

Análise de projeto para confiabilidade de mecanismo de direção para semirreboques

Thiago Bastos Fernandes, Mestrando (Universidade Federal de Santa Catarina) thiagobf.91@gmail.com
Vangelo Cardoso Manenti, Mestrando (Universidade Federal de Santa Catarina) vangelomanenti@gmail.com
Acires Dias, Professor (Universidade Federal de Santa Catarina) acires.dias@ufsc.br

Resumo:

A eficiência no setor de transporte rodoviário é um fator representativo no quadro econômico de alguns países, principalmente os que têm predominância nesse tipo de modal em sua matriz de transporte de cargas. Frotas que possuem veículos confiáveis tem maior credibilidade e contribuem para melhorar a eficiência do setor de transporte rodoviário. Este artigo apresenta algumas ferramentas de análise de falha utilizadas no contexto da análise e do desenvolvimento de novos projetos ou de produtos já existentes. O projeto para confiabilidade foi utilizado como objetivo de mitigar a ocorrência de erros durante o desenvolvimento do projeto do sistema de eixo auto-direcional em semirreboque, com vistas a prover um sistema de direção que diminua o desgaste de pneus durante as manobras e deslocamento do semirreboque.

Palavras chave: Confiabilidade, CNEA, Transporte de carga, Sistema de direção.

Reliability analysis during Design of a steering mechanism for semi-trailers

Abstract

The efficiency in the road transport sector is a representative factor in the economic situation of some countries, especially those with predominance in this type of modal's cargo transportation matrix. Fleets that have reliable vehicles has greater credibility and contribute to improving the efficiency of the road transport sector. This article presents some failure analysis tools used in the context of the analysis and development of new or existing products. The design for reliability was used as to mitigate the occurrence of errors during the project development of the self-steering axle system in semi-trailer, in order to provide a steering system that reduces tire wear during maneuvering and displacement of the semi-trailer.

Key-words: Reliability, CNEA, Steering mechanism.

1. Introdução

O desenvolvimento econômico de uma nação está intimamente relacionado com a logística de transporte. Assim, é natural verificar que as regiões mais desenvolvidas têm os melhores indicadores relacionados à movimentação de carga. O transporte pelo modal rodoviário é o principal sistema logístico no Brasil e conta com uma rede de 1,7 milhão de quilômetros de estradas e rodovias por onde passam 96,2% da locomoção de passageiros e 61,8% da movimentação de cargas no território nacional (CNT, 2010).

Neste contexto, atuar na eficiência de sistemas para reduzir os custos com pneus é muito importante dado que os custos de manutenção com pneus são significativos no setor de

transportes. Ao mesmo tempo, veículos de carga mais eficientes tendem a reduzir a emissão de poluentes e reduzir os custos dos fretes.

Entre as combinações de veículos de carga (CVC) utilizadas no transporte de carga brasileiro, cita-se a combinação de caminhão-trator 6x2 mais semirreboque de 3 eixos distanciados, como indicado na Figura 1. Pelo fato do semirreboque ter eixos distanciados aumenta a capacidade de carga dos eixos, porém, esse tipo de semirreboque apresenta dificuldades para realizar curvas e ao mesmo tempo que proporciona desgaste prematuro nos pneus.

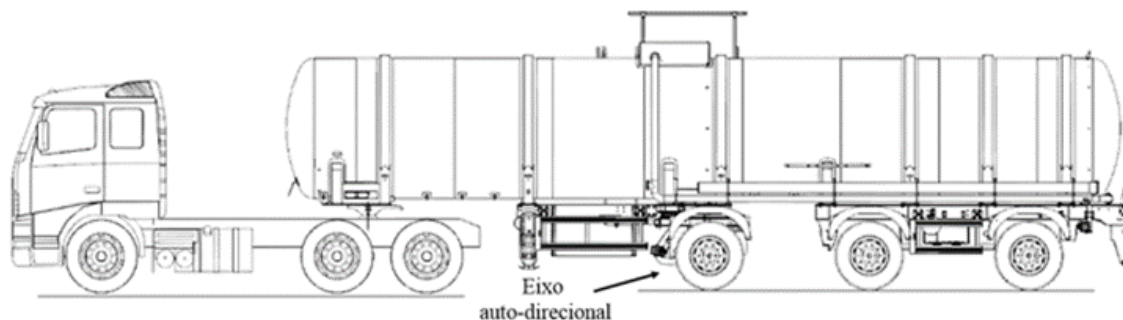


Figura 1 – CVC caminhão-trator 6x2 mais semirreboque tanque de 3 eixos distanciados

Para amenizar os problemas citados, a maioria desse tipo de semirreboque utiliza o primeiro eixo auto-direcional, conforme Figura 1. O eixo auto-direcional é constituído de um sistema de direção passivo e opera por meio da atuação do ângulo caster, que proporciona uma força lateral no pneu que leva o mesmo a esterçar.

O caster é, segundo a DIN70020, a distância "n", mostrada na Figura 2, entre o ponto de contato pneu/pista e o ponto em que o prolongamento do pino mestre encontra o solo, medida na projeção em um plano médio vertical do veículo (LEAL; ROSA; NICOLAZZI, 2012).

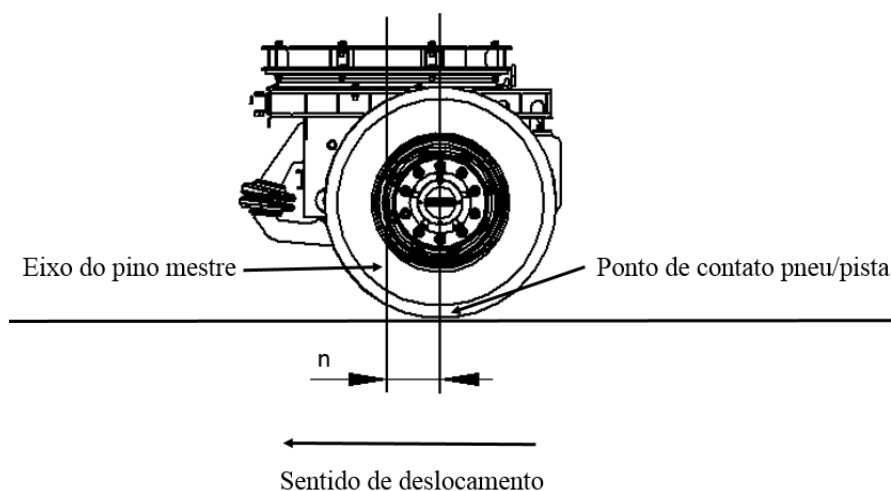


Figura 2. Eixo auto-direcional.

O problema na utilização desse sistema é quando a CVC necessita mudar o sentido de deslocamento, por exemplo, na marcha ré. Para contornar esse problema alguns semirreboques bloqueiam o eixo na marcha ré, o que aumenta o “arraste” do pneu e dificulta a realização de manobras. Já há outros modelos que suspendem o eixo que contém o mecanismo auto-direcional e por consequência acaba aumentando a cargas nos outros eixos do semirreboque e do caminhão-trator, podendo causar danos ao chassi, as suspensões dos veículos ou infringir as normas de carregamento por eixo.

Com o objetivo de melhorar a eficiência dessa CVC, é proposto um novo projeto para

semirreboque de eixos distanciados, apresentado na Figura 3, o qual possui sistema de direção ativo para esterçar as rodas e evitar que os pneus arrastem.

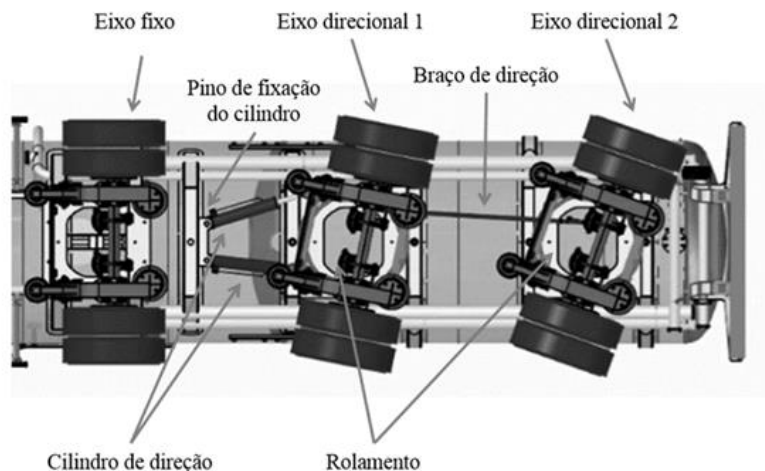


Figura 3. Projeto de semirreboque com mecanismo direcional.

O desenvolvimento deste projeto de direção para os eixos auto-direcionais tem o objetivo de tornar os semirreboques mais eficientes e com garantia de confiabilidade.

2. Revisão bibliográfica

Nesta etapa é apresentada uma revisão bibliográfica de ferramentas específicas utilizadas para análise de confiabilidade.

2.1. Análise Funcional

A análise funcional de produtos é um conjunto de atividades realizadas com intuito de obter conhecimento sobre a função global do sistema e sobre as funções secundários dos subsistemas e componentes. Ao final da análise é possível ter a estrutura de funções do sistema e subsistemas identificando o fluxo de energia, material e sinal presentes nos mesmos. É uma técnica bastante utilizada para o desenvolvimento de produtos, mas também para análise de produtos existentes. Se além da confiabilidade também faz-se uma análise de risco, deve-se então caracterizar a função ou funções que são portadoras de perigos (DIAS et. al., 2013).

2.2. Diagrama Causa-Efeito

Há diferentes abordagens como também diferentes técnicas que utilizam a relação entre causa-efeito. No atual contexto o diagrama *Ishikawa* é usada enquanto uma ferramenta para organização das ideias resultantes de uma sessão de *brainstorming*. O mesmo oferece uma forma gráfica e intuitiva de visualização de causas que geram o efeito à ser analisado (O'BRIEN, 2002). Esta ferramenta pode ser trabalhada em diversos níveis de aprofundamento, através de causas e sub-causas, conforme as necessidades em questão para revelar a causa raiz do modo de falha cujo efeito está se analisando (BOSE, 2012). Assim, o efeito é a forma como o modo de falha se manifesta. Contudo, no diagrama faz a explicitação das causas que proporcionam o modo de falha cujo efeito está em análise. Como diz Kniberg (2009), o diagrama *Ishikawa* é uma forma intuitiva e auto exploratória de incluir, de forma organizada, as ideias e consequentemente a investigação feita sobre as causas com vista a mitigação do modo de falha e dos efeitos.

2.3. Análise dos modos e efeitos de falhas (FMEA)

Um dos métodos de apoio ao projeto de produtos é Análises dos Modos e Efeitos das Falhas, também conhecido como FMEA, do inglês *Failure Mode and Effects Analysis* (PALADY,

2004). Normalmente esse tipo de análise é utilizado para identificar, avaliar, gerenciar e reduzir riscos associados com falhas em nível de sistemas, projeto, e de processo de manufatura ou montagem (DIAS et. al., 2013).

Este método permite uma interligação direta entre causas, modos de falhas e efeitos ou consequências da falha. Desta maneira, este método é recomendado à novos projetos de desenvolvimento, sendo que o FMEA de projeto tem a principal função verificar se o processo planejado é adequado para atingir as características exigidas ou explicitadas no projeto (PAHL et al, 2005).

O FMEA de sistemas pode ter uma abordagem em nível de produto ou de processo de produção. FMEA de produto ajuda identificar potenciais modos de falha de projeto, seus efeitos e causas antes da liberação para produção. Gera ações que direcionam para melhorias de projeto, ou seja, explicita tarefas para serem cumpridas pelos projetistas. Ajuda no desenvolvimento das especificações do produto. Auxilia no planejamento minucioso e mais eficiente do desenvolvimento do produto e de planos de verificação. Assim, a equipe projetista deve considerar no projeto também a fabricação e o processo de montagem do produto e especificar uma solução que possa ser montada consistentemente e que seja possível de fabricar (STEINDORFF, 2008).

Já o FMEA de processo auxilia a identificar potenciais modos de falha de montagem, manufaturabilidade, seus efeitos e as causas, antes do envio da peça ou produto para venda. Gera ações que direcionam a manufatura e melhorias no processo de montagem. Ajuda identificar áreas do processo que necessitam de melhorias. Auxilia no planejamento mais eficiente no processo de desenvolvimento e planos de ação corretiva e preventiva, ou seja, explicita tarefas para serem cumpridas pelos gestores e operadores da produção.

Neste trabalho será focado FMEA de produto com vistas à auxiliar e prevenir possíveis erros de projeto durante o desenvolvimento de projeto do semirreboque e dos eixos portadores de mecanismo direcional.

2.4. Análise de eventos por rede causal (CNEA)

Esta é também uma técnica para análise da relação causa efeito, a partir da identificação de um modo de falha. Tanto na análise de confiabilidade quando na análise de risco utilização a análise de causa e efeito para os modos de falhas significativos, no contexto da função do produto. Nesta técnica a análise é ampliada em face da formalização gráfica da relação de causas, efeitos e barreiras que devem ser postas tanto para mitigar as causas quanto os efeitos decorrentes do modo de falha. Nesta ferramenta ou técnica de análise, as causas são dispostas no lado esquerdo do modo de falha e os efeitos/consequências devem ser localizados no lado direito. As barreiras são divididas como formas de mitigar ou evitar as causas que geram os modos de falhas e também como formas de mitigar os efeitos, caso haja a efetividade de o modo de falha em relação a função do sistema (DIAS et al, 2013).

3. Metodologia Adotada

Durante o desenvolvimento do projeto foi de fundamental importância detalhar e compreender as funções a serem realizadas pelo sistema técnico em desenvolvimento, especificamente o semirreboque e o eixo auto-direcional presentes. Para tal tarefa existem ferramentas específicas que auxiliam o desenvolvimento, dentre algumas dessas ferramentas podemos citar as de análise de confiabilidade, que além de induzir os projetistas a desenvolver projetos confiáveis e de fácil manutenção, permitem analisar o projeto de uma forma geral e reduzir o índice de erros de projeto antes da fabricação.

No desenvolvimento de um projeto com um alto grau de risco, como o apresentado neste artigo,

foi optado por adotar práticas e ferramentas fundamentadas. O projeto em questão se faz no formato de otimização de sistema já existente com inovação, se enquadrando como otimização integrada de produto (BACK et al, 2008), considerando fatores em todas as fases do desenvolvimento para conceber um produto melhor ao longo do ciclo de vida.

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste produto foi o Modelo PRODIP – apresentado na Figura 4 – onde foram aplicadas as ferramentas de análise de falha nas fases de Projeto conceitual e Projeto preliminar. Desta maneira foi possível gerar concepção e leiaute do produto com maior riqueza de dados para mitigar problemas de projeção.

Modelo PRODIP

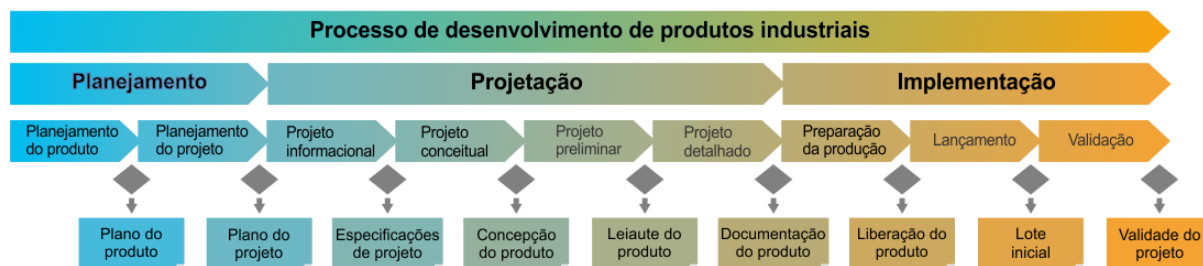


Figura 4 – PDP – Modelo PRODIP

Adaptado de Back et al. (2008)

4. Estudo de caso

O objetivo deste trabalho é apresentar a diferenciação entre o semirreboque existente e o projeto proposto, relacionando a confiabilidade dos mesmos. Para isso a primeira etapa é realizar a análise funcional dos projetos.

Como o objetivo do novo projeto é melhorar a eficiência da CVC em curvas, a função global para análise funcional é definida como seguimento de trajetória, onde a análise é realizada durante a realização de uma curva. Para que o conjunto realize uma curva é necessário que o caminhão-trator movimente o semirreboque, para isso o caminhão-trator necessita exercer uma força de tração. Como o semirreboque e o caminhão-trator estão inclinados durante a realização de uma curva Figura 5 (a), podemos analisar as componentes tração e torção da força, conforme representação vetorial apresentada na figura 5 (b).

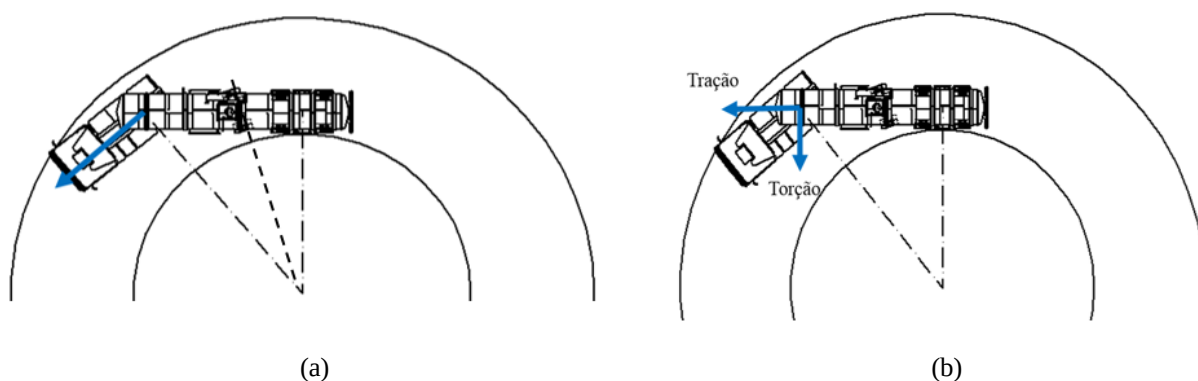


Figura 5 – Força de tração/torção para movimentar o semirreboque.

Conforme a metodologia apresentada na Figura 4, o processo foi iniciado com a análise

funcional do modelo, objetivando racionalizar o diferencial do sistema proposto. Seguindo os conceitos para a análise e desdobramento funcional, foi definido como input a energia mecânica (Energia), o semirreboque (Material) e o raio da curva (Sinal). O resultado do desdobramento do sistema atual é apresentado na Figura 6 e como a diferenciação entre os projetos se concentra na atuação de forças laterais em relação ao veículo, a diferenciação está apresentada na Figura 7, onde no lado esquerdo (a) temos o sistema original e ao lado direito (b) o sistema proposto.

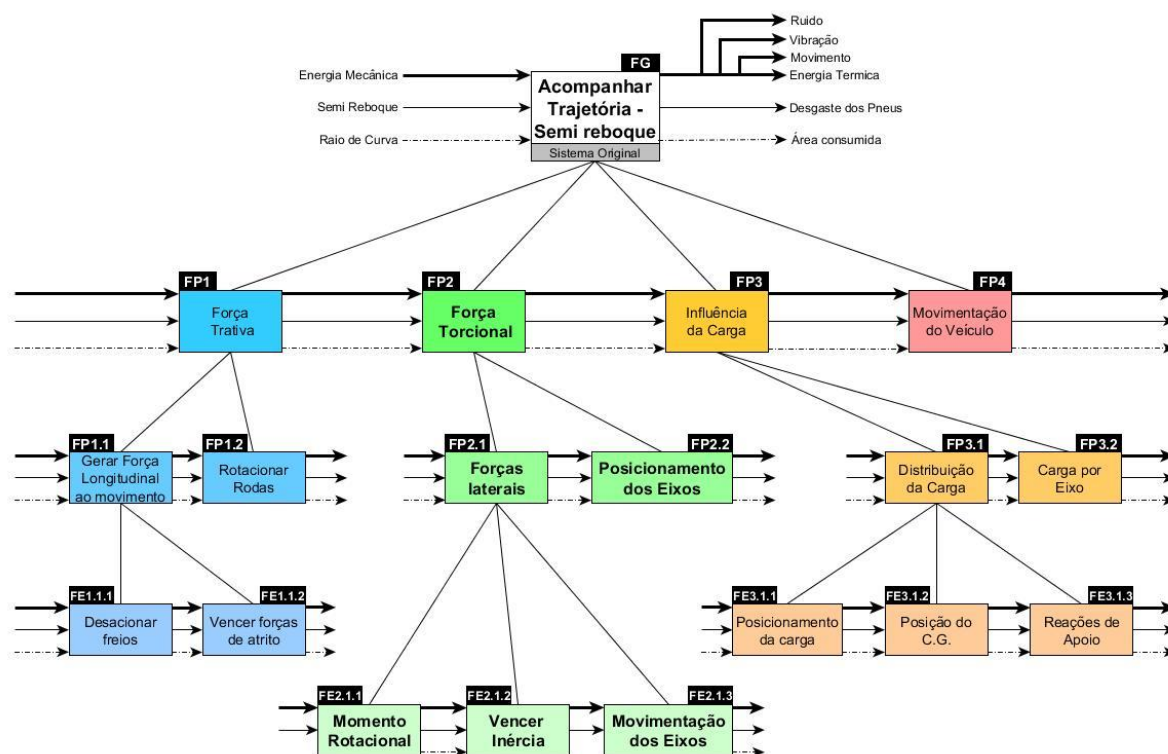


Figura 6 – Desdobramento funcional do sistema atual com mecanismo auto-direcional sem sensor de controle de deslocamento

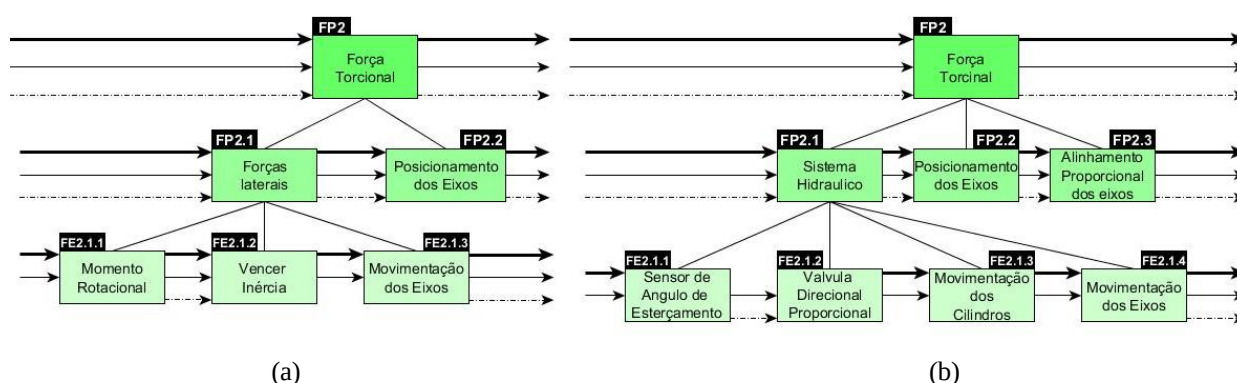


Figura 7 – Desdobramento funcional do sistema e diferenciação entre sistemas sem e com sensoriamento

Comparando o desdobramento dos dois sistemas percebemos que não existe diferenciação entre os modelos nas sequências de tração (FP1), carga (FP3) e movimento (FP4), porém, a partir da sequência (FP2.1) fica claro a diferença dos dois sistemas.

Partindo do desdobramento funcional e do protótipo virtual do sistema – apresentado na Figura

6 e Figura 3 – foram concebidos modos de falha inerentes aos sistemas empregados na concepção, através de *Brainstorming*. Estas falhas foram então organizadas no diagrama causa-efeito – diagrama *Ishikawa* – apresentado por meio da Figura 9. Neste foram indicadas causas gerais que foram detalhadas na análise dos modos de falha e efeitos – FMEA.

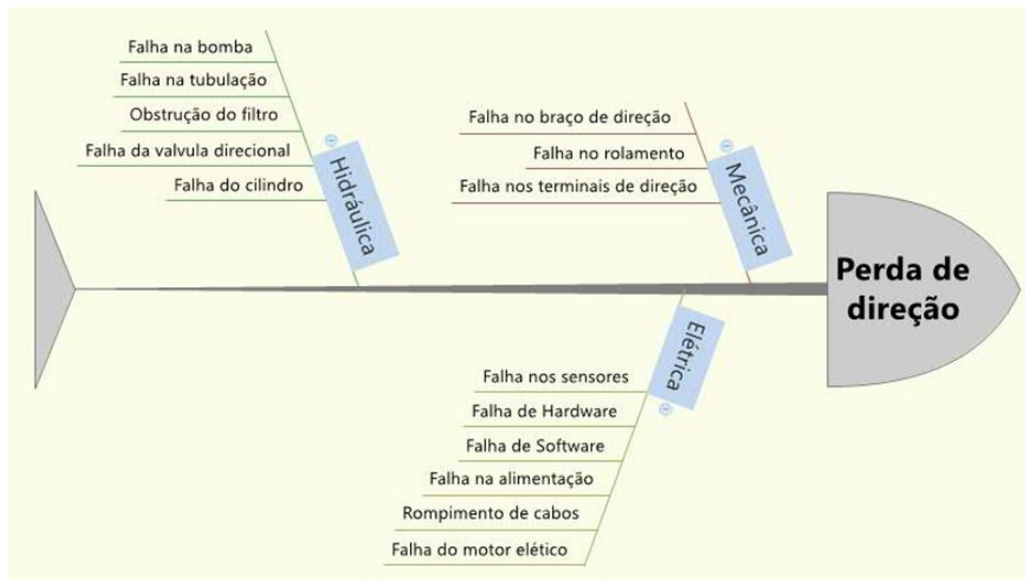


Figura 8 – Diagrama Causa-Efeito

Seguindo o procedimento adotado, com a coleta de dados de causas de perda de direção, foi realizada a FMEA para o sistema proposto. Esta análise foi utilizada no desenvolvimento do mecanismo de direção, porém, é exaustivamente recomendada para os outros componentes do semirreboque. A Tabela 1 apresenta a análise realizada para o mecanismo de direção.

Tabela 1 – FMEA do mecanismo de direção

FMEA					
Sistema	Componente	Função	Modos de falha	Efeitos	Causas
Mecanismo de direção	Cilindro Hidráulico	Transformar força, potência ou energia hidráulica em força, potência ou energia mecânica	Vazamento interno de óleo	Atrasar o mecanismo Perda de pressão	Folga excessiva entre a camisa e a aste Montagem errada dos anéis de vedação Degradação da borracha de vedação dos anéis
			Vazamento externo de óleo	Atrasar o mecanismo Perda de pressão Contaminar o meio ambiente	Folga excessiva entre a camisa e a aste Montagem errada dos anéis de vedação Degradação da borracha de vedação dos anéis Rompimento de tubulação
			Flambagem da aste	Travar o mecanismo	Não suporta a carga necessária Excesso de carga no mecanismo
			Cisalhamento do pino de fixação	Cilindro perde fixação Mecanismo perde o controle	Não suporta a carga necessária Excesso de carga no mecanismo
	Braço de direção	Transmitir movimento	Cisalhamento	Eixo das rodas perde o controle	Dimensionamento incorreto Excesso de carga no eixo das rodas
			Flabagem	Desalinhamento do eixo das rodas	Dimensionamento incorreto Excesso de carga no eixo das rodas
	Pino de fixação do cilindro	Fixar o cilindro	Cisalhamento	Mecanismo perde o controle Cilindro perde fixação	Dimensionamento incorreto Excesso de carga no mecanismo
			Soltar o pino	Mecanismo perde o controle Cilindro perde fixação	Vibração Falta de aperto nos parafusos
	Rolamento	Permitir esterçamento dos eixos	Quebra	Mecanismo perde o controle	Dimensionamento incorreto Excesso de carga no eixo das rodas Falta de lubrificação Exposição ao meio ambiente
			Travamento	Mecanismo trava	Falta de lubrificação Exposição ao meio ambiente

Através das análises realizadas anteriormente e de um *Feedback* ativo – revisão e atualização

dos dados nas ferramentas anteriores – foi analisado por meio da rede causal – CNEA, Figura 8. Na utilização desta ferramenta a criticidade das causas e consequências de uma falha são propostas barreiras, neste caso, barreiras de projeto principalmente para evitar ou mitigar danos ambientais e riscos de segurança aos operadores. Estas barreiras por sua vez são definições de pontos de atenção, sejam elas físicas ou conceituais, por exemplo a barreira 4 significa estudar formas de que eventuais vazamentos sejam nulos ou contidos para evitar ou mitigar danos ambientais. A representação visual simplificada fornecida por esta ferramenta está indicada na Figura 9 e facilita a integração de objetivos para o projeto.

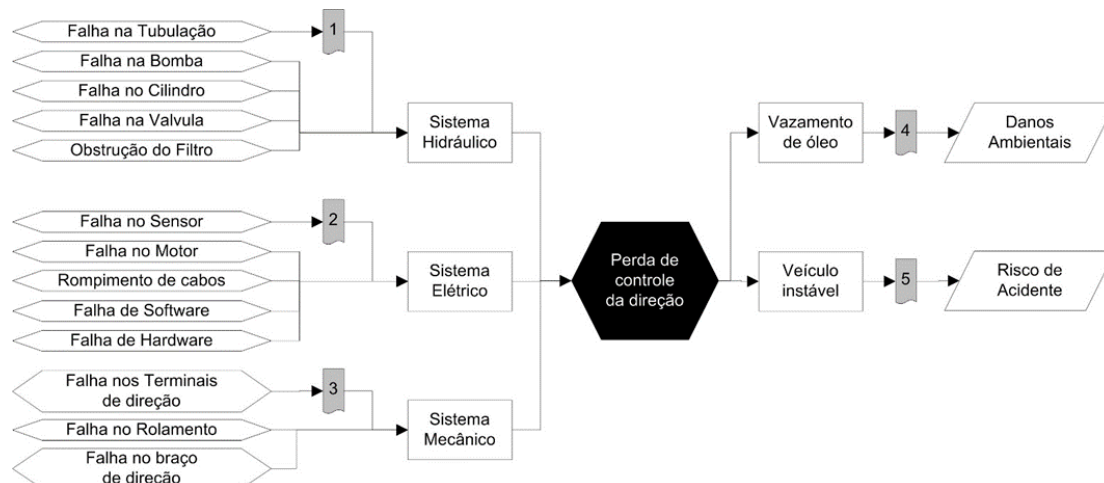


Figura 9 – CNEA focada na perda de controle da direção

5. Conclusões

Com o estudo de confiabilidade para o desenvolvimento do projeto de direção para semirreboques foi possível demonstrar a importância da utilização de ferramentas de análise de falha na fase de projeto do produto. Estas análises propiciam aos projetistas formas de verificar o projeto como um todo, mitigando erros que poderiam passar despercebidos e comprometer a vida útil do equipamento, gerando desperdícios.

A Análise Funcional apresentou a função global, funções parciais e elementares, que demonstram como cada *input* é transformado e quais são os resultados – *outputs* – da função. Partindo destes recursos, através de *Brainstorming* foi gerado o diagrama causa-efeito com possíveis falhas inerentes a cada sistema. Para detalhamento e compreensão de cada modo de falha foi realizado FMEA do sistema. Como sequência foi estudada a relação entre os eventos iniciais e os efeitos da falha, integrando todo o estudo por meio da utilização da ferramenta CNEA, possibilitou propor barreiras para mitigar probabilidades de falha e riscos subsequentes.

Desta forma, os estudos foram vistos como complementares, se integrando progressivamente e gerando uma sequência lógica de etapas para formar a base para o desenvolvimento do produto, fornecendo a base para os cálculos de confiabilidade do sistema. Além de apresentar barreiras e contradições que foram importantes para novos olhares e percepções sobre as necessidades de geração de inovação, com vistas a mitigar erros de projeto e aumentar a eficiência operacional do CVC.

Referências

BACK, et al. Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem. Editora Manole, 648 p., 2008.

- BELLINI, V.** *Metodologia para análise dos modos de falha aplicada à segurança de condicionamento de ar*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
- BOSE, T.** *Application Of Fishbone Analysis For Evaluating Supply Chain And Business Process – A Case Study On The St. James Hospital*. Universidade de Khalna, Bangladesh. 2012.
- CNT, PESQUISA CNT DE RODOVIAS**, 2010. Disponível em: <www.cnt.org.br>
- DIAS, A.; CALIL, L. F. P.; RIGONI, E.; SAKURADA, E. Y.; OGLIARI, A.; KAGUEIAMA, H. A.** *Metodologia para análise de risco: mitigação de perda de SF₆ em disjuntores*. Florianópolis: [s/n], 2013, 303p.
- LEAL, L. d. C. M.; ROSA, E. da; NICOLAZZI, L. C.** *Uma introdução à modelagem quase-estática de automóveis*. [S.l.]: Grante, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.
- O'BRIEN, M.** *Problem Solver. 1. ed.* Universidade de Limerick. Irlanda. 2012.
- PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.** *Projeto na Engenharia. 6. ed. atual.* São Paulo. Editora Edgard Blucher. 2005.
- PALADY, P.** *FMEA: Análise dos modos de falha e efeito: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram*. 3. Ed. São Paulo: IMAM, 2004.
- RAAFAT, H.** *Árvore de Falhas e Árvore de Eventos; Risk Assessment Methodologies*, University of Portsmouth, 1990 – ISBN 1 069959434; e CETIM – ISBN 2 85400 312 8
- STEINDORFF, R. A.** *Sistematização do processo de desenvolvimento de embalagens: um estudo de caso na indústria de linha branca*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.