ciclo de 2 anos e meio, em contrapartida a 15 anos atrás o mesmo desenvolvimento necessitavam entre sete à dez anos, segundo (KALPIC; BERNUS, 2002). Com isso, a aplicação de métodos para o DNP se tornou uma necessidade estratégica para as empresas,

pois a taxa de sucesso no desenvolvimento de novos produtos é baixa, todavia somente a utilização de métodos o desenvolvimento de produtos não é garantia de sucesso, conforme (NIJSSEN; LIESHOUT, 1995). Isto, pois os produtos devem estar alinhados com as estratégias da empresa e as necessidades dos clientes, conforme (BUIJS, 2003).

A utilização de métodos para o desenvolvimento de produtos para fins educacionais vem aumentando. Inicialmente no âmbito acadêmico estas estruturas eram lineares, contudo atualmente estes métodos apresentam atividades simultâneas, conforme (BUIJS, 2003).

O método de desenvolvimento de produtos proposto por Rozenfeld *et al.* (2006) é dividida em três fases: Pré-desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-desenvolvimento, todavia o método DNP proposto por Ulrich *et al.* (1995) é subdividido em cinco fases que são: Fase 1 (Desenvolvimento do conceitual), Fase 2 (Desenvolvimento do sistema), Fase 3 (Projeto detalhado), Fase 4 (Teste e Refinamento) e por fim Fase 5 (Produção), porém o método proposto por Back (2008) contém quatro fases que são: Fase 1 (Projeto informacional), Fase 2 (Projeto conceitual), Fase 3 (Projeto preliminar) e Fase 4 (Projeto detalhado). Na Figura 4 está demonstrada a comparação entre estes métodos.

Figura 4 – Comparação entre os métodos para o DNP

Rozenfeld	Pré-desenvolvimento		Desenvolvimento					Pós-desenvolvimento		
	PEP	PNP	PI	PC	PD	PPR	LP	APP	DP	
Ulrich			DC		PS	PD	TR	PROD		
Back			PI	PC	PP	PD				

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Algumas semelhanças referentes ao projeto informacional (PI) são: a identificação das necessidades dos clientes, o estabelecimento das especificações do produto, análise da viabilidade econômica do projeto e por fim monitoramento do projeto. Entretanto algumas diferenças do PI são: o monitoramento das variações de mercado que influenciam as especificações do projeto, detalhamento do ciclo de vida do produto, identificação dos fatores de influenciam o plano de manufatura, além da definição da estratégia com os possíveis fornecedores. Outro aspecto importante a ser destacado é que a método proposto por Ulrich não apresenta o PI, porém as atividades citadas como semelhanças entre os métodos estão inclusas na fase designada como “desenvolvimento do conceito”.

As semelhanças do projeto conceitual (PC) são: o desenvolvimento e seleção do conceito do produto, atualização da viabilidade econômica e o monitoramento do projeto,

contudo as diferenças desta fase são: o estabelecimento da estrutura funcional do produto, a identificação dos processos de fabricação, a definição de prazos para os fornecedores, definição da ergonomia do produto.

Por fim as semelhanças do projeto detalhado (PD) são: o detalhamento dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC's) do produto, além do projeto dos recursos de fabricação. Um aspecto a ser destacado é que estas atividades no método proposto por Back estão inclusas no projeto preliminar (PPR). As principais diferenças do PD são: construção do protótipo, realização dos testes no protótipo, detalhamento do plano de manufatura do produto, realização do projeto da embalagem do produto, definição dos processos de garantia de qualidade, além da realização do controle do projeto.

Segundo Varandas, Zancul e Miguel (2017) as estruturas de desenvolvimento de produtos geralmente são genéricas, todavia precisam ser adaptadas de acordo com as características do produto a ser desenvolvido. Portanto para este trabalho será utilizado a metodologia de Rozenfeld como base para a realização do método proposto, conforme indicado na Tabela 1. Portanto o método proposto neste trabalho irá realizar uma adaptação destas atividades para um projeto de vagões ferroviários, visto que na RSL não foram encontradas uma proposta completa para o projeto destes veículos.

Tabela 1 – Projeto informacional, conceitual e detalhado do método de Rozenfeld

Projeto Informacional (PI)	Projeto Conceitual (PC)	Projeto Detalhado (PD)
Atualizar o plano do PI	Atualizar o plano do PC	Atualizar o plano do PD
Revisar e atualizar o escopo do produto	Modelar o funcionamento o produto	Criar e detalhar SSC's, documentação e configuração
Detalhar ciclo de vida do produto e definir seus clientes	Desenvolver princípios de solução para as funções	Decidir por fazer ou comprar SSC
Identificar os requisitos dos clientes do produto	Desenvolver as alternativas de solução para o produto	Desenvolver fornecedores
Definir os requisitos do produto	Definir arquitetura para o produto	Planejar o processo de fabricação e montagem
Definir especificações da meta do produto	Analisar sistemas, subsistemas e componentes	Projetar recursos de fabricação
Monitorar a viabilidade econômico-financeira do produto	Definir ergonomia e estética	Avaliar SSC's, configuração e documentação do produto e processo
Avaliar fase	Definir fornecedores e parcerias de co-desenvolvimento	Otimizar produto
Aprovar fase	Selecionar a concepção do produto	Enviar documentação do produto
Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas	Planejar o processo de manufatura macro	Criar material de suporte do produto
	Atualizar a viabilidade econômica	Projetar embalagem
	Monitorar a viabilidade econômica	Planejar fim de vida do produto
	Avaliar fase	Testar e homologar produto
	Aprovar fase	Monitorar a viabilidade econômico-financeira
	Documentar as decisões tomadas	Avaliar fase
		Aprovar fase
		Documentar as decisões tomadas

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Conforme Trott (2005) é possível classificar os modelos de desenvolvimento de produtos em sete categorias, tais como: modelos de estágio departamental, engenharia

simultânea, modelos interfuncionais, modelos de estágio de decisão, modelos de processo de conversão, modelos de respostas e modelos de rede, porém enfatizou que todos estes modelos apresentam pontos fortes e fracos, sobretudo no diz respeito a simplicidade do modelo que não prevê qualquer feedback ou atividades simultâneas no processo de DNP.

Varandas, Zancul e Miguel (2017) menciona a existência de diferenças no alcance das estruturas para o DNP de acordo com a área de conhecimento que se propõe. Com isso, atualmente as empresas visam melhorar estas estruturas conforme suas necessidades, segundo Cooper (2008). No entanto a realização de uma estrutura de DNP e o gerenciamento deste método não é uma tarefa simples, pois engloba características multidisciplinares no qual devem ser conduzidas de forma integrada, segundo Araújo e Jugend (2015). Na literatura foram identificadas diversas estruturas de DNP, portanto na Tabela 2 estão contidas algumas destas estruturas, no qual são identificadas também quais áreas estas estruturas abordam.

Tabela 2 – Métodos de desenvolvimento de produtos encontrados na literatura

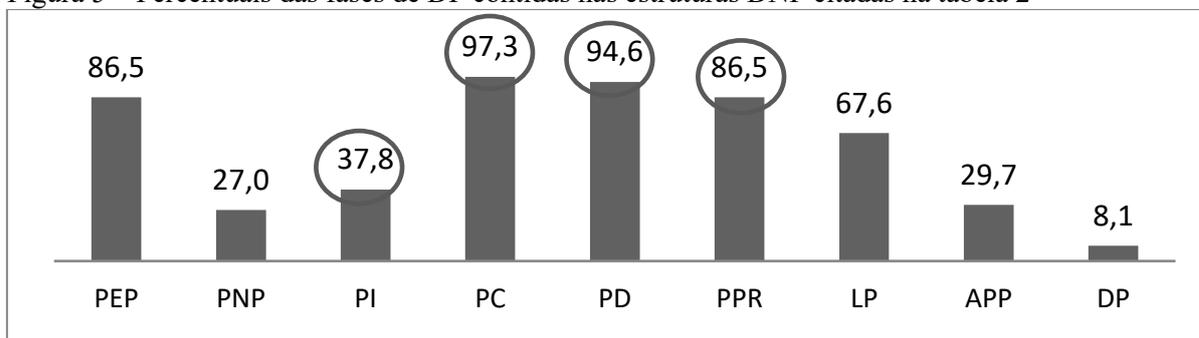
	Pré-desenvolvimento		Desenvolvimento					Pós-desenvolvimento	
	PEP	PNP	PI	PC	PD	PPR	LP	APP	DP
Asimov (1962)	X			X	X	X			
Archer (1971)	X		X	X	X	X	X		
Pah e Beitz (1977)			X	X	X				
Bonsiepe (1978)	X	X	X	X	X	X			
Booz (1982)	X			X		X	X		
Saren (1984)	X		X	X	X	X			
Andreasen e Hein (1987)	X			X		X	X		
Suh (1988)	X		X	X	X	X			
Clark e Fujimoto (1991)				X	X	X			
Graf e Saguy (1991)			X	X	X	X	X	X	
Wheelwright e Clark (1992)	X	X	X	X	X	X	X		
Cooper (1993)	X	X	X	X	X	X	X		
Urban e Hauser (1993)	X			X	X		X	X	
Fuller (1994)	X			X	X	X	X		
MacFie (1994)				X	X	X	X		
Rudolph (1995)		X			X		X	X	
Roozenburg e Eekels (1995)	X			X	X	X	X		
McGrath (1996)	X	X	X	X	X	X	X		
Ertas e Jones (1996)	X			X	X	X			
Prasad (1997)	X			X	X	X		X	
British Standards Institution (1997)	X	X		X	X	X	X		X
Fleischer and Liker (1997)	X			X	X	X	X		
Peters et al. (1999)	X			X	X	X	X	X	
Crawford e Benedetto (2000)	X			X	X	X	X		
Nwabueze and Law (2001)	X			X	X		X	X	X
Kalpic and Bernus (2002)	X			X	X	X	X		
Tischner and Charter (2001)	X		X	X	X	X	X		
International Organization for Standardization (2002)	X			X	X	X	X	X	
Buijs (2003)	X			X	X	X	X		
Ford and Coulston (2005)	X			X	X	X		X	
Sun and Wing (2005)	X		X	X	X	X	X	X	
Crul and Diehl (2006)	X	X	X	X	X			X	
Rozenfeld et al. (2006)	X	X	X	X	X	X	X	X	
Thomke and Nimgade (2007)	X			X	X	X	X		
Ulrich and Eppinger (2007)	X	X	X	X	X	X			
Yeh et al. (2010)	X	X		X	X	X			
Bigliard, Bottani and Rinaldi (2013)	X			X	X	X	X		

LEGENDA:  
PEP – Planejamento estratégico do produto; PNP – Planejamento do projeto; PI – Projeto informacional; PC – Projeto conceitual; PD – Projeto detalhado; PPR – Preparação da produção do produto; LP – Lançamento do produto; APP – Acompanhar produto e processo; DP – Descontinuar produto.

Fonte: Varandas, Zancul e Miguel (2019).

Das estruturas para o desenvolvimento de novos produtos citadas na tabela acima, segundo os autores, cerca de 97,3 % incluíam atividades do Projeto Conceitual, além disto 94,6% incluíam atividades do Projeto Detalhado, e 86,5% incluíam atividades referente a Preparação da Produção, todavia somente 37,8% destas estruturas abordavam atividades referente ao Projeto Informacional. Os demais percentuais referente às fases de desenvolvimento do produto contidas nas estruturas DNP citadas na Tabela 2 estão indicadas na Figura 5.

Figura 5 – Percentuais das fases de DP contidas nas estruturas DNP citadas na tabela 2



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Após a análise da Figura 5 é possível identificar que as fases comumente encontradas nas estruturas de DNP abordam: Planejamento Estratégico do Produto (PEP), Projeto Conceitual (PC), Projeto Detalhado (PD) e Preparação para a Produção (PPR), porém neste trabalho será proposto um método que aborde as fases do PI, PC e PD.

A indústria ferroviária, sobretudo no que tange o projeto de vagões apresenta certas diferenças comparando com outros tipos de indústrias. Por exemplo, a necessidade do planejamento estratégico para uma indústria da linha branca é consideravelmente superior do que a indústria ferroviária, pois as indústrias de bens de consumo em geral necessitam identificar a recepção dos novos produtos no mercado consumidor atual, já a demanda da indústria ferroviária para projeto de vagões ferroviários é indicada pelo próprio cliente. Consequentemente a fase de lançamento do produto também não é aplicável ao segmento ferroviário.

Segundo Barczak e Kahn (2012) uma das melhores práticas DNP é baseado na dimensão do processo, no qual consiste em utilizar um processo formal de desenvolvimento

de produto, sobretudo com foco na qualidade da execução, e que esta estrutura seja flexível e adaptável para atender as diferentes necessidades dos projetos.

Como o método para projeto de vagões ferroviários proposto neste trabalho irá abordar as fases do Projeto Informacional, Conceitual e Detalhado, serão descritos nos itens 2.2, 2.3 e 2.4 o que tratam estas fases.

## 2.2 PROJETO INFORMACIONAL

Nas fases iniciais do desenvolvimento de um produto têm-se muitas incertezas em diferentes aspectos tais como: custo-meta do produto, materiais, design, estruturação da manufatura, qualidade, engenharia, além sobretudo da aceitação do produto no mercado consumidor. Portanto as escolhas realizadas nas fases iniciais do projeto determinam cerca de 85% do custo final do produto, e a cada fase que o desenvolvimento do produto evolui o custo para alguma modificação aumenta conseqüentemente, segundo (ROZENFELD *et al.*, 2006). Logo, estas incertezas podem ser reduzidas quando o planejamento do desenvolvimento do produto está bem estruturado para o segmento que se propõe.

O Projeto Informacional proposto por Rozenfeld e Back, diferenciam-se, sobretudo no grau de abstração, onde o Rozenfeld coloca alguns itens como tarefas, isto dentro das atividades, entretanto Back coloca como atividades, com isso a estrutura do Projeto Informacional (PI) do método proposto por Back apresenta 21 atividades, em contrapartida o PI proposto por Rozenfeld apresenta 10 atividades, conforme indicado na Tabela 3.

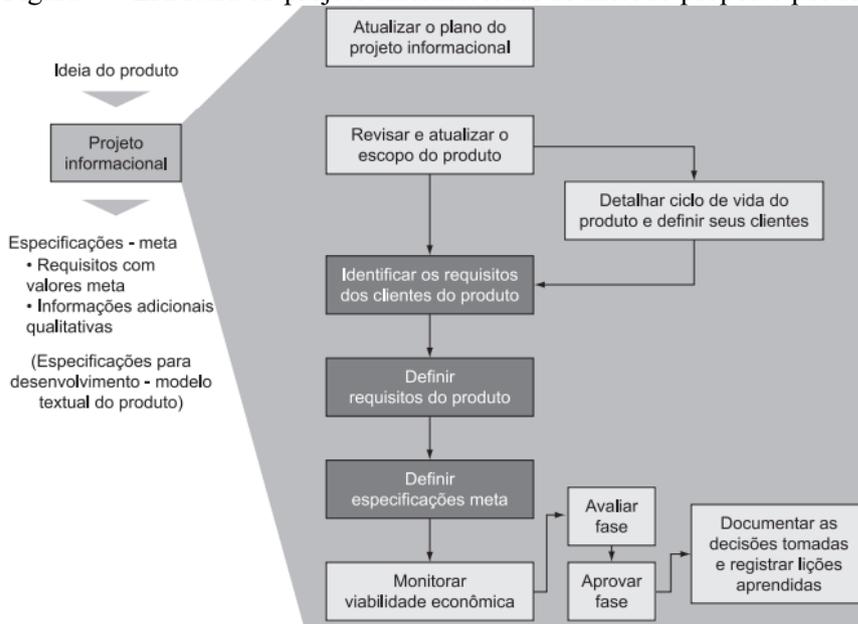
Tabela 3 – Atividades do projeto informacional proposto por Rozenfeld e Back

	Back <i>et al.</i> (2008)	Rozenfeld <i>et al.</i> (2006)
1	Comunicar início da fase de projeto informacional	Atualizar o plano do projeto informacional
2	Reunir a equipe de desenvolvimento do produto, de gerenciamento do projeto; apresentar o plano de projeto	Revisar e atualizar o escopo do produto
3	Executar atividades do projeto	Detalhar ciclo de vida do produto e definir os clientes
4	Definir os fatores de influência no projeto do produto	Identificar os requisitos dos clientes do produto
5	Monitorar as variações de mercado que podem influenciar o estabelecimento das especificações de projeto	Definir os requisitos do produto
6	Identificar as necessidades dos clientes	Definir especificações da meta do produto
7	Estabelecer os requisitos dos clientes	Monitorar a viabilidade econômico-financeira do produto
8	Estabelecer os requisitos de projeto	Avaliar fase
9	Estabelecer as especificações de projeto	Aprovar fase
10	Definir os fatores de influência no plano de manufatura	Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas
11	Definir estratégia para envolvimento de fornecedores	
12	Levantar as informações sobre a segurança no ciclo de vida do produto	
13	Definir as metas dependabilidade	
14	Definir o custo-meta do produto	
15	Realizar análise econômico-financeira	
16	Avaliar as especificações de projeto	
17	Submeter as especificações de projeto à aprovação	
18	Monitorar o progresso do projeto	
19	Comunicar relatório de progresso do projeto	
20	Atualizar o plano de projeto	
21	Preencher e assinar o termo de aprov. de passagem de fase	

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Figura 6 está apresentada a estrutura do Projeto Informacional do método proposto por Rozenfeld, no qual servirá como base para a realização do método para projeto de vagões ferroviários.

Figura 6 – Estrutura do projeto informacional do método proposto por Rozenfeld



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006).

A atividade de “atualizar o plano do projeto informacional” trata-se de uma ação recorrente no início de cada fase do desenvolvimento, tem como objetivo atualizar o planejamento do projeto. A “revisão e atualização do escopo do produto” é outra atividade que visa entender a completude do problema real, buscam-se mais informações detalhadas para o desenvolvimento do produto. Já, a atividade de “detalhamento do ciclo de vida dos produtos” e a “definição dos clientes” têm como objetivo descrever a história do produto e com isso busca identificar os clientes de cada etapa de ciclo de vida deste.

Outra atividade designada como “identificação dos requisitos dos clientes do produto” tem como objetivo analisar as necessidades dos clientes em cada fase do ciclo de vida anteriormente identificadas e classificá-las segundo as prioridades dos clientes. A atividade de “definição dos requisitos do produto” tem como objetivo analisar os requisitos dos clientes e transcrevê-los em uma linguagem de Engenharia.

A atividade para “definir as especificações-meta” tem como objetivo mensurar em parâmetros quantitativos dos requisitos do produto. Para auxiliar as atividades de identificar os requisitos dos clientes do produto, definir requisitos do produto e definir as especificações-meta podem ser utilizadas diversas ferramentas, tais como: Matriz de atributos, Checklist, Matriz QFD (Desdobramento da Função Qualidade), Diagrama de Mudge, entre outros.

Monitorar a “viabilidade econômico-financeira” é outra atividade do PI, cujo objetivo busca analisar se o custo-meta identificado na fase de planejamento do projeto está coerente com o progresso do desenvolvimento.

As atividades de “avaliar fase, aprovar fase e documentar as decisões tomadas” e “registrar as lições aprendidas” são atividades padrões no final de cada fase do desenvolvimento, tanto PI, PC e PD. A atividade de “avaliar fase” busca realizar uma avaliação do desenvolvimento, levando em consideração alguns critérios, tais como: abrangência, ausência de redundâncias, estruturação adequada, clareza, praticabilidade, e por fim econômicos.

A atividade de “aprovar fase” busca identificar os resultados da avaliação conforme os critérios identificados anteriormente e comparar com os resultados esperados identificados na fase de planejamento do projeto. A atividade de “documentar as decisões tomadas” e “registrar as lições aprendidas” busca documentar as melhores práticas no desenvolvimento do produto.

### 2.3 PROJETO CONCEITUAL

O Projeto Conceitual dos métodos propostos por Rozenfeld e Back é semelhante, pois a estrutura do PC proposto por Back apresentam 16 atividades, em contrapartida o PC proposto por Rozenfeld totalizam 15 atividades. Entretanto a estrutura do PC proposto por Ulrich apresentam 8 atividades, porém somente 5 atividades são parecidas com as mencionadas por Rozenfeld e Back, conforme indicado na Tabela 4.

Tabela 4 – Atividades do projeto conceitual proposto por Rozenfeld, Back e Ulrich

	Back <i>et al.</i> (2008)	Rozenfeld <i>et al.</i> (2006)	Ulrich <i>et al.</i> (1995)
1	Comunicar início da fase do projeto conceitual	Atualizar o plano do projeto conceitual	Identificar as necessidades dos clientes
2	Atualizar recursos financeiros do projeto	Modelar funcionalmente o produto	Estabelecer as especificações-meta
3	Reunir equipe e apresentar o plano de projeto atualizado	Desenvolver princípios de solução para as funções	Análise competitiva dos produtos
4	Monitorar as variações de mercado que podem influenciar o desenvolvimento das concepções de projeto	Desenvolver as alternativas de solução para o produto	Geração do conceito
5	Estabelecer a estrutura funcional do produto	Definir arquitetura para o produto	Seleção do conceito
6	Desenvolver as concepções alternativas do produto	Analisar sistemas, subsistemas e componentes (SSC)	Refinamento das especificações

Tabela 4 – Atividades do projeto conceitual proposto por Rozenfeld, Back e Ulrich – (continuação)

7	Selecionar a concepção do produto	Definir ergonomia e estética	Análise econômica
8	Analisar a concepção para identificar processos de fabricação internos e externos, existentes ou novos	Definir fornecedores e parcerias de co-desenvolvimento	Planejamento do projeto
9	Definir prazos aos fornecedores para desenvolver projeto preliminar e detalhado das subfunções	Selecionar a concepção do produto	
10	Atualizar análise econômica e financeira	Planejar o processo de manufatura macro	
11	Avaliar a concepção do produto	Atualizar estudo de viabilidade econômica	
12	Aprovar concepção do produto	Monitorar a viabilidade econômico-financeira do produto	
13	Monitorar progresso do projeto	Avaliar fase	
14	Atualizar o plano do projeto	Aprovar fase	
15	Preencher e assinar o termo de aprovação de passagem de fase	Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas	
16	Arquivar plano de projeto e ficha de aprovação de passagem de fase		

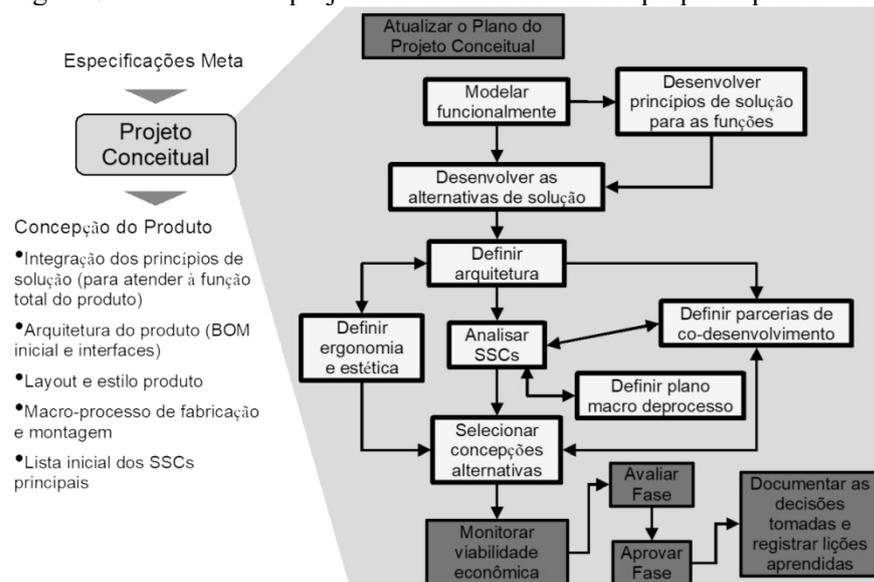
Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Após a análise da tabela acima, identifica-se que as três primeiras atividades propostas por Ulrich referente ao desenvolvimento do conceito, são atividades que no método proposto por Back e Rozenfeld estão dentro do espectro do PI. Contudo, as demais atividades propostas por Ulrich se assemelham com as atividades propostas por Rozenfeld e Back no PC.

As semelhanças entre as atividades do PC: são o desenvolvimento e seleção do conceito do produto, atualização da viabilidade econômico-financeira do projeto e o monitoramento do projeto. Entretanto as diferenças desta fase são: o estabelecimento da estrutura funcional do produto, a identificação dos processos de fabricação.

Na Figura 7 está apresentada a estrutura do PC do método proposto por Rozenfeld, no qual servirá como base para a realização do método para projeto de vagões ferroviários.

Figura 7 – Estrutura do projeto conceitual do método proposto por Rozenfeld



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

A atividade de “atualizar o plano do PC” tem como objetivo atualizar o planejamento para a realização das atividades contidas no PC. Contudo, a atividade de “modelar funcionalmente o produto”, tem como objetivo a identificação da estrutura do produto através de suas funcionalidades, sendo que as funções podem ser identificadas através das especificações indicadas na fase do PI.

Desenvolver os princípios de solução é outra atividade que consiste em atribuir os princípios de solução para as funções identificadas na modelagem funcional, para isto podem ser utilizados alguns métodos de criatividade, tais como: brainstorming, matriz morfológica, questionários.

Outra atividade designada como “desenvolver as alternativas de solução para o produto” consiste em combinar os princípios de solução individuais em princípios de solução totais para o produto, para auxiliar na realização desta atividade é comumente utilizada a matriz morfológica. A atividade de “definição da arquitetura” consiste em definir a estruturação do produto, e identificar como os componentes físicos do produto se relacionam.

A atividade de “analisar os SSC’s (sistemas, subsistemas e componentes)” compreende em realizar um refinamento das alternativas de projeto, buscando identificar os pontos críticos do produto, além de definir os principais parâmetros do produto, tais como: materiais, formas, dimensões.

A realização da “definição ergonômica e estética do produto” tem como objetivo identificar se o projeto está adequado em termos de ergonômicos, buscando, sobretudo adaptar ergonomicamente as características físicas e os movimentos realizados pelos usuários na utilização do produto.

A atividade de “definição dos fornecedores e parcerias de co-desenvolvimento” consiste em definir as possíveis parcerias e fornecedores envolvidos no projeto de desenvolvimento do produto. A atividade de selecionar a concepção do produto consiste em identificar o conceito escolhido para o produto em desenvolvimento, com isso são analisadas todas as concepções geradas, após isto é realizada uma comparação entre as concepções geradas e por fim é selecionada a concepção mais adequada para o projeto.

A “definição do plano macro de processo” consiste em identificar os possíveis processos de fabricação envolvidos para o desenvolvimento do produto. Por fim as atividades de avaliar fase, aprovar fase e documentar as decisões tomadas e registrar as lições aprendidas são atividades padrões no final de cada fase do projeto, tanto PI, PC e PD, portanto já foram descritas no item 2.3 deste trabalho.

## 2.4 PROJETO DETALHADO

O projeto detalhado no processo de desenvolvimento tem como objetivo principal finalizar todas as especificações do produto, para isso inicia-se com a criação e detalhamento dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC's), paralelamente documentam e planejam o processo de fabricação e montagem do produto em desenvolvimento (ROZENFELD *et al.* (2006).

As atividades do Projeto Preliminar (PP) contido no método proposto por Back e as atividades do Projeto Detalhado (PD) referente à estrutura proposta por Rozenfeld, além das atividades do Projeto do Sistema (PS) referente ao método proposto por Ulrich, apresentam similaridades, no qual podem ser identificadas estas informações na Tabela 5.

Tabela 5 – Atividades do PP, PD, PS proposto por Back, Rozenfeld e Ulrich

	Back <i>et al.</i> (2008)		Rozenfeld <i>et al.</i> (2006)		Ulrich <i>et al.</i> (1995)	
Projeto Preliminar	1	Comunicar início da fase do projeto preliminar	Projeto Detalhado	Atualizar o plano do projeto detalhado	Projeto do Sistema	Planejar o desenvolvimento as opções para o produto e estender a família do produto
	2	Apresentar o plano de projeto atualizado		Criar e detalhar SSC's, documentação e configuração		Gerar arquiteturas alternativas para o produto
	3	Monitorar as variações de mercado que podem influir no leiaute do produto		Decidir por fazer ou comprar SSC		Definir subsistemas e interfaces
	4	Desenvolver leiaute do produto		Desenvolver fornecedores		Refinar o design industrial
	5	Desenvolver leiautes alternativos do produto		Planejar o processo de fabricação e montagem		Identificar os fornecedores dos componentes
	6	Desenvolver o leiaute dimensional do produto		Projetar recursos de fabricação		Analisar em comprar ou manufaturar
	7	Estabelecer o leiaute final do produto		Avaliar SSCs, configuração e documentação do produto e processo	Definir o esquema de montagem final	
	8	Desenvolver o plano de fabricação e teste do protótipo		Otimizar produto		
	9	Definir os requisitos iniciais de fabricação do protótipo		Enviar documentação do produto a parceiros		
	10	Avaliar capacidade de manufatura interna dos componentes		Criar material de suporte do produto		
	11	Avaliar capacidade de manufatura externa dos componentes		Projetar embalagem		
	12	Avaliar viabilidade econômica do produto		Planejar fim de vida do produto		
	13	Monitorar o progresso do projeto		Testar e homologar produto		
	14	Atualizar plano de projeto		Monitorar a viabilidade econômico-financeira do produto		
	15	Aprovar passagem de fase do projeto		Avaliar fase		
		Aprovar fase				
		Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas				

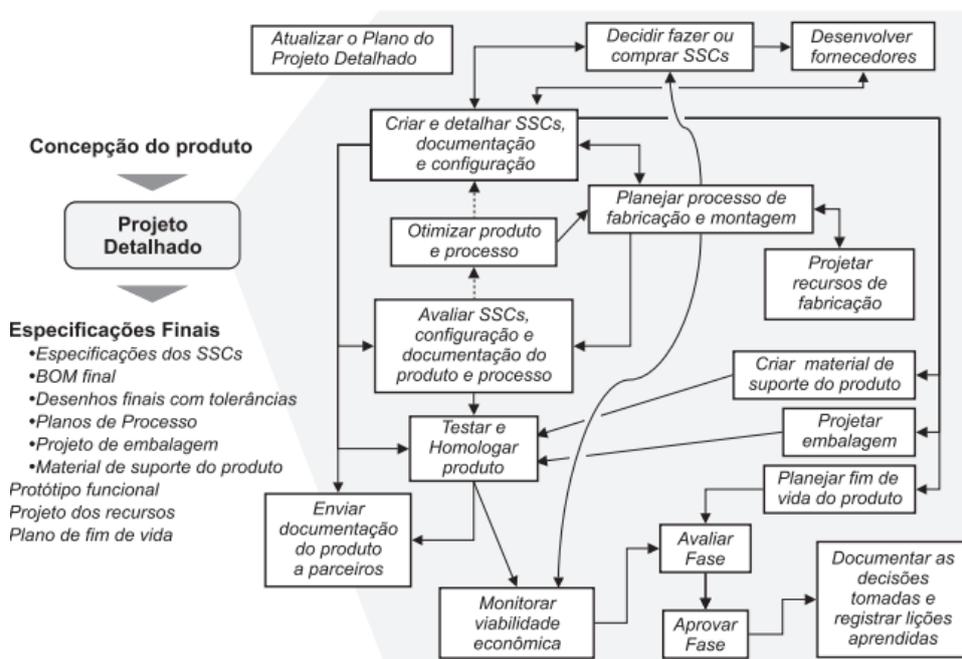
Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Após a análise das atividades contidas na Tabela 5, são identificadas algumas semelhanças tais como: a realização do detalhamento dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC's), além da identificação da produção interna dos SSC's ou da compra destes itens. É identificado também como será realizado o processo de montagem do produto

em desenvolvimento. Todavia, as principais diferenças das atividades contidas na Tabela 5 são: a criação de materiais de suporte do produto em desenvolvimento, a realização do planejamento do fim de vida do produto, além da realização do projeto da embalagem.

Como mencionado a metodologia de Rozenfeld é base para a realização do método para o projeto de vagões ferroviários, com isso é apresentado na Figura 8, o Projeto Detalhado do método proposto por Rozenfeld *et al.* (2006) e posteriormente será descrito as atividades que compõe esta fase.

Figura 8 – Atividades da fase do PD do método proposto por Rozenfeld



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006).

A atividade de “atualizar o plano do projeto detalhado” consiste em atualizar o planejamento do produto, sobretudo referente ao PD. Todavia, a atividade de “criar e detalhar SSC’s, documentação e configuração” tratam de detalhar o modelo de concepção escolhido para o projeto, no qual compreende em realizar todos os desenhos dos SSC’s, especificando, sobretudo as cotas e tolerâncias dimensionais, além de realizar a BOM (Bill of Materials-Lista de Materiais) do produto e por fim são finalizadas as documentações referentes ao projeto.

Decidir em fazer ou comprar SSC’s é a atividade que consiste em levantar as informações necessárias referentes aos custos, tempo, competência técnica para identificar a fabricação do SSC’s ou a compra destes itens, para isto é solicitado os orçamentos dos SSC’s,

além de estimar os custos para a fabricação dos SSC's, por fim é decidido se os SSC's serão projetados ou comprados.

A atividade de “desenvolver fornecedores” consiste em buscar fornecedores dos SSC's que serão comprados, consultando catálogos e enviando aos parceiros na cadeia de fornecimento informações necessárias para cotar o SSC's.

O planejamento do processo de fabricação e montagem é uma atividade do PD cujo objetivo é detalhar o plano macro de processo realizado no PC, onde será descrito detalhadamente as operações dos processos de fabricação, além de determinar as especificações da máquina e tempos de processos.

A atividade designada como “projetar os recursos de fabricação” consiste em detalhar todos os recursos de fabricação que serão utilizados para a fabricação dos SSC's, tais como: máquinas, equipamentos, ferramental e instalações. Geralmente estes recursos são universais, podendo ser utilizados em vários projetos, todavia tem alguns projetos que necessitam a fabricação de alguns recursos, pois o projeto apresenta alguma peculiaridade.

Logo, a atividade de “avaliar os SSC's” e a “realizar a documentação do produto e processo” consiste em analisar as falhas e tolerâncias SSC's, planejar e realizar os testes do produto e processo, além de avaliar os resultados adquiridos na fase de teste, e por fim avaliar a documentação dos produtos e processos.

A atividade conhecida como “otimizar produto e processo” consiste em identificar a existência de um caminho mais curto para o sequenciamento das atividades do processo, caso necessário realizar modificações nos componentes ou nos processo, todavia no produto buscase a eliminação de alguns componentes após a aplicação de técnicas de otimização e análise de valor, tais como: diretrizes para montagem e fabricação (DFMA).

Portanto, a atividade descrita como “criar material suporte do produto” tem como objetivo a realização de manuais de operação do produto, além do material de treinamento e o material para descontinuidade do produto em desenvolvimento.

A atividade de “projetar a embalagem” consiste em avaliar a distribuição do produto, transporte e entrega, para isto devem ser identificados os pontos críticos do produto e da embalagem, após esta análise deve ser projetada a embalagem, e por fim identificado o processo da embalagem do produto. Entretanto, a atividade “planejar o fim de vida do

produto” busca aplicar algumas estratégias durante o desenvolvimento do produto, tais como: DFE (Projeto para Meio Ambiente) e DFD (Projeto para Desmontagem).

A atividade de “testar e homologar produto” baseia-se em verificar a documentação, funcionalidade do produto, atendimentos dos requisitos em norma, além de obter o certificado de homologação do produto desenvolvido. Por fim as atividades de “avaliar fase, aprovar fase e documentar as decisões tomadas” e “registrar as lições aprendidas” são atividades padrões no final de cada fase do projeto, entretanto já foram descritas no item 2.3 deste trabalho.

## 2.5 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE VAGÕES FERROVIÁRIOS

Para o entendimento do método para projeto de vagões ferroviários contido neste trabalho, é importante o conhecimento de alguns conceitos básicos sobre vagões, tais como: tipo e classificação dos vagões, superestrutura, estrutura e infraestrutura dos vagões.

### 2.5.1 Classificação dos vagões

A **norma NBR 12730/1992** classifica todos os veículos ferroviários subdividindo-se em quatro categorias que são: finalidade, estágio de desenvolvimento, utilização e velocidade. Desta forma a classificação do vagão aplicado no método proposto está conforme a Figura 9.

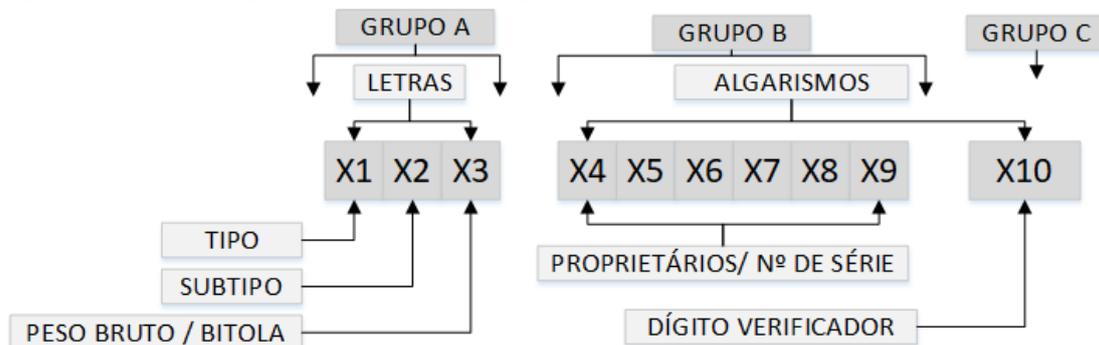
Figura 9 – Classificação de vagão ferroviário em projeto

FINALIDADE	
Veículo Ferroviário	Material rodante
Material Rodante	Material de transporte
Material de Transporte	Material rebocado
Material de Rebocado	Vagão
ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO	
Protótipo	
UTILIZAÇÃO	
Situação	Em tráfego
Veículo em Tráfego	Novo
VELOCIDADE	
Baixa Velocidade	

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Todos os vagões que transitam na rede ferroviária brasileira devem estar devidamente identificados, para isto a norma NBR 11691/2015 estabelece uma codificação alfa numérica, formada por três grupos conforme Figura 10.

Figura 10 – Codificação alfanumérica de vagões



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Conforme norma citada anteriormente será inserida tabelas no Apêndice C para realização da codificação do vagão em projeto, todavia os tipos de vagões que transitam na rede ferroviária brasileira são: gôndola, hopper, fechado, plataforma e tanque, com isso na Figura 11 está identificado algumas características de cada tipo de vagão juntamente com a codificação do termo X1.

Figura 11 – Codificação grupo A (X1-tipo do vagão)

TIPO DO VAGÃO				
GÔNDOLA	HOPPER	FECHADO	PLATAFORMA	TANQUE
CODIFICAÇÃO X1 (TIPO DO VAGÃO)				
G	H	F	P	T
				

Fonte: Adaptada de Randon, Frateschi, Allen Modelismo (2019).

## 2.5.2 Superestrutura do vagão

A superestrutura do vagão compreende a parte superior do vagão, conhecida também como caixa, conforme indicado na Figura 12.

Figura 12 – Superestrutura do vagão



Fonte: Adaptado de Frateschi (2019).

### 2.5.3 Estrutura do vagão

A estrutura do vagão compreende a parte de suporte da caixa do vagão ferroviário conhecida também como estrado, no qual subdivide-se em longarinas, testeiras, travessas, assoalho, além de reforços estruturais.

A longarina central, primária e secundária são elementos estruturais do estrado na direção do eixo longitudinal do vagão, a função principal destas estruturas é transmitir as forças de tração e compressão de uma cabeceira a outra. Geralmente nas extremidades da longarina central são fixados os aparelhos de choque e tração dos vagões.

A travessa principal, secundária, além da travessa para o suporte do prato pião são elementos estruturais do estrado que estão dispostos perpendicularmente ao eixo longitudinal do vagão.

As testeiras são travessas externas do estrado que servem como suporte para os acessórios do engate, todavia no caso de vagões que não apresentam a caixa, as testeiras servem como orientação para a definição da cabeceira A e cabeceira B.

O assoalho é considerado o piso do estrado e tem como objetivo acomodar a carga a ser transportada, conforme indicado na Figura 13.

Figura 13 – Estrutura do vagão



Fonte: Adaptada de Allen Modelismo e Randon (2019).

## 2.5.4 Infraestrutura do vagão

A infraestrutura do vagão constitui os sistemas que compreendem a parte inferior do vagão, subdivide-se em truque, aparelho de choque e tração e sistema de freio, conforme indicado na Figura 14.

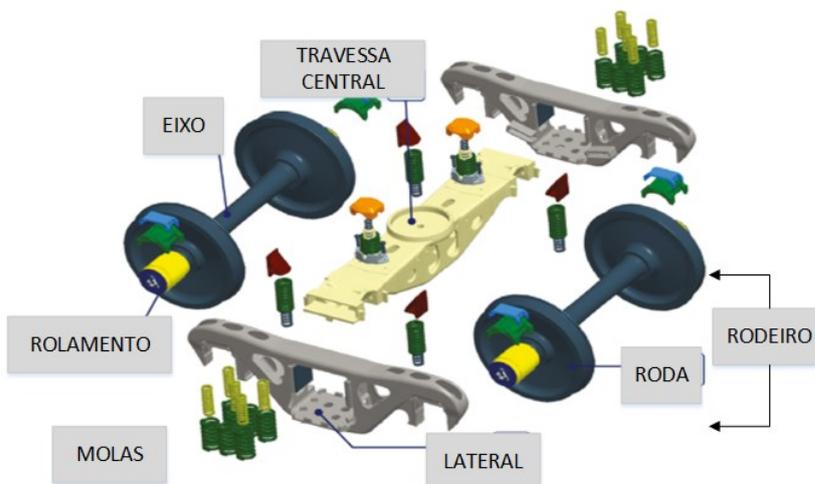
Figura 14 – Infraestrutura do vagão



Fonte: Adaptada pelo autor (2019).

O truque tem a função de distribuição e transferência do peso do vagão para a via permanente, buscando a estabilidade e equilíbrio ao vagão, subdivide-se em travessa central, laterais, suspensão, mancais, rodeiros, sapatas de freio e timoneria de freio do truque, conforme indicado na Figura 15. No Apêndice D estão identificadas as funções de cada componente do truque.

Figura 15 – Componentes do truque



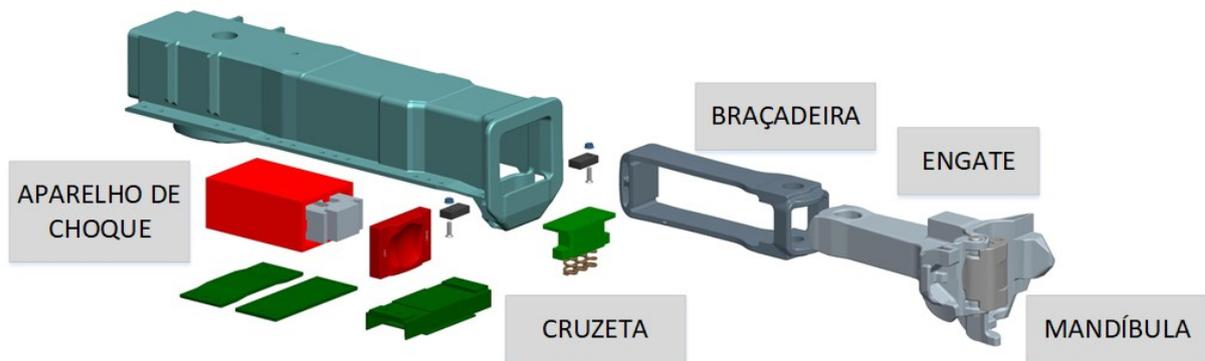
Fonte: Adaptada de GBMX (2019).

O aparelho de choque e tração (ACT) tem como finalidade permitir o acoplamento entre um vagão e outro, além de transmitir os esforços de tração e compressão devido às variações de velocidade entre os vagões, este sistema subdivide-se em engate, conjunto de choque e acessórios de choque e tração, conforme Figura 16.

O engate constituinte do ACT tem como função primária a realização do acoplamento e desacoplamento entre os vagões, além de ser destinado a transmitir os esforços de tração e compressão de um vagão a outro, podem ser de haste de ligação, fixo ou rotativo.

O engate rotativo e o engate de haste de ligação do tipo uma cauda fixa e outra rotativa permite o giro do vagão no eixo longitudinal do veículo para a realização da descarga através do sistema virador de vagões, todavia o engate fixo e o engate de haste de ligação com duas caudas fixas não permitem este mesmo giro. No Apêndice E estão identificadas as funções de cada componente do sistema de choque e tração.

Figura 16 – Sistema do aparelho de choque e tração



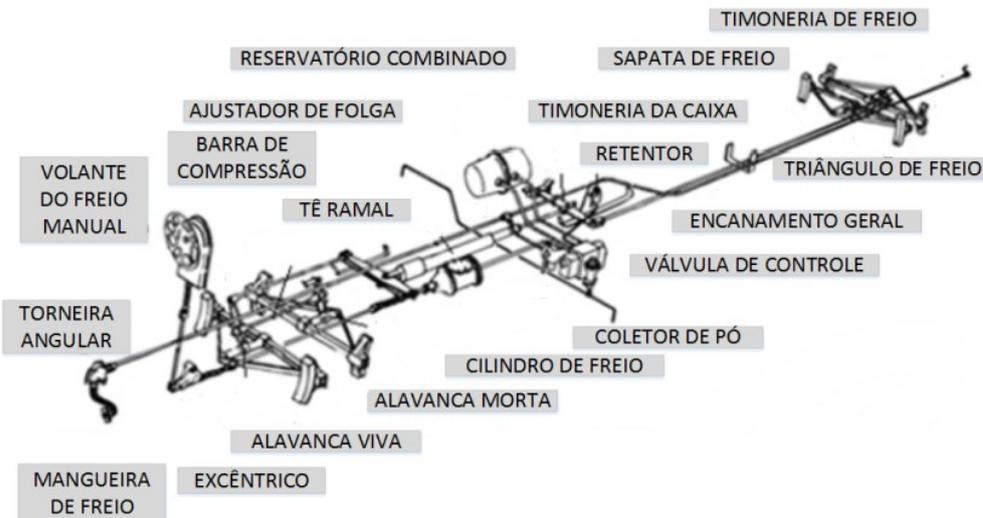
Fonte: Adaptada de GBMX (2019).

O sistema de freio do vagão está localizado na infraestrutura deste veículo, tem como finalidade principal realizar a frenagem do vagão, subdivide-se em parte pneumática, timoneria e freio manual.

A parte pneumática do sistema de freio tem como função principal armazenar e conduzir o ar pressurizado para acionar a timoneria de freio. A timoneria tem como funcionalidade multiplicar e transmitir a força mecânica gerada pela parte pneumática do sistema de freio subdivide-se em alavanca de distribuição de força da timoneria, ajustador automático de folga, comutador de vazio-carregado e tirantes de freio. O freio manual tem como objetivo manter o vagão frenado, pode ser conhecido como freio de estacionamento, quando acionado aplica uma força diretamente na timoneria do sistema de freio do vagão. Na

Figura 17 está demonstrado o sistema de freio de um vagão. Contudo, as funções de cada componente do sistema de freio do vagão ferroviário estão descritas no Apêndice E.

Figura 17 – Sistema de freio do vagão



Fonte: Adaptada de Vale (2019).

## 2.6 NORMAS PARA O PROJETO DE VAGÕES

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tem dentro do seu escopo de normas um comitê específico para o segmento metroferroviário que é conhecido como ABNT/CB-006. Atualmente possui 140 normas, todavia para este trabalho foram selecionadas e classificadas 30 normas que tratam sobre especificações para projeto de vagões ferroviários. As normas foram classificadas em quatro grupos, tais como: geral, componentes, específicas e complementares.

No grupo designado como “Geral” foram identificados 10 normas, estas normas são essenciais para o projetos de vagões ferroviários. Entretanto no grupo designado como “Componentes” foram identificados 5 normas, estas normas tratam dos componentes do vagão e devem ser analisadas sua aplicabilidade no projeto do vagão. No grupo classificado como “Específicas” foram identificadas 10 normas, estas normas tratam das especificações e particularidades para cada tipo de vagão. Por fim no grupo identificado como “Complementares” foram identificadas 5 normas, estas normas complementam o projeto do

vagão. Desta forma, na Tabela 6 estão indicadas as normas referentes a projeto de vagões ferroviários classificados anteriormente.

Tabela 6 – Normas da ABNT referente ao projeto de vagões ferroviários

	<b>ABNT NBR 11691:2015</b>	<b>ABNT NBR 12210:2015</b>	<b>ABNT NBR 16444:2017</b>
<b>GERAL</b>	Esta norma estabelece os critérios para classificação, identificação e marcação de vagão ferroviário.	Esta norma estabelece os requisitos para o cálculo estimativo do valor da altura do centro de gravidade de vagão para tráfego ferroviário.	Esta norma estabelece os requisitos mínimos para a diferença máxima permitida de altura entre engates de dois veículos ferroviários de todos os tipos (locomotivas, vagões e carros).
	<b>ABNT NBR 12750:1992</b>	<b>ABNT NBR 12730:1992</b>	<b>ABNT NBR 16441:2015</b>
	Esta norma fixa as condições exigíveis à determinação de características dimensional de utilização de vagão ferroviário.	Esta norma classifica veículo ferroviário.	Esta norma estabelece os requisitos para o projeto de vagões-tanque ferroviários para transporte de produtos claros inflamáveis ou líquidos em geral, não pressurizados, e em temperatura ambiente, para circulação na malha ferroviária brasileira.
	<b>ABNT NBR 7634:1993</b>	<b>ABNT NBR 7518:1989</b>	<b>ABNT NBR 13824:1997</b>
Esta norma define termos empregados em vagão ferroviário.	Esta norma classifica o aparelho de choque e tração (ACT) para material rodante ferroviário.	Esta norma padroniza as dimensões básicas de abertura livre de escotilha longitudinal de vagão ferroviário fechado (FE,FH,FP) e hoper (HF,HP,HE,HT), conforme classificados na ABNT NBR 11691.	
<b>ABNT NBR 13823:1997</b>			
Esta norma padroniza as dimensões básicas e o tipo de espelhos para vagão ferroviário.			
<b>COMPONENTES</b>	<b>ABNT NBR 16471:2016</b>	<b>ABNT NBR 7766:1990</b>	<b>ABNT NBR 13825:1997</b>
	Esta norma define os termos empregados em freio para veículo ferroviário.	Esta norma padroniza placa indicadora para sistema de freio vazio carregado de material rodante ferroviário.	Esta norma padroniza as dimensões básicas dos estribos e escadas de vagão ferroviário.
	<b>ABNT NBR 16086:2012</b>	<b>ABNT NBR 16087:2012</b>	
Esta norma estabelece os requisitos para engates automáticos de mandíbula, braçadeiras e hastes de ligação, usados para acoplar automaticamente vagões ferroviários de cargas, reboque e tração, a fim de possibilitar os deslocamentos do material rodante sobre os trilhos.	Esta norma estabelece os requisitos para componentes e conjuntos de engates automáticos, de hastes de ligação e de braçadeiras utilizados em vagões ferroviários para transporte de carga.		
<b>ESPECÍFICAS</b>	<b>ABNT NBR 12740:1992</b>	<b>ABNT NBR 12741:1992</b>	<b>ABNT NBR 16441:2015</b>
	Esta norma padroniza características principais para vagão plataforma, de bitola métrica, normal e larga, para ferrovia.	Esta norma padroniza características principais para vagão fechado, de bitola métrica, normal e larga, para ferrovia.	Esta norma estabelece os requisitos para o projeto de vagões-tanque ferroviários para transporte de produtos claros inflamáveis ou líquidos em geral, não pressurizados, e em temperatura ambiente
	<b>ABNT NBR 12945:1993</b>	<b>ABNT NBR 8703:2013</b>	<b>ABNT NBR 11688:2015</b>
	Esta norma padroniza características principais para vagão-tanque, para transporte de GLP ou amônia anidra liquefeita, em via férrea de bitola métrica.	Esta norma relaciona os termos empregados para vagão-tanque, em português, espanhol, francês e inglês.	Esta norma classifica os vagões-tanques, conforme especificado nas ABNT NBR 11691 e ABNT NBR 12730
	<b>ABNT NBR 12738:1993</b>	<b>ABNT NBR 12944:1993</b>	<b>ABNT NBR 12783:1993</b>
	Esta norma padroniza marcação para vagão-hoper.	Esta norma padroniza localização do varão de desengate no vagão ferroviário.	Esta norma padroniza a marcação do vagão-tanque.
<b>ABNT NBR 12737:1993</b>	<b>ABNT NBR 12736:1993</b>		
Esta norma padroniza marcação para vagão-gôndola.	Esta norma padroniza marcação para vagão-plataforma.		
<b>COMPLEMENTARES</b>	<b>ABNT NBR 8694:1991</b>	<b>ABNT NBR 11727:1992</b>	<b>ABNT NBR 5565:2010</b>
	Esta norma classifica roda para veículo ferroviário.	Esta norma fixa as condições exigíveis para roda para veículo ferroviário.	Esta norma estabelece a classificação, os parâmetros e as condições para montagem e manutenção de rodeiros para veículo metroferroviário.
	<b>ABNT NBR 16622:2017</b>	<b>ABNT NBR 13902:1997</b>	
Esta norma estabelece os parâmetros de referência necessários para montagem, utilização e regulação de ampara balanços de vagões ferroviários para os modelos de folga e contato constante.	Esta norma padroniza os equipamentos e acessórios mínimos necessários para vagão de combate a incêndio (VCI), condicionado ao uso de vagão -tanque com água em acidente ferroviário		

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

As normas da ABNT indicadas na Tabela 6 serão utilizadas em diferentes fases do projeto do vagão ferroviário, sobretudo na fase do Projeto Detalhado onde todas as questões regulatórias do projeto de um vagão devem ser analisados e consequentemente aplicados.

Todavia a aplicação de algumas normas tais como: ABNT NBR 16444:2017, ABNT NBR 12730:1992 podem ser realizadas na fase do Projeto Informacional.

Atualmente as empresas fabricantes de vagões ferroviários assim como as fabricantes de componentes para projeto de vagões no Brasil utilizam também as normas AAR (Associação Americana de Ferrovias). No entanto, as universidades públicas brasileiras não tem o acesso a este banco de dados atualizados. Entretanto as normas da AAR não abordam o conceito de uma estrutura para o projeto de vagões ferroviários e sim indicam as especificações e particularidades para este segmento.

## 2.7 ARTIGOS VOLTADOS AO DESENVOLVIMENTO DE VAGÕES

Alguns dos artigos avaliados com o índice 7 durante a classificação realizada na RSL serão apresentados nesta secção, pois servem como base para a realização do método para projeto de vagões ferroviários, sobretudo na fase do Projeto Detalhado. Todavia, os artigos avaliados com índice 10, já foram descritos na página 17 deste trabalho.

- Placzek, Wróbel e Baier (2015) buscam avaliar a análise da força da superestrutura de um vagão através do modelo em CAD, o objetivo é reduzir a espessura da chapa de aço utilizada na superestrutura do vagão, com isso é analisado a adição de painéis de materiais compósitos justapostos na superestrutura do vagão, a fim de verificar a resistência e influência destes painéis na superestrutura. A redução de material em aço proposta neste artigo foi de 1100 kg, foram realizados os testes utilizando o programa Siemens NX 8.5 para avaliar a análise da força de carga estática do fundo da superestrutura admitindo a carga máxima admissível identificada pela norma europeia (EN 12663-2:2010: Parte 2). Tem-se como resultado a possibilidade da utilização de painéis compósitos justapostos na superestrutura do vagão visto que nas simulações para análise da deformação e deslocamento apresentaram valores muito menores quando comparados com a superestrutura do vagão somente de aço.

- Yoon *et al.* (2010) mostra a realização da análise da resistência na estrutura e superestrutura do vagão em desenvolvimento. No projeto foram utilizados os aços: SM490YA (363 MPa), SM490Y (324MPa), SS400 (245 MPa), o programa utilizado para análise foi I-DEAS II NX. Foram realizados os testes de carga vertical e teste de compressão no qual tem-se como resultado dentro do limite de escoamento dos materiais utilizados no projeto.
- Kuczek e Szachniewicz (2015) demonstram a otimização da estrutura e superestrutura de um vagão utilizando materiais compósitos, isto, pois a utilização destes materiais podem reduzir o peso do veículo, e conseqüentemente aumentar a quantidade de carga que pode ser transportada pelo vagão. Foram realizados os desenhos preliminares do vagão em CAD, o material compósito é caracterizado como: perfil de compósitos de poliéster-vidro, apresenta alta resistência à tração de 227 MPa, resistência à compressão de 226 MPa e por fim resistência de flexão de 227 MPa. Este material pode ser uma alternativa para projetos que necessitam de alta resistência à corrosão, durabilidade e baixa massa.

## 2.8 COMENTÁRIOS FINAIS

As empresas fabricantes de vagões ferroviários identificam a existência de uma lacuna entre as normas para projeto de vagões como a AAR e ABNT, no qual são mencionadas somente as especificações para o projeto de um vagão, portanto não tem o foco na gestão de projetos.

Com isso o desenvolvimento de um método para projeto de vagões ferroviários servirá como referência para as empresas fabricantes de vagões ferroviários. Desta maneira as empresas fabricantes de vagões ferroviários poderão adaptar este método de acordo com suas próprias necessidades

Além disto, este método pode servir como referência para a realização de projetos de vagões ferroviários na área acadêmica, cujo objetivo é demonstrar o mais próximo da realidade como são realizados os projetos de vagões nas empresas fabricantes destes veículos.

### 3 MÉTODO PROPOSTO

Neste capítulo será descrito o método para projetos de vagões ferroviários proposto neste trabalho. Deste modo, para identificar o cenário atual referente a projetos de vagões ferroviários foi realizado um questionário inicial, a ser aplicado com os gerentes e coordenadores da área de projetos de vagões ferroviários das empresas fabricantes deste tipo de veículo no Brasil. Após a realização desta análise, é descrito sobre o método da matriz de estrutura de projeto (DSM) que será utilizada como ferramenta de apoio na realização do método proposto. Posteriormente será descrita a estrutura geral do método para projetos de vagões ferroviários, subdivididos em: Projeto Informacional (PI); Projeto Conceitual (PC) e por fim Projeto Detalhado (PD).

#### 3.1 ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO SOBRE PROJETOS DE VAGÕES APLICADOS NA INDÚSTRIA BRASILEIRA

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Ferroviária (ABIFER, 2019), dentre seus associados, existem somente 2 empresas que produzem vagões ferroviários no Brasil, porém após pesquisas foram identificadas mais uma empresa fabricante deste tipo de veículo no país. Sendo assim, estas empresas são referências de engenharia para projetos de vagões ferroviários no âmbito nacional.

Por se tratar do desenvolvimento de um método para um segmento específico, como o modal ferroviário, faz-se necessário analisar o cenário atual das empresas que produzem vagões ferroviários no país. Com isso foi realizado um questionário para avaliar o nível de maturidade destas empresas e a amplitude no que se refere a projetos de veículos ferroviários.

Os responsáveis pela engenharia, em nível de gerência e coordenação da área de projetos, foram os que responderam o questionário para avaliar a situação atual da área de projetos de vagões ferroviários produzidos no Brasil. Por se tratar de poucas empresas envolvidas neste segmento e área específica onde foi desenvolvida a pesquisa, não serão divulgadas as respostas específicas de cada questionamento, porém uma análise das respostas de forma conjunta. O questionário foi dividido em:

- Necessidades dos Clientes e Requisitos de Projeto;
- Processo de Desenvolvimento e Gerenciamento de Projetos;
- Equipe de Projeto;
- Inovação;
- Tecnologia e Materiais;
- Estratégias de Manufatura;
- Pós-desenvolvimento;
- Demanda de Projetos e Clientes Atuais;

O questionário foi enviado por meio eletrônico aos responsáveis da área de projetos destas empresas fabricantes, contendo as perguntas indicadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Questionário referente ao projeto de vagões

<b>Necessidades dos clientes e requisitos de projeto</b>
Como são identificadas as necessidades dos clientes no desenvolvimento de vagões realizados pela empresa que você trabalha?
Como estas necessidades viram requisitos de projeto para a engenharia?
<b>Processo de desenvolvimento e Gerenciamento de projetos</b>
É realizada alguma análise de viabilidade econômico-financeira na fase inicial de desenvolvimentos de vagões ferroviários? Como?
Há algum modelo de referência padrão para guiar a definição de atividades do projeto do vagão?
Quais são as etapas ou fases no desenvolvimento de vagões ferroviários realizadas na empresa onde trabalha? Descreva cada etapa no desenvolvimento de vagões ferroviários.
Quais são os fatores críticos de cada etapa no desenvolvimento de vagões ferroviários?
<b>Equipe de projeto</b>
Quantas pessoas fazem parte do time de desenvolvimento de vagões ferroviários em sua empresa, levando em consideração somente a equipe de Engenharia? Qual a função de cada pessoa?
<b>Inovação</b>
É realizada alguma pesquisa de mercado para verificar as tendências do mercado consumidor?
Qual seria a principal fonte de inovação da empresa, pesquisas internas, feiras (se sim, quais?) ou outros?
Como a empresa realiza a introdução de inovação no desenvolvimento de vagões ferroviários?
Como é feita a introdução (novos modelos) e retirada de vagões (modelos antigos) pela empresa?
A empresa realiza uma pesquisa sobre os lançamentos e produtos dos concorrentes?
<b>Tecnologia e materiais</b>
Como são selecionadas as tecnologias que serão utilizadas nos projetos de desenvolvimento de vagões ferroviários?
Como são selecionados os materiais que serão utilizados nos projetos de desenvolvimento de vagões ferroviários?
<b>Estratégias de manufatura</b>
Como a empresa faz os projetos ? Make-to-Order/ Engineer-to-Order/Assemble-to-Order/Make-to-Stock
<b>Pós-desenvolvimento</b>
Após o desenvolvimento de vagões são identificadas e registradas as falhas e aprendizados referentes ao projeto executado? como?
<b>Demanda de projetos e Clientes atuais</b>
Quantos projetos de vagões são feitos ao ano?
Cada projeto envolve quantos vagões em média?
Há metas (anuais) de projetos definida pela empresa?
Quantos modelos de vagões ferroviários a empresa onde você trabalha produz?
Qual o principal modelo em volume de produção?
Qual o principal modelo em retorno financeiro?
Qual o principal segmento que adquire vagões ferroviários de sua empresa?
Quais são os segmentos que possuem boa participação, porém não os principais compradores?

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Em relação às questões referentes às **necessidades dos clientes e aos requisitos de projeto**, foram identificadas similaridades entre as empresas que projetam vagões ferroviários no Brasil. Geralmente as necessidades dos clientes são apresentadas pelos próprios clientes. Outra vertente para a identificação das necessidades dos clientes é a utilização de diferentes tipos de canais de comunicação para estreitar a proximidade com o cliente, no entanto em

outras empresas fabricantes de vagões ferroviários as necessidades dos clientes são apresentadas por meio contratual.

Sobre as questões referentes ao **processo de desenvolvimento e ao gerenciamento de projetos**, as empresas questionadas apresentam diferenças em relação à análise de viabilidade econômico-financeira do projeto de vagões de carga.

Entretanto, referente ao questionamento da utilização de um modelo de referência para projeto de vagões ferroviários, não são todas as empresas que tem um modelo de referência para o projeto de vagões, porém todas as empresas questionadas possuem uma lista de tarefas que devem ser realizadas para o projeto de vagões.

Os fatores críticos identificados pelas empresas no projeto e na produção de vagões ferroviários tratam primordialmente de aspectos técnicos e de gestão de projetos. Os aspectos técnicos relatados seriam o levantamento de todas as informações necessárias para o projeto, à realização da análise estrutural e dinâmica, além da otimização dos processos de fabricação sem apresentar perda na qualidade ou na realização de retrabalhos.

A respeito das questões referentes à **equipe de projetos**, as empresas pesquisadas mencionaram que possuem um time de projeto em média de 6 pessoas incluindo o coordenador. Todavia, em algumas empresas onde o projeto de vagões não é o produto referência da empresa, a equipe de projetos de vagões também realiza outros tipos de projetos.

Referente à **introdução da inovação** nos projetos de vagões de carga, as empresas pesquisadas relataram a dificuldade da aceitação do cliente neste requisito, pois o projeto de vagão deverá ser fabricado conforme proposta e especificação do cliente. Com isso, a introdução da inovação ocorre quando solicitado pelo cliente geralmente para solucionar algum problema em campo.

As empresas identificam como principal fonte de introdução da inovação no projeto de vagões a parceria entre cliente/fornecedor, pois geralmente as necessidades dos clientes são identificadas em campo, e conseqüentemente levadas como demanda de projetos para as empresas fabricantes. Outra fonte de introdução de inovação na área de projetos ferroviários é a participação em feiras internacionais (InnoTrans e Railway Interchange) e seminários do setor.

Sobre o aspecto de pesquisa de mercado no qual visa identificar as tendências do mercado consumidor, não são todas as empresas fabricantes de vagões ferroviários que

realizam esta etapa, porém as empresas que realizam este processo identificam que as áreas de Marketing e Comercial são as que realizam esta atividade nas corporações.

A realização da análise da gestão de portfólio referente a projeto de vagões ferroviários não é realizada em todas as empresas pesquisadas. Nas empresas que realizam este processo a periodicidade diverge entre as empresas. Um ponto questionado trata-se sobre o monitoramento dos lançamentos de produtos dos concorrentes.

A aplicação de **desenvolvimento de materiais e tecnologias** nos projetos de vagões ferroviários é reduzida, pois parte dos materiais utilizados são definidos por normas e consequentemente diminuem as possibilidades de utilização dos novos materiais em campo.

Quanto à **estratégia de manufatura**, as empresas pesquisadas mencionaram que o projeto de vagões, por se tratar de um produto com diferentes particularidades entre os clientes, se dá através de uma estratégia de manufatura como Engineer-to-Order (Engenharia sob Encomenda), isso porque os projetos possuem características diferenciadas uns dos outros que inviabilizam a aplicação das demais estratégias existentes.

Em consideração à fase de **pós-desenvolvimento** dos projetos de vagões, as empresas fabricantes foram questionadas sobre como são identificadas e tratadas as falhas dos projetos, no qual todas as empresas questionadas buscam identificar as falhas de projetos e tratá-las da melhor forma. Contudo são adotadas formas distintas e por diferentes canais existentes entre cliente/fornecedor, incluindo: assistência técnica, qualidade, validação técnica do projeto piloto.

Sobre o tópico que aborda questões referentes à **demandas de projetos e clientes atuais** as empresas fabricantes de vagões no Brasil mencionaram que o mercado ferroviário, sobretudo o de projeto de vagões de ferroviários, é considerado variável pelas empresas fabricantes. O número de projetos de vagões fica em poucas dezenas por ano, com isso o volume de produção também apresenta irregularidades. Todavia este número gira em poucos milhares de unidades produzidas por ano.

Como algumas empresas a atividade de projetos de vagões ferroviários não é a atividade principal destas corporações, estas não definem uma meta para a produção de vagões anual. Já outras determinam uma meta anual em função das perspectivas do setor ferroviário.

Os principais tipos de vagões produzidos nas empresas pesquisadas são os modelos Hopper e Gôndola, com isso os principais segmentos de fornecimento de vagões ferroviários são mineração e agronegócios, no entanto outro segmento de destaque é o siderúrgico.

### 3.2 MATRIZ DE ESTRUTURA DE PROJETO (DSM)

Conforme Helo (2006) e Eppinger *et al.* (1994) a matriz de estrutura de projeto (DSM) é um método que busca identificar as interações dos elementos que integram algum sistema, podendo ser componentes de algum produto, fases de desenvolvimento do produto, ou, até mesmo, parâmetros de projeto de um produto. Este método tem sido utilizado em muitas aplicações industriais, sobretudo no projeto de automóveis, motores e microprocessadores.

A ideia principal para utilização do DSM no método para projetos de vagões ferroviários proposto neste trabalho é mapear as interações entre as tarefas do projeto de vagões, visto que o DSM já tenha sido utilizado, sobretudo no segmento automobilístico.

Inicialmente para identificar as interações através da aplicação da matriz DSM deve-se inserir os elementos a serem analisados, conforme Figura 18. Portanto, neste caso são inseridas as tarefas referentes ao projeto de vagão ferroviário em colunas e linhas como a Figura 18. Logo, para cada fase do projeto de vagões ferroviários, tais como: Projeto Informacional (PI), Projeto Conceitual (PC) e Projeto Detalhado (PD) é realizada uma matriz DSM

Figura 18 – Matriz de estrutura de projeto (DSM)

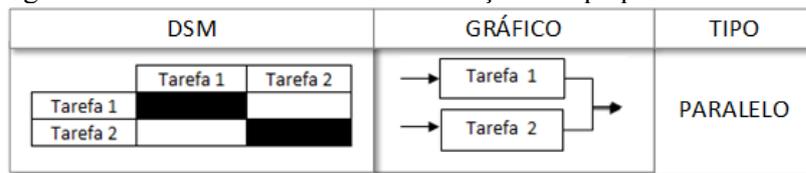
	Tarefa 1	Tarefa 2	Tarefa 3	Tarefa 4
Tarefa 1				
Tarefa 2				
Tarefa 3				
Tarefa 4				

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Para Helo (2006) e Eppinger *et al.* (1994), após a realização da matriz DSM deve-se analisar as interações entre elas, a estrutura do DSM pode apresentar três tipos básicos de interações.

A interação do tipo paralelo onde a tarefa 1 não depende da tarefa 2, conseqüentemente estas tarefas podem ser realizadas simultaneamente durante o projeto, conforme indicado na Figura 19.

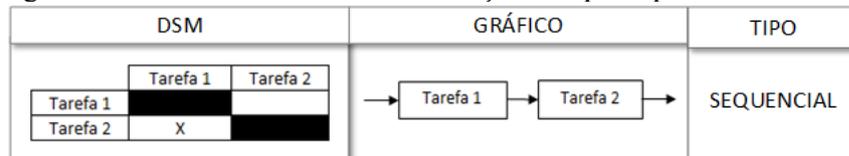
Figura 19 – Matriz DSM contendo interação do tipo paralelo



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

A interação do tipo sequencial é outra interação que pode ocorrer na estrutura da matriz DSM, conforme identificado na Figura 20. Neste caso a tarefa 2 depende da tarefa 1, consequentemente estas tarefas não podem ser realizadas simultaneamente, com isso a tarefa 1 deve ser finalizada para assim a tarefa 2 seja iniciada.

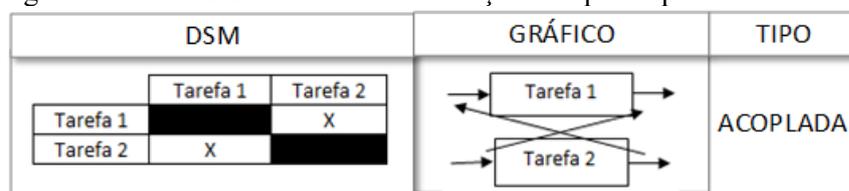
Figura 20 – Matriz DSM contendo interação do tipo sequencial



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Outra interação que pode ocorrer na estrutura da matriz DSM, é conhecida como acoplada, conforme indicada na Figura 21. Neste caso a tarefa 1 depende da tarefa 2, porém a tarefa 2 também da tarefa 1, com isso alguma alteração realizada na tarefa 1 como na tarefa 2, devem ser analisadas novamente a outra tarefa relacionada, apresentando uma dependência cíclica entre as tarefas.

Figura 21 – Matriz DSM contendo interação do tipo acoplada



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Para aplicar o DSM e identificar a estrutura e as interações existentes no método para o projeto de vagões ferroviários proposto neste trabalho, foi realizada uma matriz para cada fase referente ao projeto de vagões. No qual foram demonstradas nos Apêndices, tais como: Apêndice F – DSM do Projeto Informacional; Apêndice G – DSM do Projeto Conceitual; Apêndice H – DSM do Projeto Detalhado.

As tarefas contidas na matriz DSM do Projeto Informacional, Conceitual e Detalhado, foram baseados na metodologia de Rozenfeld e adaptadas às necessidades do segmento ferroviário, sobretudo no projeto de vagões.

Outra fonte para a identificação das tarefas do método proposto foram os artigos selecionados através da RSL, apresentados no Apêndice B, além dos questionários aplicados na área acadêmica e industrial, apresentados no Capítulo 4 deste trabalho.

### 3.3 DESCRIÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

A estrutura referente ao método para projetos de vagões ferroviários proposto neste trabalho subdivide-se em três fases, sendo elas: Projeto Informacional (PI), Projeto Conceitual (PC) e Projeto Detalhado (PD), tal qual tem como base o método proposto por Rozenfeld *et al.* (2006).

Na Figura 22 está apresentada a estrutura geral do método proposto, entretanto cabe ressaltar que esta estrutura não apresenta o sequenciamento identificado através da aplicação do DSM. Isto, pois, as estruturas detalhadas do método proposto serão apresentadas nas fases do projeto, tais como: PI, PC e PD.

A estrutura contida na Figura 22 apresenta a forma geral das fases e as atividades do método proposto referente ao projeto de vagões ferroviários. Porém, são empregados alguns termos na Figura 22 para facilitar o entendimento da estrutura. Sendo estes:

- Início do Projeto do Vagão Ferroviário (IPV);
- Liberação Parcial do Projeto Informacional referente ao projeto do vagão ferroviário (LPPI);
- Término do Projeto Informacional (TPI);
- Liberação Parcial do Projeto Conceitual referente ao projeto do vagão ferroviário (LPPC);
- Término do Projeto Conceitual (TPC);
- Término do Projeto Detalhado (TPD);
- Término do Projeto do Vagão Ferroviário (TPV);

Os termos citados acima fazem parte do método proposto, porém cabe ressaltar que serão descritos de forma detalhada dentro da fase que estão alocados, além de estarem de dispostos nos Apêndices deste trabalho.

O projeto informacional do método proposto busca identificar as informações necessárias para a realização do projeto do vagão ferroviário. Já o projeto conceitual consiste em tomar algumas decisões referentes ao projeto do vagão ferroviário, tais como: a identificação e análise do desenvolvimento interno ou a compra do SSC's.

Também no PC busca realizar a identificação da arquitetura inovativa ou não inovativa dos SSC's presente no projeto do vagão ferroviário, buscando identificar se serão desenvolvidos ou adquiridos SSC's.

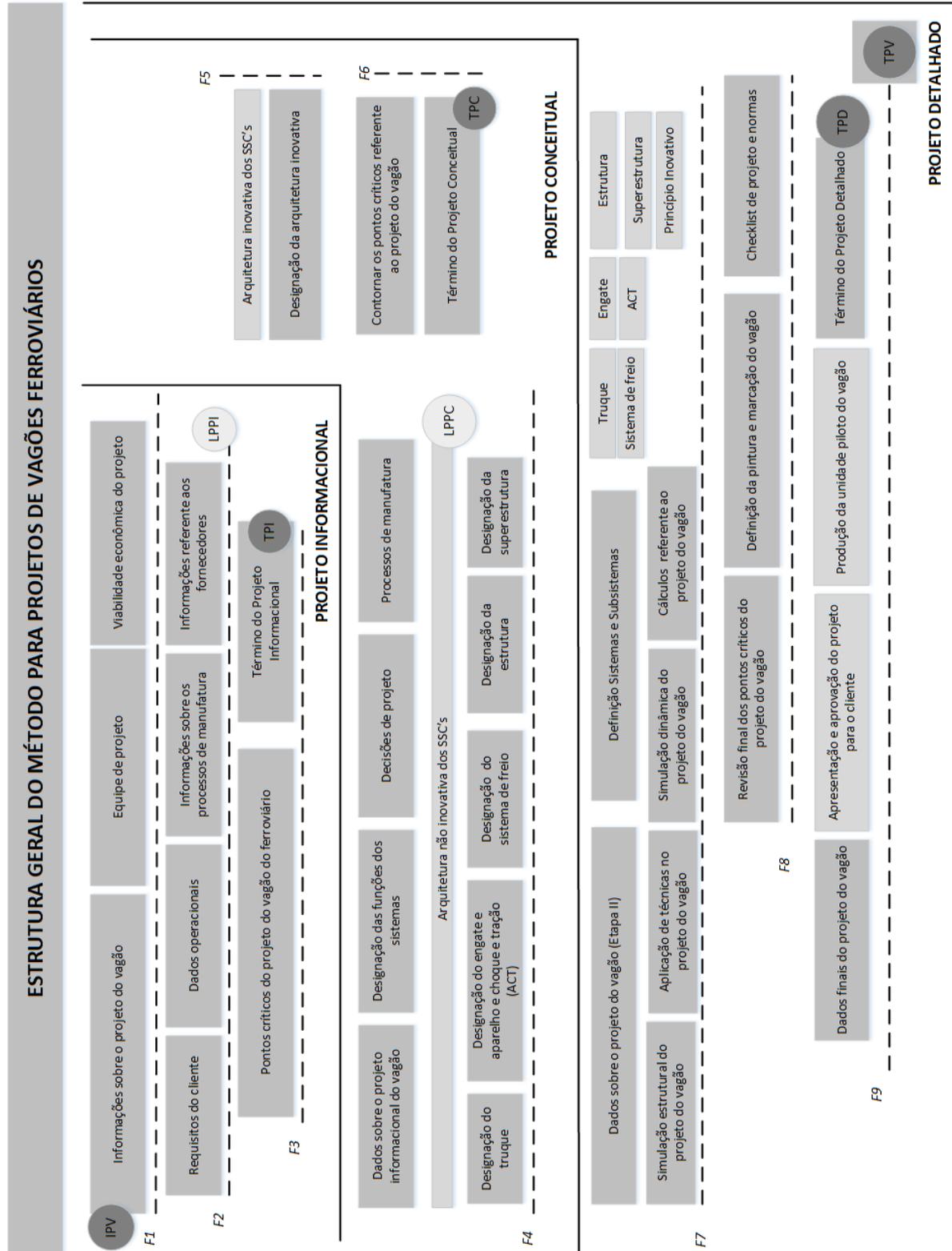
Outra atividade do PC é realização da pré-seleção dos SSC's, tais como: truque, ACT, estrutura, superestrutura e sistema de freio, além da realização dos conceitos destes itens a serem projetados.

O projeto detalhado do método para projeto de vagões ferroviários proposto neste trabalho consiste em definir quais os SSC's que serão adquiridos e projetados. Além da realização do detalhamento dos desenhos do projeto, e a realização das simulações estruturais e da dinâmica do vagão em projeto.

Outras tarefas do projeto detalhado são: revisão dos pontos críticos do projeto do vagão, definição da pintura e marcação do vagão, análise da aplicabilidade de normas pertencentes ao segmento ferroviário, e por fim a apresentação e aprovação do projeto do vagão para o cliente.

Conforme indicado anteriormente a Figura 22 apresenta a estrutura geral do método para projeto de vagões ferroviários proposto neste trabalho.

Figura 22 – Estrutura geral do método proposto para projeto de vagões ferroviários



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

### 3.3.1 Projeto informacional

Na Figura 23 está apresentada a estrutura detalhada referente ao Projeto Informacional (PI) do método para projeto de vagões ferroviários proposto neste trabalho. Visto que, nesta estrutura apresenta o sequenciamento identificado através da aplicação do DSM apresentado no Apêndice F.

Entretanto, para cada fase do método proposto, foi realizado um formulário, para que sejam inseridos os dados técnicos referentes à fase. Neste caso a fase do PI, é representada pelo Formulário I contido no Apêndice I deste trabalho. Em contrapartida, no Apêndice J está descrito todas as tarefas do PI referente ao método para o projeto dos vagões, sobretudo a indicação das ferramentas de apoio para a realização de cada tarefa referente ao projeto informacional.

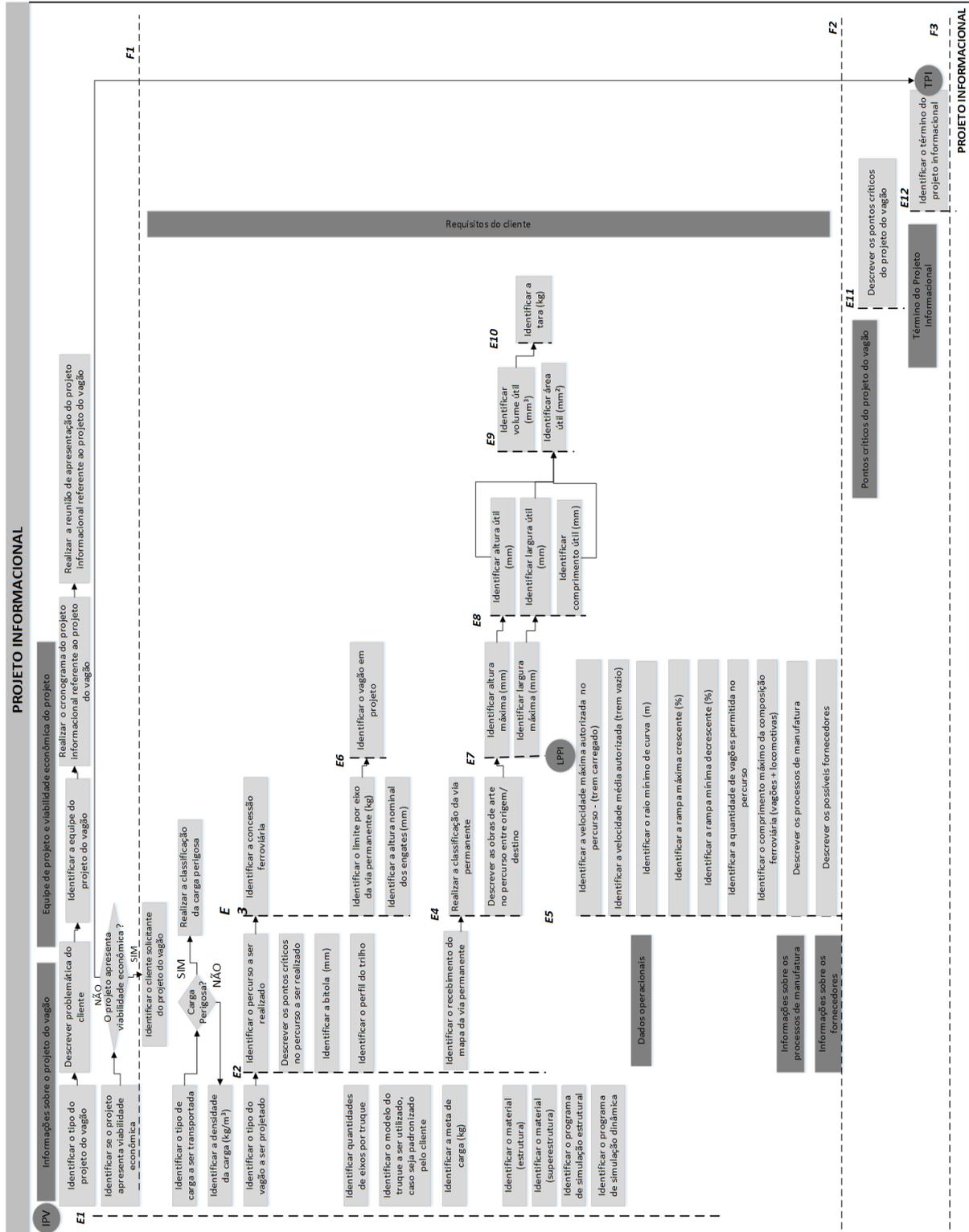
Na estrutura do projeto informacional do método para o projeto de vagões ferroviários são identificadas 51 tarefas subdivididas em 8 atividades. São elas: Informações sobre o projeto do vagão; Equipe de projeto e viabilidade econômica; Requisitos do cliente; Dados operacionais, Pontos críticos do projeto do vagão; Informações sobre os processos de manufatura; Informações sobre os fornecedores e por fim Término do Projeto Informacional.

As tarefas contidas nas atividades denominadas como “Informações sobre o projeto do vagão”, “Equipe de projeto e viabilidade econômica” e “Término do Projeto Informacional” tem como objetivo auxiliar na gestão do projeto do vagão ferroviário em questão.

As tarefas contidas nas atividades citadas acima são: Identificar o tipo de projeto do vagão; Descrever a problemática do cliente; Identificar os envolvidos no projeto do vagão ferroviário; Realizar o cronograma referente ao projeto informacional do projeto do vagão; Identificar se o projeto do vagão apresenta viabilidade econômica; Realizar uma reunião de apresentação do projeto informacional referente ao projeto vagão; Identificar a liberação parcial do projeto informacional e por fim a realização do Término do Projeto Informacional.

Todas as tarefas contidas na fase do projeto informacional do método para projeto de vagões ferroviários proposto neste trabalho podem ser visualizadas na Figura 23. Nesta figura está apresentada de forma detalhada a estrutura gráfica do projeto informacional do método proposto.

Figura 23 – Estrutura detalhada do projeto informacional do método proposto



Fonte: Realizado pelo autor (2019).

O projeto do vagão ferroviário inicialmente consiste na realização da tarefa denominada como “Identificar o projeto do vagão” no qual consiste em indicar se o cliente busca o projeto de um vagão já realizado para ele, ou se o cliente busca o projeto de um vagão com o objetivo de solucionar uma problemática identificada.

Caso o projeto do vagão tenha como objetivo solucionar uma problemática existente, deve-se ser realizada a tarefa “Descrever problemática do cliente” que consiste em descrever de forma clara a necessidade do cliente referente ao projeto do vagão ferroviário. Esta tarefa tem como objetivo propagar a todos os envolvidos no projeto do vagão a necessidade do cliente e a problemática existente.

Posteriormente é necessária a realização da tarefa “Identificar os envolvidos no projeto do vagão ferroviário” no qual consistem em indicar quais serão as pessoas que irão fazer parte da equipe de projeto do vagão ferroviário, principalmente das áreas de engenharia, manufatura, financeiro, qualidade, suprimentos, logística e segurança.

Ao realizar a identificação dos integrantes da equipe de projeto, o gerente de projeto deverá realizar a tarefa “Realizar o cronograma do projeto informacional referente ao projeto do vagão” no qual tem como objetivo realizar o cronograma do projeto informacional do vagão, descrevendo quais os responsáveis por cada tarefa contida no PI do vagão, além da definição da data de entrega destas tarefas. Para isto deve ser utilizada a ferramenta de apoio apresentada no Apêndice K na Tabela 36.

A tarefa “Identificar se o projeto apresenta viabilidade econômica” consiste em analisar o projeto do vagão ferroviário juntamente com os integrantes da equipe de projeto responsáveis pela área Financeira, para que avaliem e identifiquem a aprovação ou reprovação do projeto do vagão. Caso o projeto seja reprovado, tem-se o término do projeto do vagão precocemente.

Todavia, se ocorrer a aprovação do projeto de viabilidade econômica do vagão, o gerente de projeto deverá realizar a tarefa “Realizar reunião de apresentação do projeto informacional referente ao projeto do vagão” que busca reunir todos os envolvidos no projeto do vagão ferroviário, para que sejam indicadas as tarefas e as datas de entrega referente ao projeto informacional do vagão a ser realizado.

A tarefa “Identificar o cliente solicitante do projeto” consiste em mencionar o nome da empresa que está solicitando a realização do projeto do vagão ferroviário. Posteriormente é realizada a tarefa “Identificar o tipo de carga a ser transportada” que busca identificar qual

será a carga a transportada pelo vagão em projeto. Para isto deve ser utilizada a ferramenta de apoio contida no Apêndice K na Tabela 37.

Outro aspecto referente à carga a ser transportada está relacionada com a tarefa descrita como “Identificar se a carga a ser transportada é considerada perigosa”. Neste caso basta indicar se a carga é perigosa ou não. Caso a carga seja identificada como perigosa deve ser classificada utilizando a ferramenta de apoio contida no Apêndice K na Tabela 38. Todavia a tarefa conhecida como “Identificar a densidade da carga” consiste em mencionar a densidade da carga que será transportada pelo vagão em projeto.

Após identificar a carga a ser transportada deve-se realizar a tarefa “Identificar o tipo do vagão a ser projetado” no qual consiste em indicar qual o tipo de vagão a ser projetado, podendo ser: (Gôndola), (Hopper), (Plataforma), (Tanque), (Fechado).

Posteriormente busca-se realizar a tarefa “Identificar o percurso a ser realizado” que tem como objetivo indicar a cidade e estado de origem e de destino a ser percorrido pelo vagão em desenvolvimento.

Logo se busca realizar a tarefa designada como “Identificar a concessão ferroviária” que consiste em mencionar qual a concessão ferroviária em que o vagão em projeto irá transitar podendo ser: (Estrada de Ferro Carajás), (Estrada de Ferro Paraná Oeste), (Estrada de Ferro Vitória Minas), (Ferrovia Centro Atlântica), (Ferrovia Norte Sul- Tramo Central), (Ferrovia Norte Sul- Norte), (Ferrovia Tereza Cristina), (Ferrovia Transnordestina), (MRS), (Rumo Malha Norte), (Rumo Malha Oeste), (Rumo Malha Paulista) e por fim (Rumo Malha Sul).

Outro aspecto relacionado ao percurso a ser realizado pelo vagão em projeto é a tarefa “Descrever os pontos críticos no percurso a ser realizado” que tem como objetivo indicar os pontos críticos existentes no percurso a ser realizado pelo vagão em projeto. Além disso, outra tarefa a ser realizada é “Identificar a bitola” que busca identificar na declaração de rede da concessão ferroviária do percurso a ser realizado pelo vagão o tipo de bitola encontrada no percurso, podendo ser: (Métrica – 1000 mm), (Larga – 1600 mm), (Padrão – 1435 mm) ou (Mista 1000 – 1600 mm).

Outra tarefa que apresenta relação com o percurso é a tarefa “Identificar o perfil do trilho” cujo objetivo é indicar qual o perfil do trilho existente no percurso em que o vagão em projeto utilizará, podendo ser: (TR32), (TR37), (TR45), (TR50), (TR54), (TR57) e (TR60).

Entretanto, nem sempre o tipo do perfil é o mesmo em todo o percurso, com isso poderá ser identificado no Formulário I contido no Apêndice I qual o tipo de perfil encontrado em cada parte do percurso.

Outra tarefa a ser realizada que apresenta relação com o percurso identificado é “Identificar o limite por eixo da via permanente”, no qual consiste em indicar o valor do limite por eixo da via permanente. Além disto, deve ser realizada a tarefa “Identificar a carga máxima nominal por eixo” que visa identificar o valor da carga nominal a ser utilizada no projeto do vagão, podendo ser: (7500 kg), (11750 kg), (16000 kg), (20000 kg), (25000 kg), (30000 kg), (32500 kg), (35000 kg), (37500 kg).

As informações como limite por eixo da via permanente e carga máxima nominal por eixo são importante para o projeto, pois é um indicativo da quantidade máxima que o vagão poderá transportar além de ser uma informação crucial para a compra do truque, caso este não seja projetado internamente. Lembrando que as informações relacionadas ao percurso podem ser identificadas na declaração de rede da concessão ferroviária.

A tarefa “Identificar o vagão” consiste em especificar o tipo do vagão em projeto, para isto é utilizada a norma ABNT NBR 11691:2015. Para isto, poderá ser utilizada a ferramenta de apoio contida no Apêndice K na Tabela 39.

Não o bastante, a tarefa designada como “Identificar a quantidade de eixos por truque” tem relação com o projeto da infraestrutura do vagão ferroviário, cujo objetivo é especificar a quantidade de eixos por truque a ser utilizada no projeto do vagão. Além disto, deve ser realizada outra tarefa denominada como “Identificar o truque” que consiste em identificar se o cliente possui algum tipo de truque padrão a ser utilizado no projeto do vagão. Caso tenha, este modelo deverá ser especificado.

Outra tarefa relacionada com a infraestrutura do vagão é “Identificar a altura nominal dos engates” que consiste em analisar a norma ABNT NBR 16444:2017, e ao final deve-se indicar a altura nominal dos engates para vagões novos e vazios. Porém, é necessário verificar com a concessão ferroviária responsável pelo percurso esta informação, pois cada operadora pode definir os valores máximos e mínimos para as alturas nominais de engates de veículos. Para esta tarefa deverá ser utilizada a ferramenta de apoio contida no Apêndice K na Tabela 40.

A tarefa descrita como “Meta de carga” está relacionada com a superestrutura do vagão no qual busca estimar a quantidade de carga em quilogramas que o cliente julga

necessário para o vagão em projeto. Lembrando que esta informação deverá considerar as limitações da via permanente e capacidade nominal de carga por truque.

A tarefa descrita como “Identificar o recebimento do mapa da via permanente” tem relação com o percurso a ser realizado pelo vagão, cujo objetivo é indicar o recebimento do mapa da via permanente do percurso a ser realizado pelo vagão, para que seja possível verificar as limitações do projeto do vagão.

A identificação dos limitantes para o projeto do vagão consiste inicialmente em realizar a tarefa “Descrever as obras de arte no percurso entre origem/destino” no qual busca catalogar as obras de arte existentes no percurso. Para isto, é necessário utilizar a ferramenta de apoio contida no Apêndice K na Tabela 41. Após serem catalogadas as obras de arte existentes no percurso é possível realizar as tarefas “Identificar a altura máxima” e “Identificar a largura máxima” no qual consiste em identificar o limitante da altura e a largura máxima que o vagão em projeto poderá constituir.

Outros aspectos relacionados às limitações da superestrutura do vagão é a realização das tarefas: “Identificar a altura, largura, comprimento, área e volume útil”. O objetivo na realização destas tarefas é estimar os dimensionais do vagão em projeto. Para auxiliar a realização desta tarefa deve ser analisada a norma ABNT NBR 12750:1992, no qual descreve as características dimensionais de cada o tipo de vagão a ser projetado. Estes dados podem ser visualizados na Tabela 42 do Apêndice K deste trabalho.

Outra tarefa relacionada à superestrutura do vagão é a designada como “Identificar a tara do vagão” que busca estimar o valor da tara do vagão em projeto. Esta informação é importante, pois influencia na capacidade de transporte do vagão ferroviário.

Com isso, a tarefa descrita como “Identificar o material da estrutura e da superestrutura” estão relacionadas à estrutura e a superestrutura do vagão em projeto, cujo objetivo é a identificação do material da estrutura e da superestrutura a ser utilizado no projeto do vagão. Alguns dados a serem identificados são: classe do aço, limite de escoamento, alongamento mínimo, tipo do perfil/barras e distribuidor. Para auxiliar a realização desta tarefa deverá ser analisada a norma ABNT NBR 7007:2016 e ASTM-36.

As tarefas “Identificar o programa de simulação estrutural e o programa de simulação referente à dinâmica” buscam indicar quais serão os programas utilizados no

projeto do vagão ferroviário, tanto para a realização dos desenhos e simulações estruturais do vagão em projeto, como para a realização da simulação da dinâmica do vagão.

A tarefa “Realizar a classificação da via permanente” está relacionada ao percurso em que o vagão utilizará, no qual consiste em analisar a norma ABNT NBR 16387:2016, cujo objetivo é indicar a classificação da via permanente referente ao percurso a ser realizado pelo vagão. Entretanto, para auxiliar na realização desta tarefa é necessário utilizar a ferramenta de apoio contida no Apêndice K na Tabela 43.

Outros aspectos relacionados ao percurso são as tarefas contidas na atividade denominada como “Dados operacionais”. No qual, uma das tarefas a serem realizadas é “Identificar a velocidade máxima autorizada no percurso” cujo objetivo é indicar a velocidade máxima autorizada no percurso em que o vagão irá se movimentar. Outra tarefa é descrita como “Identificar a velocidade média autorizada” que consiste em indicar qual a velocidade média autorizada no percurso identificado. Além disto, deverá ser realizada a tarefa “Identificar o raio mínimo de curva” no qual consiste em indicar o raio mínimo de curva encontrada no percurso a ser realizado pelo vagão em projeto.

Outras tarefas relacionadas ao percurso e a dinâmica do vagão são “Identificar a rampa máxima crescente e decrescente”, tem como objetivo indicar os valores referentes às inclinações existentes no percurso a ser realizado pelo vagão. Já, a tarefa denominada como “Identificar a quantidade de vagões permitida no percurso” tem como objetivo desta indicar a quantidade de vagões permitida pela concessão ferroviária.

No entanto, a tarefa descrita como “Identificar o comprimento máximo da composição ferroviária” consiste em identificar o valor do comprimento máximo da composição ferroviária permitido pela concessão ferroviária.

Com isso, a tarefa “Identificar a liberação parcial do projeto informacional (LPPI)” consiste em antecipar a realização de algumas tarefas do projeto conceitual do método proposto neste trabalho. Entretanto, a LPPI somente poderá ser realizada após o término das tarefas do módulo E7 da estrutura detalhada do projeto informacional contido na página 53 deste trabalho. Para isto deve ser utilizada a ferramenta de apoio disposta no Apêndice K na Tabela 44.

A tarefa denominada como “Descrever os pontos críticos no projeto” cujo objetivo consiste em relatar todos os pontos críticos identificados pela equipe de projeto referente ao projeto do vagão ferroviário.

Outra tarefa descrita como “Descrever os processos de manufatura”, cujo objetivo é mencionar quais serão os possíveis processos de manufatura envolvidos no projeto do vagão ferroviário. Para isto, devem ser considerados os processos de manufatura dos SSC’s que serão projetados. A tarefa descrita como “Descrever os fornecedores”, busca identificar os possíveis fornecedores envolvidos no projeto do vagão ferroviário.

A última tarefa do PI descrita como “Identificar o término do projeto informacional” consiste em preencher o termo de finalização do projeto informacional referente ao projeto de do vagão ferroviário. Para auxiliar na realização desta tarefa, deve utilizar a ferramenta de apoio contida no Apêndice K disposto na Tabela 45.

### **3.3.2 Projeto conceitual**

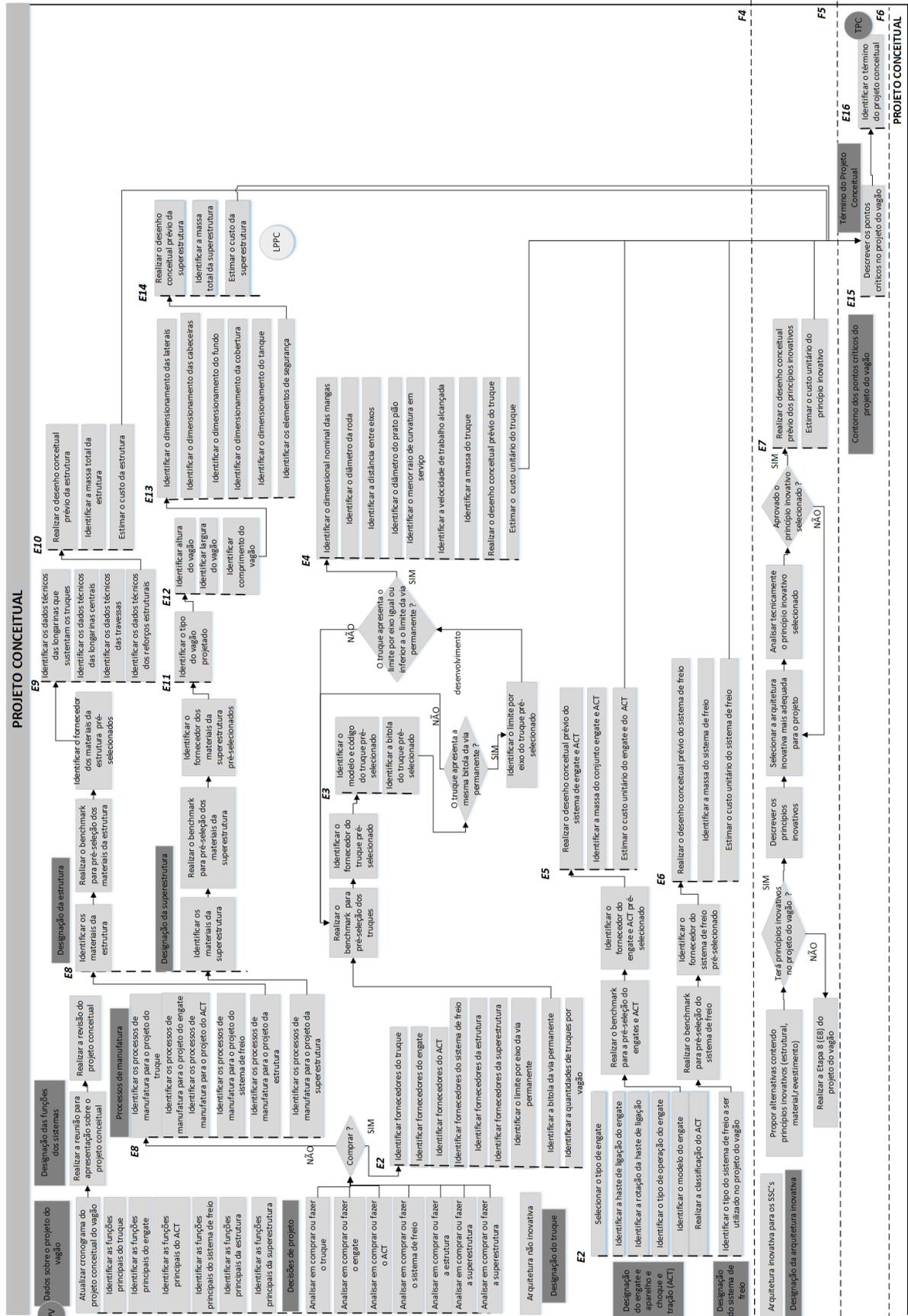
Na Figura 24 está apresentada a estrutura detalhada referente ao Projeto Conceitual (PC) do método proposto neste trabalho. Observa-se que esta estrutura apresenta o sequenciamento visualizado na aplicação do DSM identificado no Apêndice G.

Para cada fase do método proposto foi desenvolvido um formulário de projeto, onde são inseridos os dados do projeto do vagão. Com isso, o Formulário II contido no Apêndice L corresponde à fase do projeto conceitual do método para o projeto do vagão proposto neste trabalho. Logo, no Apêndice M está descrito todas as tarefas contidas no PC proposto, além da indicação das ferramentas de apoio para realização de cada tarefa desta fase.

As tarefas contidas nas atividades denominadas “Dados sobre o projeto do vagão” e “Término do Projeto Conceitual” têm como objetivo auxiliar na gestão do projeto do vagão ferroviário. Sendo elas: Atualizar o cronograma do projeto conceitual do projeto do vagão de carga; Revisar o projeto conceitual referente ao projeto; Realizar a reunião para apresentação do projeto conceitual referente do vagão ferroviário; Identificar a liberação parcial do projeto conceitual (LPPC) e por fim a realização do Término do Projeto Conceitual.

Todas as tarefas contidas na fase do projeto conceitual do método para projeto de vagões ferroviários proposto neste trabalho podem ser visualizadas na Figura 24. Nesta figura está apresentada de forma detalhada a estrutura gráfica do projeto conceitual do método proposto.

Figura 24 – Estrutura detalhada do projeto conceitual do método proposto



Fonte: Realizado pelo autor (2019).

O projeto conceitual do método proposto para projetos de vagões ferroviários contida neste trabalho apresentam 77 tarefas, subdivididas em 12 atividades. As descrições destas tarefas serão compiladas e descritas abaixo.

Após ser finalizada a fase do PI referente ao projeto do vagão ferroviário, inicia-se, portanto a realização da fase do projeto conceitual. Logo para isto, é realizada a tarefa “Atualizar cronograma do projeto do vagão” que consiste em atualizar o cronograma do projeto do vagão ferroviário. Como o gerente de projeto já utilizou a ferramenta de apoio referente ao cronograma é necessário somente à atualização. Esta ferramenta de apoio está contida no Apêndice K na Tabela 36.

Consequentemente após finalizar o cronograma do PC o gerente de projeto busca realizar a tarefa “Realizar reunião de apresentação do projeto conceitual do vagão ferroviário” que tem como objetivo reunir todos os integrantes da equipe de projeto e repassar as tarefas e datas de entrega para todos os envolvidos.

Todavia, algumas tarefas do PC podem ter sido realizadas após a LPPI, caso algumas tarefas tenham sido antecipadas é necessário à realização da tarefa “Realizar a revisão do projeto conceitual”. Portanto, os resultados obtidos podem ser discutidos na reunião de apresentação do PC e apresentados na ferramenta de apoio contida no Apêndice N na Tabela 49.

A atividade “Designação das funções dos sistemas”, consiste na realização de uma tarefa, identificada “Identificar as funções do: truque; engate, aparelho de choque e tração, sistema de freio, estrutura e por fim superestrutura”. Esta tarefa consiste em identificar as principais funções destes itens citados. Para isto deve ser utilizada a ferramenta de apoio apresentada no Apêndice N na Tabela 50.

Outra tarefa que está relacionada com SSC’s do vagão em projeto é a realização da tarefa “Analisar em comprar ou fazer: truque, engate, ACT, sistema de freio, estrutura e por fim superestrutura” cujo objetivo consiste em indicar preliminarmente se estes itens serão projetados ou se serão comprados. Caso alguns SSC’s sejam indicados à compra é necessário realizar a atividade “Identificar os fornecedores do: truque, engate, ACT, sistema de freio, estrutura e por fim superestrutura” que busca basicamente a identificação dos possíveis fornecedores dos itens a serem adquiridos para o projeto do vagão ferroviário.

A atividade “Processos de manufatura” consiste em descrever quais são os processos de manufatura envolvidos nos itens que serão projetados internamente.

A tarefa “Identificar o limite por eixo da via permanente” esta relacionada com a definição do truque para o projeto do vagão, cujo objetivo é confirmar o limite por eixo da via permanente descrito na fase do PI. Outra tarefa também relacionada ao truque é “Identificar a bitola da via permanente”, que consiste em indicar qual o tipo de bitola existente no percurso a ser realizado pelo vagão.

Além disto, a tarefa “Identificar a quantidade de truques por vagão” tem como objetivo confirmar a quantidade de truques por vagão a ser utilizada no projeto, podendo ser: (2 truques por vagão) , (3 truques por vagão) ou (outra quantidade de truques por vagão). Caso esta última preenchida deve-se indicar a quantidade a ser utilizada no projeto do vagão. Estas informações podem ser conferidas na fase do PI realizado anteriormente. Além disto, podem ser identificados na declaração de rede da concessão ferroviária responsável pelo percurso a ser utilizado pelo vagão em projeto.

Geralmente o truque a ser utilizado no projeto do vagão não é projetado internamente, com isso é necessária a realização da tarefa “Realizar o benchmark para a seleção dos truques” que consiste na realização de uma análise técnica para a escolha do truque a ser utilizado no projeto. Sobretudo, comparando as opções existentes de truque ferroviário no mercado consumidor. Para isto é necessária a utilização da ferramenta de apoio apresentada no Apêndice N na Tabela 51.

Após a análise técnica realizada é possível realizar a tarefa designada como “Identificar o fornecedor do truque selecionado”, que indica qual o fornecedor do truque pré-selecionado para o projeto do vagão. A tarefa “Identificar o modelo e o código do truque pré-selecionado” tem como objetivo mencionar a codificação e o modelo do truque pré-selecionado para o projeto do vagão ferroviário.

Outra tarefa descrita como “Identificar a bitola” busca indicar qual a bitola que o truque pré-selecionado para o projeto opera. Além disto, a tarefa “Identificar o dimensional nominal das mangas” visa indicar o valor dimensional das mangas pertencentes ao truque pré-selecionado para o projeto. Bem como, a tarefa descrita como “Identificar o diâmetro da roda” tem como intuito de indicar o valor dimensional do diâmetro da roda do truque pré-selecionado. Contudo, a tarefa denominada como “Identificar a distância entre eixos” consiste em indicar o valor dimensional entre os eixos do truque. Já, a tarefa “Indicar o diâmetro do prato pião” busca identificar o dimensionamento do diâmetro do prato pião.

Logo, a tarefa “Identificar o menor raio de curvatura em serviço” busca indicar o valor limite em que o truque pré-selecionado para o projeto suporta em relação ao raio de curvatura em serviço. Outra tarefa relacionada ao truque pré-selecionado para o projeto, é “Identificar a velocidade de trabalho alcançada pelo truque” cujo objetivo consiste em indicar o valor da velocidade em que o truque pré-selecionado para o projeto poderá alcançar.

A tarefa “Realizar o desenho conceitual prévio do truque”, consiste em esboçar o desenho do truque a ser utilizado no projeto do vagão, podendo ser utilizado um programa específico para desenhos ou também retirado do catálogo do fornecedor.

Outra tarefa relacionada com o truque pré-selecionado é “Identificar a massa do truque”, cujo objetivo busca indicar a massa do truque a ser utilizado no projeto. Esta informação é importante, pois influencia na capacidade de transporte do vagão.

Já a tarefa “Estimar o custo unitário do truque” consiste em identificar o valor monetário do truque pré-selecionado para o projeto do vagão. Portanto, todas as informações relacionadas com o truque, sobretudo os dados técnicos podem ser encontrados na análise de benchmark contida no Apêndice N na Tabela 51 deste trabalho, bem como no catálogo do fornecedor do truque.

A atividade “Designação do engate e sistema de choque e tração” está relacionada com a infraestrutura do vagão em desenvolvimento. Com isso, para a determinação do sistema de choque e tração é necessário realizar a tarefa “Selecionar o tipo do engate” consiste na indicação do tipo de engate a ser utilizado no projeto do vagão ferroviário, podendo ser: (Tipo E), (Tipo F), (Tipo E/F) e (Tipo E – Double Shelf). Entretanto, a tarefa “Indicar a haste de ligação” consiste em indicar o tipo de haste de ligação a ser utilizada no projeto, logo as opções de haste de ligação são: (Tipo E) ou (Tipo F).

Outra tarefa relacionada com o conjunto ACT a ser utilizado no projeto do vagão é “Identificar a rotação da haste de ligação” podendo ser: (duas hastes fixas) ou (uma haste fixa e outra haste rotativa). Contudo a tarefa descrita como “Identificar o tipo de operação do engate” consiste em mencionar qual o tipo de operação do engate, podendo ser: (duas hastes fixas - sem rotação) ou (uma haste fixa e outra rotativa).

Após realizar as tarefas anteriores referentes ao engate, deve-se realizar a tarefa “Identificar o modelo do conjunto do engate” cujo objetivo é identificar o modelo do conjunto do engate a ser utilizado no projeto do vagão. Todas as tarefas relacionadas com a

“Designação do engate e sistema de choque e tração” devem analisar as normas ABNT 16086:2012 e 16087:2012.

Caso o sistema de engate e choque e tração não sejam projetados é necessária à realização da tarefa “Realizar o benchmark para a seleção do engate e do ACT”, cujo objetivo é a realizar uma análise técnica do conjunto do ACT a ser utilizado no projeto do vagão. Além disto, busca realizar uma comparação técnica das opções existentes no mercado. Para isto deverá ser utilizada a ferramenta de apoio apresentada no Apêndice N na Tabela 51. Após realizar a análise técnica é possível realizar a tarefa “Identificar o fornecedor do sistema ACT” cujo objetivo visa indicar qual o fornecedor dos itens pré-selecionados referentes a este sistema envolvidos no projeto do vagão ferroviário.

Outra tarefa relacionada com a infraestrutura do vagão é “Realizar o desenho conceitual do engate e do ACT”, podendo ser realizado pela equipe de projeto utilizando um programa específico para desenhos industriais ou até mesmo algo bem rudimentar como lápis e papel, outra opção é extrair este desenho do catálogo do fornecedor.

Logo, a tarefa “Identificar a massa do conjunto engate e ACT” tem como objetivo estimar a massa deste sistema. Esta informação é importante para o projeto, pois influencia na capacidade a ser transportada pelo vagão em projeto.

A tarefa “Estimar o custo unitário do conjunto ACT” visa identificar o valor monetário deste item pré-selecionado para o projeto. Esta informação será utilizada para monitorar a viabilidade do projeto.

A última tarefa relacionada ao sistema ACT consiste na realização da tarefa “Realizar a classificação do ACT” e tem como objetivo a identificação da classificação do ACT a ser utilizado no projeto do vagão em desenvolvimento. Para esta tarefa é necessária à análise da norma ABNT 7518/1989. Além disso, poderá ser utilizada a ferramenta de apoio contida no Apêndice N na Tabela 52.

Outra tarefa relacionada à infraestrutura do vagão consiste na “Designação do sistema de freio”. Para isto, deve-se inicialmente realizar a tarefa “Identificar o tipo de sistema de freio” que busca indicar qual o tipo de sistema de freio a ser utilizado no projeto do vagão, podendo ser: (sistema de freio a ar comprimido direto); (sistema de freio a ar comprimido indireto), (sistema de freio eletropneumático), (sistema de freio a vácuo), e por fim (sistema de freio magnético).

Geralmente os componentes do sistema de freio a serem utilizados no projeto não são projetados. Portanto, é necessária a realização da tarefa “Realizar o benchmark para a seleção

do sistema de freio” cujo objetivo consiste em realizar uma comparação técnica e econômica dos possíveis fornecedores do sistema de freio do vagão a ser utilizado no projeto. Para auxiliar nesta tarefa é necessário utilizar a ferramenta de apoio contida no Apêndice N na Tabela 51.

Após a realização da análise técnica e econômica é possível realizar a tarefa “Identificar o fornecedor do sistema de freio” no qual consistem em indicar quais serão os possíveis fornecedores dos itens contidos ao sistema de freio pré-selecionado para o projeto.

Outra tarefa relacionada com a infraestrutura do vagão, sobretudo na designação do sistema de freio, consiste na realização da tarefa “Realizar o desenho conceitual do sistema de freio” que visa esboçar os desenhos do sistema de freio pré-selecionado para o projeto do vagão. Estes desenhos podem ser realizados utilizando programas específicos de desenhos industriais ou até mesmo realizados somente com lápis e papel. Outra opção é a retirada destes desenhos dos catálogos dos fornecedores.

A tarefa como “Identificar a massa do sistema de freio” tem como objetivo estimar o valor da massa do conjunto do sistema de freio. Visto que este valor influencia na capacidade a ser transportada pelo vagão em projeto.

A tarefa “Estimar o custo do sistema de freio” consiste na identificação do valor monetário para adquirir os itens que compõe o sistema de freio referente ao projeto do vagão. Além disso, esta informação será utilizada para monitorar a viabilidade do projeto e identificar o custo para o projeto de um vagão ferroviário.

A atividade relacionada com a definição da estrutura e superestrutura do vagão consiste inicialmente na realização da tarefa “Identificar o material da estrutura e da superestrutura” cujo objetivo é identificar quais serão os materiais no projeto do vagão. Portanto, para auxiliar na realização desta tarefa é necessário analisar as normas ABNT 7007:2016.

Geralmente no projeto do vagão ferroviário a estrutura e superestrutura são projetadas, porém os materiais para realização destas tarefas são comprados, com isso é necessário realizar a tarefa como “Realizar o benchmark para a seleção dos materiais da estrutura” cujo objetivo é a realização de uma análise técnica e financeira dos possíveis materiais e fornecedores envolvidos no projeto do vagão ferroviário. Logo, para realizar esta comparação deve-se utilizar a ferramenta de apoio contida no Apêndice N na Tabela 51.

Portanto, após ser realizado a pré-seleção dos materiais para a estrutura e superestrutura do vagão, é possível realizar a tarefa “Identificar o fornecedor dos materiais da estrutura e da superestrutura pré-selecionados”, cujo objetivo é indicar os possíveis fornecedores dos materiais envolvidos no projeto do vagão.

A tarefa “Identificar os dados técnicos das longarinas que sustentam os truques, longarinas centrais, travessas e reforços estruturais”, tem relação com a estrutura do vagão em projeto, cujo objetivo visa identificar: (tipo do perfil), (densidade e classe do aço), (comprimento do perfil) e (quantidade de material). Estas informações são importantes para estimar a quantidade e o tipo material a ser adquirido para realização do projeto do vagão.

Logo, a tarefa “Identificar o tipo do vagão a ser projetado” está relacionada com a superestrutura do vagão. O objetivo desta tarefa é realizar a confirmação do tipo do vagão a ser projetado. Esta informação já foi solicitada na fase do PI, porém na fase do PC é realizada a confirmação do tipo de vagão a ser projetado. Portanto, após esta confirmação poderá ser realizada a tarefa “Identificar a altura, largura, comprimento do vagão”, que visa identificar os valores dimensionais do vagão ferroviário. Lembrando que na fase do PI foram identificados os limitantes destes dimensionais, conseqüentemente a altura, largura, comprimento do vagão identificados na fase do PC deverá estar dentro da limitação indicada na fase do PI.

Outras tarefas relacionadas à superestrutura do vagão consistem em “Identificar o dimensionamento: das laterais, cabeceiras, fundo, cobertura e tanque”, cujo objetivo é indicar alguns dados técnicos e dimensionais da superestrutura do vagão. Os dados técnicos solicitados são: (densidade do aço), (espessura do material), (dimensionamento das laterais, cabeceiras, fundo e cobertura). Esta tarefa busca estimar a quantidade de material a ser utilizado no projeto da superestrutura do vagão.

Além disto, é realizada a tarefa “Identificar os elementos de segurança” cujo objetivo é identificar quais são de elementos de segurança e a quantidade destes itens envolvidos no projeto do vagão ferroviário. Todavia, para cada tipo de vagão são indicados alguns elementos de segurança, com isto, é necessário analisar a norma da ABNT 7609/1992. Portanto, para auxiliar a realização desta tarefa devem ser utilizadas as ferramentas de apoio contidas no Apêndice O.

A tarefa “Realizar o desenho conceitual da estrutura e da superestrutura do vagão” tem como objetivo a realização do desenho primário da estrutura e superestrutura do vagão em projeto. Logo, a equipe de projeto pode utilizar programas específicos para desenhos industriais, porém é comum a utilização de utensílios básicos, como lápis e papel.

Outra tarefa relacionada com a estrutura e a superestrutura do vagão consiste na realização da tarefa “Indicar a massa total da estrutura e superestrutura”, cujo objetivo é estimar a quantidade de material a ser utilizado na estrutura e superestrutura do vagão. Esta informação também é importante, pois a massa total do vagão influencia na capacidade a ser transportada pelo vagão.

A tarefa “Estimar o custo da estrutura e da superestrutura” consiste em estimar o valor monetário para realizar a estrutura e superestrutura do vagão ferroviário. Esta informação será utilizada para monitorar a viabilidade do projeto.

Após a realização da tarefa de estimar o custo da estrutura e superestrutura do vagão é possível realizar a tarefa “Identificar a liberação parcial do projeto conceitual (LPPC)” que autoriza a antecipação de algumas tarefas do projeto detalhado. Portanto, para isto deverá ser utilizada a ferramenta de apoio apresentada no Apêndice N na Tabela 53.

A tarefa “Propor alternativas contendo princípios inovativos” consiste em indicar pontos de melhoria no projeto do vagão. Todavia, estas melhorias podem ser realizadas em diversos aspectos, tais como: (material que compõe a estrutura e superestrutura do vagão), (tipo de revestimento realizado no vagão), além de (melhorias no desenho da estrutural do vagão).

Caso seja identificado algum princípio inovativo que possa ser aplicado no projeto é necessário realizar a tarefa “Descrever os princípios inovativos observados” que visa realizar a descrição dos princípios inovativos identificados que podem ser aplicados no projeto do vagão. Todavia, após descrever estes princípios inovativos é necessário realizar a tarefa “Selecionar a arquitetura inovativa mais adequada” que consiste em indicar qual a arquitetura inovativa é a mais adequada para o projeto, levando em consideração, sobretudo as necessidades indicadas pelo cliente na fase do PI.

Portanto, buscam-se realizar a tarefa “Realizar o desenho conceitual dos princípios inovativos”, cujo objetivo é esboçar caso necessário os desenhos conceituais dos princípios inovativos identificados. Contudo, é realizada a tarefa “Analisar tecnicamente o princípio inovativo selecionado” que visa analisar alguns dados referentes ao princípio inovativo selecionado, tais como: (atendem as normas técnicas do país), ou se (necessita da solicitação da patente do projeto). Ou ainda, (pode gerar algum perigo para a via permanente, para a

comunidade ou até mesmo para próprio veículo). E por final, se (necessita ser normatizado pela ABNT).

Após a realização desta análise técnica é realizada a tarefa “Identificar a aprovação ou reprovação técnica” cujo objetivo é mencionar a aprovação ou reprovação técnica do princípio inovativo selecionado. Entretanto, para a realização desta tarefa é necessário que a equipe de projeto decida juntamente com o cliente a aprovação ou reprovação do projeto do vagão contendo ou não a aplicação de princípios inovativos identificados.

A tarefa “Estimar o custo do princípio inovativo selecionado” tem como objetivo identificar o valor monetário para o desenvolvimento dos princípios inovativos a serem aplicados no projeto do vagão.

Para que os pontos críticos do projeto do vagão sejam identificados e devidamente analisados é necessária à realização da tarefa “Descrever os pontos críticos do projeto” que consiste na descrição de como os pontos críticos citados na fase do PI foram tratados, além de realizar a descrição de novos pontos críticos identificados durante a realização das tarefas contidas na fase do PC. Para auxiliar na realização desta tarefa é necessária a utilização da ferramenta de apoio contida no Apêndice N na Tabela 54.

A última tarefa do PC é “Identificar o término do projeto conceitual” cujo objetivo visa indicar à equipe de projeto a finalização do projeto conceitual. Para isto deve-se preencher o termo de finalização do projeto conceitual referente ao projeto do vagão ferroviário, contido no Apêndice N na Tabela 55.

### **3.3.3 Projeto detalhado**

A Figura 25 apresenta a estrutura referente ao Projeto Detalhado (PD) do método para projeto de vagões ferroviários. Observa-se que esta estrutura apresenta o sequenciamento identificado na aplicação do DSM contido no Apêndice H.

Para cada fase do método para projeto de vagões ferroviários foi desenvolvido um formulário de projeto, onde são inseridos os dados referentes ao projeto do vagão. Deste modo, o Formulário III apresentado no Apêndice P corresponde à fase do projeto detalhado do método proposto neste trabalho. Entretanto, no Apêndice Q está descrito todas as tarefas contidas no PD proposto, além da indicação das ferramentas de apoio para realização de cada tarefa desta fase.

A estrutura do projeto detalhado apresentada na Figura 25 referente ao método para projeto de vagões ferroviários contém 21 tarefas, subdivididas em 11 atividades. Portanto, as descrições destas tarefas serão realizadas abaixo.

Após finalizar a fase do projeto conceitual referente ao método para projeto de vagões ferroviários, inicia-se a fase do projeto detalhado. Com isso, deve ser realizada a tarefa “Atualizar cronograma do projeto detalhado referente ao projeto do vagão” cujo objetivo é a atualização do cronograma do projeto do vagão. Como o gerente de projeto já utilizou a ferramenta de apoio referente ao cronograma é necessário somente à atualização deste documento. Esta ferramenta de apoio está contida no Apêndice K na Tabela 36.

Porém, após a atualização do cronograma do PD o gerente de projeto deverá realizar a tarefa “Realizar reunião de apresentação do projeto detalhado do vagão ferroviário” que consiste em reunir a equipe de projeto e repassar as tarefas e datas de entrega de cada integrante da equipe referente ao projeto detalhado do vagão ferroviário.

A tarefa designada “Realizar a revisão do projeto detalhado”. Esta revisão pode ser discutida na reunião de apresentação do PD. Logo, para auxiliar na realização desta tarefa deve ser utilizada a ferramenta de apoio contida no Apêndice R na Tabela 61.

Já, a tarefa “Aprovação da viabilidade econômica: truques, conjunto engate e ACT, sistema de freio, estrutura e superestrutura” tem como objetivo indicar se o SSC’s referente ao projeto do vagão apresenta viabilidade econômica para ser comprada ou projetada. Para isto o integrante da equipe de projeto responsável pela área financeira, tem como objetivo realizar todos os cálculos necessários para identificar esta viabilidade econômica dos SSC’s que fazem parte do projeto do vagão ferroviário.

Caso seja viável realizar a compra dos SSC’s envolvidos no projeto do vagão é necessário realizar a tarefa “Identificar o modelo selecionado dos SSC’s do vagão” que visa confirmar a compra e os modelos pré-selecionados dos SSC’s para o projeto do vagão. Para auxiliar na realização desta tarefa é necessário utilizar a ferramenta de apoio contida no Apêndice R na Tabela 62.

Todas as tarefas contidas na fase do projeto detalhado do método para projeto de vagões ferroviários proposto neste trabalho podem ser visualizadas na Figura 25. Nesta figura está apresentada de forma detalhada a estrutura gráfica do projeto detalhado do método proposto.



A tarefa “Desenvolver os desenhos detalhados do: truque, engate e ACT, sistema de freio, estrutura, superestrutura” apresenta relação com os itens que serão projetados para o projeto do vagão ferroviário. Devem ser realizados os desenhos detalhados da estrutura, superestrutura, sistema de freio, sistema ACT e o truque contendo as tolerâncias em cada cota dos desenhos realizados. Caso seja aprovado a aplicação de algum princípio inovativo para o projeto do vagão é necessário a realização dos desenhos detalhados contendo sobretudo as tolerâncias em cada cota do desenho realizados. Portanto, para realizar esta tarefa é necessária a utilização da ferramenta de apoio contida no Apêndice R na Tabela 63.

A atividade descrita como “Simulação estrutural do projeto do vagão” o objetivo desta tarefa é a realização das simulações estruturais necessárias para analisar o projeto do vagão em projeto. Neste caso pode ser considerada como referência a norma ABNT 16441/2015 para vagões tanque, além dos parâmetros indicados na norma da AAR.

Na norma ABNT 16441/2015 são solicitadas as simulações de análise de tração no engate; análise de compressão no engate; análise do içamento na haste do engate de uma de suas extremidades; análise do vagão colocado sem truques nos apoios laterais da travessa do pião e por fim a análise da força de impacto. O objetivo destas simulações é analisar o comportamento estrutural do vagão em algumas situações corriqueiras durante a movimentação deste veículo pelas vias permanentes. Caso as simulações estruturais resultem na identificação de problemas, é possível melhorar estas condições. Para realizar esta tarefa é necessária a utilização da ferramenta de apoio contida no Apêndice R na Tabela 64.

Desta forma, a tarefa “Realizar a lista dos materiais (BOM - *Bill of Materials*) do projeto” consiste em realizar a lista de materiais do vagão em projeto, contendo, sobretudo, a quantidade de cada item envolvido no projeto do vagão. Esta tarefa serve como base para área financeira para a verificação dos custos do projeto e como referência para a área de suprimentos para mapear os fornecedores envolvidos no projeto do vagão ferroviário. Para auxiliar na realização desta tarefa é necessária a utilização da ferramenta de apoio contida no Apêndice R na Tabela 65.

Outra tarefa relacionada aos SSC's projetados para o projeto do vagão é a tarefa designada como “Aplicar técnicas de DFMA no SSC's” cujo objetivo consiste em analisar a aplicabilidade de algumas estratégias de melhorias na manufatura e na montagem do vagão ferroviário. Estas análises devem ser feitas para: estrutura, superestrutura, sistema de freio,

truque e sistema ACT. Para auxiliar na realização desta tarefa é necessária a utilização da ferramenta de apoio contida no Apêndice R na Tabela 66.

Além disto, a tarefa “Realizar o plano macro de processos para o projeto dos SSC’s” tem como objetivo descrever de forma básica os processos de fabricação dos itens que serão manufaturados para o projeto do vagão ferroviário. Além disto, deve-se estimar o tempo padrão, máquina e homem de cada atividade descrita no plano macro de processo. Para auxiliar na realização desta tarefa é necessária a utilização da ferramenta de apoio contida no Apêndice R na Tabela 67.

No entanto, a tarefa “Realizar o procedimento operacional padrão (POP) dos SSC’s que serão projetados”, tem como objetivo descrever o procedimento operacional dos itens que serão manufaturados para o projeto do vagão ferroviário. Os responsáveis para realizar esta tarefa são os integrantes da equipe de projeto da área de manufatura e da engenharia. Para auxiliar na realização desta tarefa é necessária a utilização da ferramenta de apoio contida no Apêndice R na Tabela 68.

A tarefa “Realizar a simulação da dinâmica do vagão” consiste na realização de simulações da dinâmica do vagão em projeto. Os responsáveis por esta tarefa são os integrantes da equipe da área da engenharia especializados na realização tanto da simulação estrutural como da simulação dinâmica. Para auxiliar na realização desta tarefa é necessária a utilização da ferramenta de apoio contida no Apêndice R na Tabela 69.

Além disto, outra tarefa do projeto detalhado é denominada como “Cálculos do projeto do vagão” cujo objetivo é indicar todos os cálculos realizados para o projeto do vagão ferroviário. Esta tarefa visa documentar e registrar todos os cálculos referentes ao projeto do vagão, pois a equipe de projeto poderá necessitar da análise destes cálculos posteriormente, além de servir como referência para os projetos vindouros de vagões ferroviários. Para auxiliar na realização desta tarefa é necessária a utilização da ferramenta de apoio contida no Apêndice R na Tabela 70.

Outra tarefa relacionada com a estrutura e superestrutura do vagão é a tarefa “Realizar a definição da pintura e marcação do vagão” que visa identificar como será realizada a pintura e marcação do vagão projetado. Isto, pois, todos os vagões que transitam nas vias férreas do país dever ser devidamente identificados, todavia para cada tipo de vagão tem-se uma norma específica, podendo ser: ABNT 12736 (Vagão Plataforma); ABNT 12737 (Vagão Gôndola); ABNT 12738 (Vagão Hopper) e ABNT 12783 (Vagão Tanque). Além

destas normas é necessária a utilização da ferramenta de apoio contida no Apêndice R na Tabela 71.

A tarefa “Realizar a revisão final dos pontos críticos do projeto do vagão” busca verificar se todos os pontos críticos citados na fase do PI e PC foram tratados e contornados. Desta maneira nesta tarefa devem ser descritos todos os pontos críticos identificados durante o projeto do vagão ferroviário, bem como a resolução de contorno de cada um. Para auxiliar na realização desta tarefa é necessária a utilização da ferramenta de apoio contida no Apêndice R na Tabela 72.

Deste modo, a tarefa denominada como “Preencher o checklist de normas técnicas referentes ao projeto de vagões” e a tarefa “Preencher o checklist do projeto completo referente ao vagão ferroviário” o objetivo destas tarefas é identificar se todas as tarefas contidas na fase do PI, PC e PD do método proposto foram realizadas. Além disto, também verificar se foram aplicadas todas as normas técnicas desenvolvidas pela ABNT referente ao projeto de vagões ferroviários. Portanto, para auxiliar a realização destas tarefas é necessária a utilização das ferramentas de apoio contida no Apêndice R na Tabela 73 e 74.

Já, a tarefa “Realizar apresentação do projeto para o cliente” consiste na realização de uma reunião com o cliente, cujo objetivo é apresentar o projeto do vagão realizado. Para esta tarefa, o gerente de projeto deverá identificar uma data em conjunto com o cliente para a realização de tal apresentação.

Após a apresentação do projeto para o cliente é possível realizar a tarefa “Identificar a aprovação do projeto pelo cliente” cujo objetivo consiste em realizar as possíveis alterações no projeto do vagão identificado após a reunião realizada com o cliente. Bem como, a determinação do plano de ação para realização destas alterações. Após serem realizadas todas as atividades do plano de ação, é solicitada a aprovação do projeto do vagão para o cliente. Para auxiliar na realização desta tarefa é necessária a utilização da ferramenta de apoio contida no Apêndice R na Tabela 75.

A tarefa designada como “Identificar a aprovação da produção do projeto piloto” deverá ser realizada após a confirmação da aprovação do projeto pelo cliente. Esta tarefa consiste na aprovação da produção da primeira unidade do vagão desenvolvido. Entretanto, para realização desta tarefa é necessário indicar ao cliente uma previsão de montagem e entrega do vagão-piloto. Portanto, o cliente deverá ser favorável a esta previsão identificada.

Para auxiliar na realização desta tarefa é necessária a utilização da ferramenta de apoio contida no Apêndice R na Tabela 76.

A última tarefa do projeto detalhado é “Identificar o término do projeto detalhado” que consiste em indicar para a equipe que o projeto do vagão ferroviário finalizou. Para isto, é necessário preencher o termo de término do projeto detalhado contido no Apêndice R na Tabela 77.

### 3.4 COMENTÁRIOS FINAIS

O método para projeto de vagões ferroviários proposto neste trabalho visa identificar as relações entre as tarefas do projeto de um vagão ferroviário, isto após os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta DSM. O método proposto é subdividido em 3 fases, tais como: Projeto Informacional (PI), Projeto Conceitual (PC) e Projeto Detalhado (PD). Desta maneira, a aplicação da ferramenta DSM foi realizada em cada fase do projeto. Além disso, o método para projeto de vagões ferroviários contido neste trabalho apresenta várias ferramentas de apoio para dar suporte à aplicação do projeto de um vagão de carga. Sobretudo, no âmbito educacional, cujo objetivo é a replicabilidade do método aplicado nos diferentes tipos de vagões ferroviários existentes.

## 4 APLICAÇÃO ACADÊMICA E INDUSTRIAL DO MÉTODO PROPOSTO

Para a validação do método descrito no capítulo anterior, foi realizada, inicialmente, a aplicação do método para projeto de vagões ferroviários no âmbito educacional e, posteriormente, analisado a aplicabilidade do mesmo no ambiente industrial.

Para a realização da aplicação no ambiente educacional, utilizou-se a disciplina de Vagões Ferroviários e Carros Metroviários da sétima fase do curso de graduação em Engenharia Ferroviária da Universidade Federal de Santa Catarina. Os alunos matriculados nesta disciplina foram organizados em duplas para a realização de um projeto de vagões ferroviários, totalizando em quatro equipes de projeto. Os materiais para a realização do projeto do vagão, tais como: método proposto e todo material de apoio, foram disponibilizados para as equipes de projeto no início da disciplina em forma eletrônica através do portal do moodle.

A análise de viabilidade para a aplicação industrial foi feita através de questionários desenvolvidos na plataforma do Google e enviados por email para os gerentes e coordenadores da área de desenvolvimento das três indústrias fabricantes de vagões ferroviários instalados no Brasil. Foram elaborados quatro questionários, um para cada fase do projeto, e outro enviado ao final, para avaliar a estrutura do método para projeto de vagões ferroviários, além de verificar a possibilidade de aplicação do método proposto no ambiente corporativo.

### 4.1 AVALIAÇÃO ACADÊMICA

Como o método para projeto de vagões ferroviários estava em constante evolução durante o projeto de pesquisa deste trabalho, a aplicação acadêmica realizada utilizou a estrutura inicial do método apresentado nas Figuras 23, 24 e 25 e descritas no Capítulo 3 deste trabalho. Portanto, as tarefas que foram incluídas e retiradas da fase do Projeto Informacional (PI) referente ao projeto de vagões ferroviários estão indicadas na Tabela 8. Para incluir ou retirar alguma tarefa do método proposto, foram analisados os questionários aplicados com as equipes de projeto. Ao final comparando, sobretudo com a metodologia base para este trabalho proposta por Rozenfeld. Contudo, as tarefas retiradas do PI foram identificadas, pois

apresentavam duplicidade na solicitação de informações ou até mesmo informações que não agregavam valor ao projeto do vagão.

Tabela 8 – Tarefas incluídas e retiradas do PI após a aplicação acadêmica e análise industrial

Tarefas incluídas após a aplicação acadêmica	
1	Identificar o tipo de projeto do vagão
2	Descrever a problemática do cliente
3	Identificar quais serão os envolvidos no projeto do vagão ferroviário
4	Realizar o cronograma do projeto nas fases do PI, PC e PD
5	Realizar a reunião de apresentação do projeto do vagão nas fases do PI, PC e PD
6	Identificar se o projeto do vagão apresenta viabilidade econômica
7	Identificar a liberação parcial nas fases do PI e PC
8	Identificar os pontos críticos do projeto nas fases do PI, PC e PD
9	Identificar os possíveis processos de manufatura envolvidos nos itens projetados
10	Identificar os possíveis fornecedores envolvidos no projeto do vagão ferroviário
11	Indicar o término do projeto informacional, conceitual e detalhados
Tarefas retiradas após análise acadêmica e industrial	
1	Identificar o código do cliente
2	Solicitar ao cliente o logotipo da empresa para identificação do vagão
3	Identificar o comprimento do percurso
4	Identificar o peso teórico (kg/m) do trilho
5	Identificar o coeficiente de segurança
6	Classificação do veículo ferroviário
7	Identificar o com o cliente o qual será a locomotiva que irá tracionar o vagão
8	Caso o cliente já possui o modelo da locomotiva, identificar modelo/marca/potência
9	Identificar se a análise da condição da via permanente será teórica
10	Identificar se a análise da condição da via permanente será real
11	Identificar se o projeto do vagão irá aplicar princípios de modularização
12	Identificar a velocidade média comercial no percurso (trem carregado)
13	Identificar a velocidade máxima comercial no percurso (trem carregado- produto perigoso)
14	Identificar a velocidade média comercial no percurso (trem carregado- produto perigoso)
15	Identificar a velocidade média comercial (trem vazio)
16	Identificar a capacidade máxima de tração permitida no percurso
17	Identificar a operação de carregamento do vagão
18	Tempo médio para o carregamento do vagão
19	Identificar a operação de descarregamento do vagão
20	Tempo médio para o descarregamento do vagão
21	Necessidades de melhoria no processo de manutenção da superestrutura, estrutura, sistema de freio, sistema ACT, truque

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Foram realizados quatro projetos de vagões ferroviários utilizando parte do método proposto. Com base nestes aspectos as equipes inicialmente indicaram os tipos de vagões a serem projetados. Com isso, foram realizados 2 projetos de vagões do tipo gôndola, 1 projeto do vagão tipo hopper e, por fim, 1 projeto do vagão do tipo fechado. Neste trabalho será demonstrada a aplicação do método proposto aplicado no vagão do tipo gôndola, pois este tipo de vagão apresenta maior representatividade no transporte ferroviário brasileiro. O resultado da aplicação do Projeto Informacional referente ao projeto do vagão gôndola está apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultado da aplicação acadêmica referente ao projeto informacional

Parte I- Definir requisitos do cliente	
1	Cliente Rumo Malha Sul S.A
2	Código do proprietário (cliente) 645199-3L
3	Logotipo 

Tabela 9 – Resultado da aplicação acadêmica referente ao projeto informacional- (continuação)

3	Tipo de carga a ser transportada	Milho
4	Carga perigosa	Não
	Classificação da carga perigosa	-
5	Densidade da carga (kg/m <sup>3</sup> )	900 kg/m <sup>3</sup>
6	Tipo do vagão a ser projetado	Gôndola
7	Concessão ferroviária	Rumo Malha Sul (RMS)
8	Percurso a ser realizado	Mafra/SC - São Francisco do Sul/SC
9	Comprimento do percurso (m)	212228
10	Bitola (mm)	Métrica- (1000 mm)
11	Perfil do Trilho **	TR37
12	Peso teórico (kg/m) do trilho	37,2 kg/m
13	Limite por eixo da via permanente (kg)	-
14	Coeficiente de segurança (%)	-
<b>Parte I- Definir requisitos do cliente</b>		
14	Coeficiente de segurança (%)	-
13	Classificação da via permanente	C2X
14	Carga máxima nominal por eixo (kg)	20000 kg
15	Obras de Arte no percurso entre origem/destino	Passagem superior e inferior especiais - 6
		Muro de arrimo (altura até 3 m) -1
		Pontilhão (Ø até 25 m) - 6
		Túnel- 5
		Ponte- 6
16	Altura máxima (mm)	3500
17	Largura máxima (mm)	3000
18	Meta de carga (kg)	60000
19	Comprimento útil (mm)	12800
20	Largura útil (mm)	2400
21	Altura útil (mm)	2000
22	Área útil (m <sup>2</sup> )	30
23	Volume útil (m <sup>3</sup> )	60
24	Altura nominal dos engastes * (mm)	750
25	Classificação do veículo ferroviário	<b>1- Finalidade :</b> Material (Rodante/ de Transporte/ Rebocado/ Vagão )
		<b>2- Estágio de Desenvolvimento:</b> Protótipo
		<b>3- Utilização:</b> Em Tráfego/Novo
		<b>4- Velocidade:</b> Baixa Velocidade
26	Quantidades de truques por vagão	2
27	Truque	-
28	Material da estrutura do vagão	ASTM A242- Gerdau
		Limite escoamento- 345 MPa
		Limite resistência- - 480 MPa
		Alongamento mínimo Lo= 200 m- 18 %
29	Material da superestrutura do vagão	ASTM A242
		Limite escoamento - 345 MPa
		Limite resistência - 480 MPa
		Alongamento mínimo Lo = 200 m- 18 %
	Tipo do Perfil - Barra Quadrada	
	Tipo do Perfil - Chapa	
30	Locomotiva	-
31	Análise das condições da via permanente	Análise Teórica
32	Programa de simulação referente à dinâmica da composição ferroviária	-
<b>Parte II - Definir dados operacionais</b>		
33	Velocidade máxima autorizada no percurso - (trem carregado)	40 km/h
34	Velocidade média comercial no percurso - (trem carregado)	17 km/h
35	Velocidade média comercial no percurso - (trem carregado- produto perigoso)	-
36	Velocidade média autorizada (trem vazio)	40 km/h
37	Velocidade média comercial (trem vazio)	17 km/h
38	Raio mínimo de curva (m)	101 m
39	Rampa máxima crescente (%)	3,00 %
40	Rampa máxima decrescente (%)	2,00 %
41	Quantidade de vagões permitida no percurso	70
42	Capacidade máxima de tração permitida no percurso	
43	Comprimento máximo da composição ferroviária	1075 m
<b>Parte III - Coletar necessidades de carga e descarga</b>		
44	Operação de carregamento	Carregamento superior

Tabela 9 – Resultado da aplicação acadêmica referente ao projeto informacional- (continuação)

Parte IV - Coletar necessidades de manutenção		
45	Tempo médio de carregamento (s)	180
46	Operação de descarregamento	Descarga inferior
47	Tempo médio de descarregamento (s)	240
Parte IV - Coletar necessidades de manutenção		
48	Superestrutura	-
49	Estrutura	-
50	Sistema de freio	-
51	Choque e tração	-
52	Truque	-

Fonte: Elaborada pela equipe de projeto e adaptada pelo autor (2019).

Pode-se observar nesta tabela que a empresa solicitante do projeto do vagão é a RUMO Malha Sul S.A., o vagão a ser projetado é do tipo gôndola, porém para o transporte de milho, cuja densidade aproximada é de  $900 \text{ kg/m}^3$ . O trajeto que este vagão irá percorrer será entre Mafra/SC e São Francisco do Sul/SC, sob concessão da empresa Rumo Malha Sul, este trajeto apresenta bitola métrica e é composto pelo perfil do trilho TR37, conseqüentemente o peso teórico do trilho neste trajeto é de  $37,2 \text{ kg/m}$ , a capacidade máxima nominal por eixo permitida neste trajeto é de  $20000 \text{ kg}$ . Neste trajeto foi identificado também a presença de obras de arte, sobretudo 6 pontes e 5 túneis, no qual permitiu a equipe de projeto identificar os limitantes dimensionais para o projeto do vagão.

As informações referentes aos dados operacionais permitido no trajeto, são estas: a velocidade máxima autorizada no percurso com o trem carregado e a velocidade média autorizada com o trem vazio é de  $40 \text{ km/h}$ , todavia a velocidade média comercial no percurso com o trem vazio ou carregado é de  $17 \text{ km/h}$ , além de a rampa máxima crescente ser de  $3\%$  e a rampa máxima decrescente ser de  $2\%$ .

No projeto informacional a equipe pré-selecionou o material a ser utilizado na estrutura e superestrutura para o projeto do vagão, visto que geralmente estes itens são projetados pelas empresas fabricantes de vagões ferroviários, neste caso a equipe de projeto pré-selecionou o material ASTM A242- Gerdau, todavia para a estrutura foi indicado o perfil do tipo barra quadrada e para a superestrutura foi indicado o perfil do tipo chapa. As demais informações pertinentes ao Projeto Informacional realizado na aplicação acadêmica para o projeto do vagão tipo gôndola estão apresentadas na Tabela 9 conforme indicada anteriormente.

A aplicação acadêmica referente ao Projeto Conceitual do método proposto neste trabalho utilizou a estrutura inicial do PC apresentado na Figura 24 deste trabalho. Isto, pois o método estava em evolução durante a realização da aplicação acadêmica. Com isso, as

tarefas que foram incluídas na fase do Projeto Conceitual (PC) referente ao projeto de vagões ferroviários estão indicadas na Tabela 10. Estas tarefas foram incluídas após a análise da metodologia base para este trabalho proposta por Rozenfeld. Já, a aplicação da estrutura inicial do PC referente ao projeto do vagão ferroviário está apresentada na Tabela 11.

Tabela 10 – Tarefas incluídas do PC após a aplicação acadêmica e análise industrial

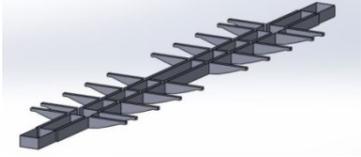
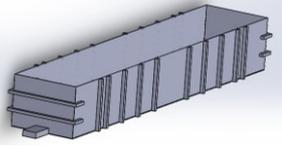
Tarefas incluídas após a aplicação acadêmica	
Atualizar o cronograma do projeto nas fases do PI, PC e PD	
Realizar reunião para apresentação do projeto do vagão nas fases do PI, PC e PD	
Realizar revisão do projeto devido a realização de atividades após liberação parcial	
Identificar a liberação parcial do PI, PC, PD	
Identificar as funções principais do truque, sistema ACT, sistema de freio, estrutura e superestrutura	
Identificar a compra ou a manufatura do truque, sistema ACT, sistema de freio, estrutura e superestrutura	
Identificar os fornecedores do truque, sistema ACT, sistema de freio, estrutura e superestrutura (caso seja comprado)	
Identificar processos de manufatura do truque, sistema ACT, sistema de freio, estrutura e superestrutura	
Identificar o limite por eixo do truque selecionado	
Estimativa do custo unitário do truque, sistema ACT, sistema de freio, estrutura e superestrutura	
Descrever os pontos críticos do projeto, e sobretudo como foram tratados estes pontos críticos nas fases do PI, PC e PD	
Indicar o término do projeto nas fases do PI, PC e PD.	

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Tabela 11 – Resultado da aplicação acadêmica referente ao projeto conceitual

Designar Arquitetura não inovativa dos SSCs		
Parte I- Designação de truque		
1	Limite por eixo da via permanente (kg)	20.000
2	Bitola da via permanente (mm)	1000
3	Quantidades de truques por vagão	2
4	Seleção dos truques	2
5	Truque selecionado- fornecedor	Amsted Rail
6	Código do truque	2-956B
7	Bitola	1000
8	Dimensional nominal das mangas (mm)	152,4 x 279,4
9	Diâmetro da roda (mm)	838
10	Distância entre eixos (mm)	1727
11	Diâmetro do prato pião (mm)	406
12	Menor raio de curvatura em serviço (m)	Não identificado no catálogo
13	Velocidade de trabalho alcançada (km/h)	Não identificado no catálogo
14	Massa do truque (kg)	2500
15	Desenho conceitual prévio do truque pré-selecionado para o projeto do vagão	
Parte II- Designação do engate e sistema choque e tração		
16	Selecionar o tipo de engate e sistema choque e tração	Tipo E
17	Tipo de operação do engate	Inferior Rotativa
18	Modelo do engate	Alliance Full-Size
19	Classificação do aparelho de choque e tração	Míner A-22-XL / Braçadeira: Vert. P/CHAVETA 1,5in x 6in
20	Massa do conjunto engate e sistema de choque e tração (kg)	-
21	Desenho conceitual prévio do engate e ACT pré-selecionado para o projeto do vagão	

Tabela 11 – Resultado da aplicação acadêmica referente ao Projeto Conceitual- (continuação)

<b>Parte III- Designação da estrutura</b>		
22	Material da estrutura	Aço patinável ASTM
23	Densidade do aço (kg/m <sup>3</sup> )	7800
24	Classe do aço	A242
25	Distribuidor	Gerdau
26	Tipo do perfil	Barra- Perfil Quadrado
27	Dados técnicos do perfil utilizado nas longarinas que sustentam os truques	4 unidades; Comprimento 4,38 m ; Massa linear: 78,5 kg/m ; Massa A1: 1375,32 kg
28	Dados técnicos do perfil utilizado nas longarinas centrais	2 unidades; Comprimento 12,76 m; Massa linear: 78,5 kg/m ; Massa A2: 2003,32 kg
29	Dados técnicos das travessas	6 unidades; Comprimento 4,38 m; Massa linear: 78,5 kg/m ; Massa A3: 2062,98 kg
30	Dados técnicos dos reforços contidos na estrutura	4 unidades; Comprimento 2,93 m; Massa linear: 130 kg/m ; Massa A4: 1523,6 kg
31	Massa total da estrutura (kg)	6965,22 kg
32	Desenho conceitual prévio da estrutura que irá compor o vagão ferroviário em projeto	
<b>Parte IV- Designação da superestrutura</b>		
33	Material da superestrutura	Aço patinável ASTM
34	Densidade do aço (kg/m <sup>3</sup> )	7800
35	Tipo do vagão	Gôndola
36	Espessura da barra (mm)	7 mm (cabeceiras e laterais), 24 mm (fundo)
37	Altura do vagão (mm)	1840
38	Largura do vagão (mm)	2402
39	Comprimento do vagão (mm)	1276,6
40	Volume das laterais (m <sup>3</sup> )	2 laterais; volume laterais: 0,32
41	Volume das cabeceiras (m <sup>3</sup> )	2 cabeceiras; volume cabeceiras: 0,06
42	Volume do fundo (m <sup>3</sup> )	1 fundo; Volume do Fundo: 0,76
43	Volume da cobertura (m <sup>3</sup> )	-
44	Volume total da superestrutura (m <sup>3</sup> )	1,14
45	Massa do vagão (kg)	8892
46	Elementos de segurança	-
47	Desenho conceitual prévio da superestrutura que irá compor o vagão ferroviário em projeto	
<b>Parte V- Designação de sistema de freio</b>		
48	Sistema de freio - dados técnicos	Sistema de Freio a Ar Comprimido Direto- Valvula: ABS, ABSD/ Ø Cilindro: 10"x12"/ Sapata: Não metálica
49	Desenho conceitual prévio do sistema de freio pré-selecionado para o projeto do vagão	-

Fonte: Elaborada pela equipe de projeto e adaptada pelo autor (2019).

Portanto, observa-se que a aplicação do PC referente ao projeto do vagão gôndola pré-selecionou o truque AmstedRail de código 2-956B, com tais características: bitola métrica, limite por eixo da via permanente de 20000 kg , 2 eixos por truque, distância entre eixos de 1727 mm. Logo, desenho conceitual do truque foi retirado do catálogo do fornecedor pela equipe de projeto.

O engate pré-selecionado para o projeto do vagão do tipo gôndola é do tipo E com operação rotativa inferior, cujo modelo é Alliance Full-Size, portanto o desenho conceitual está apresentado na Tabela 11.

O modelo do ACT pré-selecionado para o projeto é o Miner A-22-XL, porém a equipe de projeto não realizou o desenho conceitual do ACT durante a aplicação acadêmica.

Para a estrutura do vagão em projeto foi pré-selecionado o material ASTM A242-Gerdau com perfil do tipo quadrado, a estrutura é composta por 4 longarinas que sustentam os truques, 2 longarinas centrais, 6 travessas e por fim 4 reforços estruturais, conforme desenho conceitual disposto na Tabela 11. Já, para a superestrutura do vagão em projeto foi pré-selecionado o material ASTM A242-Gerdau com perfil do tipo plano, as laterais e cabeceiras do vagão terão 7 mm, todavia o fundo terá 24 mm, conforme o desenho conceitual apresentado na Tabela 11.

O sistema de freio pré-selecionado para o projeto do vagão é sistema de freio a ar comprimido direto, com válvula ABS, porém a equipe de projeto não realizou o desenho conceitual do sistema de freio.

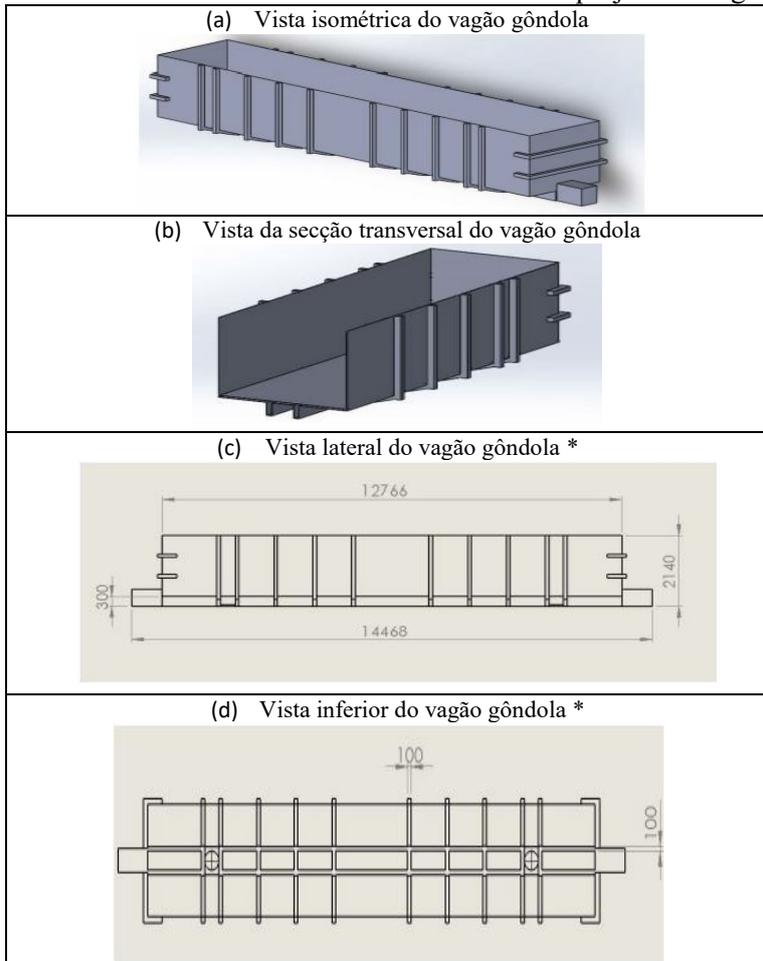
A realização da análise de benchmarking deverá ser feita somente para os itens que serão comprados para o projeto do vagão. Portanto nesta aplicação acadêmica a equipe de projeto somente realizou esta análise para a pré-seleção do truque que está apresentado na Tabela 11.

A aplicação do Projeto Detalhado proposto neste trabalho foi realizada parcialmente pelas equipes de projeto, dada a impossibilidade de serem realizados todos os desenhos durante a duração da disciplina de Vagões Ferroviários e Carros Metroviários, tendo sido utilizada, ainda que parcialmente, a estrutura contida na Figura 25 deste trabalho.

Nesta fase do projeto do vagão, a equipe realizou os desenhos da estrutura e superestrutura contendo o dimensionamento do vagão, indicando, sobretudo as tolerâncias de cada cota contida no desenho industrial. Foi utilizado o programa *Solidworks* para a realização de tais desenhos detalhados: vista isométrica, vista da secção transversal, vista lateral e a vista inferior do vagão em projeto.

O comprimento da estrutura é de 14468 mm, porém o comprimento da superestrutura é de 12766 mm, a altura da superestrutura é de 1840 mm, contudo a altura do conjunto da estrutura e superestrutura é de 2140 mm. Observa-se que os dimensionais realizados no PD estão dentro do esperado devido às limitações da via permanente identificado no PI. Logo, na Tabela 12 estão alguns dos resultados parciais realizados para a aplicação do PD referente ao projeto do vagão do tipo gôndola.

Tabela 12 – Desenhos detalhados referentes ao projeto do vagão



Fonte: Elaborada pela equipe de projeto e adaptada pelo autor (2019).

\* Unidades dos desenhos detalhados apresentados acima estão em milímetros

Foram realizadas também as simulações para a análise estrutural do projeto, para isso a equipe de projeto utilizou o programa *Solidworks*, para reduzir o tempo de simulação o vagão foi dividido pela metade. Os resultados das simulações realizadas referente ao Projeto Detalhado do vagão do tipo gôndola estão indicados na Tabela 13.

Tabela 13 – Simulações estruturais referentes ao PD do vagão

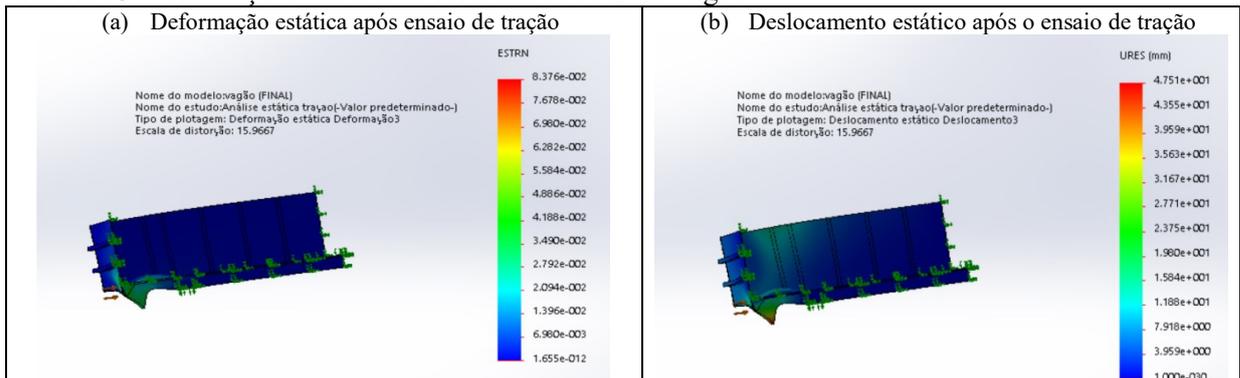
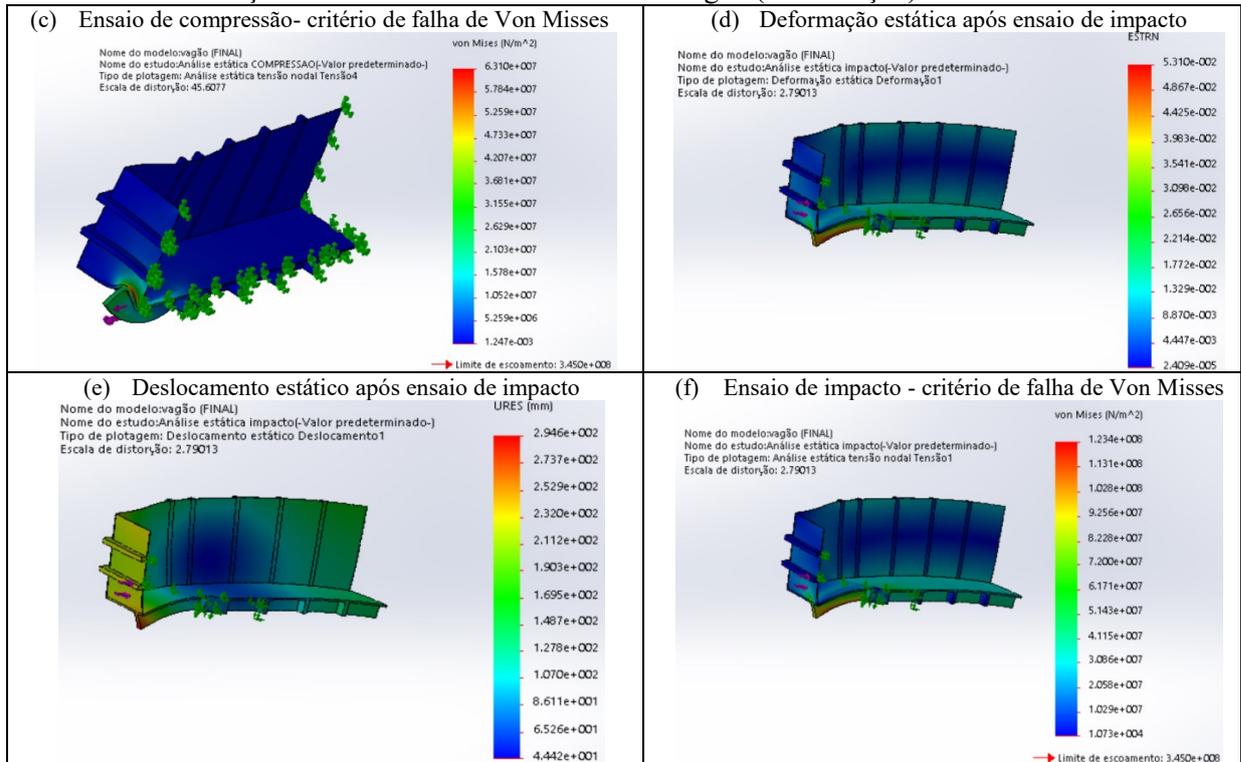


Tabela 13 – Simulações estruturais referentes ao PD do vagão (continuação)



Fonte: Elaborada pela equipe de projeto e adaptada pelo autor (2019).

De acordo com simulações contidas na Tabela 13, nota-se que os deslocamentos e deformações são pequenos devido ao valor encontrado na escala de distorção. Logo, as tensões equivalentes de Von Mises apontam valores de  $1,802e+008$  Pa nos locais mais críticos, valores abaixo da tensão de escoamento do material escolhido para o projeto do vagão ( $3,450e+008$  Pa).

Para as cargas de compressão apresentadas na Tabela 13, nota-se uma maior aproximação das tensões da zona mais crítica da estrutura com aquelas de Von Mises, mas ainda não ocorre a falha, pois a tensão de escoamento do material escolhido para o projeto do vagão está acima das tensões equivalentes de Von Mises ( $6,310e+007$  Pa).

Nas simulações realizadas para a análise do impacto apresentadas na Tabela 13 é possível notar que as tensões equivalentes de Von Mises apontam valores críticos de  $1,234e+008$  Pa, enquanto que a tensão de escoamento do material escolhido para o projeto do vagão é de  $3,450e+008$  Pa. Portanto neste caso houve um deslocamento de 105,58 mm, neste caso seria necessário analisar novamente o projeto do vagão, adequando a estrutura e

superestrutura do vagão, até que nas simulações posteriores não sejam identificados nenhum deslocamento no projeto do vagão realizado.

#### 4.1.1 Análise da aplicabilidade do método no âmbito educacional

Para finalizar a aplicação acadêmica do método para projeto de vagões ferroviários apresentado neste trabalho, foi realizada uma avaliação junto aos alunos, para avaliar a aplicabilidade do método proposto no âmbito educacional. Portanto, após a realização do projeto do vagão utilizando o método proposto, as equipes de projeto preencheram um questionário com o intuito de identificar a eficiência, usabilidade, completude e por fim a abrangência do método para projeto de vagões ferroviários proposto. As questões realizadas para avaliar a aplicabilidade deste método estão apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Questões para avaliar a aplicabilidade do método no ambiente acadêmico

<b>Eficiência</b>	A estrutura do Projeto Informacional/ Conceitual referente ao método para o projeto de vagões guiou a realização do projeto do vagão?
<b>Usabilidade</b>	A forma da estrutura do Projeto Informacional/Conceitual utilizada foi de fácil utilização?
<b>Completude</b>	Na sua visão, faltou algo na estrutura do Projeto Informacional/Conceitual?
<b>Abrangência</b>	O modelo do Projeto Informacional/Conceitual é de fácil adaptação para outros projetos? - VLT/Metrô ( ) Sim ( ) Não ( ) Parcialmente - Locomotivas ( ) Sim ( ) Não ( ) Parcialmente - Vagão de carga ( ) Sim ( ) Não ( ) Parcialmente

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Os resultados da aplicação do questionário foram:

- **Eficiência:** algumas equipes indicaram que a estrutura do método proposto auxiliou na realização do projeto do vagão ferroviário, sobretudo na maior eficiência da gestão do tempo para realização do projeto do vagão, pois além do método proposto, foram enviados materiais de apoio que contemplavam na realização do projeto. Todavia as equipes indicaram que em alguns momentos do preenchimento do método proposto ficaram confusos, pois não sabiam quais as informações necessárias a serem preenchidas em cada tarefa do método proposto.
- **Usabilidade:** Algumas equipes mencionaram que a estrutura do método proposto, sobretudo referente ao preenchimento dos formulários, foi de fácil utilização, porém outras equipes indicaram possíveis melhorias na planilha de projeto, tais como: a realização de comentários em cada tarefa do método

proposto, isto para facilitar o entendimento da tarefa a ser realizada e qual informação deverá ser preenchida na planilha de projeto.

- Completude: Algumas equipes mencionaram a falta de informações para o preenchimento de algumas tarefas do método proposto, tais como: as obras de arte do percurso em que o vagão se movimentará, material de apoio para determinação de componentes como freio e engate, dúvidas referente às simulações estruturais, além da realização e adequação dos comentários na planilha do projeto.
- Abrangência: as equipes de projeto indicaram que a estrutura do método proposto pode ser parcialmente adaptada para projetos de VLTs (Veículo Leve sobre Trilhos) e locomotivas e podem ser utilizadas, sobretudo no projeto de vagões ferroviários.

#### **4.1.2 Análise crítica após a aplicação do método no âmbito educacional**

Após a aplicação do método para projeto de vagões ferroviários no ambiente acadêmico e da aplicação do questionário com os alunos, foram identificadas algumas observações para a melhoria do método proposto, lembrando que a versão utilizada pelos alunos era anterior à apresentada no Capítulo 3. Foram implementadas algumas alterações na planilha de apoio ao projeto de vagões:

- 1) Realizar um breve comentário nas células da planilha de apoio ao projeto referente à descrição de cada tarefa contida no método para o projeto de vagões ferroviários, visando auxiliar o preenchimento da planilha de projeto;
- 2) Reduzir a quantidade de informações contida na planilha de apoio ao projeto de vagões ferroviários;
- 3) Alterar o formato da planilha de apoio ao projeto de vagões ferroviários, sobretudo nas tarefas que tenham opções para a seleção.

Além das alterações na planilha de projeto, também foram introduzidas as seguintes alterações no método, já presentes na versão final do método apresentado no Capítulo 3:

- 1) Buscar identificar com o cliente o objetivo do projeto do vagão;
- 2) Identificar a equipe de projeto e as responsabilidades de cada integrante;
- 3) Realizar o cronograma do projeto do vagão, identificando tais informações: as tarefas a serem realizadas, o responsável por cada tarefa, além do prazo para execução de cada tarefa;
- 4) Identificar a aprovação da viabilidade econômica do projeto;
- 5) Descrever os pontos críticos do projeto;
- 6) Identificar os processos de manufatura envolvidos no projeto do vagão;
- 7) Analisar se os sistemas, subsistemas e componentes serão projetados internamente ou comprados;
- 8) Definir os custos dos itens que serão comprados;
- 9) Realizar a classificação do vagão, conforme norma ABNT 11691/2015;
- 10) Identificar os elementos de segurança para cada tipo de vagão.

Cabe ressaltar que a aplicação do método no ambiente acadêmico foi realizada de forma incompleta na disciplina de Vagões Ferroviários e Carros Metroviários, pois a realização do PD não foi realizada completamente conforme o método proposto devido ao pouco tempo disponível em sala de aula para a realização do projeto de vagões em sua completude. Em contrapartida a estrutura do PI e PC foram realizados em sua totalidade. Outro ponto a ser destacado na aplicação do método para projeto de vagões ferroviários foi à dificuldade na busca de informações referente às obras de arte no percurso a ser realizado pelo vagão em projeto, além da dificuldade na realização de desenhos estruturais e simulações solicitadas.

#### 4.2 AVALIAÇÃO INDUSTRIAL

Para a avaliação do método para projeto de vagões ferroviários proposto neste trabalho, foram enviados eletronicamente 3 questionários referente ao Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado, além de materiais de apoio com a descrição de cada tarefa do método proposto para os gerentes e coordenadores da área de desenvolvimento das três empresas fabricantes de vagões ferroviários instalados no Brasil. Em cada questionário foi incluso todas as tarefas do projeto em questão, com isso o gestor de desenvolvimento de

vagões julgava se necessário tal tarefa dentro do método proposto. No Apêndice S estão os questionários enviados para responsáveis por tal avaliação, sendo respectivamente ao PI, PC e PD, juntamente com os resultados apresentados. Devido ao pequeno número de empresas fabricantes de vagões no Brasil, seus nomes foram mantidos em sigilo para que não houvesse reconhecimento das práticas individuais. Portanto, na Tabela 15 estão indicadas as tarefas que não apresentaram unanimidade para serem incluídas no método proposto neste trabalho.

Tabela 15 – Tarefas que não apresentaram unanimidade para serem incluídas no método

<b>Projeto Informacional</b>
Identificar o tipo de projeto - vagão padrão já enviado para o cliente
Definir as pessoas envolvidas no projeto do vagão da área de financeiro
Definir as pessoas envolvidas no projeto do vagão da área de qualidade
Definir as pessoas envolvidas no projeto do vagão da área de suprimentos
Definir as pessoas envolvidas no projeto do vagão da área de logística
Definir as pessoas envolvidas no projeto do vagão da área de segurança
Definir a data da reunião para apresentação do projeto informacional para as pessoas envolvidas
Preencher o termo de liberação parcial do projeto informacional
Identificar o código do cliente
Solicitar ao cliente o logotipo da empresa para identificação do vagão
Identificar o tipo de carga que o vagão transportará
Identificar a origem do percurso
Identificar o destino do percurso
Identificar o comprimento do percurso
Identificar os pontos críticos no percurso a ser realizar
Identificar o peso teórico (kg/m) do trilho
Identificar o coeficiente de segurança
Identificar a classificação da via permanente
Identificar a meta de carga (kg)
Realizar a classificação do veículo ferroviário
Identificar o com o cliente o qual será a locomotiva que irá tracionar o vagão
Caso o cliente já possui o modelo da locomotiva, identificar modelo/marca/potência
Identificar se a análise da condição da via permanente será teórica
Identificar se a análise da condição da via permanente será real
Identificar se o projeto do vagão irá aplicar princípios de modularização
Identificar a velocidade média comercial no percurso (trem carregado)
Identificar a velocidade máxima comercial no percurso (trem carregado- produto perigoso)
Identificar a velocidade média comercial no percurso (trem carregado- produto perigoso)
Identificar a velocidade média autorizada (trem vazio)
Identificar a velocidade média comercial (trem vazio)
Identificar a rampa máxima crescente (%)
Identificar a rampa máxima decrescente (%)
Identificar a capacidade máxima de tração permitida no percurso
<b>Projeto Conceitual</b>
Revisão das atividades realizadas após LPPI
Preencher o termo de liberação parcial do projeto conceitual
Identificar a compra ou a manufatura do truque
Identificar a compra ou a manufatura do engate
Identificar a compra ou a manufatura do aparelho de choque e tração
Identificar a compra ou a manufatura do sistema de freio
Identificar a compra ou a manufatura da estrutura
Identificar a compra ou a manufatura da superestrutura
Identificar o fornecedor do truque, caso este seja definido para ser comprado
Identificar o fornecedor do engate, caso este seja definido para ser comprado

Tabela 15 – Tarefas que não apresentaram unanimidade para serem incluídas no método proposto - (continuação)

Identificar o fornecedor do sistema do aparelho de choque e tração (ACT) , caso este seja definido para ser comprado
Identificar o fornecedor do sistema de freio, caso este seja definido para ser comprado
Identificar o fornecedor da estrutura, caso este seja definido para ser comprada
Identificar o fornecedor da superestrutura, caso este seja definido para ser comprada
Identificar a realização do desenvolvimento do truque
Identificar a realização do desenvolvimento do engate
Identificar a realização do desenvolvimento do aparelho de choque e tração
Identificar a realização do desenvolvimento do sistema de freio
Identificar a realização do desenvolvimento da superestrutura
Identificar a realização do desenvolvimento da estrutura
Identificar o responsável para realizar a análise da dinâmica ferroviária
Identificar os processos de manufatura do desenvolvimento do truque, caso este seja manufaturado
Identificar os processos de manufatura do desenvolvimento do engate, caso este seja manufaturado
Identificar os processos de manufatura do desenvolvimento do ACT, caso este seja manufaturado
Identificar os processos de manufatura do desenvolvimento do sistema de freio, caso este seja manufaturado
Preencher a planilha de benchmark referente ao truque
Identificar o limite por eixo do truque selecionado (kg)
Identificar o tipo de operação do engate pré-selecionado para o projeto
<b>Projeto Detalhado</b>
Realizar a simulação estrutural referente à análise do içamento na haste do engate de uma de suas extremidades (carga viva)
Realizar a simulação estrutural do vagão colocado sem truques nos apoios laterais da travessa do pião (carga viva)

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Posteriormente foi enviado aos os gerentes e coordenadores da área de desenvolvimento das empresas fabricantes de vagões no Brasil, o questionário final referente ao método proposto contido na Tabela 16. Cujo objetivo é identificar de forma escrita a avaliação do método para projeto de vagões ferroviários proposto neste trabalho, além de identificar os pontos positivos e negativos do método apresentado, e, sobretudo identificar a possibilidade da aplicação deste método nas empresas fabricantes de vagões ferroviários.

Tabela 16 – Questionário final para avaliar o método proposto

1	Como a sua empresa analisa o método para projetos de vagões ferroviários proposto neste trabalho?
2	Quais seriam os pontos positivos e negativos da aplicabilidade deste método?
3	Você acredita que o método proposto possa ser aplicado no setor de projeto de vagões? ( ) Pode ser aplicada totalmente      ( ) Pode ser aplicada, porém parcialmente      ( ) Não pode ser aplicada

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Com isso, segue os resultados destes questionamentos. No primeiro questionamento todas as empresas salientaram que o método proposto para o projeto de vagões ferroviários está bem estruturado e adequado a realidade no que se trata de projetos de vagões, embora boa parte das etapas propostas já ocorra no processo atual, porém de maneira informal em algumas empresas. Neste contexto o método apresentado pode contribuir para uma sistematização não existente no qual deve agregar valor e qualidade no projeto de vagões ferroviários. Também foi mencionado que o método proposto buscou a fundo o entendimento

das variáveis envolvidas referente ao projeto de um vagão, propondo de maneira clara e organizada, um fluxo lógico com grande potencial de aplicação.

No segundo questionamento foram indicados alguns pontos positivos e negativos do método proposto. Como os pontos positivos têm-se: modelo dedicado para a aplicação em P&D de vagões de carga; o método proposto serve como orientação das tarefas que devem ser realizadas; visualização e aprovação do projeto em sua totalidade reduzindo erros; visualização clara do fluxo do projeto do vagão e das interações existentes; permite uma execução intuitiva e ordenada das tarefas principais referentes ao projeto de vagões. Já como pontos negativos foram apresentados: a utilização de uma planilha eletrônica para a elaboração do projeto de vagões; tempo necessário para a realização de todas as tarefas do método proposto podem causar atrasos de projeto; a possibilidade de “burocratização” do projeto devido à presença de algumas tarefas de menor importância.

No último questionamento realizado todas as empresas questionadas acreditam na possibilidade da aplicação do método em sua totalidade conforme apresentado neste trabalho.

#### 4.2.1 Análise crítica após a aplicação do método no âmbito industrial

Conforme questionário realizado buscando identificar as tarefas que deveriam estar incluídas ou não no Projeto Informacional, Conceitual e Detalhado. Com isso, foram identificadas na Tabela 15 as tarefas que não apresentaram unanimidade quando questionadas para os gerentes e coordenadores da área de desenvolvimento de vagões. Porém somente 18 tarefas foram retiradas do método proposto após esta análise. Consequentemente estas tarefas foram eliminadas da versão final do método proposto, e por isso não estão descritas no Capítulo 3 deste trabalho. As tarefas retiradas do método proposto estão apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Tarefas retiradas do método proposto após análise industrial

Projeto Informacional	
1	Identificar o código do cliente
2	Solicitar ao cliente o logotipo da empresa para identificação do vagão
3	Identificar o comprimento do percurso
4	Identificar o peso teórico (kg/m) do trilho
5	Identificar o coeficiente de segurança
6	Identificar o com o cliente o qual será a locomotiva que irá tracionar o vagão
7	Caso o cliente já possui o modelo da locomotiva, identificar modelo/marca/potência

Tabela 17 – Tarefas retiradas do método proposto após análise industrial – (continuação)

8	Identificar se a análise da condição da via permanente será teórica
9	Identificar se a análise da condição da via permanente será real
10	Identificar se o projeto do vagão irá aplicar princípios de modularização
11	Identificar a velocidade média comercial no percurso (trem carregado)
12	Identificar a velocidade máxima comercial no percurso (trem carregado- produto perigoso)
13	Identificar a velocidade média comercial no percurso (trem carregado- produto perigoso)
14	Identificar a velocidade média comercial (trem vazio)
15	Identificar a capacidade máxima de tração permitida no percurso
<b>Projeto Conceitual</b>	
16	Identificar o responsável para realizar a análise da dinâmica ferroviária
<b>Projeto Detalhado</b>	
17	Realizar a simulação estrutural - Análise do içamento na haste do engate de uma de suas extremidades (carga viva)
18	Realizar a simulação estrutural do vagão colocado sem truques nos apoios laterais da travessa do pião (carga viva)

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Estas tarefas foram retiradas do método proposto por diversas situações, visto que algumas não agregam valor para o projeto do vagão, como por exemplo, a tarefa 16 da Tabela 17. Isto, pois, a tarefa de análise da simulação dinâmica está inserida no PD, conseqüentemente no cronograma do projeto detalhado será designado o responsável por esta tarefa. Outras tarefas apresentam redundância, tais como: 2; 3; 4; 11; 12; 13; 14. No caso da identificação do logotipo do cliente, esta tarefa será realizada no PD, na tarefa de marcação e pintura do vagão.

Todavia, no caso da identificação do comprimento do percurso também não é necessário, visto que na fase do PI já consta a tarefa que visa identificar a origem e destino que o vagão em projeto irá realizar. A identificação do peso teórico do trilho também apresenta redundância, pois no PI tem uma tarefa que identifica o perfil do trilho do trajeto em que o vagão em projeto irá transitar, sendo que esta informação já identifica o peso teórico do trilho. Já as tarefas 17 e 18 contidas na Tabela 17 serão realizadas na condição de carga morta.

As demais tarefas foram mantidas mesmo não apresentando unanimidade entre os gerentes e coordenadores da área de desenvolvimento de vagões, pois apresentam ganhos na aplicação acadêmica ou até mesmo industrial, porém não sendo aplicáveis em todas as empresas questionadas. Como por exemplo, a compra ou projeto de alguns SSC's do projeto do vagão, a realização do benchmarking dos SSC's, ou a classificação da via permanente. Outras tarefas foram mantidas, sobretudo para realização do gerenciamento do projeto do vagão, tais como: as revisões contidas no projeto conceitual e do projeto detalhado, além do preenchimento dos termos de liberação parcial dos projetos contidos no método proposto. Entretanto uma tarefa foi inserida no PI através da análise industrial, tais como: o recebimento do mapa de via, no qual tem como objetivo verificar todos os limitantes da via, tais como: altura, largura máxima de pontes e túneis.

### 4.3 COMENTÁRIOS FINAIS

Como o método para projeto de vagões ferroviários estava em evolução durante a realização da aplicação acadêmica e análise industrial, as tarefas propostas como melhorias indicadas após a aplicação acadêmica foram praticamente todas inclusas no método, para que posteriormente fossem enviadas para análise industrial. Após a análise industrial alguns pontos de melhorias foram identificados, tais como: a estruturação de um programa tendo como base o método proposto neste trabalho, com o objetivo de facilitar a utilização industrial deste método, além da redução do tempo de projeto de vagões ferroviários. Outro ponto de melhoria no método proposto é a estruturação da análise dinâmica e estrutural para o projeto de vagões ferroviários abordando com maior detalhamento estas tarefas. Além disso, a realização da aplicação acadêmica utilizando a estrutura proposta neste trabalho em sua completude, além, sobretudo da aplicação industrial comparando os resultados obtidos utilizando e não utilizando o método proposto neste trabalho.

## 5 CONCLUSÃO

Após ser realizada a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com o objetivo de identificar métodos para projeto de vagões ferroviários, não foram encontrados estudos que retratassem sobre este assunto na sua completude, abordando todas as tarefas do projeto informacional, conceitual e detalhado. Portanto, identificou-se a necessidade do desenvolvimento de um método para a realização de projetos de vagões ferroviários, que abordem as fases: Projeto Informacional (PI), Projeto Conceitual (PC) e por fim Projeto Detalhado (PD).

O método para projeto de vagões ferroviários proposto neste trabalho foi desenvolvido com o objetivo de ser capaz de atender a todos os modelos convencionais de vagões, bem como às demandas específicas de cada cliente, sobretudo para projetos de vagões a serem realizados no âmbito educacional. Para isso, inicialmente foram pesquisados aspectos metodológicos referente ao projeto vagões ferroviários e aspectos referente a projeto de desenvolvimento de produtos em geral, tomando por a estrutura proposta por Rozenfeld como base para a sistematização do método proposto neste trabalho.

Entretanto, para a estruturação do método para projeto de vagões ferroviários, foram identificadas com as empresas fabricantes as práticas adotadas atualmente nesta área, através da aplicação de questionários com os gerentes e coordenadores da área de desenvolvimento de vagões. Estes questionários foram aplicados em diferentes fases deste projeto:

- Na fase inicial da estruturação da metodologia, cujo objetivo é a identificação das práticas atuais realizadas nas empresas fabricantes de vagões;
- Após a sistematização da estrutura referente a cada fase, como: Projeto Informacional (PI), Projeto Conceitual (PC) e Projeto Detalhado (PD). Com o objetivo de identificar quais são as tarefas destas fases que são importantes e que fazem parte no projeto de vagões ferroviários;
- Após a definição da estrutura completa para o projeto de vagões, que visa indicar a pontos positivos e negativos referente à estrutura proposta, além da identificação da possível aplicabilidade nas indústrias fabricantes de vagões.

Outro ponto a ser destacado neste trabalho é a existência de uma lacuna entre as normas da ABNT referente ao segmento ferroviário e as normas AAR. Pois estas normas não tem o foco na gestão do desenvolvimento do vagão, mas sim nas especificações do vagão. Portanto, a utilização do método proposto neste trabalho apresenta tais benefícios:

- Visão holística do processo referente a projeto de vagões ferroviários;
- Formalização de uma estrutura para projeto de vagões ferroviários, que pode ser adaptada à realidade de cada empresa;
- Melhorias no processo de gerenciamento de projeto. Devido à utilização de algumas ferramentas de apoio, tais como: cronograma de projeto, identificação dos pontos críticos, checklist de normas e do projeto completo.
- A aplicação do método para projeto de vagões ferroviários nos cursos que envolvem assuntos ligados a Engenharia Ferroviária, sobretudo no projetos de vagões.

O método proposto neste trabalho conseguiu demonstrar as relações entre as tarefas do projeto, devido à aplicação da ferramenta DSM em cada fase do projeto, como: PI, PC e PD. Com isso, foi possível a estruturação gráfica do método proposto para projeto de vagões ferroviários, podendo ser observadas nas Figuras 23, 24 e 25 deste trabalho.

Outro aspecto relevante a ser destacado é o caráter didático deste método. Pois existe a possibilidade de sua aplicação nos cursos de graduação e pós-graduação relacionados ao segmento ferroviário, visto que além do método para projeto de vagões ferroviários, este trabalho apresenta várias ferramentas de apoio para dar suporte à aplicação acadêmica.

Para avaliar a aplicabilidade deste método no âmbito acadêmico foram realizados alguns projetos de vagões na disciplina de Vagões Ferroviários e Carros Metroviários da sétima fase do curso de graduação em Engenharia Ferroviária da Universidade Federal de Santa Catarina, no qual foram demonstradas no Capítulo 4 deste trabalho a possível aplicabilidade deste método no âmbito acadêmico.

Após a análise industrial foram identificados alguns pontos de melhorias no método proposto, tais como: desenvolvimento de um programa com base no método proposto, cujo objetivo é facilitar a utilização industrial deste método. Além da estruturação contendo maior detalhamento nas tarefas de análise da simulação estrutural e dinâmica do vagão.

Conclui-se que foi proposto neste trabalho um método para projeto de vagões ferroviários capaz de atender a todos os modelos convencionais de vagões, bem como a adaptação desta metodologia para demandas específicas de cada cliente. Também se conseguiu uma boa aderência do método proposto às práticas da indústria ferroviária nacional,

tal qual observado junto às empresas fabricantes. Por fim, também se constatou a viabilidade da utilização do método proposto no âmbito educacional.

Entretanto, apesar dos bons resultados iniciais, em trabalhos futuros deverão ser reavaliadas as tarefas propostas, visando à melhoria do método para projeto de vagões ferroviários. Para isto deve ser aplicado o método proposto de forma integral no projeto de diferentes tipos de vagões. Além disto, deve ser avaliada a possibilidade da inclusão da fase Preparação da produção do produto (PPR) conforme a metodologia proposta por Rozenfeld. Outro aspecto que poderá ser realizado como trabalhos futuros é realização de um programa tendo como base o método proposto, com o objetivo de facilitar a aplicação do método no ambiente industrial. Por fim, a aplicação deste método nas empresas fabricantes de vagões ferroviários, comparando os resultados dos projetos de vagões utilizando e não utilizando o método proposto neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Resolução nº 420**. 2004

ANNACCHINO, M. A. **The Pursuit of New Product Development: The Business Development Process**. Elsevier Science & Technology Books, 2006.

ARAÚJO, T.R.; JUGEND, D.; Integration efforts in radical and incremental projects of new product development based on biodiversity: case study in a biotechnology company. **Gestão & Produção**. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA FERROVIÁRIA. **Estatísticas de Produção**. Disponível em: <https://abifer.org.br/dados-setoriais/estatisticas-de-producao/>  
Acesso em: 02 agosto 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11691**: Vagão ferroviário - classificação, identificação e marcação. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12210**: Vagão ferroviário - cálculo da altura do centro de gravidade para tráfego. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16444**: Vagão ferroviário - altura de engate. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12750**: Determinação de característica dimensional de utilização de vagão ferroviário. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12730**: Vagão ferroviário. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16441**: Vagão-tanque ferroviário - Requisitos de projeto. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7634**: Vagão ferroviário. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7518**: Aparelho de Choque e Tração. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13824**: Vagão ferroviário - escotilha - dimensões. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13823**: Vagão ferroviário - espelho - dimensões. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16471**: Freio ferroviário - terminologia. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7766**: Placa indicadora para sistema de freio vazio-carregado de material rodante ferroviário - formas e dimensões. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13825**: Vagão ferroviário - escada e estribo - dimensões. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16086**: Vagão ferroviário - engates, abraçadeiras e haste de ligação - requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16087**: Vagão ferroviário - sistema de choque e tração - componentes e conjunto de engates automáticos, haste de ligação e abraçadeiras. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11688**: Vagão-tanque - classificação. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12783**: Vagão-tanque - marcação. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12945**: Vagão-tanque - GLP e amônia - características principais - bitola métrica. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12740**: Vagão plataforma - características principais - bitola métrica, normal e larga. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12736**: Vagão plataforma - marcação. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12741**: Vagão fechado - características principais - bitola métrica, normal e larga. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12737**: Vagão gôndola - marcação. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12738**: Vagão hopper - marcação. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12944**: Vagão - varão de desengate - localização. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8703**: Vagão-tanque -lista multilíngue de termos equivalentes. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8694**: Roda ferroviária. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11727**: Roda ferroviária. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5565**: Rodeiro ferroviário - classificação, montagem e manutenção. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16622**: Veículo ferroviário - ampara-balanço - parâmetros de referência para montagem, utilização e regulagem. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13902**: Vagão de combate a incêndio - equipamento. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7609**: Vagão ferroviário - dispositivos de segurança. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16387**: Via férrea - classificação de vias. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12385**: Vagão-tanque - domo. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12426**: Vagão-tanque - escada do domo. Rio de Janeiro, 1979.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5587**: Tubos de aço para condução, com rosca ANSI/ASME B1.20.1 - dimensões básicas - padronização. Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5968**: Contêiner - dispositivos de canto. Rio de Janeiro, 1990.

BACK, N. et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008.

BARCZAK, G.; GRIFFIN, A.; KAHN, K. B. Perspective: Trends and Drivers of Success in NPD Practices: Results of the 2003 PDMA Best Practices Study. **Journal of Product Innovation Management**, v. 26, n. 3, p. 3–23, 2009.

BARCZAK, G.; KAHN, K. B. Identifying new product development best practice. **Business Horizons**, v. 55, p. 293–305, 2012.

BRETHAUER, D. **New Product Development and Delivery: Ensuring Successful Products Through Integrated Process Management**, 2002.

BUIJS, J. Processes , from Linear Logic to Circular Chaos. **Creativity and Innovation Management**, v. 12, n. 2, p. 76–93, 2003.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Anuário CNT do Transporte Estatísticas Consolidadas**. 2018. Disponível em: <http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2018/> Acesso em: 02 agosto 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Boletim estatístico - 2019**. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins> Acesso em: 02 agosto 2019.

COOPER, R. G. Perspective: The Stage-Gate Idea-to-Launch Process- What's New, and NexGen Systems. **The Journal Product Innovation Management**, p. 213–232, 2008.

DINDELEUX, J.-J.; DURAND, J.; DELSAUT, S. Design-Integrated Reliability Studies According to Requirements Analysis and Return of Experience The proposed ALSTOM Transport Company " EFICARE " Method. **Reliability and Maintainability**, p. 30–36, 2005.

DING, G. et al. A holistic product design and analysis model and its applications in railway vehicle systems design. **Journal of Engineering Manufacture**, v. 227, p. 173–186.

DRIVA, H.; PAWAR, K. S.; MENON, U. Measuring product development performance in manufacturing organizations. **International Journal of Production Economics**, v. 63, p. 147–159, 2000.

EPPINGER, S.D. et al. A model-based method for organizing tasks in product development. **Research in Engineering Design**, v.6, p. 1–13, 1994.

HELO, P.T. Product configuration analysis with design structure matrix. **Industrial Management & Data Systems**. v. 106, n. 7, p. 997-1011, 2006.

KALPIC, B.; BERNUS, P. Business process modelling in industry - The powerful tool in enterprise management. **Computers in Industry**, v. 47, n. 3, p. 299–318, 2002.

KRISHNAN, V.; LOCH, C. H. A Retrospective Look at Production and Operations Management Articles on New Product Development. **Production and Operations Management**, v. 14, n. 4, p. 433–441, 2005.

KUCZEK, T., SZACHNIEWICZ, B. Topology optimisation of railcar composite structure. **International Journal of Heavy Vehicle Systems**, v. 22, n. 4, p. 375- 385, 2015.

LIU, D. Z.; LIU, M.; ZHONG, P. S. Method of Product Development Process Analysis and Reengineering for Concurrent Engineering. **Materials Science**, v. 471–472, p. 770–774, 2004.

LOCH, C.; KAVADIAS, S. **Handbook of New Product Development Management**. 1. ed. 2008.

MACII, D. et al. A safety instrumented system for rolling stocks : Methodology , design process and safety analysis. **Measurement**, v. 67, p. 164–176, 2015.

MEINEL, D.; PARYANTO, J. F. Methodology towards computer-aided testing of complex mechatronic systems : a case study about assembling a train system. **Procedia CIRP**, v. 41, p. 247–251, 2016.

NIJSSEN, E. J.; LIESHOUT, K. F. M. Awareness, Use and Effectiveness of Models and Methods for New Product Development. **European Journal of Marketing**, v. 29, n. 10, p. 27–44, 1995.

PLACZEK, M.; WRÓBEL, A.; BAIER, A. Computer-aided strength analysis of the modernized freight wagon. **Modern Technologies in Industrial Engineering**, n. 95, 2015.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para a Melhoria do Processo**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

TROTT, P. **Innovation Management and New Product Development**. 3. ed., 2005.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Projeto e desenvolvimento do produto**. [s.l.] McGraw-Hill, 1995.

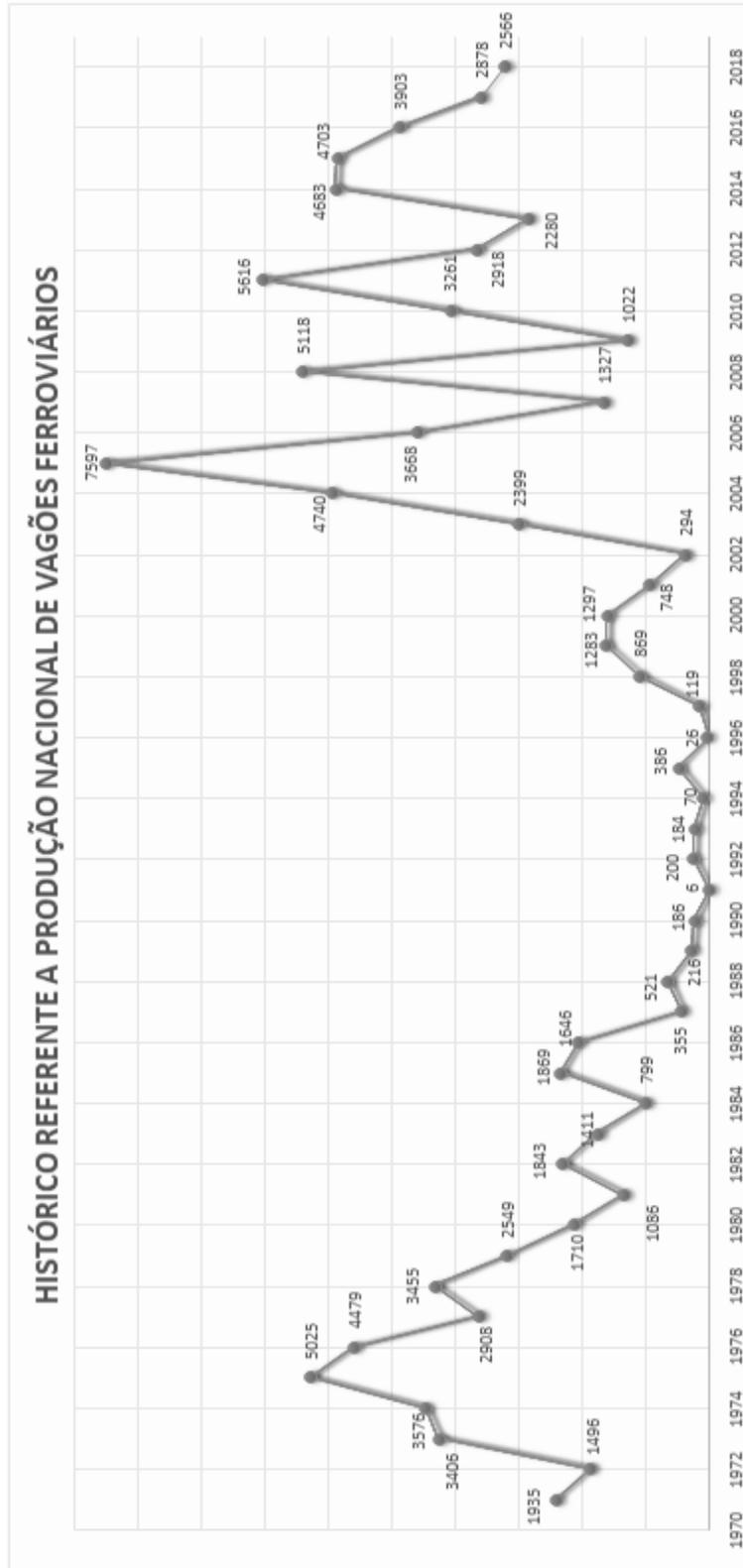
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Biblioteca Universitária. **Template para Dissertação e Tese no formato A4**. Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/197457> Acesso em: 02 agosto 2019.

VARANDAS, A. J.; ZANCUL, E. DE S.; MIGUEL, P. A. C. New product development: examining its evolution and the introduction of environmental issues. **Product Management & Development**, v. 15, n. 1, p. 8–19, 2017.

YOON, S. *et al.* Evaluation of Structural Strength in Body Structure of Freight Car. **Key Engineering Materials**, v. 417-418, p. 181-184. 2010.

WILSON, G. **Six Sigma and The Product Development Cycle**. 1. ed., 2005.

APÊNDICE A – Histórico da produção de vagões no Brasil



Fonte: Adaptado ABIFER (2019)

## APÊNDICE B – Revisão Sistemática da Literatura

Neste apêndice será descrito a revisão sistemática da literatura realizada previamente no início desta pesquisa, com o objetivo de identificar quais são as fases, atividades e tarefas referente ao projeto de vagões ferroviários.

O processo para a seleção dos artigos foi baseado na ferramenta RSL de Conforto et al. (2011) adaptada, conforme Figura 26.

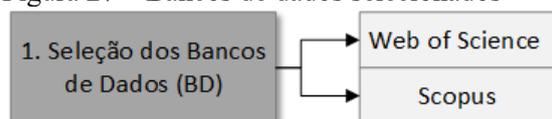
Figura 26 – Sequência da RSL realizada para este projeto de pesquisa

1. Seleção dos Banco de Dados (BD)
2. Identificação dos termos de buscas
3. Combinação dos termos de buscas
4. Busca de artigos nos Bancos de Dados
5. Limitações das buscas de artigos
6. Leitura dos títulos e palavras-chaves
7. Leitura do resumo
8. Leitura da introdução e conclusão
9. Leitura completa
10. Lista de artigos catalogados
11. Realizar a busca cruzada
12. Lista de artigos selecionados

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

Para esta pesquisa foram selecionados dois bancos de dados para a realização da RSL, sendo estes: *Web of Science* e *Scopus*, conforme indicado na Figura 27.

Figura 27 – Bancos de dados selecionados

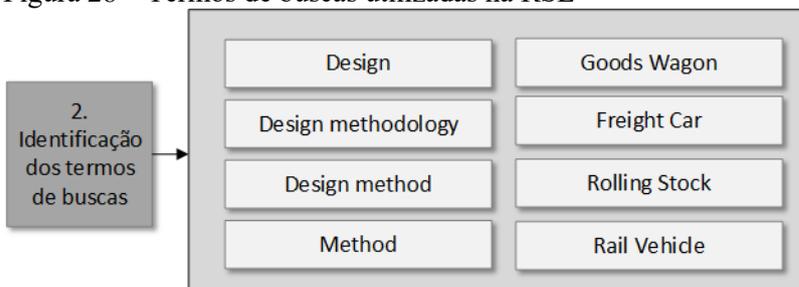


Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

Como o objetivo de selecionar um número elevado de artigos na RSL foi inserido os termos de buscas em língua inglesa, pois as pesquisas realizadas na área ferroviária estão,

sobretudo neste idioma. Os termos de buscas a serem inseridos nas plataformas dos bancos de dados utilizados são: *design*, *method*, *design methodology*, *design method*, *goods wagon*, *freight car*, *rolling stock*, *rail vehicle*, conforme Figura 28.

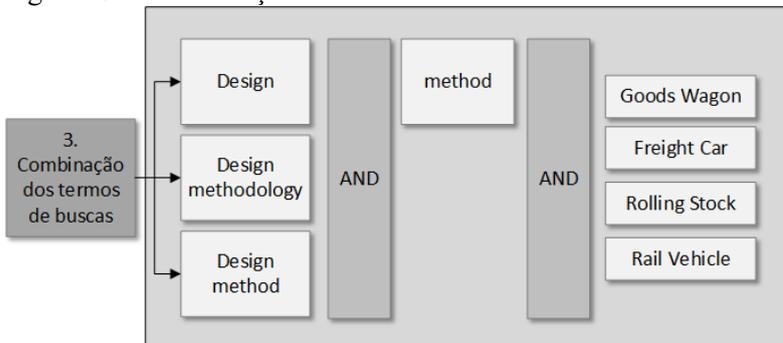
Figura 28 – Termos de buscas utilizadas na RSL



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

Foram geradas doze combinações entre os termos de buscas selecionados, estas combinações estão indicadas na Figura 29.

Figura 29 – Combinações realizadas na RSL



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

Com as combinações dos termos de buscas já indicados foram realizadas as pesquisas nos dois bancos de dados selecionados, os resultados alcançados estão na Figura 30.

Figura 30 – Quantidade de artigos pré-selecionados

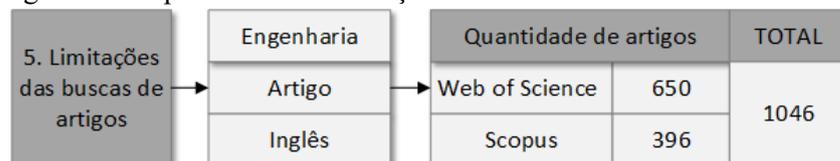
4. Busca de artigos nos Bancos de Dados	Quantidade de artigos		TOTAL
	Web of Science	1384	
Scopus	1369		

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

O primeiro filtro que é realizado na RSL dos artigos pré-selecionados são as limitações de buscas, neste projeto foram identificados 3 limitações, nos quais são:

Engenharia, Artigo e Inglês, com isso ao inserir estas limitações a quantidade de artigos a serem analisados reduziu para 1046, conforme Figura 31.

Figura 31 – Após inserir as limitações nas buscas na RSL



PLATAFORMA DE BUSCAS	NÚMERO	LOGARITMO DE BUSCAS	FILTRO 1		
			ENGENHARIA	INGLÊS	ARTIGO
Scopus	1	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*AND TITLE-ABS-KEY("goods wagon")) (TITLE-ABS-KEY("design method") AND TITLE-ABS-KEY("goods wagon")) )		1	
	2	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("goods wagon")) )		0	
	3	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("goods wagon")) )		1	
	4	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*AND TITLE-ABS-KEY("freight car")) (TITLE-ABS-KEY("design method") AND TITLE-ABS-KEY("freight car")) )		26	
	5	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("freight car")) )		1	
	6	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*AND TITLE-ABS-KEY("rolling stock")) (TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rolling stock")) )		234	
	7	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rolling stock")) )		22	
	8	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rolling stock")) )		16	
	9	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*AND TITLE-ABS-KEY("rail vehicle")) (TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rail vehicle")) )		84	
	10	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rail vehicle")) )		4	
Web of Science	11	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*AND TITLE-ABS-KEY("goods wagon")) (TITLE-ABS-KEY("design method") AND TITLE-ABS-KEY("goods wagon")) )		5	
	12	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("goods wagon")) )		0	
	13	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*AND TITLE-ABS-KEY("goods wagon")) (TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("goods wagon")) )		0	
	14	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("goods wagon")) )		0	
	15	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("goods wagon")) )		23	
	16	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*AND TITLE-ABS-KEY("freight car")) (TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("freight car")) )		1	
	17	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("freight car")) )		0	
	18	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("freight car")) )		0	
	19	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*AND TITLE-ABS-KEY("rolling stock")) (TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rolling stock")) )		215	
	20	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rolling stock")) )		12	
	21	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rolling stock")) )		8	
	22	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*AND TITLE-ABS-KEY("rail vehicle")) (TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rail vehicle")) )		363	
	23	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rail vehicle")) )		18	
	24	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rail vehicle")) )		10	

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

Na fase posterior da RSL foram identificados os títulos e palavras-chaves dos artigos pré-selecionados, consequentemente foram verificados se estavam alinhados com o assunto deste trabalho, além de retirar os artigos que contém duplicidade nas duas plataformas de buscas selecionadas, portanto a quantidade de artigos a serem analisados reduziu para 110, conforme Figura 32.

Figura 32 – Após a leitura dos títulos e palavras-chaves na RSL

6. Leitura dos títulos e palavras-chaves	Quantidade de artigos		TOTAL
	Web of Science	70	110
Scopus	40		

PLATAFORMA DE BUSCAS	NÚMERO	LOGARITMO DE BUSCAS	LEITURA TÍTULO PALAVRAS-CHAVES	CÓDIGO
Scopus	1	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*)AND TITLE-ABS-KEY("goods wagon"))	1	A1
	2	(TITLE-ABS-KEY ("design method") AND TITLE-ABS-KEY ("goods wagon" ))	-	-
	3	(TITLE-ABS-KEY ("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY ("goods wagon" ))	-	Duplicidade (A1)
	4	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*)AND TITLE-ABS-KEY("freight car" ))	11	A2-A12
	5	(TITLE-ABS-KEY("design method") AND TITLE-ABS-KEY("freight car"))	-	Duplicidade
	6	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("freight car"))	-	Duplicidade
	7	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*)AND TITLE-ABS-KEY("rolling stock"))	20	A13-A32
	8	(TITLE-ABS-KEY("design method") AND TITLE-ABS-KEY("rolling stock"))	-	Duplicidade
	9	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rolling stock"))	-	Duplicidade
	10	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*)AND TITLE-ABS-KEY("rail vehicle"))	8	A33-A40
	11	(TITLE-ABS-KEY("design method") AND TITLE-ABS-KEY("rail vehicle"))	-	-
	12	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rail vehicle"))	-	-
	13	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*)AND TITLE-ABS-KEY("goods wagon"))	-	-
	14	(TITLE-ABS-KEY ("design method") AND TITLE-ABS-KEY (" goods wagon" ))	-	-
	15	(TITLE-ABS-KEY ("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY (" goods wagon" ))	-	-
	16	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*)AND TITLE-ABS-KEY("freight car" ))	7	A41-A47
	17	(TITLE-ABS-KEY("design method") AND TITLE-ABS-KEY("freight car"))	-	-
Web of Science	18	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("freight car"))	-	-
	19	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*)AND TITLE-ABS-KEY("rolling stock"))	26	A62-A87
	20	(TITLE-ABS-KEY("design method") AND TITLE-ABS-KEY("rolling stock"))	3	A48-A50
	21	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rolling stock"))	5	A51-A55
	22	(TITLE-ABS-KEY(design) AND TITLE-ABS-KEY(method*)AND TITLE-ABS-KEY("rail vehicle"))	23	A88-A110
	23	(TITLE-ABS-KEY("design method") AND TITLE-ABS-KEY("rail vehicle"))	3	A56-A58
	24	(TITLE-ABS-KEY("design methodology") AND TITLE-ABS-KEY("rail vehicle"))	3	A59-A61

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

Foram realizados a leitura dos resumos dos artigos pré-selecionados, com isso estes artigos foram classificados em cinco categorias, tais como: simulação de componentes de veículos ferroviários, estudos sobre ruído e vibração provocado por vagões, estudo da estabilidade do veículo ferroviário, projeto estrutural do vagão e por fim metodologia para o desenvolvimento de veículos ferroviários, conforme Figura 33.

Figura 33 – Classificação dos artigos pré-selecionados na RSL

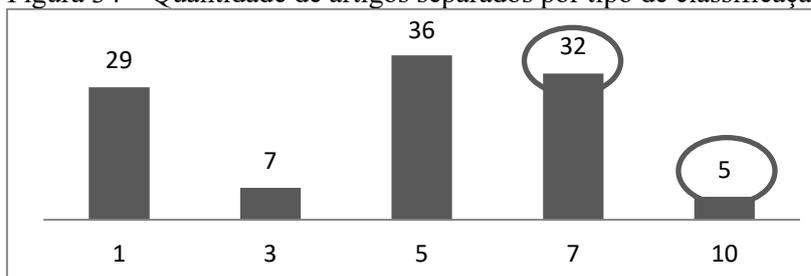
Classificação	Descrição	Scopus	Web of Science
1	Simulação de componentes	6	23
3	Estudo da vibração e ruído	5	2
5	Estudo da estabilidade	17	19
7	Projeto estrutural	10	22
10	Metodologia de desenvolvimento	1	4
TOTAL		40	70

7. Leitura do resumo e classificação

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

Como foram somente 5 artigos selecionados com a classificação 10 no qual abordam o assunto principal desta pesquisa, conseqüentemente para aumentar o espectro deste projeto, os artigos classificados com o índice 7 também foram selecionados para a leitura completa, por fim sendo selecionados 37 artigos. Na Figura 34 demonstra a quantidade de artigos para cada tipo de classificação.

Figura 34 – Quantidade de artigos separados por tipo de classificação



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

Com o objetivo de selecionar outros artigos referente ao tema desta pesquisa foram realizadas as pesquisas cruzadas, somente com os artigos classificados com o índice 10, com isso foram selecionados outros 3 artigos, conseqüentemente, totalizando 40 artigos no processo da RSL. A lista contendo os artigos selecionados está apresentada na Tabela 18.

Tabela 18 – Artigos selecionados na RSL deste projeto

	TÍTULO DO ARTIGO	ANO	AUTOR	CIT.
1	A holistic product design and analysis model and its applications in railway vehicle systems design	2012	Ding, G.	4
2	Methodology towards computer-aided testing of complex mechatronic systems: a case study about assembling a train system	2016	Meinel, D.	0
3	A safety instrumented system for rolling stocks: methodology, design process and safety analysis	2015	Macii, D.	1
4	Method of product development process analysis and reengineering for concurrent engineering	2004	Liu, D.Z.	2
5	Design-integrated reliability studies according to requirements analysis and return of experience the proposed ALSTOM transport company "EFICARE" method	2005	Dindeleux, J.J.	0
6	Buying and selling ergonomics at Netherlands Railways	2007	Bosman, J.	0
7	Optimum design of the sides of a railroad car	1980	Haftka, R.T.	2
8	A CAE-integrated distributed collaborative design system for finite element analysis of complex product based on SOOA	2010	Yu, J.	27
9	Knowledge-based configuration design of a train bogie	2010	Lee, J.	5
10	Design and analysis of a composite energy-absorbing structure for use on railway vehicles	2015	Xie, S.	1
11	A material selection method for a hybrid box-type bodyshell with cut-outs using an equivalent bodyshell model without cut-outs	2013	Cho, J.	1
12	Design of car body by the method of structural optimization	2018	Takagaki, M.	0
13	A study of the effect of the transition curve in the coupling elements between the carbody and the bogie	2014	Martinod, R.M.	1
14	Structural diagnosis of rail vehicles and method for redesign	2014	Aristizabal, M.	6
15	Multi-functional design of a composite high-speed train body structure	2014	Wennberg, D.	5
16	Application of manufacturing constraints to structural optimization of thin-walled structures	2015	Kuczek, T.	2
17	Computer-aided strength analysis of the modernized freight wagon	2015	Placzek, M.	13
18	A study on the structural fracture of body structure in railroad car	2014	Yoon, S.C.	0
19	Evaluation of structural strength in body structure of freight car	2010	Yoon, S.C.	2
20	Structural safety assessment of railway freight car during static loading	2008	Jeongguk, K.	1
21	Fatigue design approach for the spot-welded T-type member using a simulated single spot-welded joint	2008	Bae, D.H.	2
22	Topology optimisation of railcar composite structure	2015	Kuczek, T.	0
23	Design of the lower chassis of a monorail personal rapid transit (MPRT) car using the evolutionary structural optimization (ESO) method	2016	Li, C.H.G.	0
24	A lightweight design approach for an EMU carbody using a material selection method and size optimization	2016	Cho, J.G.	2
25	A concept of technology for freight wagons modernization	2017		0
26	Force analysis on the opening/closing mechanism in the door of coal hopper car based on the matrix method	2012	Placzek, M.	0
27	Crash and structural analyses of an aluminium railroad passenger car	2012	Wan, C.	11
28	Research of high speed train carbody structure vibration behaviors and structure fatigue strength characteristic technology	2012	Baykasoglu, C.	1
29	Design and calculation of a railway car composite roof under concrete cube crash	2011	Miao, B.R.	4
30	Research of modern railway vehicle structure fatigue design method based on multibody dynamic simulation	2010	Cuartero, J.	2
31	Theoretical method for predicting the weight reductions rate of a box-type car body for rolling stock by material substitution design	2009	Miao, B.R.	5
32	Crashworthiness design and evaluation on the leading-cab structure of rolling stock using topology optimization	2009	Koo, J.S.	6
33	Train passenger car floor panel testing using digital image correlation and strain gauges and comparison with finite element modelling	2016	Kim, H.J.	1
34	The basic performance analysis of the rail vehicle body	2013	Braga, D.F.O.	0
35	Manufacturing and structural safety evaluation of a composite train carbody	2007	Ju, J.	42
36	Structural validation of railway bogies and wagons using finite elements tools	2005	Kim, J.S.	1
37	Application of friction stir welding to construction of railway vehicles	2004	Román, J.L.S.	11
38	Multibody dynamic simulation in product development	2001	Kawasaki, T.	-
39	Object-oriented modeling and simulation of railway vehicle systems	2010	Larsson, T.	-
40	A requirement-driven product development process	2004	He, Y.	3

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

Após a análise desta lista identifica-se que estes artigos selecionados na RSL têm 164 citações em outros trabalhos, porém os artigos que abordam parcialmente sobre o tema deste

trabalho apresentam somente 7 citações, identifica-se com isso que existem poucos artigos que tratam sobre metodologia para o projeto de vagões ferroviários, reiterando a importância deste trabalho de pesquisa. Cerca de 87% das citações identificadas na RSL foram resultados de 12 artigos, sendo que 11 artigos foram classificados com o índice 7, que abordam sobre o simulação do projeto estrutural de um veículo ferroviário, conforme Tabela 19.

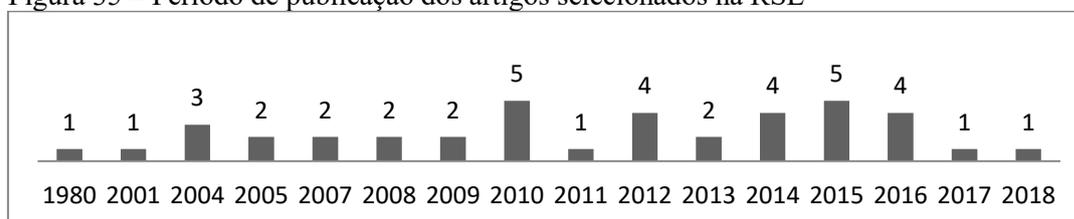
Tabela 19 – Lista de artigos da RSL contendo o maior número de citações

TÍTULO DO ARTIGO	ANO	CIT
Manufacturing and structural safety evaluation of a composite train carbody	2007	42
A CAE-integrated distributed collaborative design system for finite element analysis of complex product based on SOOA	2010	27
Computer-aided strength analysis of the modernized freight wagon	2015	13
Crash and structural analyses of an aluminium railroad passenger car	2012	11
Application of friction stir welding to construction of railway vehicles	2004	11
Structural diagnosis of rail vehicles and method for redesign	2014	6
Crashworthiness design and evaluation on the leading-cab structure of rolling stock using topology optimization	2009	6
Multi-functional design of a composite high-speed train body structure	2014	5
Knowledge-based configuration design of a train bogie	2010	5
Theoretical method for predicting the weight reductions rate of a box-type car body for rolling stock by material substitution design	2009	5
A holistic product design and analysis model and its applications in railway vehicle systems design	2012	4
Design and calculation of a railway car composite roof under concrete cube crash	2011	4

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

Nestes artigos selecionados através da RSL identifica-se que cerca 73% destes foram publicados no intervalo entre 2009-2019, comprovando que publicações e estudos na área de engenharia ferroviária são relativamente recentes, todavia os artigos classificados com o índice 10 que abordam sobre desenvolvimento de vagões ferroviários aproximadamente 60% foram publicados no intervalo entre 2009-2019. A Figura 35 demonstra a quantidade de artigos separados por ano de publicação da RSL realizada.

Figura 35 – Período de publicação dos artigos selecionados na RSL

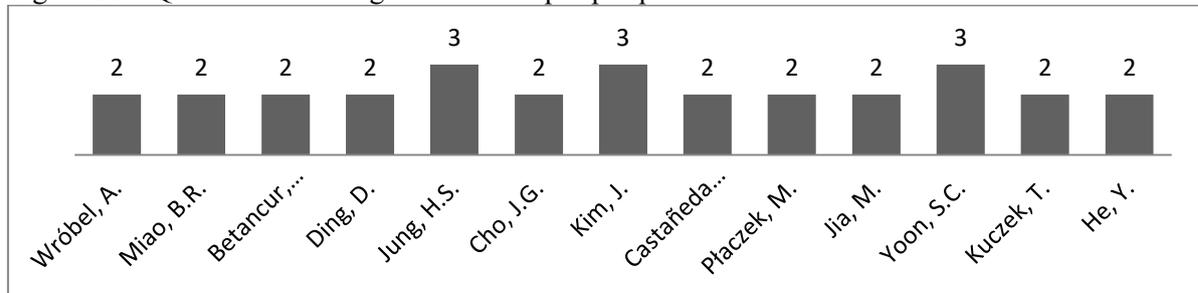


Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

Dos quarenta artigos selecionados foram identificados 120 autores, deste grupo foram identificados 13 autores que publicaram acima de 2 artigos sobre desenvolvimento de

vagões identificados na RSL conforme Figura 36, porém os que se destacam são: Hyun Seung Jung, Jeongguk Kim e Sung-Cheol Yoon.

Figura 36 – Quantidade de artigos realizados por pesquisadores através da RSL



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

As publicações identificadas pela RSL com a classificação 10 estão identificadas na Tabela 20 abaixo. Estes são os artigos que retratam sobre o desenvolvimento de vagões ferroviários que este trabalho pretende abordar. Nesta tabela estão identificados também os periódicos em que estes foram publicados.

Tabela 20 – Artigos que abordam parcialmente o objetivo deste trabalho

TÍTULO DO ARTIGO	ANO	PERIÓDICO
A holistic product design and analysis model and its applications in railway vehicle systems design	2012	Proc IMechE Part B: Journal of Engineering Manufacture
Methodology towards computer-aided testing of complex mechatronic systems: a case study about assembling a train system	2016	Procedia CIRP Conference on Manufacturing systems
A safety instrumented system for rolling stocks: methodology, design process and safety analysis	2015	Measurement
Method of product development process analysis and reengineering for concurrent engineering	2004	Materials Science Forum
Design-integrated reliability studies according to requirements analysis and return of experience the proposed ALSTOM transport company "EFICARE" method	2005	Annual Reliability and Maintainability Symposium

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

Como resultado da RSL realizada, foram indicados na Tabela 21 todos os artigos separados por atuação, tais como: Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Detalhado e Método.

Tabela 21 – Resultado da RSL

	CÓDIGOS DOS ARTIGOS
<b>Informacional</b>	1;2;6;10;22;29;31;40
<b>Conceitual</b>	2;3;4;5;9;16;25;26;31;33;40
<b>Detalhado</b>	1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21;22;23;24;25;26;27;28;29;30;31;32;33;34;35;36;37;38;39;40
<b>Método</b>	1;2;3;4;5;40

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

## APÊNDICE C – Codificação do grupo A

Tabela 22 – Codificação do grupo A (X1 e X2 - tipo e subtipo do vagão)

Tipo	X1	Característica do vagão	X2	X1X2
Fechado	F	Metálico, com revestimento interno	R	FR
		Metálico, sem revestimento interno	S	FS
		Com superestrutura inteiramente de madeira ou madeira contra ventada por montantes metálicos	M	FM
		Dotado de escotilha	E	FE
		Dotado de escotilha e tremonha	H	FH
		Com carga exclusiva pelo fundo	F	FF
		Dotado de porta para carga e descarga de grande volume e/ou utilização de equipamentos mecânicos de carga e descarga	L	FL
		Destinado ao transporte de produto corrosivo a granel, com porta lateral basculante e fundo em lombo de camelo	P	FP
		Com escotilha, porta basculante e fundo em lombo de camelo e não apropriado ao transporte de produto corrosivo	B	FB
		Com caixa formada por módulos telescópios	T	FT
		Dotado de abertura para a circulação do ar em seu interior	V	FV
		Isotérmico sem equipamento de refrigeração	I	FI
		Isotérmico com equipamento de refrigeração	G	FG
Outros	Q	FQ		
Grândola	G	Com borda e fundos fixos, para carga com giro	D	GD
		Com borda e fundos fixos, dotados de porta lateral	P	GP
		Com borda fixa e fundo dotado de porta articulada	F	GF
		Com borda e fundo fixos, dotados de abertura removível	M	GM
		Com borda doada de articulação em sua parte inferior e fundo fixo	T	GT
		Com borda dotada de porta articulada em parte inferior e fundo fixo	S	GS
		Com borda articulada ou porta articulada em sua parte inferior e fundo fixo em lombo de camelo	H	GH
		Com borda articulada ou porta articulada em sua parte inferior e fundo fixo em lombo de camelo, provido de cobertura removível	C	GC
		Com borda e fundo fixo, dotado de dispositivo que permita a inclinação lateral de sua caixa para descarga (basculante)	B	GB
Outros	Q	GQ		
Hopper	H	Fechado, dotado de escotilha e tremonha	F	HF
		Fechado, dotado de escotilha e tremonha, com revestimento para transporte de produto corrosivo	P	HP
		Em forma de tanque, dotado de comportas centrais na parte inferior, para a descarga, acionadas ou não por equipamentos pneumáticos, com revestimento para o transporte de produto corrosivo	E	HE
		Em forma de tanque, dotado de comportas centrais na parte inferior, para a descarga, acionadas por equipamentos pneumáticos	T	HT
		Aberto dotado de tremonha	A	HA
		Outros	Q	HQ
Plataforma	P	Com assoalho de madeira	M	PM
		Com assoalho metálico	E	PE
		Dotado de dispositivo apropriado a cofre de carga	D	PD
		Especial para transporte de cofre de carga	C	PC
		Dotado de estrabo rebaixado e destinado ao transporte de volumes em dimensão especial	R	PR
		Dotado de dispositivo para o transporte de veículos ferroviários	T	PT
		Dotado de dispositivo de transporte de carreta ou semirreboque	G	PG
		Dotado de cabeceira	P	PP
		Especial para transporte de bobinas	B	PB
		Dotada de dois pavimentos, para transporte de automóvel	A	PA
Outros	Q	PQ		
Tanque	T	Para líquido	C	TC
		Para produtos de densidade elevada, necessitando de aquecimento para descarga	S	TS
		Para produtos pulverulento, dotado de dispositivo pneumático para descarga	P	TP
		Para produto corrosivo, dotado de revestimento e com porta central, na parte inferior, para descarga ou não por equipamento pneumático	F	TF
		Para produtos corrosivos líquidos, com tanque de material especial	A	TA
		Para produtos de elevada pressão	G	TG
Outros	Q	TQ		

Tabela 23 – Codificação do grupo A (X3- bitola e peso bruto)

Dimensão nominal da Manga		Peso Bruto (kg)	Letra de designação (X3)	
mm	polegada		Bitola 1,00 m	Bitola 1,60 m
95 x 178	3 3/4 x 7	30000	A	O
108 x 203	4 1/4 x 8	47000	B	P
127 x 229	5 x 9	64000	C	Q
140 x 254	5 1/2 x 10	80000	D	R
152 x 280	6 x 11	100000	E	S
165 x 228	6 1/2 x 9	120000	F	T
165 x 228	6 1/2 x 9	130000	F	T
165 x 305	6 1/2 x 12	120000	F	T
165 x 305	6 1/2 x 12	130000	F	T
178 x 305	7 x 12	140000	G	U
178 x 305	7 x 12	150000	G	U
184 x 228	7 1/4 x 9	140000	G	U
184 x 228	7 1/4 x 9	150000	G	U
165 x 228	6 1/2 x 9	> 150000 (c)	H	V

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

## APÊNDICE D – Componentes do truque

Tabela 24 – Componentes do truque e suas funções

Nº	PEÇA	FUNÇÃO
1	Lateral	Realizar o encaixe das travessas centrais do vagão
2	Travessa central	Posicionar em sua face superior o prato pião e dois ampara-balanços
2.1	Ampara-balanço	Manter o equilíbrio do vagão
2.1.1	Coxim	Alojar as castanhas do ampara-balanço
2.1.2	Castanha do ampara-balanço	Absorver o desgaste vertical provocado pelo giro do truque
2.2	Prato pião inferior	Encaixar do prato pião superior no qual permita o giro do truque em curvas
2.2.1	Pino de centro	Realizar o acoplamento do truque ao estrado
2.2.2	Anel de desgaste	Absorver o desgaste lateral proveniente da rotação do truque em curvas
2.2.3	Disco de desgaste	Absorver o desgaste vertical proveniente da rotação do truque em curvas
3	Suspensão	
3.1	Cunhas de fricção	Manter a travessa central devidamente encaixada com as laterais, realizando o amortecimento das variações de movimento e de carga
3.2	Molas da cunha de fricção	Atuar nas cunhas de fricção, para realizar o amortecimento das variações de movimento e de carga
3.3	Molas do truque	Amortecer o vagão e retirar sua rigidez
4	Mancais	Transmitir todo o peso do vagão para a manga do eixo, permitindo que o rodeiro gire com baixo atrito entre a manga e o mancal
4.1	Rolamentos	Pode ser do tipo caixa ou do tipo cartucho,
4.2	Fricção	Trabalham diretamente na manga de eixo, porém está em desuso devido a baixa confiabilidade
5	Rodeiros	Suportar todo o peso do vagão por meio de rolamentos e da manga do eixo é composto pelo conjunto por um eixo, duas rodas e dois rolamentos. É um dos elementos primordiais do truque, deve-se ter bastante atenção do setor de manutenção, sobretudo nas áreas que sofrem desgastes provenientes do uso, atrito e irregularidades da via permanente.
5.1	Eixo	É a parte do rodeiro onde são fixados as rodas e os rolamentos, tem como funcionalidade promover a união das rodas do truque.
5.2	Rodas	Transmitir todo o peso do vagão para a via permanente, além de permitir a frenagem e a guiagem do vagão.
6	Timoneria de freio	Transmitir e multiplicar a força aplicada no cilindro de freio à superfície de rolamento das rodas com objetivo de frear o vagão.
6.1	Triângulo de freio	Atuar nas duas rodas com o objetivo de frenagem do truque, além de posicionar a montagem da alavanca de força
6.1.1	Contra-sapata	Servem para acomodar a sapata de freio
6.1.2	Chapa de desgaste	Absorver o desgaste do atrito do movimento horizontal do triângulo de freio
6.1.3	Chaveta	Prender a sapata nas contra-sapata
6.1.4	Barra de compressão	Interligar e transferir força para o acionamento dos triângulos de freio
6.1.5	Alavanca de força	Concentrar a força para o acionamento do triângulo de freio
6.1.6	Setor de graduação	Nivelar a distância entre a sapata e a roda, devido ao desgaste ocorrido na sapata
6.1.7	Pinos e contrapinos	Fixar a grande maioria das peças móveis da timoneria
7	Sapata de freio	Reduzir a velocidade do veículo por meio do atrito

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

## APÊNDICE E – Componentes do ACT e sistema de freio

Tabela 25 – Componentes do conjunto aparelho choque e tração

PEÇA		FUNÇÃO
Engate fixo	Corpo do engate	Possibilitar o acoplamento e o desacoplamento entre os vagões é considerado a maior peça do aparelho de engate
	Mandíbula	Acoplar os vagões e absorver os impactos dos ajustes de folgas dos engates
	Castanha da mandíbula	Realizar o travamento da mandíbula no impacto de acoplamento entre os vagões, ou quando acionada pela alavanca de manobra, possibilita o destravamento da mandíbula ocorrendo o desengate entre os vagões
	Levantador da castanha	Levantar a castanha da mandíbula realizando o desengate entre os vagões
	Acionador da mandíbula	Abrir a mandíbula quando a castanha é levantada pelo levantador da castanha
	Pino da mandíbula	Fixar a mandíbula no corpo do engate
	Rotor	Transmitir o movimento ao levantador da mandíbula quando a alavanca de manobra é acionada
Conjunto de choque		Absorver os choques de tração e compressão
Acessórios de choque e tração	Chapa de desgaste	Absorver o desgaste proveniente do atrito entre o engate e o espelho, além de manter o engate na altura correta
	Espelho	Proteger a longarina central de impactos elevados que causem deformação nestas estruturas, além de servir como suporte para o corpo do engate
	Chaveta	Realizar o travamento do engate à longarina central
	Pino e contrapino	Fixar os componentes do sistema de choque e tração
	Alavanca de manobra	Realizar o desgaste

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Tabela 26 – Sistema de freio e suas funções

PEÇA		FUNÇÃO
Parte pneumática	Mangueira do encanamento geral	Permitir a passagem do ar, além de dar continuidade ao encanamento entre os vagões
	Engate cego	Proteger a mangueira do encanamento geral de avarias e da entrada de impurezas no sistema
	Torneiras angular e reta	Interromper o fluxo de ar no sistema
	Encanamento geral	Conduzir o ar pressurizado para todo o sistema de freio entre as cabeceiras do vagão
	Torneira combinada com coletor de pó	Interromper o fluxo de ar para a válvula de controle e proteger esta válvula na entrada de impurezas
	Válvula de controle	Aplicar os freios do vagão mediante a variação de pressão, além de realizar o carregamento dos reservatórios auxiliares e de emergência
	Reservatório combinado auxiliar e de emergência	Armazenar o ar pressurizado vindo da locomotiva dos vagões, somente ser utilizado em aplicações de serviço e emergência
	Cilindro de freio	Receber a pressão do ar do reservatório do vagão e gerar uma força para ser transmitida para à timoneria de freio
	Válvula retentora de alívio	Controlar o alívio do cilindro do freio, com o objetivo de que os freios não sejam soltos rapidamente, para que a pressão do encanamento geral do trem seja recuperada
	Dispositivo vazio-carregado	Alterar a taxa de frenagem do vagão em função de estar carregado ou vazio
Timoneria	Alavanca de distribuição de força da timoneria	Transmitir aos tirantes a força aplicada pelo cilindro de freio ou pelo freio manual
	Ajustador automático de folga	Ajustar as folgas do desgaste da sapata, além de manter o curso padrão do cilindro de freio
	Comutador de vazio-carregado	Alterar a taxa de frenagem do vagão em função de estar carregado ou vazio
	Tirantes de freio	Transmitir para as alavancas de força do triângulo de freio as forças recebidas pela alavanca de distribuição da força da timoneria
Freio manual		Exercer a força diretamente para a timoneria, com o intuito de manter o vagão frenado

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

## APÊNDICE F – DSM do projeto informacional

Tabela 27 – Tarefas do DSM do projeto informacional

1	Identificar tipo de projeto do vagão
2	Descrever a problemática do cliente
3	Identificar quais serão os envolvidos no projeto do vagão ferroviário
4	Realizar o cronograma do projeto
5	Realizar reunião para apresentação do projeto informacional
6	Identificar se o projeto apresenta viabilidade econômica
7	Identificar a liberação parcial do projeto informacional
8	Identificar o cliente solicitante do projeto
9	Identificar o tipo de carga a ser transportada
10	Identificar se a carga a ser transportada é considerada perigosa
11	Realizar a classificação da carga, no caso se for considerada perigosa
12	Identificar a densidade da carga (kg/m <sup>3</sup> )
13	Identificar o tipo do vagão a ser projetado
14	Identificar o percurso a ser realizado
15	Identificar a concessão ferroviária
16	Descrever os pontos críticos no percurso a ser realizado
17	Identificar a bitola (mm)
18	Identificar o perfil do trilho
19	Identificar o limite por eixo da via permanente (kg)
20	Identificar a carga máxima nominal por eixo (kg)
21	Identificar o vagão
22	Identificar quantidades de eixos por truque
23	Identificar o truque
24	Identificar a meta de carga (kg)
25	Identificar a altura nominal dos engates (mm)
26	Identificar o recebimento do mapa da via permanente
27	Realizar a classificação da via permanente
28	Descrever as obras de arte no percurso entre origem/destino
29	Identificar a altura máxima (mm)
30	Identificar a largura máxima (mm)
31	Identificar a altura útil (mm)
32	Identificar a largura útil (mm)
33	Identificar o comprimento útil (mm)
34	Identificar a área útil (m <sup>2</sup> )
35	Identificar o volume útil (m <sup>3</sup> )
36	Identificar a tara (kg)
37	Identificar o material (estrutura)
38	Identificar o material (superestrutura)
39	Identificar o programa de simulação estrutural
40	Identificar o programa de simulação referente à dinâmica
41	Identificar a velocidade máxima autorizada no percurso (trem carregado)
42	Identificar a velocidade média autorizada (trem vazio)
43	Identificar o raio mínimo de curva (m)
44	Identificar a rampa máxima crescente (%)
45	Identificar a rampa máxima decrescente (%)
46	Identificar a quantidade de vagões permitida no percurso
47	Identificar o comprimento máximo da composição ferroviária (vagões + locomotivas)
48	Descrever os pontos críticos do projeto
49	Descrever os processos de manufatura
50	Descrever os fornecedores
51	Identificar o término do projeto informacional

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).



## APÊNDICE G – DSM do projeto conceitual

Tabela 29 – Tarefas do DSM do projeto conceitual

1	Atualizar cronograma do projeto do vagão
2	Realizar a reunião para apresentação do projeto conceitual
3	Realizar a revisão do projeto conceitual
4	Identificar a liberação parcial do projeto conceitual
5.1	Identificar as funções principais do truque
5.2	Identificar as funções principais do engate
5.3	Identificar as funções principais do aparelho de choque e tração (ACT)
5.4	Identificar as funções principais do sistema de freio
5.5	Identificar as funções principais da estrutura
5.6	Identificar as funções principais da superestrutura
6.1	Analisar em comprar ou fazer o truque
6.2	Analisar em comprar ou fazer o engate
6.3	Analisar em comprar ou fazer o ACT
6.4	Analisar em comprar ou fazer o sistema de freio
6.5	Analisar em comprar ou fazer a estrutura
6.6	Analisar em comprar ou fazer a superestrutura
7.1	Identificar fornecedores do truque
7.2	Identificar fornecedores do engate
7.3	Identificar fornecedores do ACT
7.4	Identificar fornecedores do o sistema de freio
7.5	Identificar fornecedores da estrutura
7.6	Identificar fornecedores da superestrutura
8.1	Identificar os processos de manufatura dos itens que serão desenvolvidos internamente (truque)
8.2	Identificar os processos de manufatura dos itens que serão desenvolvidos internamente (engate)
8.3	Identificar os processos de manufatura dos itens que serão desenvolvidos internamente (ACT)
8.4	Identificar os processos de manufatura dos itens que serão desenvolvidos internamente (sistema de freio)
8.5	Identificar os processos de manufatura dos itens que serão desenvolvidos internamente (estrutura)
8.6	Identificar os processos de manufatura dos itens que serão desenvolvidos internamente (superestrutura)
9	Identificar o limite por eixo da via permanente
10	Identificar a bitola da via permanente
11	Identificar a quantidades de truques por vagão
12	Realizar o benchmark para seleção dos truques
13	Identificar o fornecedor do truque selecionado
14	Identificar o modelo e código do truque selecionado
15	Identificar a bitola
16	Identificar o limite por eixo do truque selecionado
17	Identificar o dimensional nominal das mangas
18	Identificar o diâmetro da roda
19	Identificar a distância entre eixos
20	Identificar o diâmetro do prato pião
21	Identificar o menor raio de curvatura em serviço
22	Identificar a velocidade de trabalho alcançada
23	Identificar a massa do truque
24	Realiza o desenho conceitual prévio do truque
25	Estimar o custo unitário do truque
26	Selecionar o tipo de engate
26	Identificar a haste de ligação
28	Identificar a rotação da haste de ligação
29	Identificar o tipo de operação do engate
30	Identificar o modelo do conjunto do engate
31	Realizar o benchmark para a seleção dos engates e aparelho de choque e tração
32	Identificar o fornecedor do conjunto engate e sistema choque e tração
33	Realizar a classificação do aparelho de choque e tração
34	Identificar a massa do conjunto engate e sistema de choque e tração
35	Realizar o desenho conceitual prévio do engate e do sistema choque e tração

Tabela 29 – Tarefas do DSM do projeto conceitual – (continuação)

36	Estimar o custo unitário do engate e do sistema choque e tração
37	Identificar o material da estrutura
38	Realizar o benchmark para seleção dos materiais da estrutura
39	Identificar o fornecedor do material da estrutura selecionado
40	Identificar os dados técnicos do perfil utilizado nas longarinas que sustentam os truques
41	Identificar os dados técnicos do perfil utilizado nas longarinas centrais
42	Identificar os dados técnicos das travessas
43	Identificar os dados técnicos dos reforços estruturais
44	Identificar a massa total da estrutura
45	Realizar o desenho conceitual prévio da estrutura
46	Estimar o custo da estrutura
47	Identificar o material da superestrutura
48	Realizar o benchmark para seleção dos materiais da superestrutura
49	Identificar o fornecedor do material da superestrutura
50	Identificar o tipo do vagão projetado
51	Identificar a altura do vagão
52	Identificar a largura do vagão
53	Identificar o comprimento do vagão
54	Identificar o dimensionamento das laterais
55	Identificar o dimensionamento das cabeceiras
56	Identificar o dimensionamento do fundo
57	Identificar o dimensionamento da cobertura
58	Identificar o dimensionamento do tanque
59	Identificar os elementos de segurança
60	Identificar a massa total da superestrutura
61	Realizar o desenho conceitual prévio da superestrutura
62	Estimar o custo da superestrutura
63	Identificar o tipo do sistema de freio a ser utilizado no projeto do vagão
64	Realizar o benchmark para seleção do sistema de freio
65	Identificar o fornecedor do sistema de freio selecionado
66	Identificar a massa estimada do sistema de freio
67	Realizar o desenho conceitual prévio do sistema de freio
68	Estimar o custo da do sistema de freio
69	Propor alternativas contendo princípios inovativos (estrutural, material, revestimento)
70	Descrever os princípios inovativos observados
71	Selecionar a arquitetura inovativa mais adequada para o projeto
72	Analisar tecnicamente o princípio inovativo selecionado
73	Identificar a aprovação ou reprovação técnica
74	Realizar o desenho conceitual prévio dos princípios inovativos
75	Estimar o custo dos princípios inovativos
76	Descrever os pontos críticos no projeto
77	Identificar o término do projeto conceitual

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).



## APÊNDICE H – DSM do projeto detalhado

Tabela 31 – Tarefas do DSM do projeto detalhado

1	Atualizar cronograma do projeto
2	Realizar a reunião para apresentação referente ao projeto detalhado
3	Revisar o projeto detalhado
4.1	Aprovação da viabilidade econômica do truque
4.2	Aprovação da viabilidade econômica do conjunto engate e ACT
4.3	Aprovação da viabilidade econômica do sistema de freio
4.4	Aprovação da viabilidade econômica da estrutura
4.5	Aprovação da viabilidade econômica da superestrutura
5.1	Confirmar o modelo do truque selecionado para o projeto do vagão
5.2	Confirmar o modelo do conjunto engate e ACT selecionado para o projeto do vagão
5.3	Confirmar o modelo do sistema de freio para o projeto do vagão
5.4	Confirmar o modelo da estrutura para o projeto do vagão
5.5	Confirmar o modelo da superestrutura para o projeto do vagão
6.1	Desenvolver desenhos detalhados (3D/2D) do truque
6.2	Desenvolver desenhos detalhados (3D/2D) do conjunto engate e ACT
6.3	Desenvolver desenhos detalhados (3D/2D) do sistema de freio
6.4	Desenvolver desenhos detalhados (3D/2D) da estrutura
6.5	Desenvolver desenhos detalhados (3D/2D) da superestrutura
6.6	Desenvolver desenhos detalhados (3D/2D) do princípio inovativo
7.1	Realizar a simulação I: Análise de tração no engate
7.2	Realizar a simulação II: Análise de compressão no engate
7.3	Realizar a simulação III: Análise do içamento na haste do engate de uma de suas extremidades (carga morta)
7.4	Realizar a simulação IV: Análise sem truques nos apoios laterais da travessa do pião (carga morta)
7.5	Realizar a simulação V: Análise da força de impacto (carga morta)
8.1	Realizar a lista de materiais do truque
8.2	Realizar a lista de materiais do conjunto engate e ACT
8.3	Realizar a lista de materiais do sistema de freio
8.4	Realizar a lista de materiais da estrutura
8.5	Realizar a lista de materiais da superestrutura
8.6	Realizar a lista de materiais do princípio inovativo
8.7	Realizar a lista de materiais do conjunto completo
9.1	Aplicar as técnicas de DFMA no truque
9.2	Aplicar as técnicas de DFMA no conjunto engate e ACT
9.3	Aplicar as técnicas de DFMA no sistema de freio
9.4	Aplicar as técnicas de DFMA na estrutura
9.5	Aplicar as técnicas de DFMA na superestrutura
9.6	Aplicar as técnicas de DFMA no princípio inovativo
10.1	Realizar o plano macro de processo do truque
10.2	Realizar o plano macro de processo do conjunto engate e ACT
10.3	Realizar o plano macro de processo do sistema de freio
10.4	Realizar o plano macro de processo da estrutura
10.5	Realizar o plano macro de processo da superestrutura
10.6	Realizar o plano macro de processo do princípio inovativo
11.1	Realizar o procedimento operacional padrão do truque
11.2	Realizar o procedimento operacional padrão do conjunto engate e ACT
11.3	Realizar o procedimento operacional padrão do sistema de freio
11.4	Realizar o procedimento operacional padrão da estrutura
11.4	Realizar o procedimento operacional padrão da superestrutura
11.5	Realizar o procedimento operacional padrão do conjunto completo
12	Realizar a revisão dos pontos críticos
13	Realizar a simulação da dinâmica do vagão
14	Realizar o memorial dos cálculos de projeto
15	Realizar a definição da pintura e marcação do vagão
16	Preencher o checklist de normas referente ao projeto do vagão
17	Preencher o checklist de projeto completo
18	Realizar a apresentação do projeto para cliente
19	Identificar a aprovação do projeto pelo cliente
20	Identificar a aprovação da produção do projeto piloto
21	Identificar o término do projeto detalhado

Fonte: Realizado pelo autor (2019).



## APÊNDICE I – Checklist do projeto informacional do método proposto

Tabela 33 – Formulário I do projeto informacional do método proposto

Formulário I- Projeto Informacional													
<b>Parte I- Informações sobre o projeto do vagão</b>										IDV:			
1	Projeto do vagão	Padrão para o cliente	Buscando solucionar alguma problemática identificada pelo cliente										
2	Problemática do cliente												
<b>Parte II- Equipe e viabilidade econômica do projeto do vagão</b>													
3	Envolvidos no projeto do vagão	Engenharia											
		Manufatura											
		Financeiro											
		Qualidade											
		Suprimentos											
		Logística											
4		Cronograma do projeto do vagão											
5		Reunião para apresentação do projeto informacional do vagão											
6		Viabilidade econômica do projeto		Sim	Não								
7		Liberação parcial do projeto informacional											
<b>Parte III-Requisitos do cliente</b>													
8		Cliente											
9		Tipo de carga a ser transportada											
10		Carga perigosa		Sim	Não								
11		Classificação da carga perigosa											
12		Densidade da carga (kg/m <sup>3</sup> )											
13		Tipo do vagão a ser projetado		Gôndola	Hopper	Plataforma	Tanque	Fechado	Descrição:				
14		Percurso a ser realizado		Origem:				Destino:					
15	Concessão ferroviária	Estrada de Ferro Carajás		EFC	Ferrovia Transnordestina		FT						
		Estrada de Ferro Paraná Oeste		EFPO	MRS		MRS						
		Estrada de Ferro Vitória Minas		EFVM	Rumo Malha Norte		RMN						
		Ferrovia Centro Atlântica		FCA	Rumo Malha Oeste		RMO						
		Ferrovia Norte Sul- Tramo Central		FNSTC	Rumo Malha Paulista		RMP						
		Ferrovia Norte Sul- Norte		FNSN	Rumo Malha Sul		RMS						
16		Pontos críticos no percurso a ser realizado											
17		Bitola (mm)		1- Métrica (1000 mm)	2-Larga (1600 mm)	3-Padrão (1435 mm)	4- Mista (1000 mm e 1600 mm )						
18	Perfil do trilho	Tipo do perfil		Trecho com este tipo de perfil									
		TR32											
		TR37											
		TR45											
		TR50											
		TR54											
19		Limite por eixo da via permanente (kg)											
20		Carga máxima nominal por eixo (kg)		7500	11750	16000	20000	25000	30000	32500	35000	37500	
21		Identificação do vagão		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
22		Quantidades de eixos por truque		2	3								
23		Truque		Sim	Não	Modelo/Marca do truque:							
24		Meta de carga (kg)											
25		Altura nominal dos engates (mm)		750	990	Tolerância (mm) : +15 -0		Outra altura nominal: (mm)					
26		Recebimento do mapa da via permanente		Sim	Não								
27		Classificação da via permanente											
28		Obras de arte no percurso entre origem/destino											
29		Altura máxima (mm)											
30		Largura máxima (mm)											
31		Altura útil (mm)											
32		Largura útil (mm)											

Tabela 33 – Formulário I do projeto informacional do método proposto – (continuação)

33	Comprimento útil (mm)						
34	Área útil (m <sup>2</sup> )						
35	Volume útil (m <sup>3</sup> )						
36	Tara (kg)						
37	Material da estrutura do vagão	Classe do Aço	Distribuidor	Limite escoamento (MPa)	Limite resistência (MPa)	Alongamento mínimo Lo= 200 m (%)	Tipo do Perfil / Barra
38	Material da superestrutura do vagão	Classe do Aço	Distribuidor	Limite escoamento (MPa)	Limite resistência (MPa)	Alongamento mínimo Lo= 200 m (%)	Tipo do Perfil / Barra
39	Programa de simulação estrutural						
40	Programa de simulação referente à dinâmica						
<b>Parte IV - Dados operacionais</b>							
41	Velocidade máxima autorizada no percurso (trem carregado)						
42	Velocidade média autorizada (trem vazio)						
43	Raio mínimo de curva (m)						
44	Rampa máxima crescente (%)						
45	Rampa máxima decrescente (%)						
46	Quantidade de vagões permitida no percurso						
47	Comprimento máximo da composição ferroviária (vagões + locomotivas)						
<b>Parte V- Pontos críticos do projeto do vagão</b>							
48	Pontos críticos do projeto						
<b>Parte VI- Informações sobre a manufatura</b>							
49	Processos de manufatura						
<b>Parte VII- Informações sobre os fornecedores</b>							
50	Fornecedores						
<b>Parte VIII- Término do projeto informacional</b>							
51	Término do projeto informacional						

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

## APÊNDICE J – Descrição das tarefas, entradas e saídas do PI

Tabela 34 – Descrição das tarefas, entradas e saídas do projeto informacional

	Descrição da Tarefa	Entrada	Saída
1	Deve-se identificar se o cliente busca o projeto de um vagão conforme o padrão já realizado, ou se o cliente busca solucionar alguma problemática	Inf. solicitadas para o cliente	Tipo de projeto do vagão
2	Deve-se descrever a problemática identificada pelo cliente	Inf. solicitadas para o cliente	Descrição da problemática identificada
3	Definir a equipe de projeto do vagão nas áreas de: Engenharia; Manufatura; Financeiro; Qualidade, Suprimentos, Logística e Segurança.	Inf. sobre as competências da equipe de projeto	Equipe do projeto do vagão
4	Realizar o cronograma do projeto do vagão	Inf. referente ao projeto	Cronograma do projeto
5	Identificar uma data com a equipe de projeto para apresentar o projeto informacional do vagão a ser realizado	Agenda dos integrantes da equipe	Apresentação do projeto do vagão
6	Identificar a situação da viabilidade-econômica do projeto do vagão, através da análise dos envolvidos da área do Financeiro	Inf. técnico-financeiras do projeto	Aprovação do projeto do vagão
7	Preencher o termo da LPPI que permite a liberação para realizar algumas atividades projeto conceitual	Inf. referente ao projeto	Termo de LPPI
8	Preencher o nome da empresa solicitante do projeto do vagão	Inf. solicitadas para o cliente	Cliente
9	Identificar qual a carga que será transportada pelo cliente	Inf. solicitadas para o cliente	Tipo de carga
10	Identificar se a carga a ser transportada pelo cliente é classificada como carga perigosa	Inf. solicitadas para o cliente	Identificação da carga
11	Realizar a classificação da carga perigosa	Inf. sobre a carga	Classificação da carga
12	Identificar a densidade da carga (kg/m <sup>3</sup> ) além dos demais dados técnicos da carga	Inf. sobre a carga	Densidade da carga
13	Identificar o tipo de vagão que será projetado podendo ser: Gondola, Hopper, Plataforma, Tanque, Fechado	Inf. referente ao projeto	Tipo do vagão a ser projetado
14	Identificar a origem e o destino do percurso a ser realizado pelo vagão	Inf. referente ao projeto	Percurso do vagão
15	Indicar qual a concessão ferroviária em que o vagão em projeto irá transitar	Inf. referente ao projeto	Concessão ferroviária
16	Identificar os pontos críticos do percurso a ser realizado	Inf. referente ao trajeto	Pontos críticos do percurso
17	Identificar o tipo de bitola do percurso identificado do projeto: Métrica, Larga, Padrão, Mista	Inf. referente ao trajeto	Tipo de bitola
18	Identificar o perfil do trilho no trajeto que o vagão projetado irá realizar	Inf. referente ao trajeto	Perfil do trilho
19	Identificar o limite por eixo da via permanente (kg), através da análise da declaração de rede da concessão	Inf. referente ao trajeto	Limite por eixo da via permanente
20	Identificar o valor da carga nominal por eixo em (kg) a ser utilizada no projeto de do vagão	Inf. referente ao trajeto	Carga nominal por eixo
21	Especificar a identificação do vagão	Inf. referente ao projeto	Identificação do vagão
22	Indicar a quantidade de eixos por truque a ser definido no projeto do vagão	Inf. referente ao projeto	Quantidade de eixos por truque
23	Identificar com o cliente se possui algum modelo e marca de truque pré-selecionado para o projeto	Inf. referente ao projeto	Truque pré-selecionado
24	Identificar com o cliente a meta de carga (kg) do vagão a ser projetado	Inf. solicitadas para o cliente	Meta de carga
25	Identificar a altura nominal dos engates para veículos novos e vazios	Inf. referente ao trajeto	Altura nominal dos engates
26	Identificar o recebimento do mapa da via permanente para verificar as limitações do vagão	Inf. solicitadas para o cliente	Mapa da via permanente
27	Identificar a classificação da via permanente onde o vagão a ser projetado irá realizar o percurso	Inf. referente ao trajeto	Classificação da via permanente
28	Identificar as obras de arte existentes durante o percurso	Inf. referente ao trajeto	Obras de arte
29	Identificar a altura máxima do vagão (mm)	Inf. referente ao trajeto	Altura máxima do vagão
30	Identificar a largura máxima do vagão (mm)	Inf. referente ao trajeto	Largura máxima do vagão
31	Identificar a altura útil do vagão (mm)	Inf. referente ao projeto	Altura útil do vagão
32	Identificar a largura útil do vagão (mm)	Inf. referente ao projeto	Largura útil do vagão
33	Identificar o comprimento útil do vagão (mm)	Inf. referente ao projeto	Comprimento útil do vagão
34	Identificar a área útil do vagão (mm)	Inf. referente ao projeto	Área útil do vagão
35	Identificar o volume útil do vagão (mm)	Inf. referente ao projeto	Volume útil do vagão
36	Identificar a tara do vagão (kg)	Inf. referente ao projeto	Tara do vagão
37	Identificar o material da estrutura a ser utilizado no projeto do vagão	Inf. referente ao projeto	Material da estrutura
38	Identificar o material da superestrutura a ser utilizado no projeto do vagão	Inf. referente ao projeto	Material da superestrutura
39	Definir qual o programa a ser utilizado para analisar a estrutura do vagão	Inf. referente ao projeto	Nome do programa de análise estrutural
40	Definir qual o programa a ser utilizado para analisar a condição dinâmica do vagão	Inf. referente ao projeto	Nome do programa de análise dinâmica
41	Verificar qual a velocidade máxima autorizada no percurso na condição de "trem carregado"	Inf. referente ao trajeto	Velocidade máxima "trem carregado"
42	Verificar qual a velocidade média autorizada no percurso na condição de "trem vazio"	Inf. referente ao trajeto	Velocidade média "trem vazio"
43	Identificar o raio mínimo de curva (m) encontrada no percurso a ser realizado pelo vagão	Inf. referente ao trajeto	Raio mínimo de curva
44	Identificar a rampa máxima crescente (%) da via permanente encontrada no percurso a ser realizado pelo vagão	Inf. referente ao trajeto	Rampa máxima crescente (%)
45	Identificar a rampa máxima decrescente (%) da via permanente encontrada no percurso a ser realizado pelo vagão	Inf. referente ao trajeto	Rampa máxima decrescente (%)
46	Identificar a quantidade de vagões permitida no percurso que o vagão irá se transportar, conforme regulamento interno da concessionária ferroviária	Inf. referente ao trajeto	Quantidade de vagões permitida no percurso
47	Indicar o comprimento máximo da composição ferroviária permitida pela concessionária ferroviária no trajeto em que o vagão em projeto irá se movimentar	Inf. referente ao trajeto	Comprimento máximo da composição ferroviária permitida
48	Identificar e descrever os possíveis pontos críticos do projeto do vagão	Inf. referente ao projeto	Pontos críticos do projeto

Tabela 34 – Descrição das tarefas, entradas e saídas do projeto informacional – (continuação)

49	Identificar os possíveis processos de manufatura do projeto do vagão	Inf. referente ao projeto	Processos de manufatura
50	Identificar os fornecedores de matérias-primas, dos SSC's que poderão ser comprados	Inf. referente ao projeto	Lista de fornecedores
51	Preencher o termo de término do projeto informacional	Inf. referente ao projeto	Termo do TPI

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 35 – Ferramentas de apoio para a realização das tarefas do PI

Ferramentas de apoio	
17 ; 18 ;19 ; 20 ; 41; 42; 43; 44; 45	Declaração de rede
31; 32; 33; 34; 35	Apêndice K- tabela 42 (Características dimensionais do vagão) e Norma ABNT 12750
10; 11	Apêndice K- tabela 38 (Classificação do tipo de carga perigosa) e Resolução nº 420 da ANTT
46; 47	Regulamento interno da concessão
29; 30	Mapa de via
37; 38	Catálogos de fornecedores de Aços
3	Quadro de competências dos colaboradores
4	Programa para realização do cronograma do projeto ou Apêndice K- tabela 36 (Cronograma referente ao projeto do vagão ferroviário)
5	Calendário do projeto do vagão
6	Taxa interna de retorno (TIR)
7	Apêndice K- tabela 44 (Liberação parcial do projeto informacional - LPPI)
9	Apêndice K- tabela 37 (Principais mercadorias transportadas pelo modal ferroviário)
21	Apêndice K- tabela 39 (Identificação do tipo do vagão) e Norma ABNT 11691
25	Apêndice K- tabela 40 (Altura dos engates do vagão) e Norma ABNT 16444
27	Apêndice K- tabela 43 (Classificação da via permanente) e Norma ABNT 16387
28	Apêndice K- tabela 41 (Identificação das obras de arte existentes no percurso)
39	Programa para análise estrutural
40	Programa para análise dinâmica
51	Apêndice K- tabela 45 (Término do projeto informacional- TPI)

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

## APÊNDICE K – Formulário de apoio ao projeto informacional

Tabela 36 – Cronograma referente ao projeto do vagão ferroviário

Cronograma do projeto de vagões ferroviários														
Atividade	Data de início	Data de entrega	Mês											
Projeto informacional			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Projeto conceitual														
Projeto detalhado														

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 37 – Principais mercadorias transportadas pelo modal ferroviário

Principais mercadorias transportadas pelo modal ferroviário		
Aubos	Produtos siderúrgicos	Contêiner
Açúcar	Óleo vegetal	Madeira
Arroz	Alcool	Celulose
Milho	Cimento	Pedras comuns
Soja	Carvão	Trilhos
Farelo de soja	Coque	
Trigo	Diesel	
Sal	Bauxita	
Fertilizantes	Caulim	
	Ferro gusa	
	Gasolina	
	Clínquer	
	Biodiesel	
	Minérios de ferro	
	Bobinas	
	Bentonita	

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 38 – Classificação do tipo de carga perigosa

Substâncias perigosas	
Classe 1	Explosivos
Classe 2	Gases
Classe 3	Líquidos inflamáveis
Classe 4	Sólidos inflamáveis
	Substâncias sujeitas à combustão espontânea Substâncias que em contato com a água emitem gases inflamáveis
Classe 5	Substâncias oxidantes
	Peróxidos orgânicos
Classe 6	Substâncias tóxicas
	Substâncias infectantes
Classe 7	Materiais radioativos
Classe 8	Substâncias corrosivas
Classe 9	Substâncias e artigos perigosos diversos

Fonte: Adaptado Agência Nacional dos Transportes Terrestres nº 420 (2019).

Tabela 39 – Identificação do tipo do vagão

Determinação dos algarismos (X1 e X2)				
Tipo	X1	Característica do vagão	X2	Classificação (X1 X2)
Fechado	F	Metálico, com revestimento interno	R	FR
		Metálico, sem revestimento interno	S	FS
		Com superestrutura inteiramente de madeira ou madeira contraventada por montantes metálicos	M	FM
		Dotado de escotilha	E	FE
		Dotado de escotilha e tremonha	H	FH
		Com carga exclusiva pelo fundo	F	FF
		Dotado de porta para carga e descarga de grande volume e/ou utilização de equipamentos mecânicos de carga e descarga	L	FL
		Destinado ao transporte de produto corrosivo a granel, com porta lateral basculante e fundo em lombro de camelo	P	FP
		Com escotilha, porta basculante e fundo em lombro de camelo e não apropriado ao transporte de produto corrosivo	B	FB
		Com caixa formada por módulos telescópios	T	FT
		Dotado de abertura para a circulação do ar em seu interior	V	FV
		Isotérmico sem equipamento de refrigeração	I	FI
		Isotérmico com equipamento de refrigeração	G	FG
Outros	Q	FQ		
Gôndola	G	Com borda e fundos fixos, para carga com giro	D	GD
		Com borda e fundos fixos, dotados de porta lateral	P	GP
		Com borda fixa e fundo dotado de porta articulada	F	GF
		Com borda e fundo fixos, dotados de abertura removível	M	GM
		Com borda doada de articulação em sua parte inferior e fundo fixo	T	GT
		Com borda dotada de porta articulada em parte inferior e fundo fixo	S	GS
		Com borda articulada ou porta articulada em sua parte inferior e fundo fixo em lombro de camelo	H	GH
		Com borda articulada ou porta articulada em sua parte inferior e fundo fixo em lombro de camelo, provido de cobertura removível	C	GC
Hopper	H	Com borda e fundo fixo, dotado de dispositivo que permita a inclinação lateral de sua caixa para descarga (basculante)	B	GB
		Outros	Q	GQ
		Fechado, dotado de escotilha e tremonha	F	HF
		Fechado, dotado de escotilha e tremonha, com revestimento para transporte de produto corrosivo	P	HP
		Em forma de tanque, dotado de comportas centrais na parte inferior, para a descarga, acionadas ou não por equipamentos pneumáticos, com revestimento para o transporte de produto corrosivo	E	HE
		Em forma de tanque, dotado de comportas centrais na parte inferior, para a descarga, acionadas por equipamentos pneumáticos	T	HT
Plataforma	P	Aberto dotado de tremonha	A	HA
		Outros	Q	HQ
		Com assoalho de madeira	M	PM
		Com assoalho metálico	E	PE
		Dotado de dispositivo apropriado a cofre de carga	D	PD
		Especial para transporte de cofre de carga	C	PC
		Dotado de estrabo rebaixado e destinado ao transporte de volumes em dimensão especial	R	PR
		Dotado de dispositivo para o transporte de veículos ferroviários	T	PT
		Dotado de dispositivo de transporte de carreta ou semibreque	G	PG
		Dotado de cabeceira	P	PP
Tanque	T	Especial para transporte de bobinas	B	PB
		Dotada de dois pavimentos, para transporte de automóvel	A	PA
		Outros	Q	PQ
		Para líquido	C	TC
		Para produtos de densidade elevada, necessitando de aquecimento para descarga	S	TS
		Para produtos pulverulento, dotado de dispositivo pneumático para descarga	P	TP
		Para produto corrosivo, dotado de revestimento e com porta central, na parte inferior, para descarga ou não por equipamento pneumático	F	TF
Para produtos corrosivos líquidos, com tanque de material especial	A	TA		
Para produtos de elevada pressão	G	TG		
Outros	Q	TQ		

Tabela 39 – Identificação do tipo do vagão – (continuação)

Determinação dos algarismos (X3)						
Dimensão nominal da Manga		Carga máxima nominal por eixo (kg)	Carga máxima nominal do truque (kg)	Carga máxima nominal do vagão (kg)	Letra de designação (X3)	
mm	polegada				Bitola 1,00 m	Bitola 1,60 m
95 x 178	3 3/4 x 7	7500	15000	30000	A	O
108 x 203	4 1/4 x 8	11750	23500	47000	B	P
127 x 229	5 x 9	16000	32000	64000	C	Q
140 x 254	5 1/2 x 10	20000	40000	80000	D	R
152 x 280	6 x 11	25000	50000	100000	E	S
165 x 228	6 1/2 x 9	30000	60000	120000	F	T
165 x 228	6 1/2 x 9	32500 (a)	65000	130000	F	T
165 x 305	6 1/2 x 12	30000	60000	120000	F	T
165 x 305	6 1/2 x 12	32500 (a)	65000	130000	F	T
178 x 305	7 x 12	35000	70000	140000	G	U
178 x 305	7 x 12	37500 (b)	75000	150000	G	U
184 x 228	7 1/4 x 9	35000	70000	140000	G	U
184 x 228	7 1/4 x 9	37500 (b)	75000	150000	G	U
165 x 228	6 1/2 x 9	32500 (a)	65000	> 150000 (c)	H	V
Determinação dos algarismos (X4 e X5)				Código do proprietário I :		
Determinação dos algarismos (X6, X7, X8, X9)				Solicitação a ANTT:		
Determinação dos algarismos (X10)				Identificação do algarismo de controle:		

Letras	Algarismos
X1 X2 X3	X4 X5 X6 X7 X8 X9 X10
1º Grupo	2º Grupo 3º Grupo

Fonte: Adaptado norma NBR 11691 (2019).

Tabela 40 – Altura dos engates do vagão

Altura dos engates - veículos novos	
Bitola (m)	Altura nominal (mm)
1,00	750 -765
1,60	990 - 1005

Fonte: Adaptado norma NBR 16444 (2019).

Tabela 41 – Identificação das obras de arte existentes no percurso

Obras de arte existentes no percurso a ser realizado pelo vagão	
Obra de arte	
Código	1
Localização	

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 42 – Características dimensionais do vagão

Comprimento útil (L)	
Vagão com cabeceira	Distância interna entre as cabeceiras A e B
Vagão sem cabeceira	Distância entre os planos exteriores das testeiras
Largura útil (l)	
Vagão com superestrutura	Distância interna livre entre laterais, bordas e fueiros em posição elevada
Vagão sem superestrutura	Valor dimensional da largura do piso

Tabela 42 – Características dimensionais do vagão – (continuação)

<b>Altura útil (H)</b>	
Vagão Fechado	Distância entre o piso e a cobertura (medida no nível do trechal superior lateral)
Vagão Gôndola	Distância entre o piso e o nível superior da borda (medida da borda)
<b>Área útil (A)</b>	
Multiplicação entre o Comprimento útil (L) e a Largura útil (l) , com isso $A = L * l$	
<b>Volume útil (V)</b>	
Vagão Fechado	Multiplicação entre a área do polígono da seção transversal do vagão e seu comprimento útil (L)
Vagão Gôndola	Multiplicação entre o Comprimento útil (L) a Largura útil (l) e a Altura útil (H), com isso $V = L * l * H$
Vagão Hopper	Utilização de fórmulas geométricas clássicas para cálculos do volume internos ou também com a utilização de cálculos assistidos por computador
Vagão Tanque	Esta norma não se aplica para o tipo de vagão tanque, porém o volume aplicável é determinado por aferição e não por cálculo.

Fonte: Adaptado norma NBR 12750 (2019).

Tabela 43 – Classificação da via permanente

<b>Classificação da via permanente</b>				
<b>X</b>	Predominância de circulação da via permanente		<b>Codificação (X)</b>	
	Trens de carga		C	
	Trens de passageiros		P	
<b>Na</b>	Velocidade máxima autorizada (km/h)		<b>Codificação (Na)</b>	
	Trens de carga			Trens de passageiros
	0 - 15		0 - 25	1
	16 - 40		26 - 45	2
	41 - 64		46 - 95	3
	65 - 95		96 - 128	4
96 - 128		Não aplicável	5	
<b>Nb</b>	Previsão de milhões/ toneladas bruta (ano)		<b>Codificação (Nb)</b>	
	0 - 30		0	
	31 - 60		1	
	61 - 90		2	
	91 - 140		3	
	141 - 190		4	
Acima de 190		5		

Classe da via permanente		
<b>X</b>	<b>Na</b>	<b>Nb</b>
Letra	1º Algarismo	2º Algarismo

Fonte: Adaptado norma NBR 16387 (2019).

Tabela 44 – Liberação parcial do projeto informacional (LPPI)

<b>Liberação parcial do projeto informacional - (LPPI)</b>	
Data:	
Responsável:	
Descritivo	
_____	_____
Assinatura do responsável	Assinatura do Gerente do Projeto

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 45 – Término do projeto informacional (TPI)

Término do projeto informacional - (TPI)	
Data:	
Responsável:	
Descritivo	
_____	
Assinatura do responsável	Assinatura do Gerente do Projeto

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

## APÊNDICE L – Checklist do projeto conceitual do método proposto

Tabela 46 – Formulário II do projeto conceitual do método proposto

Formulário II- Projeto Conceitual						
Parte I- Dados sobre o projeto do vagão						
1	Atualizar cronograma do projeto do vagão					
2	Reunião para apresentação do projeto conceitual do vagão					
3	Revisão do projeto conceitual					
4	Liberação parcial do projeto conceitual					
Parte II- Designação das funções dos sistemas						
5	Identificar as funções principais	Truque				
		Engate				
		Aparelho de choque e tração - (ACT)				
		Sistema de freio				
		Estrutura				
		Superestrutura				
Parte III- Decisões de projeto						
6	Analisar em comprar ou projetar SSC	Truque	Projetar	Comprar		
		Engate	Projetar	Comprar		
		ACT	Projetar	Comprar		
		Sistema de freio	Projetar	Comprar		
		Estrutura	Projetar	Comprar		
		Superestrutura	Projetar	Comprar		
7	Identificar fornecedores	Truque				
		Engate				
		ACT				
		Sistema de freio				
		Estrutura				
		Superestrutura				
Parte IV- Processos de manufatura						
8	Processos de manufatura dos itens que serão desenvolvidos internamente	Truque				
		Engate				
		ACT				
		Sistema de freio				
		Estrutura				
		Superestrutura				
<i>Designar Arquitetura não inovativa dos SSCs</i>						
Parte V- Designação do truque						
9	Limite por eixo da via permanente (t)					
10	Bitola da via permanente (mm)					
11	Quantidades de truques por vagão	2	3	Outra quantidade:		
12	Seleção dos truques	Opção 1	Opção 2	Opção 3		
13	Fornecedor do truque pré-selecionado					
14	Modelo e código do truque					
15	Bitola (mm)					
16	Limite por eixo do truque pré-selecionado (kg)					
17	Dimensional nominal das mangas (mm)					
18	Diâmetro da roda (mm)					
19	Distância entre eixos (mm)					
20	Diâmetro do prato pião (mm)					
21	Menor raio de curvatura em serviço (m)					
22	Velocidade de trabalho alcançada (km/h)					
23	Massa do truque (kg)					
24	<b>Desenho conceitual prévio do truque que irá compor o vagão ferroviário em projeto</b>					
DESENHO DO TRUQUE						
25	Estimativa do custo unitário do truque (R\$)					
Parte VI- Designação do engate e sistema choque e tração						
26	Selecionar o tipo de engate		Tipo E	Tipo F	Tipo E/F	E-Double Shelf
27	Haste de ligação		Tipo E	Tipo F		
28	Rotação da haste de ligação		Duas hastes fixas		Uma haste fixa e outra haste rotativa	

Tabela 46 – Formulário II do projeto conceitual do método proposto – (continuação)

29	Tipo de operação do engate		Inferior simples	Inferior duplo	Superior		
30	Modelo do conjunto do engate						
31	Seleção dos engates e ACT						
32	Engate e ACT – fornecedor pré-selecionado						
33	Classificação do ACT						
34	Massa do conjunto ACT (kg)						
35	Desenho conceitual prévio do engate e sistema choque e tração que irá compor o vagão ferroviário em projeto						
DESENHO DO ENGATE E SISTEMA CHOQUE E TRAÇÃO							
36	Estimativa do custo unitário do engate e do ACT (R\$)						
Parte VII- Designação da estrutura							
37	Material da estrutura						
38	Seleção dos materiais da estrutura						
39	Material da estrutura- fornecedor pré-selecionado						
40	Dados técnicos das longarinas que sustentam os truques	Tipo do perfil	Densidade do aço (kg/m <sup>3</sup> )	Classe do aço	Quantidade de perfil e comprimento		
41		Dados técnicos das longarinas centrais	Tipo do perfil	Densidade do aço (kg/m <sup>3</sup> )	Classe do aço	Quantidade de perfil e comprimento	
42	Dados técnicos das travessas	Tipo do perfil	Densidade do aço (kg/m <sup>3</sup> )	Classe do aço	Quantidade de perfil e comprimento		
43	Dados técnicos dos reforços estruturais	Tipo do perfil	Densidade do aço (kg/m <sup>3</sup> )	Classe do aço	Quantidade de perfil e comprimento		
44	Massa total da estrutura (kg)						
45	Desenho conceitual prévio da estrutura que irá compor o vagão ferroviário em projeto						
DESENHO DA ESTRUTURA							
46	Estimativa do custo da estrutura (R\$)						
Parte VIII- Designação da superestrutura							
47	Material da superestrutura						
48	Seleção dos materiais da superestrutura						
49	Material da superestrutura- fornecedor pré-selecionado						
50	Tipo do vagão projetado	1-Gôndola	2-Hopper	3- Plataforma	4- Tanque	5-Fechado	Modelo
51	Altura do vagão (mm)						
52	Largura do vagão (mm)						
53	Comprimento do vagão (mm)						
54	Dimensionamento das laterais (m <sup>2</sup> )	Quantidade de laterais	Densidade do aço (kg/m <sup>3</sup> )	Espessura (mm)			
55	Dimensionamento das cabeceiras (m <sup>2</sup> )	Quantidade de cabeceiras	Densidade do aço (kg/m <sup>3</sup> )	Espessura (mm)			
56	Dimensionamento do fundo (m <sup>2</sup> )	Quantidade de fundo	Densidade do aço (kg/m <sup>3</sup> )	Espessura (mm)			
57	Dimensionamento da cobertura (m <sup>2</sup> )	Quantidade da cobertura	Densidade do aço (kg/m <sup>3</sup> )	Espessura (mm)			
58	Dimensionamento do tanque (m <sup>3</sup> )	Densidade do aço (kg/m <sup>3</sup> )		Espessura (mm)			
59	Elementos de segurança	Quantidade	Elementos	Descrição			
			Plataforma				
			Passadiço				
			Escada				
			Estribo				
			Pega-mão				
		Dispositivo de canto					
		Corrimão					
60	Massa total da superestrutura (kg)						
61	Desenho conceitual prévio da superestrutura que irá compor o vagão ferroviário em projeto						
DESENHO DA SUPERESTRUTURA							

Tabela 46 – Formulário II do projeto conceitual do método proposto – (continuação)

62	Estimativa do custo unitário da superestrutura (R\$)				
<b>Parte IX- Designação do sistema de freio</b>					
63	Tipos de sistema de freio	Sistema de freio a ar comprimido direto	Sistema de freio a ar comprimido indireto (automático)	Sistema de freio eletropneumático (automático)	
		Sistema de freio a vácuo	Sistema de freio magnético		
64	Seleção do sistema de freio				
65	Sistema de freio – fornecedor pré-selecionado				
66	Massa estimada do sistema de freio (kg)				
67	Desenho conceitual prévio da sistema de freio que irá compor o vagão ferroviário em projeto				
DESENHO DO SISTEMA DE FREIO					
68	Estimativa do custo do sistema de freio (R\$)				
<b>Parte X- Designação da arquitetura inovativa para os SSCs</b>					
69	Propor alternativas de arquitetura de SSC contendo princípios inovativos		Estrutural	Material	Revestimento
70	Descrever os princípios inovativos observados	Princípio inovativo 1	Descrição:		Desenho conceitual prévio do princípio inovativo 1
		Princípio inovativo 2	Descrição:		Desenho conceitual prévio do princípio inovativo 2
		Princípio inovativo 3	Descrição:		Desenho conceitual prévio do princípio inovativo 3
71	Selecionar a arquitetura inovativa mais adequada para o projeto do vagão				
72	Analisar tecnicamente o princípio inovativo selecionado	Atendem as normas técnicas	Necessitam solicitar patentes	Podem gerar algum perigo para a via férrea, estrutura do vagão e para a comunidade	Deverão ser normatizados pela ABNT
73	Identificar a aprovação ou reprovação técnica	Aprovado tecnicamente	Reprovado tecnicamente		
74	Desenho conceitual prévio dos princípios inovativos selecionados para aplicação no projeto do vagão				
DESENHO DO PRINCÍPIO INOVATIVO 1		DESENHO DO PRINCÍPIO INOVATIVO 2		DESENHO DO PRINCÍPIO INOVATIVO 3	
75	Estimativa do custo do princípio inovativo 1 (R\$)	Estimativa do custo do princípio inovativo 2 (R\$)	Estimativa do custo do princípio inovativo 3 (R\$)		
<b>Parte XI- Contorno dos pontos críticos do projeto do vagão</b>					
76	Pontos críticos do projeto				
<b>Parte XII- Término do projeto conceitual</b>					
77	Término do projeto conceitual				

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

## APÊNDICE M – Descrição das tarefas, entradas e saídas do PC

Tabela 47 – Descrição das tarefas, entradas e saídas do projeto conceitual

	Descrição das tarefas	Entrada	Saída
1	Atualizar o cronograma do projeto do vagão	Cronograma inicial realizado no PI	Cronograma atualizado
2	Indicar a data da reunião da equipe de projeto, para apresentar os resultados do projeto informacional, além de apresentar o cronograma do projeto conceitual e definir as atividades de cada integrante da equipe	Informações atualizadas sobre o projeto do vagão, Agenda da equipe de projeto	Apresentação do projeto conceitual
3	Realizar a revisão do projeto conceitual, exclusivamente das atividades que foram realizadas após Liberação parcial do projeto informacional (LPPI). Esta revisão poderá ser realizada na reunião para apresentação do projeto do vagão	Atividades realizadas após LPPI	Revisão do projeto conceitual
4	Preencher o termo de liberação parcial do projeto conceitual no qual permite a liberação para realizar algumas atividades projeto detalhado	Informações referentes ao projeto	Termo LPPC
5.1	Descrever as funções do truque;	Informações referentes ao projeto	Funções do truque
5.2	Descrever as funções do engate	Informações referentes ao projeto	Funções do engate
5.3	Descrever as funções do aparelho de choque e tração (ACT)	Informações referentes ao projeto	Funções do ACT
5.4	Descrever as funções do sistema de freio	Informações referentes ao projeto	Funções do sistema de freio
5.5	Descrever as funções da estrutura	Informações referentes ao projeto	Funções da estrutura
5.6	Descrever as funções da superestrutura	Informações referentes ao projeto	Funções da superestrutura
6.1	Indicar a compra ou a realização do desenvolvimento do truque	Informações sobre o D/C do truque	D/C do truque
6.2	Indicar a compra ou a realização do desenvolvimento do engate	Informações sobre o D/C do engate	D/C do engate
6.3	Indicar a compra ou a realização do desenvolvimento do ACT	Informações sobre o D/C do ACT	D/C do ACT
6.4	Indicar a compra ou a realização do desenvolvimento do sistema de freio	Informações sobre o D/C do sistema de freio	D/C do sistema de freio
6.5	Indicar a compra ou a realização do desenvolvimento da estrutura	Informações sobre o D/C da estrutura	D/C da estrutura
6.6	Indicar a compra ou a realização do desenvolvimento da superestrutura	Informações sobre o D/C da superestrutura	D/C da superestrutura
7.1	Indicar os possíveis fornecedores do truque, caso venha a ser comprado	Informações referentes ao projeto	Fornecedores do truque
7.2	Indicar os possíveis fornecedores do engate, caso venha a ser comprado	Informações referentes ao projeto	Fornecedores do engate
7.3	Indicar os possíveis fornecedores do ACT, caso venha a ser comprado	Informações referentes ao projeto	Fornecedores do ACT
7.4	Indicar os possíveis fornecedores do sistema de freio, caso venha a ser comprado	Informações referentes ao projeto	Fornecedores do sistema de freio
7.5	Indicar os possíveis fornecedores da estrutura, caso venha a ser comprada	Informações referentes ao projeto	Fornecedores dos materiais da estrutura
7.6	Indicar os possíveis fornecedores da superestrutura, caso venha a ser comprada	Informações referentes ao projeto	Fornecedores dos materiais da superestrutura
8.1	Caso o truque venha a ser desenvolvido, indicar os processos de manufatura	Informação referente aos processos de manufatura	Processos de manufatura do truque
8.2	Caso o engate venha a ser desenvolvido, indicar os processos de manufatura	Informação referente aos processos de manufatura	Processos de manufatura do engate
8.3	Caso o ACT venha a ser desenvolvido, indicar os processos de manufatura	Informação referente aos processos de manufatura	Processos de manufatura do ACT
8.4	Caso o sistema de freio venha a ser desenvolvido, indicar os processos de manufatura	Informação referente aos processos de manufatura	Processos de manufatura do sistema de freio
8.5	Caso a estrutura venha a ser desenvolvida, indicar os processos de manufatura	Informação referente aos processos de manufatura	Processos de manufatura da estrutura
8.6	Caso a superestrutura venha a ser desenvolvida, indicar os processos de manufatura	Informação referente aos processos de manufatura	Processos de manufatura da superestrutura
9	Indicar o limite por eixo da via permanente (t), esta informação é limitante do projeto conceitual do vagão	Informações sobre a via permanente	Limite por eixo da via permanente (kg)
10	Identificar a bitola da via permanente (mm), esta informação é limitante do projeto conceitual do vagão	Informações sobre a via permanente	Bitola da via permanente (mm)
11	Indicar a quantidade de truques por vagão	Informações referentes ao projeto	Quantidades de truques por vagão
12	Realizar uma análise técnica para a escolha do truque a ser utilizado no projeto do vagão, realizando o "benchmark" deste item	Informações técnicas sobre o truque	Análise técnica do truque e indicação de pré-seleção deste item
13	Indicar o fornecedor do truque pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o truque	Fornecedor do truque pré-selecionado
14	Indicar a codificação do truque pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o truque	Modelo e código do truque pré-selecionado
15	Indicar a bitola (mm) do truque pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o truque	Bitola do truque pré-selecionado (mm)
16	Indicar o limite por eixo (kg) do truque pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o truque	Limite por eixo do truque pré-selecionado (kg)
17	Indicar o dimensional nominal das mangas (mm) do truque selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o truque	Dimensional das mangas do truque (mm)
18	Indicar o diâmetro da roda (mm) do truque pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o truque	Diâmetro da roda do truque pré-selecionado (mm)
19	Indicar a distância entre eixos (mm) do truque pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o truque	Distância entre eixos do truque pré-selecionado (mm)
20	Indicar o diâmetro do prato pião (mm) do truque pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o truque	Diâmetro do prato pião do truque pré-selecionado (mm)
21	Indicar o menor raio de curvatura (mm) do truque pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o truque	Menor raio de curvatura (mm) que o truque pré-selecionado
22	Indicar a velocidade em (km/h) que o truque selecionado para o projeto pode alcançar	Informações técnicas sobre o truque	Velocidade máxima do truque pré-selecionado (km/h)
23	Indicar a massa do truque (kg) selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o truque	Massa do truque pré-selecionado (kg)
24	Desenhar o conceito prévio do truque que irá compor o projeto	Informações sobre o truque	Desenho conceitual do truque pré-selecionado

Tabela 47 – Descrição das tarefas, entradas e saídas do projeto conceitual – (continuação)

25	Orçar com o possível fornecedor do truque, para estimar o custo unitário deste truque	Modelo pré-selecionado do truque para o projeto	Custo unitário do truque pré-selecionado (R\$)
26	Indicar o tipo de engate pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o engate	Tipo de engate pré-selecionado para o projeto do vagão
26	Indicar o tipo de haste de ligação pré-selecionada para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre a haste de ligação	Haste de ligação pré-selecionada para o projeto
28	Indicar o tipo de rotação da haste de ligação pré-selecionada para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre a haste de ligação	Rotação da haste de ligação pré-selecionada
29	Indicar o tipo de operação do engate a ser utilizado no projeto do vagão	Informações técnicas sobre o engate	Tipo de operação do engate pré-selecionada
30	Indicar o modelo do conjunto do engate pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o engate	Modelo do conjunto do engate pré-selecionado
31	Realizar uma análise técnica para a escolha do engate e ACT a ser utilizado no projeto do vagão	Informações técnicas sobre o engate e ACT	Análise técnica do engate e ACT, além da indicação da pré-seleção destes itens
32	Indicar a codificação do engate e ACT pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o engate e ACT	Fornecedor do Engate e ACT pré-selecionado
33	Classificar o ACT a ser utilizado no projeto do vagão	Informações técnicas sobre o ACT	Classificação do ACT
34	Indicar o valor da massa (kg) do conjunto engate e ACT pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o engate e ACT	Massa estimada do engate e ACT (kg)
35	Desenhar o conceito prévio do engate e ACT que irá compor o projeto	Informações sobre o engate e ACT	Desenho conceitual do engate e do ACT
36	Orçar com o possível fornecedor do engate e ACT, para estimar o custo unitário deste item	Modelo pré-selecionado do engate e ACT	Custo estimado do engate e ACT (R\$)
37	Indicar o material da estrutura a ser utilizado no projeto do vagão	Informações técnicas os materiais da estrutura	Material pré-selecionado para a estrutura
38	Realizar uma análise técnica para a escolha dos materiais da estrutura a serem utilizados no projeto do vagão, realizando o "benchmark" destes itens	Informações técnicas os materiais da estrutura	Análise técnica dos materiais para a estrutura, além da indicação da pré-seleção destes itens
39	Indicar os fornecedores dos materiais da estrutura pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações dos possíveis fornecedores dos materiais da estrutura para o projeto do vagão	Fornecedores dos materiais pré-selecionados para a estrutura do vagão
40	Indicar os dados técnicos referentes à longarinas que sustentam os truques	Informações técnicas da estrutura referente ao projeto do vagão	Dados das longarinas que sustentam os truques
41	Indicar os dados técnicos referentes à longarinas centrais no projeto do vagão	Informações técnicas da estrutura referente ao projeto do vagão	Dados das longarinas centrais
42	Indicar os dados técnicos referente das travessas no projeto do vagão	Informações técnicas da estrutura referente ao projeto do vagão	Dados das travessas
43	Indicar os dados técnicos referente dos reforços estruturais no projeto do vagão	Informações técnicas da estrutura referente ao projeto do vagão	Dados referentes aos reforços estruturais
44	Indicar o valor da massa (Kg) da estrutura selecionada para o projeto	Informações técnicas da estrutura referente ao projeto do vagão	Massa da estrutura (kg)
45	Desenhar o conceito prévio da estrutura que irá compor o projeto	Informações técnicas da estrutura referente ao projeto do vagão	Desenho conceitual da estrutura pré-selecionada
46	Orçar com os possíveis fornecedores dos materiais da estrutura, para estimar o custo destes itens	Tipo dos materiais a serem utilizados na estrutura do vagão	Custo da estrutura (R\$) pré-selecionada
47	Indicar o material da superestrutura a ser utilizado no vagão de desenvolvimento	Informações técnicas os materiais da superestrutura	Material pré-selecionado para a superestrutura
48	Realizar uma análise técnica para a escolha dos materiais da superestrutura a serem utilizados no projeto do vagão, realizando o "benchmark" destes itens	Informações técnicas os materiais da superestrutura	Análise técnica dos materiais para a superestrutura, além da indicação da pré-seleção destes itens
49	Indicar o fornecedor dos materiais da superestrutura pré-selecionada para o projeto do vagão	Informações dos possíveis fornecedores dos materiais da superestrutura para o projeto	Fornecedores dos materiais pré-selecionados para a superestrutura
50	Confirmar o tipo do vagão em projeto	Formulário I - PI	Tipo do vagão a ser projetado
51	Indicar a altura do vagão (mm)	Formulário I - PI, além de outras informações sobre o projeto	Altura do vagão (mm)
52	Indicar a largura do vagão (mm)	Formulário I - PI, além de outras informações sobre o projeto	Largura do vagão (mm)
53	Indicar o comprimento do vagão (mm)	Formulário I - PI, além de outras informações sobre o projeto do vagão	Comprimento do vagão (mm)
54	Indicar o dimensionamento das laterais (mm)	Informações referentes ao projeto do vagão	Dimensão das laterais do vagão (mm)
55	Indicar o dimensionamento das cabeceiras (mm)	Informações referentes ao projeto do vagão	Dimensão das cabeceiras do vagão (mm)
56	Indicar o dimensionamento do fundo (mm)	Informações referentes ao projeto do vagão	Dimensão do fundo do vagão (mm)
57	Indicar o dimensionamento da cobertura (mm)	Informações referentes ao projeto do vagão	Dimensão da cobertura do vagão (mm)
58	Caso o vagão seja do tipo tanque, deve-se indicar o dimensionamento do tanque	Informações referentes ao projeto do vagão	Dimensão do tanque do vagão (mm)
59	Indicar quais e quantos elementos de segurança normatizados deverão conter no projeto do vagão	Formulário I- PI e confirmação no Formulário II (Atividade 50)	Elementos de segurança contidos no projeto do vagão
60	Indicar o valor da massa (kg) da superestrutura do projeto do vagão	Informações técnicas sobre a superestrutura do vagão	Massa da superestrutura (kg)

Tabela 47 – Descrição das tarefas, entradas e saídas do projeto conceitual – (continuação)

61	Desenhar o conceito prévio da superestrutura que irá compor o projeto	Informações sobre a superestrutura do vagão	Desenho conceitual da superestrutura pré-selecionada
62	Orçar com os possíveis fornecedores dos materiais da superestrutura, para estimar o custo destes itens	Tipo dos materiais a serem utilizados na superestrutura do vagão	Custo da superestrutura (R\$) pré-selecionada
63	Indicar o tipo de sistema de freio pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o sistema de freio do vagão	Tipo do sistema de freio pré-selecionado para o projeto
64	Realizar uma análise técnica para a escolha do sistema de freio a ser utilizado no projeto do vagão, realizando o "benchmark" deste item	Informações técnicas sobre o sistema de freio do vagão	Análise técnica do sistema de freio e pré-seleção deste item
65	Indicar o fornecedor do sistema de freio pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações dos possíveis fornecedores do sistema de freio	Fornecedor do sistema de freio pré-selecionado
66	Indicar a massa (kg) do sistema de freio pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações técnicas sobre o sistema de freio do vagão	Massa do sistema de freio (kg) pré-selecionado
67	Desenhar o conceito prévio do sistema de freio pré-selecionado para o projeto do vagão	Informações do sistema de freio do vagão	Desenho conceitual do sistema de freio pré-selecionado
68	Orçar com o possível fornecedor do sistema de freio e estimar o custo unitário deste item	Tipo e modelo do sistema de freio pré-selecionado para o vagão	Custo do sistema de freio (R\$) pré-selecionado
69	Indicar os pontos de melhoria no projeto do vagão	Informações referentes ao projeto do vagão	Alternativas de princípios inovativos para o projeto
70	Realizar a descrição dos princípios inovativos identificados para o projeto do vagão	Informações referentes ao projeto do vagão	Descrição dos princípios inovativos observados
71	Indicar a arquitetura inovativa a ser utilizada no projeto do vagão	Informações técnicas dos possíveis princípios inovativos	Seleção da arquitetura inovativa do projeto do vagão
72	Realizar a análise técnica do princípio inovativo pré-selecionado	Informações técnicas dos possíveis princípios inovativos	Análise técnica da arquitetura inovativa
73	Indicar Aprovação/Reprovação do princípio inovativo pré-selecionado	Informações técnicas e financeiras dos princípios inovativos	Aprovação/Reprovação da arquitetura inovativa
74	Desenhar os conceitos prévios dos princípios inovativos para o projeto do vagão	Informações técnicas dos possíveis princípios inovativos	Desenhos conceituais da arquitetura inovativa pré-selecionada
75	Orçar com os possíveis fornecedores dos princípios inovativos para estimar o custo destes itens	Tipo e modelo dos itens a serem incluídos no projeto do vagão	Custo do princípio inovativo (R\$) pré-selecionado
76	Descrever como foram tratados os pontos críticos do projeto do vagão, além de indicar outros pontos críticos identificados nesta fase	Pontos críticos relatados no Formulário I do PI	Descrição dos pontos críticos referente ao projeto do vagão
77	Preencher o termo de término do projeto conceitual (TPC)	Realização de todas atividades do Projeto Conceitual	Termo TPC

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 48 – Ferramentas de apoio para a realização das tarefas do PC

	Ferramentas de apoio
1; 2	Apêndice K tabela 36 (Cronograma referente ao projeto do vagão)
3	Apêndice N tabela 49 (Revisão do projeto conceitual)
4;	Apêndice N tabela 53 (Liberação parcial do projeto conceitual)
5.1; 5.2; 5.3; 5.4; 5.5; 5.6	Apêndice N tabela 50 (Funções dos sistemas de um vagão)
6.1; 6.2; 6.3; 6.4; 6.5; 6.7	Análise financeira D/C
7.1; 7.2; 7.3; 7.4; 7.5; 7.6	Catálogos de fornecedores
9;10	Declaração da rede, Formulário I – Projeto informacional
11	Formulário I – Projeto informacional
12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23	Catálogos dos fornecedores de truques e o Apêndice N tabela 51 (Benchmark para seleção dos sistemas ferroviários)
24; 35; 45; 61; 67; 74	Programa para realização de desenhos industriais, Catálogo de fornecedores,
25; 36; 46; 62; 68; 75	Orçamento do fornecedor
26; 27; 28; 29; 30	NBR 16086:2012; NBR 16087:2012
31; 32; 34;	Catálogos dos fornecedores engate e ACT, Apêndice N tabela 51 (Benchmark para seleção dos sistemas ferroviários)
33	NBR 7518:1989, Apêndice N tabela 52 (Classificação do ACT)
37; 39; 40; 41; 42; 43	Catálogos dos fornecedores dos materiais para a estrutura
38; 44	Catálogos dos fornecedores dos materiais para a estrutura, Apêndice N tabela 51 (Benchmark para seleção dos sistemas ferroviários)
47; 49	Catálogos dos fornecedores dos materiais para a superestrutura
48; 60	Catálogos dos fornecedores dos materiais para a superestrutura, Apêndice N tabela 51 (Benchmark para seleção dos sistemas ferroviários)
50	Formulário I – Projeto informacional
51; 52; 53; 54; 55; 56; 57; 58	Formulário I – Projeto informacional, desenho conceitual
59	NBR 7609; Apêndice O tabela 56 e 57 (Elementos de segurança para cada tipo de vagão)
63; 64; 65; 66	Catálogos dos fornecedores do Sistema de freio, Apêndice N tabela 51 (Benchmark para seleção dos sistemas ferroviários)
76	Apêndice N tabela 54 (Descrição dos pontos críticos)
77	Apêndice N tabela 55 (Término do projeto conceitual)

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

## APÊNDICE N – Formulário de apoio ao projeto conceitual

Tabela 49 – Revisão do projeto conceitual (RPC)

Revisão do projeto conceitual - (RPC)	
Data:	
Responsável:	
Descritivo	
_____	_____
Assinatura do responsável	Assinatura do Gerente do Projeto

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 50 – Funções dos sistemas de um vagão

Funções dos Sistemas						
Nº	Truque	Engate	ACT	Estrutura	Superestrutura	Sistema de freio
1						
2						
3						
4						

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 51 – Benchmark para seleção dos sistemas ferroviários

Truque				
Opções de truques	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Pré-selecionado
Fornecedor				
Código				
Desenho				
Bitola				
Dimensional nominal da manga (mm)				
Carga máxima nominal por eixo (kg)				
Diâmetro da roda (mm)				
Distância entre eixos				
Diâmetro do prato pião (mm)				
Velocidade de trabalho alcançada (km/h)				
Massa do truque (kg)				
Menor raio de curvatura em serviço (m)				
Investimento unitário (R\$)				
Conjunto engate e aparelho choque e tração				
Opções do conjunto engate e ACT	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Pré-selecionado
Fornecedor				
Código				
Desenho				
Dados técnicos				
Investimento unitário (R\$)				
Estrutura				
Opções estrutura	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Pré-selecionado
Fornecedor				
Código				
Dados técnicos				
Investimento unitário (R\$)				
Superestrutura				
Opções superestrutura	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Pré-selecionado
Fornecedor				
Código				
Dados técnicos				
Investimento unitário (R\$)				

Tabela 51 – Benchmark para seleção dos sistemas ferroviários – (continuação)

Sistema de freio				
Opções de sistema de freio	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Selecionado
Fornecedor				
Código				
Dados técnicos				
Investimento unitário (R\$)				

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 52 – Classificação do aparelho de choque e tração

Designação									
Y1				Y2		Y3		Y4	
Sistema amortecimento				Comprimento da bolsa		Capacidade mínima		Reação mínima	
Elastômero	Fricção	Hidráulico	Misto	625 mm	914 mm	24400 J	48800 J	1330 kN	2220 kN
E	F	H	M	C	L	P	G	R	S

Fonte: Adaptado norma NBR 7518 (2019).

Tabela 53 – Liberação parcial do projeto conceitual (LPPC)

Liberação parcial do projeto conceitual - (LPPC)	
Data:	
Responsável:	
Descritivo	
<hr/>	
Assinatura do responsável	Assinatura do Gerente do Projeto

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 54 – Descrição dos pontos críticos na fase do PC

Pontos críticos do projeto do vagão (PCPV)	
Data:	
Responsável:	
Descritivo	
<hr/>	
Assinatura do responsável	Assinatura do Gerente do Projeto

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 55 – Término do projeto conceitual (TPC)

Término do projeto conceitual - (TPC)	
Data:	
Responsável:	
Descritivo	
<hr/>	
Assinatura do responsável	Assinatura do Gerente do Projeto

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

## APÊNDICE O – Elementos de segurança para o projeto de vagões

Tabela 56 – Elementos de segurança para cada tipo de vagão

Tipo do Vagão	Tanque
Condições específicas para os dispositivos de segurança conforme tipo de vagão	(1) Com domo ou outro tipo de dispositivo superior que exija a subida dos operadores para operá-lo, deverá ser dotado de passadiço, corrimão, escadas. Conforme normas NBR 12385 e NBR 12426
	(2) O passadiço do domo é suportado por apoio de chapa de aço ou barra redonda, com espessura mínima de 9,5 mm fixado através de solda ao tanque ou camisa externa de isolamento no caso de um vagão pressurizado
	(3) Caso as escadas fiquem sobre as calotas ou camisa externa de isolamento (vagão pressurizado), as escadas partem das plataformas situadas nas cabeceiras, e deverá conter passadiço
	(4) Quando o gabarito não permitir atender o corrimão descrito conforme figura 35, este dispositivo é dispensado
	(5) Caso haja passadiço lateral ao tanque deverá ter corrimão, com isso o corrimão lateral e o respectivo passadiço deverão ter o mesmo comprimento
	(6) Pega-mãos são fixados no tanque por solda elétrica próximos das extremidades dos estribos e em torno dos dispositivos superiores de carga e descarga
	Plataforma
	(1) Quatro estribos com pega-mãos em cima deles
	(2) Vagões do tipo plataforma para o transporte de contêiner devem apresentar dispositivos de canto conforme norma NBR 5968
	Plataforma
	(1) Quatro estribos com pega-mãos em cima deles
	(2) Vagões do tipo plataforma para o transporte de contêiner devem apresentar dispositivos de canto conforme norma NBR 5968
	Fechado
	(1) Quatro estribos, duas escadas nas extremidades, sendo uma em cada lateral e diagonalmente posicionadas, além de pega-mãos nas portas laterais.
Aberto	
(1) Quatro estribos, duas escadas nas extremidades, sendo uma em cada lateral e diagonalmente posicionadas.	

Fonte: Adaptado norma NBR 7609 (2019).

Tabela 57 – Elementos de segurança para o projeto de vagão

NBR 7609/1992		
Plataforma e passadiço	Estribo	Pega-mão
(1) Piso plano de chapa antiderrapante, com largura mínima de 180 mm que permita se movimentar com segurança, no caso de mercadoria agressiva ao aço, o piso pode ser de madeira.	(1) Quatro estribos localizados lateralmente e nas extremidades do estrado com comprimento útil de 280 mm e com um espaço livre mínimo de 200 mm, sendo de barra ou chapa de aço com espessura mínima de 12,5 mm e fixado através de solda elétrica ao estrado ou através de rebite mínimo de 12,5 mm	(1) É colocado em cima do estribo e da escada, contendo uma seção externa circular de 16 mm de diâmetro.
Escada	Corrimão	Demais observações
(1) Sempre que haja necessidade regular de uma pessoa subir no vagão, deve ter duas escadas podendo ser uma de cada lado ou uma em cada cabeceira (2) Deverá ser analisada a norma NBR 12426 para projeto da escada, porém observa: dois montantes em perfil L de no mínimo 50 mm de aba ou com tubo de tamanho nominal de 25 mm, a distância mínima entre os dois montantes de 360 mm, a distância máxima entre degraus de 480 mm e afastamento mínimo da lateral ou cabeceira de 50 mm (3) A escada deverá ser presa por suportes compostos de chapa de aço à estrutura do vagão, quando for o caso fixado ao passadiço.	(1) Tubo de aço com tamanho nominal de 25 mm conforme norma NBR 5587, no mínimo sendo fixado com braçadeira e parafusos, a suporte soldado eletricamente à estrutura do vagão, e tem no mínimo 760 mm de altura.	(1) O espaço mínimo livre em volta do volante para acionamento do freio manual é de 100 mm

Fonte: Adaptado norma NBR 7609 (2019).

## APÊNDICE P – Checklist do projeto detalhado do método proposto

Tabela 58 – Formulário III do projeto detalhado do método proposto

Formulário III- Projeto Detalhado						
Parte I- Dados sobre o projeto do vagão						
1	Atualizar cronograma do projeto do vagão					
2	Reunião para apresentação do projeto detalhado do vagão					
3	Revisão das atividades realizadas após a liberação					
Parte II A - Definição dos sistemas e subsistemas						
4	Identificar a viabilidade econômica para comprar ou manufaturar do SSC's	Truque	Comprar	Manufaturar		
		Engate e ACT	Comprar	Manufaturar		
		Sistema de freio	Comprar	Manufaturar		
		Estrutura	Comprar	Manufaturar		
		Superestrutura	Comprar	Manufaturar		
5	Identificar modelo selecionado do SSC's	Truque				
		Engate e ACT				
		Sistema de freio				
		Estrutura				
6	Desenvolver desenhos detalhados (3D / 2D )	Truque				
		Engate e ACT				
		Estrutura				
		Superestrutura				
		Sistema de freio				
		Princípio inovativo				
Parte III- Simulação estrutural referente ao projeto do vagão						
7	Simulação	Simulação I: Análise de tração no engate				
		Simulação II: Análise de compressão no engate				
		Simulação III: Análise do içamento na haste do engate de uma de suas extremidades (carga morta)				
		Simulação IV: Análise do vagão colocado sem truques nos apoios laterais da travessa do pião (carga morta)				
		Simulação V: Análise da força de impacto (carga morta)				
Parte IV B - Aplicação de técnicas no projeto do vagão						
8	BOM (Bill of materials – Lista de materiais)	Truque				
		Engate e ACT				
		Estrutura				
		Superestrutura				
		Sistema de freio				
		Princípio inovativo				
		Projeto completo				
9	Aplicação de técnicas de DFMA	Truque				
		Engate e ACT				
		Estrutura				
		Superestrutura				
		Sistema de freio				
10	Plano macro de processo	Truque				
		Engate e ACT				
		Estrutura				
		Superestrutura				
		Sistema de freio				
11	Procedimento operacional padrão - montagem	Truque				
		Engate e ACT				
		Estrutura				
		Superestrutura				
		Sistema de freio				
		Princípio inovativo				
		Projeto completo				
Parte V-Simulação da dinâmica do vagão						
12	Informações sobre a dinâmica do vagão em projeto					
Parte VI-Cálculos do projeto do vagão						
13	Memorial dos cálculos do projeto					
Parte VII-Definição da pintura e marcação do vagão						
14	Definição da pintura e marcação do vagão					
Parte VIII-Revisão final dos pontos críticos do projeto do vagão						
15	Revisão dos pontos críticos					

Tabela 58 – Formulário III do projeto detalhado do método proposto – (continuação)

<b>Parte IX-Checklist de normas e do projeto</b>	
16	Checklist de normas referente ao projeto do vagão
17	Checklist do projeto
<b>Parte X-Dados finais do projeto do vagão</b>	
18	Apresentação do projeto para cliente
19	Aprovação do projeto pelo cliente
20	Aprovação da produção do projeto piloto
<b>Parte XI-Término do Projeto Detalhado</b>	
21	Término do projeto detalhado

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

## APÊNDICE Q – Descrição das tarefas, entradas e saídas do PD

Tabela 59 – Descrição das tarefas, entradas e saídas do projeto detalhado

	Descrição das tarefas	Entrada	Saída
1	Atualizar cronograma referente ao projeto do vagão	Cronograma inicial realizado no PC	Cronograma atualizado
2	Indicar a data da reunião para a equipe, deve-se apresentar os resultados do PC e definir as atividades de cada integrante da equipe para a realização do projeto detalhado	Informações atualizadas do projeto do vagão, Agenda da equipe de desenvolvimento	Apresentação do projeto detalhado
3	Realizar a revisão do projeto detalhado, exclusivamente das atividades que foram realizadas após Liberação Parcial do Projeto Conceitual (LPPC). Esta revisão poderá ser realizada na reunião para apresentação do projeto do vagão	Atividades realizadas após LPPC	Revisão do projeto detalhado
4.1	Aprovar a viabilidade econômica do truque e indicar o compra ou manufatura	Análise financeira D/C, Formulário II do Projeto Conceitual	D/C do truque
4.2	Aprovar a viabilidade econômica do engate e ACT e indicar o compra ou manufatura	Análise financeira D/C, Formulário II do projeto conceitual	D/C conjunto engate e ACT
4.3	Aprovar a viabilidade econômica do sistema de freio e indicar o compra ou manufatura	Análise financeira D/C, Formulário II do projeto conceitual	D/C do sistema de freio
4.4	Aprovar a viabilidade econômica da estrutura e indicar o compra ou manufatura	Análise financeira D/C, Formulário II do projeto conceitual	D/C da estrutura
4.5	Aprovar a viabilidade econômica da superestrutura e indicar o compra ou manufatura	Análise financeira D/C, Formulário II do projeto conceitual	D/C da superestrutura
5.1	Indicar o modelo do truque selecionado para o projeto do vagão	Análise financeira D/C, Formulário II do projeto conceitual	Modelo do truque
5.2	Indicar o modelo do engate e ACT selecionado para o projeto do vagão	Análise financeira D/C, Formulário II do projeto conceitual	Modelo do engate e ACT
5.3	Indicar o modelo do sistema de freio selecionado para o projeto do vagão	Análise financeira D/C, Formulário II do projeto conceitual	Modelo do sistema de freio
5.4	Indicar o modelo da estrutura selecionada para o projeto do vagão	Análise financeira D/C, Formulário II do projeto conceitual	Modelo da estrutura do projeto do vagão
5.5	Indicar o modelo da superestrutura selecionada para o projeto do vagão	Análise financeira D/C, Formulário II do projeto conceitual	Modelo da superestrutura do projeto do vagão
6.1	Realizar os desenhos detalhados do truque	Desenho conceitual do truque, Formulário II do projeto conceitual	Desenho detalhado do truque
6.2	Realizar os desenhos detalhados do engate e ACT	Desenho conceitual do engate e ACT, Formulário II do projeto conceitual	Desenho detalhado do engate e ACT
6.3	Realizar os desenhos detalhados do sistema de freio	Desenho conceitual do sistema de freio, Formulário II do projeto conceitual	Desenho detalhado do sistema de freio
6.4	Realizar os desenhos detalhados da estrutura	Desenho conceitual da estrutura, Formulário II do projeto conceitual	Desenho detalhado da estrutura
6.5	Realizar os desenhos detalhados da superestrutura	Desenho conceitual da superestrutura, Formulário II do projeto conceitual	Desenho detalhado da superestrutura
6.6	Realizar os desenhos detalhados do princípio inovativo, caso seja aplicado no projeto	Desenho conceitual do truque, Formulário II do projeto conceitual	Desenho detalhado do truque
7.1	Simular o desenho do vagão e realizar a análise de tração pelo engate	Desenho detalhado do vagão	Análise de tração no engate, melhorias no projeto
7.2	Simular o desenho do vagão e realizar a análise de compressão no engate	Desenho detalhado do vagão	Análise de compressão no engate, melhorias no projeto do vagão
7.3	Simular o desenho do vagão e realizar a análise do içamento na haste do engate de uma de suas extremidades (carga morta)	Desenho detalhado do vagão	Análise do içamento na haste do engate de uma de suas extremidades (carga morta), melhorias no projeto do vagão
7.4	Simular o desenho do vagão e realizar a análise colocada sem truques nos apoios laterais da travessa do pião (carga morta)	Desenho detalhado do vagão	Análise do vagão colocado sem truques nos apoios laterais da travessa do pião (carga morta), melhorias no projeto do vagão
7.5	Simular o desenho do vagão e realizar a análise da força de impacto	Desenho detalhado do vagão	Análise da força de impacto (carga morta), melhorias no projeto
8.1	Indicar a lista de materiais dos componentes do truque	Desenho detalhado do truque	Lista de materiais do truque
8.2	Indicar a lista de materiais dos componentes do engate e ACT	Desenho detalhado do engate e ACT	Lista de materiais do engate e ACT
8.3	Indicar a lista de materiais dos componentes do sistema de freio	Desenho detalhado do sistema de freio	Lista de materiais do sistema de freio
8.4	Indicar a lista de materiais dos componentes da estrutura	Desenho detalhado da estrutura	Lista de materiais da estrutura
8.5	Indicar a lista de materiais dos componentes da superestrutura	Desenho detalhado da superestrutura	Lista de materiais da superestrutura
8.6	Indicar a lista de materiais dos componentes do princípio inovativo	Desenho detalhado do princípio inovativo	Lista de materiais do princípio inovativo
8.7	Indicar a lista de materiais do projeto do vagão completo	Desenhos detalhados do vagão completo	Lista de materiais do projeto do vagão completo
9.1	Caso o truque seja desenvolvido para o projeto do vagão deve-se aplicar o DFMA (Diretrizes para manufatura e montagem)	Desenho detalhado do truque	Aplicação das estratégias DFMA no truque
9.2	Caso o engate e ACT seja desenvolvido para o projeto do vagão deve-se aplicar o DFMA	Desenho detalhado do engate e ACT	Aplicação das estratégias DFMA no engate e ACT
9.3	Caso o sistema de freio seja desenvolvido para o projeto do vagão deve-se aplicar o DFMA	Desenho detalhado do sistema de freio	Aplicação das estratégias DFMA no sistema de freio
9.4	Caso a estrutura seja desenvolvida para o projeto do vagão deve-se aplicar o DFMA	Desenho detalhado da estrutura	Aplicação das estratégias DFMA na estrutura
9.5	Caso a superestrutura seja desenvolvida para o projeto do vagão deve-se aplicar o DFMA (Diretrizes para Manufatura e Montagem)	Desenho detalhado da superestrutura	Aplicação das estratégias DFMA na superestrutura
9.6	Caso o princípio inovativo seja desenvolvido internamente para o projeto do vagão deve-se aplicar o DFMA	Desenho detalhado do princípio inovativo	Aplicação das estratégias DFMA no princípio inovativo

Tabela 59 – Descrição das tarefas, entradas e saídas do projeto detalhado – (continuação)

10.1	Caso o truque seja desenvolvido para o projeto do vagão deve-se realizar o plano macro de fabricação deste item	Desenho detalhado do truque após melhorias realizadas através das análises estruturais	Plano macro de processo do truque
10.2	Caso o engate e ACT sejam desenvolvidos para o projeto do vagão deve-se realizar o plano macro de fabricação destes itens	Desenho detalhado do engate e ACT após melhorias realizadas através das análises estruturais	Plano macro de processo do engate e ACT
10.3	Caso o sistema de freio seja desenvolvido para o projeto do vagão deve-se realizar o plano macro de fabricação deste item	Desenho detalhado do sistema de freio após melhorias realizadas através das análises estruturais	Plano macro de processo do sistema de freio
10.4	Caso a estrutura seja desenvolvida para o projeto do vagão deve-se realizar o plano macro de fabricação deste item	Desenho detalhado da estrutura após melhorias realizadas através das análises estruturais	Plano macro de processo da estrutura
10.5	Caso a superestrutura seja desenvolvida para o projeto do vagão deve-se realizar o plano macro de fabricação deste item	Desenho detalhado da superestrutura após melhorias realizadas através das análises estruturais	Plano macro de processo da superestrutura
10.6	Caso o princípio inovativo seja desenvolvido para o projeto do vagão deve-se realizar o plano macro de fabricação deste item	Desenho detalhado do princípio inovativo após melhorias realizadas através das análises estruturais	Plano macro de processo do princípio inovativo
11.1	Caso o truque seja desenvolvido para o projeto do vagão deve-se realizar o Procedimento operacional padrão (POP) deste item	Desenho detalhado do truque após melhorias realizadas através das análises estruturais	POP do truque
11.2	Caso o engate e ACT sejam desenvolvidos para o projeto do vagão deve-se realizar o Procedimento operacional padrão (POP) deste item	Desenho detalhado do engate e ACT após melhorias realizadas através das análises estruturais	POP do engate e ACT
11.3	Caso o sistema de freio seja desenvolvido para o projeto vagão deve-se realizar o Procedimento operacional padrão (POP) deste item	Desenho detalhado do sistema de freio após melhorias realizadas através das análises estruturais	POP do sistema de freio
11.4	Caso a estrutura seja desenvolvida para o projeto vagão deve-se realizar o Procedimento operacional padrão (POP) deste item	Desenho detalhado da estrutura após melhorias realizadas através das análises estruturais	POP da estrutura
11.4	Caso a superestrutura seja desenvolvida para o projeto vagão deve-se realizar o Procedimento operacional padrão (POP) deste item	Desenho detalhado da superestrutura após melhorias realizadas através das análises estruturais	POP da superestrutura
11.5	Realizar o procedimento padrão da montagem do vagão completo	Desenho detalhado do vagão após as análises estruturais	POP do conjunto completo do vagão
12	Verificar os pontos relatados no formulário II e descrever como foram tratados os pontos críticos do projeto do vagão	Pontos críticos relatados no formulário II do PC	Descrição como foram tratados os pontos críticos do projeto do vagão
13	Simular a dinâmica do vagão	Desenho detalhado do vagão completo após as análises estruturais, POP do conjunto completo do vagão	Simulação da dinâmica do vagão
14	Inserir todos os cálculos realizados para o projeto vagão	Desenho do vagão completo após as simulações da dinâmica	Memorial dos cálculos do projeto
15	Definir a pintura e marcação do vagão	Descrição como foram tratados os pontos críticos do projeto	Marcação e pintura do vagão
16	Aplicar o checklist das normas para o projeto de vagões ferroviários	Marcação e pintura do vagão	Checklist de normas vagão
17	Aplicar o checklist do projeto completo do vagão	Checklist de normas vagão	Checklist do projeto completo do vagão
18	Apresentar o projeto do vagão para o cliente	Apêndice checklist projeto	Apresentação do projeto do vagão para o cliente
19	Aguardar a aprovação do projeto do vagão realizado pelo cliente	Apresentação do projeto do vagão para o cliente	Projeto do vagão aprovado pelo cliente
20	Aguardar a aprovação da produção da unidade piloto do vagão	Projeto do vagão aprovado pelo cliente	Aprovação da unidade piloto do projeto
21	Preencher o termo do término do projeto detalhado do vagão	Aprovação da unidade piloto do projeto	Termo TPVF

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 60 – Ferramentas de apoio para realização das atividades do PD

	Ferramentas de apoio
1; 2	Apêndice K tabela 36 (Cronograma referente ao projeto do vagão ferroviário)
3	Apêndice R tabela 61 (Revisão do projeto detalhado)
4.1; 4.2 ; 4.3; 4.4; 4.5; 5.1; 5.2 ; 5.3; 5.4; 5.5;	Apêndice R tabela 62 (Seleção dos sistemas e subsistemas para o projeto do vagão)
6.1 ; 6.2; 6.3; 6.4; 6.5; 6.6 ;	Apêndice R tabela 63 (Desenhos detalhados referentes ao projeto do vagão)
7.1; 7.2; 7.3; 7.4; 7.5	Apêndice R tabela 64 (Formulário de apoio à simulação estrutural do vagão)
8.1; 8.2; 8.3; 8.4;8.5; 8.6; 8.7	Apêndice R tabela 65 (Lista de materiais referente ao projeto do vagão)
9.1; 9.2; 9.3; 9.4; 9.5; 9.6	Apêndice R tabela 66 (Checklist para verificação de aplicação de estratégias de DFMA)
10.1; 10.2; 10.3; 10.4; 10.5; 10.6	Apêndice R tabela 67 (Plano macro de processo de fabricação)
11.1; 11.2; 11.3; 11.4; 11.5	Apêndice R tabela 68 (Procedimento operacional padrão)
15	Apêndice R tabela 72 (Descrição dos pontos críticos na fase do PD)
12	Apêndice R tabela 69 (Simulação da dinâmica do vagão)
13	Apêndice R tabela 70 (Memorial de cálculos referentes ao projeto do vagão)
14	Apêndice R tabela 71 (Indicação da pintura e marcação do vagão)
16	Apêndice R tabela 73 (Checklist de normas de projetos de vagões ferroviários)
17	Apêndice R tabela 74 (Checklist do projeto do vagão)
19	Apêndice R tabela 75 (Termo de aprovação do projeto do vagão)
20	Apêndice R tabela 76 (Termo de aprovação da produção do vagão-piloto)
21	Apêndice R tabela 77 (Término do projeto detalhado)

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

## APÊNDICE R – Formulário de apoio ao projeto detalhado

Tabela 61 – Revisão do projeto detalhado (RPD)

Revisão do projeto Detalhado - (RPD)	
Data:	
Responsável:	
Descritivo	
_____	_____
Assinatura do responsável	Assinatura do Gerente do Projeto

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 62 – Seleção dos sistemas e subsistemas para o projeto do vagão

Truque				
Dados	Pré-selecionado	Viabilidade econômica	Decisão	Selecionado
Fornecedor		Sim	Comprar	
Código		Não	Manufaturar	
Conjunto engate e aparelho choque e tração				
Dados	Pré-selecionado	Viabilidade econômica	Decisão	Selecionado
Fornecedor		Sim	Comprar	
Código		Não	Manufaturar	
Estrutura				
Dados	Pré-selecionado	Viabilidade econômica	Decisão	Selecionado
Fornecedor		Sim	Comprar	
Código		Não	Manufaturar	
Superestrutura				
Dados	Pré-selecionado	Viabilidade econômica	Decisão	Selecionado
Fornecedor		Sim	Comprar	
Código		Não	Manufaturar	
Sistema de freio				
Dados	Pré-selecionado	Viabilidade econômica	Decisão	Selecionado
Fornecedor		Sim	Comprar	
Código		Não	Manufaturar	

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 63 – Desenhos detalhados referentes ao projeto do vagão

CONJUNTO	Sistema de freio	Engate e ACT	Superestrutura
	Truque	Estrutura	Princípio inovativo
Desenho Detalhado	* Analisar as observações sobre os pontos críticos de projeto conceitual * Incluir todas as tolerâncias em todas as cotas dos desenhos detalhados dos SSC's		
	DESENHO 3D		
	DESENHO 2D		
	COMPONENTES 3D		
	COMPONENTES 2D		

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 64 – Formulário de apoio à simulação estrutural do vagão

Parte I- Simulação estrutural referente ao projeto do vagão				
Tração no engate		Compressão no engate		Força de impacto (carga morta)
Vagão colocado sem truques nos apoios laterais da travessa do pião (carga morta)			Içamento na haste do engate de uma de suas extremidades (carga morta)	
Fase de pré-processamento:				
Programa utilizado:				
Informações do modelo				
Massa:		(kg)	Densidade:	(kg/m <sup>3</sup> )
Volume:		(m <sup>3</sup> )	Peso:	(N)
Propriedade do estudo				
Tipo da análise:			Tipo de solver:	
Tipo de malha:			Efeito no plano:	
Efeito térmico:			Mola suave:	
Opção térmica:			Atenuação inercial:	
Temperatura de deformação zero:			Opções de união incompatíveis:	
Inclui efeitos da pressão de fluidos:			Grandes deslocamento:	
Calcular forças de corpo livre:			Atrito:	
Usar método adaptável:				
Unidades				
Comprimento:	mm	cm	m	
Deslocamento:	mm	cm	m	
Temperatura:	K	°C	°F	
Velocidade angular:	rad/s			
Pressão:	N/m <sup>2</sup>			
Tensão:	N/m <sup>2</sup>			
Propriedades do material				
Material:				
Tipo de modelo:				
Critério de falha predeterminado:				
Limite de escoamento:			(N/m <sup>2</sup> )	
Resistência à tração:			(N/m <sup>2</sup> )	
Módulo elástico:			(N/m <sup>2</sup> )	
Coefficiente de Poisson:				
Massa específica:			(kg/m <sup>3</sup> )	
Módulo de cisalhamento:			(N/m <sup>2</sup> )	
Coefficiente de expansão térmica:			(K)	
Acessórios de fixação		Carga		
Entidades:		Entidades:		
Tipo:		Tipo		
		Valor:		
		Carga		(N)
Informações de malha				
Tensão				
Valor máximo:		Observações:		
Valor máximo:				
Valor encontrado:				
Deslocamento				
Valor máximo:		Observações:		
Valor máximo:				
Valor encontrado:				
Deformação				
Valor máximo:		Observações:		
Valor máximo:				
Valor encontrado:				
Fase de pós-processamento:				
Análise crítica dos resultados da simulação realizada:				

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 65 – Lista de materiais referente ao projeto do vagão

Lista de materiais				
Nº Item	Componentes (descrição)	Quantidade	Codificação	Fornecedor

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 66 – Checklist para verificação de aplicação de estratégias de DFMA

Aplicação de estratégias de DFMA		
Truque	Engate e ACT	Estrutura
Sistema de freio	Superestrutura	Princípio inovativo
Estratégias (Aplicar também estratégias específicas para cada processo)	Aplicável (S/N)	Justificativa (Como fazer; Porque não aplicar)
<b>DFM</b>		
Minimizar o número de partes		
Desenvolver projetos modulares		
Minimizar as variações das partes		
Projetar as partes para serem multifuncionais		
Projetar as partes para serem multiuso		
Projetar as partes para fácil fabricação		
Eliminar ou simplificar os ajustes.		
Minimizar a manipulação.		
Usar material de mais fácil processamento.		
Usar materiais e componentes normalizados		
Utilizar as características especiais dos processos		
Projetar de acordo com o volume esperado		
Liberar as tolerâncias		
<b>DFA</b>		
O número global de componentes deve ser minimizado		
Mínimo uso de elementos de fixação separados		
Projetar o produto com uma componente base		
Não reposicionar a base durante a montagem		
Utilizar uma sequência de montagem eficiente		
Evitar componentes com características que complicam a captação		
Projetar componentes para um tipo específico de captação, manipulação e inserção		
Projetar todos os componentes com simetria em torno de um eixo perpendicular ao eixo de inserção		
Projetar todos os componentes com simetria em torno de seus eixos de inserção.		
Projetar componentes sem possibilidade de simetria, claramente antissimétricos.		
Projetar os componentes para que a montagem das uniões ocorra em linha reta e todas na mesma direção.		
Fazer uso de chanfros, reentrâncias e da flexibilidade para facilitar a inserção e alinhamento.		
Maximizar a acessibilidade dos componentes		

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 67 – Plano macro de processo de fabricação

Plano de processo de fabricação (Macro)					
Código conjunto/peça	Denominação da peça	Data			
Equipe	Denominação conjunto				
N	Descrição Operação	Máquina (código/nome)	TP*	TH*	TM*
10					
20					
30					
40					
50					

\*Legenda: TP : tempo padrão ; TH: Tempo homem ; TM: Tempo máquina

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 68 – Procedimento operacional padrão (POP)

Procedimento operacional padrão (POP)		
Código conjunto	Denominação do conjunto	Data
Equipe		
Atividade	Descrição operação	Foto

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 69 – Simulação da dinâmica do vagão

Programa			
<b>Modelagem do vagão e condições operacionais</b>			
Tipo do vagão			
Tipo do truque			
Perfil de contato roda trilho			
Situação do vagão	Carregado	Vazio	Parcialmente carregado
Velocidade máxima autorizada nos trechos nos quais as curvas forma selecionadas			
<b>Modelação da via</b>			
Utilização da Track Star (Carro controle de manutenção de via permanente)			Sim    Não
Raio de curvatura			
Curva de transição			
Curva circular			
Antes das curvas 1000m inserido trecho sem irregularidades			
<b>Modelagem da via com irregularidades</b>			
<b>Com irregularidades</b>		<b>Sem irregularidades</b>	
Posição ao longo da via (m)		Posição ao longo da via (m)	
Nivelamento cruzado (XLEVEL) (mm)		Nivelamento cruzado (XLEVEL) (mm)	
Curvatura da via (1/km)		Curvatura da via (1/km)	
Irregularidade Lateral (mm)			
Irregularidade Vertical (mm)			
Variação da bitola (mm)			
<b>Condição de contorno- truque</b>			
Centro de gravidade do vagão	Folga longitudinal no pedestal (mm)		
Momento de inércia xx da caixa - lxx caixa	Jogo longitudinal no pedestal (mm)		
Momento de inércia yy da caixa - lyy caixa	Força lateral estática de fricção pela cunha (kN)		
Momento de inércia zz da caixa - lzz caixa	Força vertical estática de fricção pela cunha (kN)		
Base rígida (m)	Subida da cunha (mm)		
Pad Kx (kN/mm)	Folga lateral entre travessa e lateral (mm)		
Pad Ky (kN/mm)	Folga longitudinal entre travessa e lateral (mm)		
Pad Kz (kN/mm)	Jogo longitudinal entre travessa e lateral (mm)		
Folga ampara balanço (mm)	Pré-carga do ampara balanço (kN)		
Velocidade de tração (km/h)	Atrito prato de pião		
Velocidade compressão (km/h)	Velocidade Slack (km/h)		
<b>Resultados da simulação</b>			
<b>Conclusão da Simulação</b>			

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 70 – Memorial de cálculos referente ao projeto do vagão

Memorial de cálculos referente ao projeto do vagão

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 71 – Indicação da pintura e marcação do vagão

<b>Parte VII- Definição da pintura e marcação do vagão</b>			
Tipo do vagão			
Pintura			
Identificação da tinta			
Classificação da marcação	Pintada	Gravada	
<b>Marcação lateral direita</b>			
<b>Marcação lateral esquerda</b>			
<b>Marcação - cabeceira A; testeira A; calota A</b>			
<b>Marcação - cabeceira B; testeira B; calota B</b>			
<b>Marcação superior</b>			

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 72 – Descrição dos pontos críticos na fase do PD

<b>Pontos críticos do projeto do vagão (PCPV)</b>	
Data:	
Responsável:	
Descritivo	
_____	_____
Assinatura do responsável	Assinatura do Gerente do Projeto

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 73 – Checklist de normas de projetos de vagões ferroviários

Normas gerais para projeto de vagões ABNT	Aplicação no projeto do vagão (Sim/Não)	Por quê?
1 ABNT NBR 11691:2015		
2 ABNT NBR 12210:2015		
3 ABNT NBR 16444:2017		
4 ABNT NBR 12750:1992		
5 ABNT NBR 12730:1992		
6 ABNT NBR 16441:2015		
7 ABNT NBR 7634:1993		
8 ABNT NBR 7518:1989		
9 ABNT NBR 13824:1997		
<b>Normas de componentes para projeto de vagões ABNT</b>		
10 ABNT NBR 16471:2016		
11 ABNT NBR 7766:1990		
12 ABNT NBR 13825:1997		

Tabela 73 – Checklist de normas de projetos de vagões ferroviários – (continuação)

13	ABNT NBR 16086:2012		
14	ABNT NBR 16087:2012		
<b>Normas específicas para projeto de vagões ABNT</b>			
<b>Vagão- Tanque</b>			
15	ABNT NBR 11688:2015		
16	ABNT NBR 12783:1993		
17	ABNT NBR 16441:2015 *		
18	ABNT NBR 12945:1993		
19	ABNT NBR 8703:2013		
<b>Vagão- Plataforma</b>			
20	ABNT NBR 12740:1992		
21	ABNT NBR 12736:1993		
<b>Vagão- Fechado</b>			
22	ABNT NBR 12741:1992		
<b>Vagão- Gôndola</b>			
23	ABNT NBR 12737:1993		
<b>Vagão- Hopper</b>			
24	ABNT NBR 12738:1993		
<b>Normas de complementares para projeto de vagões ABNT</b>			
25	ABNT NBR 8694:1991		
26	ABNT NBR 11727:1992		
27	ABNT NBR 5565:2010		
28	ABNT NBR 16622:2017		
29	ABNT NBR 13902:1997		

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 74 – Checklist do projeto do vagão

Identificação		RESPOSTA	
		Sim	Não
1.1	Identificado tipo de projeto do vagão		
1.2	Descrito a problemática do cliente		
1.3	Identificado quais serão os envolvidos no projeto do vagão ferroviário		
1.4	Realizado o cronograma do projeto informacional referente ao projeto do vagão		
1.5	Realizado a reunião para apresentação do projeto do vagão		
1.6	Identificado se o projeto apresenta viabilidade econômica		
1.7	Identificado à liberação parcial do projeto informacional		
1.8	Identificado o cliente solicitante do projeto		
1.9	Identificado o tipo de carga a ser transportada		
1.10	Identificado se a carga a ser transportada é considerada perigosa		
1.11	Realizado a classificação da carga, no caso se for considerada perigosa		
1.12	Identificado à densidade da carga (kg/m <sup>3</sup> )		
1.13	Identificado o tipo do vagão a ser projetado		
1.14	Identificado o percurso a ser realizado		
1.15	Identificado à concessão ferroviária		
1.16	Descrito os pontos críticos no percurso a ser realizado		
1.17	Identificado à bitola (mm)		
1.18	Identificado o perfil do trilho		
1.19	Identificado o limite por eixo da via permanente (kg)		
1.20	Identificado à carga máxima nominal por eixo (kg)		
1.21	Identificado o vagão		
1.22	Identificado quantidades de eixos por truque		
1.23	Identificado o truque		
1.24	Identificado à meta de carga (kg)		
1.25	Identificado à altura nominal dos engates (mm)		
1.26	Identificado o recebimento do mapa da via permanente		
1.27	Realizado a classificação da via permanente		
1.28	Descrito as obras de arte no percurso entre origem/destino		
1.29	Identificar a altura máxima (mm)		
1.30	Identificado à largura máxima (mm)		
1.31	Identificado à altura útil (mm)		
1.32	Identificado à largura útil (mm)		
1.33	Identificado o comprimento útil (mm)		
1.34	Identificado à área útil (m <sup>2</sup> )		
1.35	Identificado o volume útil (m <sup>3</sup> )		
1.36	Identificado à tara (kg)		
1.37	Identificado o material da estrutura		
1.38	Identificado o material da superestrutura		
1.39	Identificado o programa de simulação estrutural		

Tabela 74 – Checklist do projeto do vagão – (continuação)

1.40	Identificado o programa de simulação referente à dinâmica		
1.41	Identificado à velocidade máxima autorizada no percurso - (trem carregado)		
1.42	Identificado à velocidade média autorizada (trem vazio)		
1.43	Identificado o raio mínimo de curva (m)		
1.44	Identificado à rampa máxima crescente (%)		
1.45	Identificado à rampa máxima decrescente (%)		
1.46	Identificado à quantidade de vagões permitida no percurso		
1.47	Identificado o comprimento máximo da composição ferroviária (vagões + locomotivas)		
1.48	Descrito os pontos críticos do projeto do vagão na fase do projeto informacional		
1.49	Descrito os processos de manufatura		
1.50	Descrito os fornecedores		
1.51	Identificado o término do projeto informacional		
2.1	Atualizado cronograma do projeto de desenvolvimento do vagão na fase do projeto conceitual		
2.2	Realizado a reunião para apresentação do projeto conceitual do vagão		
2.3	Realizado a revisão do projeto conceitual		
2.4	Identificado à liberação parcial do projeto conceitual		
2..5.1	Identificado às funções principais do truque		
2..5.2	Identificado às funções principais do engate		
2..5.3	Identificado às funções principais do aparelho de choque e tração (ACT)		
2..5.4	Identificado às funções principais do sistema de freio		
2..5.5	Identificado às funções principais da estrutura		
2..5.6	Identificado às funções principais da superestrutura		
2..6.1	Analisado em comprar ou fazer o truque		
2..6.2	Analisado em comprar ou fazer o engate		
2..6.3	Analisado em comprar ou fazer o ACT		
2..6.4	Analisado em comprar ou fazer o sistema de freio		
2..6.5	Analisado em comprar ou fazer a estrutura		
2..6.6	Analisado em comprar ou fazer a superestrutura		
2..7.1	Identificado fornecedores do truque		
2..7.2	Identificado fornecedores do engate		
2..7.3	Identificado fornecedores do ACT		
2..7.4	Identificado fornecedores do o sistema de freio		
2..7.5	Identificado fornecedores da estrutura		
2..7.6	Identificado fornecedores da superestrutura		
2..8.1	Identificado os processos de manufatura dos itens que serão desenvolvidos internamente do truque		
2..8.2	Identificado os processos de manufatura dos itens que serão desenvolvidos internamente do engate		
2..8.3	Identificado os processos de manufatura dos itens que serão desenvolvidos internamente ao ACT		
2..8.4	Identificado os processos de manufatura dos itens que serão desenvolvidos internamente do sistema de freio		
2..8.5	Identificado os processos de manufatura dos itens que serão desenvolvidos internamente da estrutura		
2..8.6	Identificado os processos de manufatura dos itens que serão desenvolvidos internamente da superestrutura		
2.9	Identificado o limite por eixo da via permanente		
2.10	Identificado à bitola da via permanente		
2.11	Identificado a quantidades de truques por vagão		
2.12	Realizado o benchmark para seleção dos truques		
2.13	Identificado o fornecedor do truque pré-selecionado		
2.14	Identificado o modelo e código do truque pré-selecionado		
2.15	Identificado à bitola		
2.16	Identificado o limite por eixo do truque pré-selecionado		
2.17	Identificado o dimensional nominal das mangas		
2.18	Identificado o diâmetro da roda		
2.19	Identificado a distância entre eixos		
2.20	Identificado o diâmetro do prato pião		
2.21	Identificado o menor raio de curvatura em serviço		
2.22	Identificado à velocidade de trabalho alcançada		
2.23	Identificado à massa do truque (kg)		
2.24	Realizado o desenho conceitual prévio do truque pré-selecionado		
2.25	Estimado o custo unitário do truque (R\$)		
2.26	Pré-selecionado o tipo de engate		
2.26	Identificado à haste de ligação		
2.28	Identificado à rotação da haste de ligação		
2.29	Identificado o tipo de operação do engate		
2.30	Identificado o modelo do conjunto do engate pré-selecionado		
2.31	Realizado o benchmark para a seleção dos engates e aparelho de choque e tração		
2.32	Identificado o fornecedor do engate e aparelho de choque e tração pré-selecionado		
2.33	Realizado a classificação do aparelho de choque e tração		
2.34	Identificado à massa do conjunto engate e sistema de choque e tração (kg)		
2.35	Realizado o desenho conceitual prévio do engate e do sistema choque e tração pré-selecionado		
2.36	Estimado o custo unitário do engate e do sistema choque e tração (R\$)		
2.37	Identificado o material da estrutura do vagão		
2.38	Realizado o benchmark para seleção dos materiais da estrutura		
2.39	Identificado o fornecedor do material da estrutura pré-selecionado		
2.40	Identificado os dados técnicos do perfil utilizado nas longarinas que sustentam os truques		
2.41	Identificado os dados técnicos do perfil utilizado nas longarinas centrais		
2.42	Identificado os dados técnicos das travessas		
2.43	Identificado os dados técnicos dos reforços estruturais		
2.44	Identificado à massa total da estrutura		
2.45	Realizado o desenho conceitual prévio da estrutura		
2.46	Estimado o custo da estrutura (R\$)		

Tabela 74 – Checklist do projeto do vagão – (continuação)

2.47	Identificado o material da superestrutura do vagão		
2.48	Realizado o benchmark para seleção dos materiais da superestrutura		
2.49	Identificado o fornecedor do material da superestrutura		
2.50	Identificado o tipo do vagão projetado		
2.51	Identificado à altura do vagão (mm)		
2.52	Identificado à largura do vagão (mm)		
2.53	Identificado o comprimento do vagão (mm)		
2.54	Identificado o dimensionamento das laterais (mm)		
2.55	Identificado o dimensionamento das cabeceiras (mm)		
2.56	Identificado o dimensionamento do fundo (mm)		
2.57	Identificado o dimensionamento da cobertura (mm)		
2.58	Identificado o dimensionamento do tanque (mm)		
2.59	Identificado os elementos de segurança		
2.60	Identificado à massa total da superestrutura (kg)		
2.61	Realizado o desenho conceitual prévio da superestrutura do vagão		
2.62	Estimado o custo da superestrutura (R\$)		
2.63	Identificado o tipo do sistema de freio pré-selecionado para o projeto do vagão		
2.64	Realizado o benchmark para seleção do sistema de freio		
2.65	Identificado o fornecedor do sistema de freio pré-selecionado		
2.66	Identificado à massa estimada do sistema de freio (kg)		
2.67	Realizado o desenho conceitual prévio do sistema de freio pré-selecionado		
2.68	Estimado o custo da do sistema de freio (R\$)		
2.69	Proposto alternativas contendo princípios inovativos (estrutural, material, revestimento)		
2.70	Descritivo os princípios inovativos observados		
2.71	Selecionado a arquitetura inovativa mais adequada para o projeto do vagão		
2.72	Analisado tecnicamente o princípio inovativo pré-selecionado		
2.73	Identificado a aprovação ou reprovação técnica		
2.74	Realizado o desenho conceitual prévio dos princípios inovativos		
2.75	Estimado o custo dos princípios inovativos		
2.76	Descrito os pontos críticos no projeto na fase do projeto conceitual		
2.77	Identificado o término do projeto conceitual		
3.1	Atualizado cronograma do projeto do vagão na fase do projeto detalhado		
3.2	Realizado a reunião para apresentação referente ao projeto detalhado do vagão		
3.3	Revisado o projeto detalhado do vagão		
3.4.1	Aprovado da viabilidade econômica do truque		
3.4.2	Aprovado da viabilidade econômica do conjunto engate e ACT		
3.4.3	Aprovado da viabilidade econômica do sistema de freio		
3.4.4	Aprovado da viabilidade econômica da estrutura		
3.4.5	Aprovado da viabilidade econômica da superestrutura		
3.5.1	Confirmado o modelo do truque selecionado para o projeto do vagão		
3.5.2	Confirmado o modelo do conjunto engate e ACT selecionado para o projeto do vagão		
3.5.3	Confirmado o modelo do sistema de freio para o projeto do vagão		
3.5.4	Confirmado o modelo da estrutura para o projeto do vagão		
3.5.5	Confirmado o modelo da superestrutura para o projeto do vagão		
3.6.1	Desenvolvido os desenhos detalhados (3D/2D) do truque, contendo todas as tolerâncias de cada cota do desenho		
3.6.2	Desenvolvido os desenhos detalhados (3D/2D) do conjunto engate e ACT, contendo todas as tolerâncias de cada cota do desenho		
3.6.3	Desenvolvido os desenhos detalhados (3D/2D) do sistema de freio, contendo todas as tolerâncias de cada cota do desenho		
3.6.4	Desenvolvido os desenhos detalhados (3D/2D) da estrutura, contendo todas as tolerâncias de cada cota do desenho		
3.6.5	Desenvolvido os desenhos detalhados (3D/2D) da superestrutura, contendo todas as tolerâncias de cada cota do desenho		
3.6.6	Desenvolvido os desenhos detalhados (3D/2D) do princípio inovativo, contendo todas as tolerâncias de cada cota do desenho		
3.7.1	Realizado a simulação I: Análise de tração no engate		
3.7.2	Realizado a simulação II: Análise de compressão no engate		
3.7.3	Realizado a simulação III: Análise do içamento na haste do engate de uma de suas extremidades (carga morta)		
3.7.4	Realizado a simulação IV: Análise do vagão colocado sem truques nos apoios laterais da travessa do piao (carga morta)		
3.7.5	Realizado a simulação V: Análise da força de impacto (carga morta)		
3.8.1	Realizado a BOM (Bill of Materials - Lista de materiais) do truque		
3.8.2	Realizado a BOM (Bill of Materials - Lista de materiais) do conjunto engate e ACT		
3.8.3	Realizado a BOM (Bill of Materials - Lista de materiais) do sistema de freio		
3.8.4	Realizado a BOM (Bill of Materials - Lista de materiais) da estrutura		
3.8.5	Realizado a BOM (Bill of Materials - Lista de materiais) da superestrutura		
3.8.6	Realizado a BOM (Bill of Materials - Lista de materiais) do princípio inovativo		
3.8.7	Realizado a BOM (Bill of Materials - Lista de materiais) do conjunto completo		
3.9.1	Aplicado às técnicas de DFMA no truque		
3.9.2	Aplicado às técnicas de DFMA no conjunto engate e ACT		
3.9.3	Aplicado às técnicas de DFMA no sistema de freio		
3.9.4	Aplicado às técnicas de DFMA na estrutura		
3.9.5	Aplicado às técnicas de DFMA na superestrutura		
3.9.6	Aplicado às técnicas de DFMA no princípio inovativo		
3.10.1	Realizado o plano macro de processo do truque		
3.10.2	Realizado o plano macro de processo do conjunto engate e ACT		
3.10.3	Realizado o plano macro de processo do sistema de freio		
3.10.4	Realizado o plano macro de processo da estrutura		
3.10.5	Realizado o plano macro de processo da superestrutura		
3.10.6	Realizado o plano macro de processo do princípio inovativo		

Tabela 74 – Checklist do projeto do vagão – (continuação)

3.11.1	Realizado o procedimento operacional padrão do truque		
3.11.2	Realizado o procedimento operacional padrão do conjunto engate e ACT		
3.11.3	Realizado o procedimento operacional padrão do sistema de freio		
3.11.4	Realizado o procedimento operacional padrão da estrutura		
3.11.5	Realizado o procedimento operacional padrão da superestrutura		
3.11	Realizado o procedimento operacional padrão do conjunto completo do vagão		
3.12	Realizado a revisão dos pontos críticos na fase do projeto detalhado do vagão		
3.13	Realizado a simulação da dinâmica do vagão		
3.14	Realizado o memorial dos cálculos do projeto do vagão		
3.15	Realizado a definição da pintura e marcação do vagão		
3.16	Preenchido o checklist de normas referente ao projeto do vagão		
3.17	Preenchido o checklist de projeto completo do vagão		
3.18	Realizado a apresentação do projeto do vagão para cliente		
3.19	Identificado a aprovação do projeto do vagão pelo cliente		
3.20	Identificado a aprovação da produção do projeto do vagão-piloto		
3.21	Identificado o término do projeto detalhado		

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 75 – Termo de aprovação do projeto do vagão

Aprovação projeto - (AP)				
Data:				
Responsável:				
Alterações solicitadas após reunião de apresentação do projeto ao cliente				
Descritivo				
Plano de ação - Realização das alterações				
Item	Atividade	Responsável	Data	Aprovação
1				
2				
3				
Aprovação projeto final				
_____		_____		
Assinatura do responsável		Assinatura do Gerente do Projeto		

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 76 – Termo de aprovação da produção do vagão-piloto

Aprovação da produção do vagão-piloto (APVP)			
Data:			
Previsão de montagem do vagão-piloto		Previsão de entrega do vagão-piloto:	
_____		_____	
Assinatura do responsável		Assinatura do Gerente do Projeto	

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

Tabela 77 – Término do projeto detalhado (TPD)

Término do projeto detalhado - (TPD)	
Data:	
Responsável:	
Descritivo	
_____	
Assinatura do responsável	
Assinatura do Gerente do Projeto	

Fonte: Realizado pelo autor (2019).

## APÊNDICE S – Análise industrial referente às atividades do PI, PC e PD

Tabela 78 – Análise industrial referente às atividades do PI

Tarefa	Descrição	E1	E2	E3
1.1	Identificar o tipo de projeto - vagão padrão já enviado para o cliente			X
1.2	Identificar o tipo de projeto - buscando solucionar alguma problemática identificada pelo cliente	X	X	X
1.3	Identificar a problemática do cliente	X	X	X
1.4	Definir as pessoas envolvidas no projeto vagão da área de Engenharia	X	X	X
	Definir as pessoas envolvidas no projeto do vagão da área de Manufatura	X	X	X
	Definir as pessoas envolvidas no projeto do vagão da área de Financeiro	X		X
	Definir as pessoas envolvidas no projeto do vagão da área de Qualidade	X		X
	Definir as pessoas envolvidas no projeto do vagão da área de Suprimentos	X		X
	Definir as pessoas envolvidas no projeto do vagão da área de Logística	X		X
	Definir as pessoas envolvidas no projeto do vagão da área de Segurança	X		X
1.5	Definir a data da reunião para apresentação do projeto informacional para as pessoas envolvidas		X	X
1.6	Realizar o cronograma do projeto do vagão na fase do projeto informacional	X	X	X
1.7	Verificar a viabilidade econômica do projeto do vagão	X	X	X
1.8	Preencher o termo de liberação parcial do projeto informacional			
1.9	Identificar o cliente para qual o vagão estará sendo projetado	X	X	X
1.10	Identificar o código do cliente			X
1.11	Solicitar ao cliente o logotipo da empresa para identificação do vagão			X
1.12	Identificar o tipo de carga que o vagão em projeto transportará	X	X	X
1.13	Verificar se a carga a ser transportada é classificada como carga perigosa	X	X	X
1.14	Caso a carga seja considerada perigosa, identificar a classificação da carga perigosa	X	X	X
1.15	Verificar a densidade da carga a ser transportada	X	X	X
1.16	Identificar o tipo de vagão a ser projetado	X	X	X
1.17	Identificar a concessão ferroviária no qual o vagão irá se transportar	X	X	X
1.18	Identificar a origem do percurso			
1.19	Identificar o destino do percurso			
1.20	Identificar o comprimento do percurso (m)			
1.21	Identificar os pontos críticos no percurso a ser realizado pelo vagão			
1.22	Identificar o tipo de bitola que o vagão deverá ser projetado	X	X	X
1.23	Identificar o tipo do perfil do trilho	X	X	X
1.24	Identificar o peso teórico (kg/m) do trilho		X	X
1.25	Identificar o limite por eixo da via permanente (kg)	X	X	X
1.26	Identificar o coeficiente de segurança		X	X
1.27	Identificar a classificação da via permanente		X	X
1.28	Identificar a carga máxima nominal por eixo (kg)	X	X	X
1.29	Identificar as obras de arte no percurso	X	X	X
1.30	Identificar o tipo do vagão em projeto	X	X	X
1.31	Identificar a altura máxima do vagão (mm)	X	X	X
1.32	Identificar a largura máxima do vagão (mm)	X	X	X
1.33	Identificar a meta de carga (kg)			
1.34	Identificar o comprimento útil do vagão (mm)	X	X	X
1.35	Identificar a largura útil do vagão (mm)	X	X	X
1.36	Identificar a altura útil do vagão (mm)	X	X	X
1.37	Identificar a área útil do vagão (m²)	X	X	X
1.38	Identificar o volume útil do vagão (m³)	X	X	X
1.39	Identificar a altura nominal dos engates (mm)	X	X	X
1.40	Realizar a classificação do veículo ferroviário		X	X
1.41	Identificar a quantidade de eixos por truque	X	X	X
1.42	Identificar se o cliente já possui algum modelo de truque padrão para seus vagões	X	X	X
1.43	Caso o cliente já possui o modelo do truque padrão, identificar o modelo e marca	X	X	X
1.44	Identificar as características da material a ser utilizado na estrutura	X	X	X
1.45	Identificar as características da material a ser utilizado na superestrutura	X	X	X
1.46	Identificar o com o cliente o qual será a locomotiva que irá tracionar o vagão		X	
1.47	Caso o cliente já possui o modelo da locomotiva, identificar modelo/marca/potência/Peso		X	
1.48	Identificar se a análise da condição da via permanente será teórica		X	
1.49	Identificar se a análise da condição da via permanente será real		X	
1.50	Identificar o programa de simulação referente a análise da dinâmica do vagão	X	X	X
1.51	Identificar o programa de simulação referente à análise estrutural do vagão	X	X	X
1.52	Identificar se o projeto do vagão irá aplicar princípios de modularização		X	X
1.53	Identificar a velocidade máxima autorizada no percurso (trem carregado)	X	X	X
1.54	Identificar a velocidade média comercial no percurso (trem carregado)	X		
1.55	Identificar a velocidade máxima comercial no percurso (trem carregado- produto perigoso)	X		
1.56	Identificar a velocidade média comercial no percurso (trem carregado- produto perigoso)	X		
1.57	Identificar a velocidade média autorizada (trem vazio)	X	X	
1.58	Identificar a velocidade média comercial (trem vazio)	X		
1.59	Identificar o raio mínimo de curva (m)	X	X	X
1.60	Identificar a rampa máxima crescente (%)	X		X
1.61	Identificar a rampa máxima decrescente (%)	X		X
1.62	Identificar a quantidade de vagões permitida no percurso	X	X	X
1.63	Identificar a capacidade máxima de tração permitida no percurso		X	

Tabela 78 – Análise industrial referente às atividades do PI – (continuação)

1.64	Identificar o comprimento máximo da composição ferroviária (locomotiva + vagões)	X	X	X
1.65	Identificar os possíveis processos de manufatura envolvidos na produção do vagão	X	X	X
1.66	Identificar os possíveis fornecedores envolvidos no projeto do vagão	X	X	X
1.67	Identificar os pontos críticos no projeto do vagão	X	X	X
1.68	Identificar o tempo de duração das atividades do projeto informacional	X	X	X
1.69	Realizar o preenchimento do termo de término do projeto informacional	X	X	X

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Tabela 79 – Análise industrial referente às atividades do PC

Tarefa	Descrição	E1	E2	E3
2.1	Revisão das atividades realizadas após LPPI	X		X
2.2	Atualizar o cronograma do projeto conceitual do vagão	X	X	X
2.3	Identificar a data da reunião para repasse da finalização do projeto informacional e atividades a serem desenvolvidas do projeto conceitual	X	X	X
2.4	Preencher o termo de liberação parcial do projeto conceitual			
2.5	Identificar as principais funções do truque	X	X	X
2.6	Identificar as principais funções do engate	X	X	X
2.7	Identificado as principais funções da estrutura	X	X	X
2.8	Identificar as principais funções da superestrutura	X	X	X
2.9	Identificar as principais funções do sistema de freio	X	X	X
2.10	Identificar as principais funções do aparelho de choque e tração	X	X	X
2.11	Identificar a compra ou a manufatura do truque	X		X
2.12	Identificar a compra ou a manufatura do engate	X		X
2.13	Identificar a compra ou a manufatura do aparelho de choque e tração	X		X
2.14	Identificar a compra ou a manufatura do sistema de freio	X		X
2.15	Identificar a compra ou a manufatura da estrutura	X		
2.16	Identificar a compra ou a manufatura da superestrutura	X		
2.17	Identificar o fornecedor do truque , caso este seja definido para ser comprado	X		X
2.18	Identificar o fornecedor do engate , caso este seja definido para ser comprado	X		X
2.19	Identificar o fornecedor do sistema do ACT , caso este seja definido para ser comprado	X		X
2.20	Identificar o fornecedor do sistema de freio , caso este seja definido para ser comprado	X		X
2.21	Identificar o fornecedor da estrutura , caso este seja definido para ser comprada	X		
2.22	Identificar o fornecedor da superestrutura , caso este seja definido para ser comprada	X		
2.23	Identificar a realização do desenvolvimento do truque			
2.24	Identificar a realização do desenvolvimento do engate			
2.25	Identificar a realização do desenvolvimento do aparelho de choque e tração			
2.26	Identificar a realização do desenvolvimento do sistema de freio			
2.27	Identificar a realização do desenvolvimento da superestrutura			
2.28	Identificar a realização do desenvolvimento da estrutura			
2.29	Identificar o responsável para realizar a análise da dinâmica ferroviária			
2.30	Identificar os processos de manufatura do truque, caso este seja manufaturado	X		
2.31	Identificar os processos de manufatura do engate, caso este seja manufaturado	X		
2.32	Identificar os processos de manufatura do ACT , caso este seja manufaturado	X		
2.33	Identificar os processos de manufatura do sistema de freio, caso este seja manufaturado	X		
2.34	Identificar os processos de manufatura da estrutura, caso este seja manufaturada	X	X	X
2.35	Identificar os processos de manufatura da superestrutura, caso este seja manufaturada	X	X	X
2.36	Identificar o limite por eixo da via permanente (t)	X	X	X
2.37	Identificar a bitola da via permanente (mm)	X	X	X
2.38	Identificar a quantidade de truques por vagão	X	X	X
2.39	Preencher a planilha de benchmark referente ao truque	X	X	
2.40	Identificar o fornecedor do truque pré-selecionado para o projeto do vagão	X	X	X
2.41	Identificar o modelo do truque pré-selecionado para o projeto do vagão	X	X	X
2.42	Identificar o limite por eixo do truque pré-selecionado (kg)			
2.43	Identificar a bitola do truque pré-selecionado para o projeto (m)	X	X	X
2.44	Identificar o dimensional nominal das mangas do truque pré-selecionado para o projeto (mm)	X	X	X
2.45	Identificar o diâmetro da roda do truque pré-selecionado para o projeto (mm)	X	X	X
2.46	Identificar a distância entre eixos do truque pré-selecionado para o projeto (mm)	X	X	X
2.47	Identificar o diâmetro do prato pião do truque pré-selecionado para o projeto (mm)	X	X	X
2.48	Identificar o menor raio de curvatura em serviço do truque pré-selecionado para o projeto (m)	X	X	X
2.49	Identificar a velocidade de trabalho alcançada do truque pré-selecionado para o projeto (km/h)	X	X	X
2.50	Identificar a massa do truque pré-selecionado para o projeto (kg)	X	X	X
2.51	Realizar o desenho prévio do conceito do truque	X	X	X
2.52	Estimar o custo unitário do truque pré-selecionado para o projeto (R\$)	X	X	X
2.53	Identificar o tipo do engate pré-selecionado para o projeto	X	X	X
2.54	Identificado à haste de ligação pré-selecionada para o projeto	X	X	X
2.55	Identificar a rotação da haste de ligação pré-selecionada para o projeto	X	X	X
2.56	Identificar o tipo de operação do engate pré-selecionado para o projeto			
2.57	Identificar o modelo do conjunto do engate pré-selecionado para o projeto	X	X	X

Tabela 79 – Análise industrial referente às atividades do PC – (continuação)

2.58	Preencher a planilha de benchmark referente ao engate e aparelho e choque e tração pré-selecionado	X	X	X
2.59	Identificar o fornecedor do engate e ACT pré-selecionado para o projeto do vagão	X	X	X
2.60	Realizar a classificação do aparelho de choque e tração	X	X	X
2.61	Identificar a massa do engate e aparelho de choque e tração pré-selecionado para o projeto (kg)	X	X	X
2.62	Realizar o desenho prévio do conceito do engate e do sistema do choque e tração	X	X	X
2.63	Estimar o custo unitário do engate e do ACT pré-selecionado para o projeto (R\$)	X	X	X
2.64	Identificar o material da estrutura referente ao projeto do vagão	X	X	X
2.65	Preencher a planilha de benchmark referente a estrutura do vagão	X	X	X
2.66	Identificar o fornecedor do material da estrutura pré-selecionado para o projeto do vagão	X	X	X
2.67	Identificar os dados técnicos do perfil utilizado nas longarinas que sustentam os truques	X	X	X
2.68	Identificar os dados técnicos do perfil utilizado nas longarinas centrais	X	X	X
2.69	Identificar os dados técnicos das travessas	X	X	X
2.70	Identificar os dados técnicos dos reforços estruturais	X	X	X
2.71	Identificar a massa da estrutura pré-selecionada para o projeto do vagão (kg)	X	X	X
2.72	Realizar o desenho prévio da estrutura pré-selecionada para o projeto do vagão	X	X	X
2.73	Estimar o custo unitário da estrutura pré-selecionada para o projeto (R\$)	X	X	X
2.74	Identificar o material da superestrutura referente ao projeto do vagão	X	X	X
2.75	Preencher a planilha de benchmark referente a superestrutura do vagão	X	X	X
2.76	Identificar o fornecedor do material da superestrutura pré-selecionada para o projeto	X	X	X
2.77	Identificar o tipo de vagão a ser projetado	X	X	X
2.78	Identificar a altura do vagão (mm)	X	X	X
2.79	Identificar a largura do vagão (mm)	X	X	X
2.80	Identificar o comprimento do vagão (mm)	X	X	X
2.81	Realizar o dimensionamento das laterais do vagão (mm)	X	X	X
2.82	Realizar o dimensionamento das cabeceiras do vagão (mm)	X	X	X
2.83	Realizar o dimensionamento do fundo do vagão (mm)	X	X	X
2.84	Realizar o dimensionamento da cobertura do vagão (mm)	X	X	X
2.85	Realizar o dimensionamento do tanque do vagão (mm)	X	X	X
2.86	Identificar os elementos de segurança necessários do vagão	X	X	X
2.87	Identificar a massa da superestrutura pré-selecionada para o projeto do vagão (kg)	X	X	X
2.88	Realizar o desenho prévio da superestrutura pré-selecionada para o projeto do vagão	X	X	X
2.89	Estimar o custo unitário da superestrutura pré-selecionada para o projeto do vagão (R\$)	X	X	X
2.90	Identificar o tipo de sistema de freio utilizado no projeto do vagão	X	X	X
2.91	Preencher a planilha de benchmark referente ao sistema de freio	X	X	X
2.92	Identificar o fornecedor do sistema de freio pré-selecionado para o projeto do vagão	X	X	X
2.93	Identificar a massa do sistema de freio pré-selecionado para o projeto do vagão (kg)	X	X	X
2.94	Realizar o desenho prévio do sistema de freio pré-selecionado para o projeto do vagão	X	X	X
2.95	Estimar o custo unitário do sistema de freio pré-selecionado para o projeto do vagão (R\$)	X	X	X
2.96	Identificar os princípios inovativos no projeto dos SSC's do vagão	X	X	
2.97	Descrever os princípios inovativos observados	X	X	X
2.98	Preencher a planilha de benchmark referente aos princípios inovativos	X	X	
2.99	Analisar tecnicamente o princípio inovativo pré-selecionado para o projeto do vagão	X	X	
2.100	Identificar a aprovação ou reprovação técnica do princípio inovativo pré-selecionado para o projeto	X	X	
2.101	Realizar o desenho prévio do princípio inovativo pré-selecionado para o projeto	X	X	
2.102	Estimar o custo unitário do princípio inovativo pré-selecionado para o projeto (R\$)	X	X	
2.103	Identificar como foram contornados os pontos críticos do projeto do vagão na fase do projeto detalhado	X	X	X
2.104	Preencher o termo de término do projeto conceitual	X	X	X

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Tabela 80 – Análise industrial referente às atividades do PD

Tarefa	Descrição	E1	E2	E3
3.1	Revisar as atividades realizadas após LPPC	X	X	X
3.2	Atualizar o cronograma de projeto detalhado do vagão	X	X	X
3.3	Identificar a data da reunião para repasse da finalização do projeto conceitual e atividades a serem desenvolvidas do projeto detalhado	X	X	X
3.4	Realizar a simulação estrutural do vagão - análise de tração no engate	X	X	X
3.5	Realizar a simulação estrutural do vagão- análise de compressão no engate	X	X	X
3.6	Realizar a simulação- análise do içamento na haste do engate de uma de suas extremidades (carga viva)	X	X	
3.7	Realizar a simulação- Análise do içamento na haste do engate de uma de suas extremidades (carga morta)	X	X	X
3.8	Realizar a simulação estrutural do vagão colocado sem truques nos apoios laterais da travessa do pião (carga viva)	X	X	
3.9	Realizar a simulação estrutural do vagão colocado sem truques nos apoios laterais da travessa do pião (carga morta)	X	X	X

Tabela 80 – Análise industrial referente às atividades do PD – (continuação)

3.10	Realizar a seleção final dos sistemas/subsistemas/componentes (SSC)	X	X	X
3.11	Aprovar a viabilidade econômica do SSC's	X	X	X
3.12	Realizar o desenho detalhado do truque	X	X	X
3.13	Realizar o desenho detalhado do conjunto engate e aparelho de choque e tração	X	X	X
3.14	Realizar o desenho detalhado da estrutura	X	X	X
3.15	Realizar o desenho detalhado da superestrutura	X	X	X
3.16	Realizar o desenho detalhado do sistema de freio	X	X	X
3.17	Realizar o desenho detalhado do princípio inovativo	X	X	X
3.18	Realizar a Bill of Materials do truque	X	X	
3.19	Realizar a Bill of Materials do conjunto engate e aparelho de choque e tração	X	X	X
3.20	Realizar a Bill of Materials da estrutura	X	X	X
3.21	Realizar a Bill of Materials da superestrutura	X	X	X
3.22	Realizar a Bill of Materials do sistema de freio	X	X	X
3.23	Realizar a Bill of Materials do princípio inovativo	X	X	X
3.24	Desenvolver a Bill of Materials do projeto completo do vagão	X	X	X
3.25	Aplicar as técnicas de DFMA no truque	X	X	X
3.26	Aplicar as técnicas de DFMA no conjunto engate e aparelho de choque e tração	X	X	X
3.27	Aplicar as técnicas de DFMA na estrutura	X	X	X
3.28	Aplicar as técnicas de DFMA na superestrutura	X	X	X
3.29	Aplicar as técnicas de DFMA no sistema de freio	X	X	X
3.30	Aplicar técnicas de DFMA no princípio inovativo	X	X	X
3.31	Desenvolver o plano macro de processo do truque	X	X	X
3.32	Desenvolver o plano macro de processo do conjunto engate e aparelho de choque e tração	X	X	X
3.33	Desenvolver o plano macro de processo da estrutura	X	X	X
3.34	Desenvolver o plano macro de processo da superestrutura	X	X	X
3.35	Desenvolver o plano macro de processo do sistema de freio	X	X	X
3.36	Desenvolver o plano macro de processo do princípio inovativo	X	X	X
3.37	Desenvolver o procedimento operacional macro de montagem do truque	X	X	X
3.38	Desenvolver o procedimento operacional macro de montagem do conjunto engate e ACT	X	X	X
3.39	Desenvolver o procedimento operacional macro de montagem da estrutura	X	X	X
3.40	Desenvolver o procedimento operacional macro de montagem da superestrutura	X	X	X
3.41	Desenvolver o procedimento operacional macro de montagem do sistema de freio	X	X	X
3.42	Desenvolver o procedimento operacional macro de montagem do princípio inovativo	X	X	X
3.43	Realizar os planos de contorno dos pontos críticos do projeto detalhado do vagão	X	X	X
3.44	Identificar as informações da condição da via permanente	X	X	
3.45	Realizar a análise dinâmica referente ao projeto do vagão	X	X	X
3.46	Realizar o memorial de cálculos do projeto do vagão	X	X	X
3.47	Definir a pintura e marcação do vagão	X	X	X
3.48	Preencher o checklist das normas do projeto do vagão	X	X	X
3.49	Preencher o checklist de projeto do vagão	X	X	X
3.50	Apresentar o projeto do vagão para o cliente	X	X	X
3.51	Identificar pelo cliente pontos de melhoria no projeto do vagão	X	X	X
3.52	Revisar o projeto do vagão após identificação de melhorias indicado pelo cliente	X	X	X
3.53	Aprovar o projeto pelo cliente após revisão do projeto do vagão	X	X	X
3.54	Aprovar a produção do vagão-piloto	X	X	X
3.55	Preencher o termo de término do projeto detalhado	X	X	X

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).