

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE TEÓRICA E NUMÉRICA DE FABRICAÇÃO DE UM CHASSI DE SEMIRREBOQUE VIA ABORDAGEM POR ELEMENTOS FINITOS

Professor Orientador: Bruno dos Santos
Victor Pereira DITOS
victorditos@hotmail.com

RESUMO

O setor logístico nacional apresenta um crescimento constante, com alta demanda por equipamentos de transporte e com o uso extensivo de caminhões e de semirreboques como plataformas de transporte. Os semirreboques desempenham uma parte importante no transporte de cargas indivisíveis, entretanto, a baixa qualidade da malha rodoviária nacional e os altos custos do setor logístico fazem com que o mercado selecione equipamentos de qualidade, confiabilidade e baixo custo. Para atingir essa demanda, os fabricantes de semirreboques buscam métodos mais eficientes e baratos para avaliar a confiabilidade da estrutura. Com esse propósito se faz necessário o uso de ferramentas computacionais, o que inclui softwares de modelagem 3D e simulação numérica para o desenvolvimento de projetos, sendo que estes devem ser assistidos por técnicos com experiência em simulação computacional, capazes de prover um respaldo técnico acerca da segurança, contra falhas estruturais e também no desenvolvimento de equipamentos otimizados, entregando produtos mais baratos e eficientes e consequentemente mais competitivos. Deste modo, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um projeto, por intermédio de análise teórica e numérica de um chassi de semirreboque do tipo carrega tudo, que será aplicado na região oeste do Paraná utilizando para tal, o método dos elementos finitos para a avaliação da estrutura, auxiliada por uma modelagem 3D da estrutura feita utilizando o software Solidedge e uma simulação utilizando o software Ansys.

Palavras Chave: Semirreboque, Solidedge, chassi, elementos finitos, Ansys.

1. INTRODUÇÃO

O setor rodoviário brasileiro detém grande importância tanto no transporte de pessoas quanto no transporte de mercadorias. Dentre os modais de transporte presentes no Brasil, destacam-se quatro grandes principais: o modal ferroviário, aéreo, marítimo e rodoviário, sendo o último, o mais utilizado no país. Segundo dados da Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2019), esse modal corresponde a 60% do transporte de carga e passageiros, no entanto, apenas 12,4% da malha rodoviária é pavimentada.

Essa dependência afeta diretamente o setor agrícola, já que a maior parte do escoamento da produção e o recebimento de insumos agrícolas é realizado por intermédio de rodovias (SANTOS, 2021). Além da falta de pavimentação, outro fator que prejudica a fluidez nas rodovias é o tráfego de veículos e equipamentos pesados e de excesso lateral, que desenvolvem baixas velocidades nas rodovias. (MACEDO et al., 2015) aponta que a maioria dos acidentes envolvendo equipamentos agrícolas foram causados por colisão traseira, diretamente relacionado à baixa velocidade que esses equipamentos desenvolvem nas rodovias.

A resolução nº 429/2012 do conselho nacional de trânsito (CONTRAN, 2013), restringiu o livre tráfego de equipamentos agrícolas e de excesso lateral, permitindo a circulação de veículos não articulados sem uma autorização especial de trânsito, apenas veículos cuja as dimensões são pré-estabelecidas na resolução.

Tal restrição contribuiu para que o mercado de semirreboques sofresse um crescimento elevado ao longo dos anos. Segundo dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Implementos Rodoviários (ANFIR, 2021), a indústria de implementos rodoviários encerrou o ano de 2021 com um crescimento de aproximadamente 34 % nas entregas de equipamentos para transbordo de cargas em relação a 2020. Segundo PEREIRA (2016), o uso dos semirreboques é de grande relevância no transporte de cargas, principalmente no transporte de cargas indivisíveis.

Com o crescimento das vendas de semirreboques, evidencia-se o surgimento de falhas e eventuais quebras no equipamento (KÖHLER, 2018). Entretanto, com o desenvolvimento dos processos de fabricação e o surgimento de novas ferramentas computacionais, o mercado passou a exigir maior qualidade, confiabilidade e durabilidade desses equipamentos para justificar o seu investimento. Uma das estratégias utilizadas para auxiliar no desenvolvimento de projetos, é o uso de softwares CAE e metodologias de simulação de análise de estruturas, em qual é possível desenvolver propostas mais precisas, estruturas mais otimizadas e resistentes (LEANDRO, 2019).

Desta forma, o objetivo deste estudo é desenvolver o plano estrutural de um chassi de semirreboque via elementos finitos. Para isso, será realizado uma análise teórica dos componentes estruturais que o compõem, utilizando o software Solidedge versão estudante para a modelagem da estrutura, levando em consideração as normas de trânsito vigentes para a delimitação do planejamento e uma análise numérica, utilizando o software Ansys para a avaliação estrutural.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 OS SEMIRREBOQUES E A LEGISLAÇÃO

A resolução Nº 882 do CONTRAN (2021), define semirreboque como um veículo de um ou mais eixos que se apoia na sua unidade tratora ou a ela é ligado por meio de articulação, como exemplifica a figura 1.

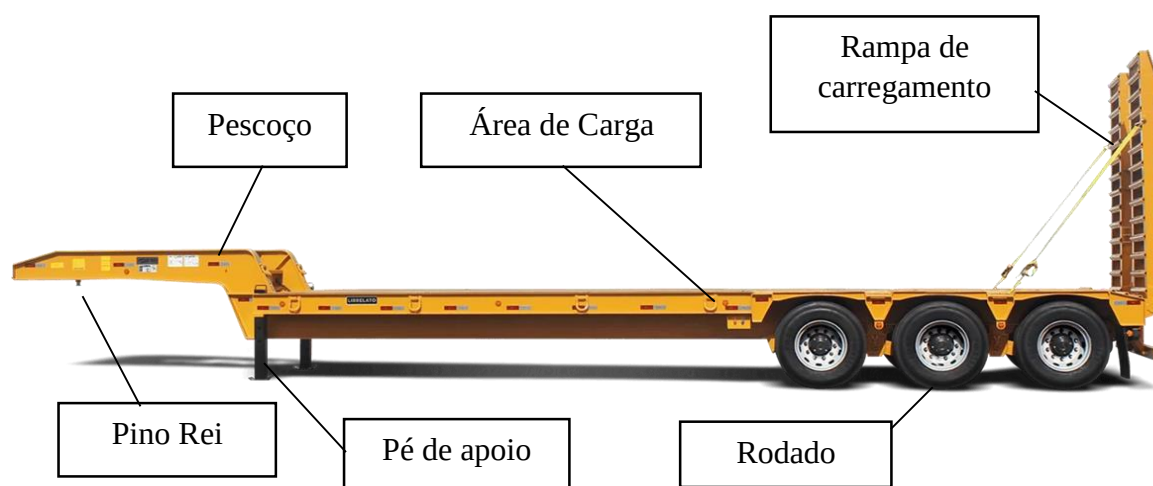


Figura 1: Exemplo de semirreboque

Fonte: Adaptado de Librelato (2021).

Um semirreboque convencional é constituído por um rodado, composto pelo conjunto da suspensão, das rodas e dos pneus. O acoplamento do semirreboque com o cavalo mecânico é feito através do pino rei, que faz o acoplamento com a quinta roda do cavalo mecânico. Os pés de apoio auxiliam na sustentação do semirreboque na sua posição de descanso, enquanto o mesmo não está acoplado ao cavalo mecânico. O pescoço é a estrutura que recebe o pino rei, faz o acoplamento com o cavalo mecânico e abriga o estepe do implemento. Enquanto a rampa de carregamento, tem como objetivo auxiliar o equipamento a ser transportado subir até a área de carga, local em que fica disposta toda a carga a ser transportada. (BENNETT e NORMAN, 2011).

Para a homologação de um semirreboque, o fabricante deve obter o certificado de Adequação da Legislação de Trânsito (CAT), permitindo o registro e licenciamento de veículos junto aos órgãos executivos de trânsito (CONTRAN, 2021). Esta resolução, define as dimensões máximas regulamentares para veículos articulados com duas unidades, de acordo com a tabela 1, sendo que o comprimento máximo depende do tipo de veículo e da sua composição.

Tabela 1: Dimensões máximas regulamentares para veículos articulados

Dimensão	Valor	Unidade
Comprimento	18,6	m
Largura	3,2	m
Altura	4,40	m

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2021).

Quanto à carga máxima, define-se que, o peso bruto total combinado (PBTC), para combinações de veículos articulados com duas unidades do tipo caminhão-trator e semirreboque com eixos distanciados, com comprimento total igual ou superior a 16 m, é de 54,5 toneladas. No entanto, se por algum motivo o veículo ou conjunto articulado forem incapazes de entrar nessa regulamentação, o proprietário deverá solicitar uma autorização especial de trânsito (CONTRAN, 2021). Conhecendo as dimensões máximas, se faz necessário o detalhamento da estrutura de um semirreboque.

2.2 A ESTRUTURA DE UM SEMIRREBOQUE

A concepção geral de um semirreboque é dada por duas longarinas principais; longarinas laterais e pelas travessas, como exhibe a figura 2.

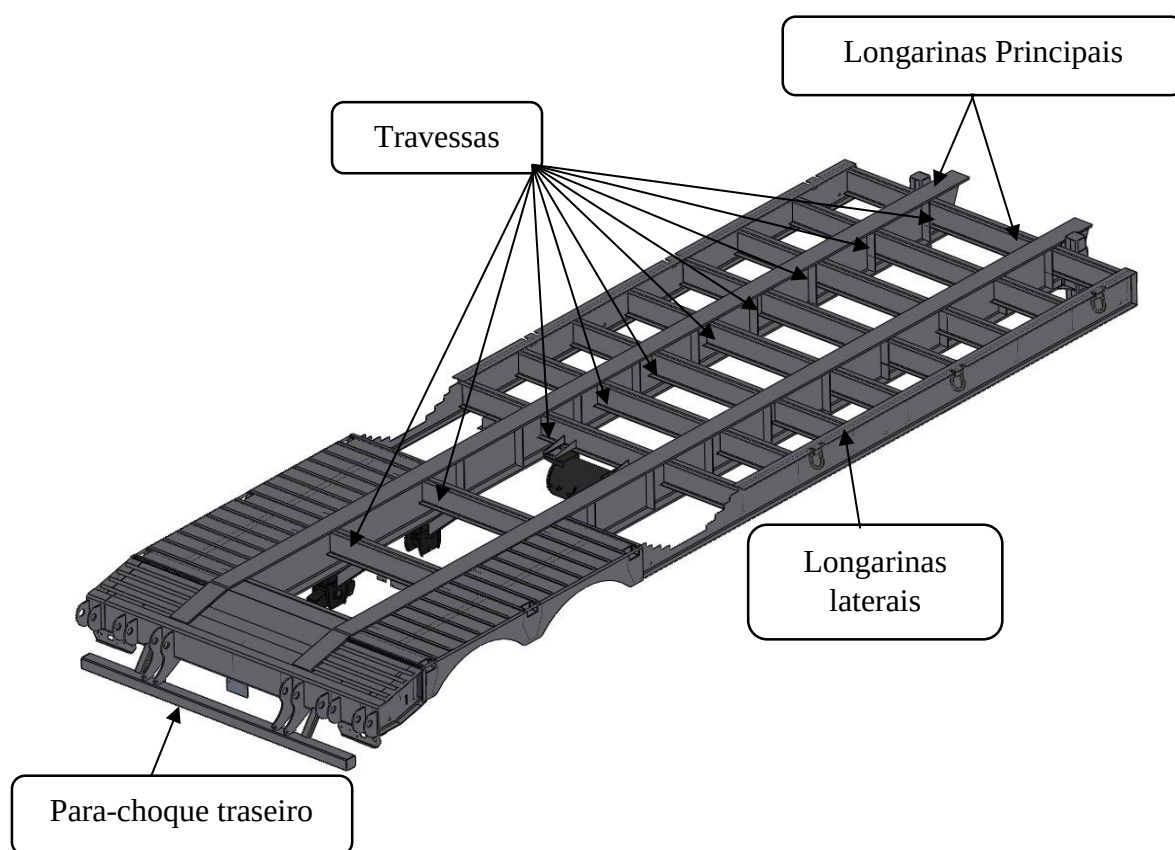


Figura 2: Concepção geral de um semirreboque

Fonte: Autoria própria (2022).

As longarinas principais são responsáveis pelo acoplamento do conjunto da suspensão, e também, por suportar a maior parte da carga aplicada no equipamento. Enquanto as longarinas laterais delimitam a largura máxima do implemento e servem como ponto de apoio para os

suportes de ancoragem da carga. Já as travessas, são responsáveis por manter a estrutura do chassi rígido e evitar a flexão do mesmo (BENNETT e NORMAN, 2011). Todavia, além de uma estrutura rígida, todo semirreboque deve possuir um para-choque traseiro, que é um dispositivo de segurança fixado ao semirreboque com o objetivo de reduzir os danos materiais e físicos causados por uma eventual colisão traseira, de acordo com a resolução N° 952 (CONTRAN, 2021).

Geralmente, os perfis utilizados possuem secção transversal do tipo U ou do tipo W, como representado pela figura 3 (BENNETT e NORMAN, 2011).

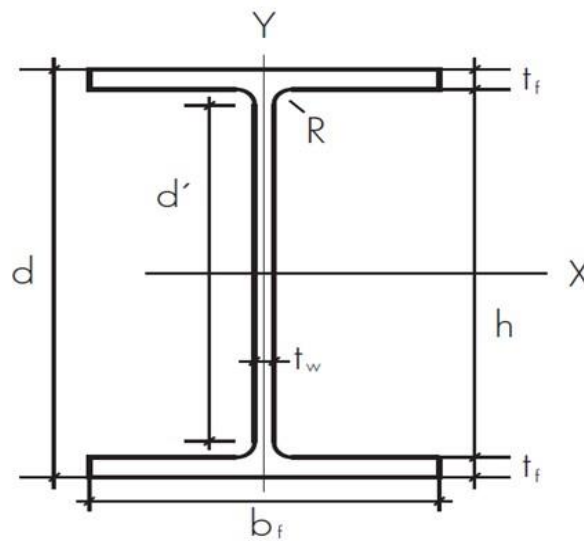


Figura 3: Ilustração de Perfil W

Fonte: Adaptado de Gerdau (2015).

Sendo que “ d ” expressa a altura do perfil, “ d' ” a altura livre da alma, “ h ” a altura interna, “ b_f ” a largura da aba do perfil, “ t_f ” a espessura da aba, “ t_w ” a espessura da alma, e “ R ” representa o raio de concordância do perfil. A estrutura dos chassis deve ser capaz de resistir a esforços de flexão, torção, elevados ciclos de carga, vibrações e choques nos quais eles encontrarão durante a sua vida útil (BENNETT e NORMAN, 2011).

As longarinas do chassi apresentadas na figura 2, são responsáveis por suportar as cargas verticais e representam a região em que a suspensão do equipamento é instalada, devendo possuir uma alta rigidez flexional. Enquanto as travessas são dimensionadas para interligar as longarinas, e são responsáveis por diminuir a torção em torno do eixo longitudinal da estrutura (BENNETT e NORMAN, 2011). As longarinas possuem a função de reduzir a tensão torsional, transmitida de uma longarina para a outra, além de contribuírem para a distribuição dos esforços

gerados pela carga ao longo da estrutura. Tanto as longarinas quanto as travessas podem ser fabricadas por processo de conformação mecânica.

O chassi de um semirreboque experimenta uma amplitude elevada de vibrações devido às irregularidades da pista de rodagem durante a sua vida útil de serviço. Essas vibrações aumentam a probabilidade de falhas estruturais causadas por fadiga, reduzindo drasticamente a vida útil do equipamento. A mecânica estática não é capaz de prever este tipo de comportamento estrutural com exatidão, portanto, recomenda-se que, estruturas dinâmicas sejam analisadas através de outras abordagens (LENA, 2019). Como por exemplo, a mecânica da fratura linear elástica (MFLE) ou o método dos elementos finitos (MEF).

2.4 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Inicialmente, o uso do método dos elementos finitos era voltado apenas para análises lineares da mecânica dos sólidos. Mas com o aprimoramento das ferramentas de cálculo, se tornou possível realizar também, as análises dinâmicas e análises não-lineares. Com o surgimento das interfaces gráficas mais amigáveis e intuitivas, e que estão presentes nos softwares de simulação popularizaram também a utilização deste método (AZEVEDO, 2003). Grande parte desses softwares utilizam o MEF como o seu método de cálculo, e o seu aprimoramento vem auxiliando na obtenção de análises de estruturas complexas e no diagnóstico de problemas estruturais como apresentado na figura 4 (MIRLISENNA, 2016).

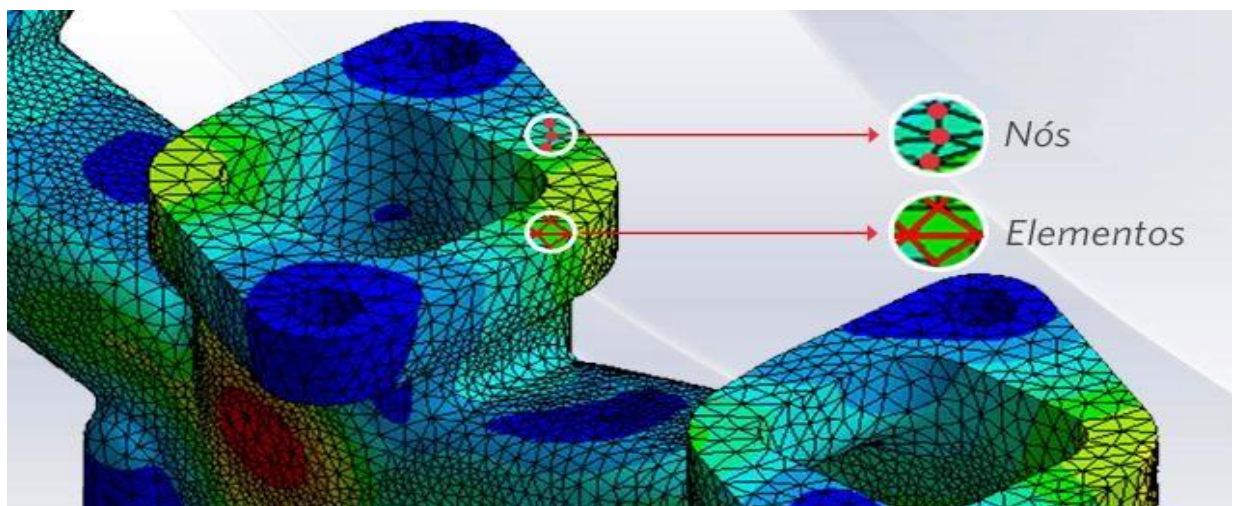


Figura 4 - Exemplo de malha composta por elementos e nós

Fonte: ESSS (2016).

O método dos elementos finitos divide a geometria a ser analisada em finitos pontos, chamados de elementos de comportamento bem definidos, interligado por pontos chamados de

nós, conforme a figura 4. O conjunto de todos esses elementos agrupados é intitulado como malha, sendo que a estrutura deste estudo pode ser representada por elementos do tipo 2D (MIRLISENNA, 2016).

2.4.1 ELEMENTOS FINITOS DO TIPO 2D

A abordagem por elementos do tipo plano, é utilizada quando o corpo a ser analisado possui duas das suas três dimensões muito superiores em relação à sua terceira dimensão, sendo exemplo, os corpos analisados a partir de uma chapa metálica, apresentados na figura 5, em que possui o comprimento e largura representados pelos eixos x e y , muito superiores em relação a sua espessura (PUC RIO, 2019).

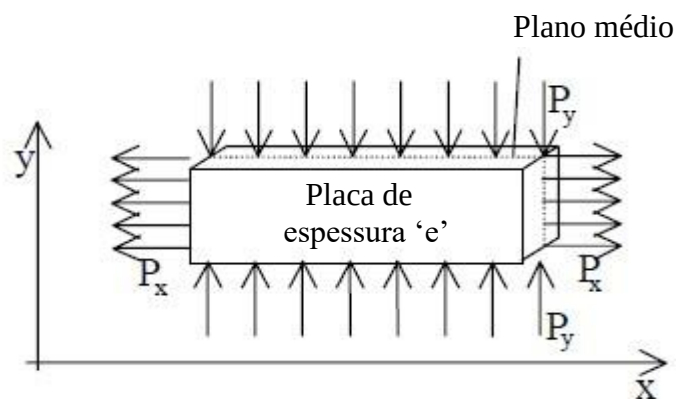


Figura 5: Placa de espessura 'e' solicitada por forças externas atuando em seu plano médio

Fonte: PUC RIO (2019).

Este tipo de abordagem, coincide com os elementos presentes na estrutura analisada nesta tese quando o chassi do semirreboque é constituído, em sua maioria, por perfis estruturais de viga e por chapas metálicas.

Para uma análise de elementos finitos, é necessária uma equação que irá descrever a função de forma. Estas funções variam conforme a ordem e o formato de cada elemento, podendo ser de primeira ou segunda ordem bem como triangular ou quadrado, quando referentes a elementos planos (ALVES, 2012). Dependendo do tipo de estrutura ou geometria que está sendo avaliada, é possível ter mais de um tipo de abordagem devido ao tamanho da estrutura, ou da sua complexidade, onde é necessária uma análise geral da estrutura e uma análise de pontos críticos, que é a abordagem realizada pela análise global-local.

2.4.2 ANÁLISE GLOBAL-LOCAL

A técnica de análise global-local, consiste em uma abordagem inicial do problema como um todo, de maneira mais ampla e sem detalhar pontos específicos. Nesta primeira análise global, já é possível apontar possíveis pontos críticos na malha de contorno que exigem uma maior atenção. Esses pontos são evidentes principalmente em regiões de descontinuidade da geometria, conforme a figura 6, causando uma zona de concentração de tensão (KÖHLER, 2018).

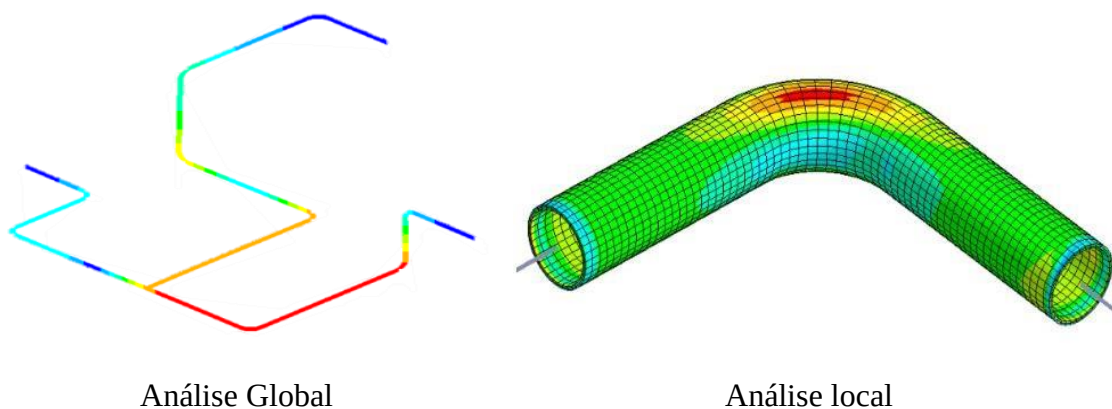


Figura 6: Exemplo de Análise Global-Local em uma tubulação

Fonte: ESSS (2016).

Desta forma, se torna interessante que o problema seja abordado através de uma análise local, refinando a malha de maneira que o número de nós seja maior nesse espaço, com o objetivo de obter resultados mais precisos (ALTAIR, 2015). No mercado existem vários softwares que disponibilizam esse tipo de análise dentre eles há o Ansys, o qual será utilizado nesta análise, sendo que, a escolha deste software se deu por recomendação do orientador da pesquisa, e pelo fato de existir uma versão de estudante gratuita.

2.4.3 ANSYS

O pacote de software de análise estrutural da Ansys conta com ferramentas de análise de elementos finitos (FEA), tornando possível personalizar e automatizar suas simulações analisando vários cenários de projetos. A ferramenta conecta-se facilmente a outras ferramentas de análise de física, proporcionando ainda maior realismo na previsão do comportamento e desempenho de produtos complexos (ESSS, 2022).

3. METODOLOGIA CIENTÍFICA

3.1– PROJETO GEOMÉTRICO DO CONJUNTO IMPLEMENTO

Antes do desenvolvimento do modelo estrutural do semirreboque foi elaborado um pré-projeto do equipamento, exemplificando as suas dimensões totais para que elas estejam de acordo com a resolução Nº 882 do CONTRAN. A figura 7 é composta pelo pré-projeto em 2D com suas respectivas dimensões dispostas na tabela 2.

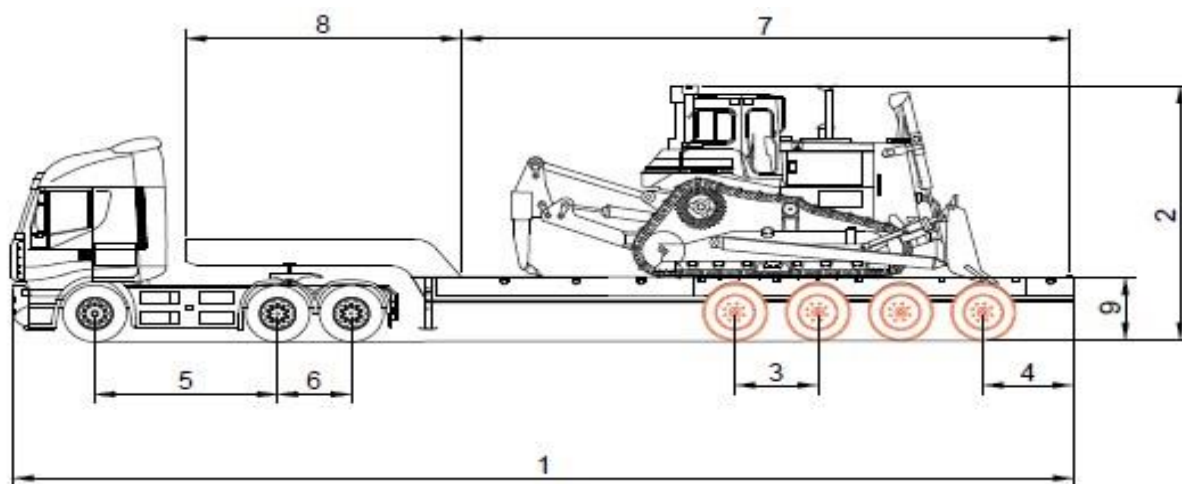


Figura 7 – Pré-projeto do conjunto semirreboque e cavalo mecânico

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 2: Dimensões do projeto 2D

Dimensão	Valor	Unidade
1	17,5	m
2	4,6	m
3	1350	mm
4	1,5	m
5	3	m
6	1370	mm
7	10	m
8	4,5	m
9	1180	mm

Fonte: Autoria própria (2022).

A figura 7 é composta por um cavalo mecânico, responsável por tracionar o conjunto, que seria o semirreboque, objeto deste escrito, e também a carga, sendo representada pelo trator Caterpillar modelo D8 que será detalhado posteriormente na figura 8. Para a aplicação dos carregamentos é necessário primeiro determinar os carregamentos que estarão atuando na estrutura do semirreboque.

3.2– DETERMINAÇÃO DOS CARREGAMENTOS

Neste planeamento, realiza-se a análise de cargas na qual utiliza-se um equipamento que necessita de um semirreboque como transporte para que possa ser deslocado pelas rodovias. O equipamento consiste em um trator de esteira usado para trabalhos em campo, como observa-se na figura 8.

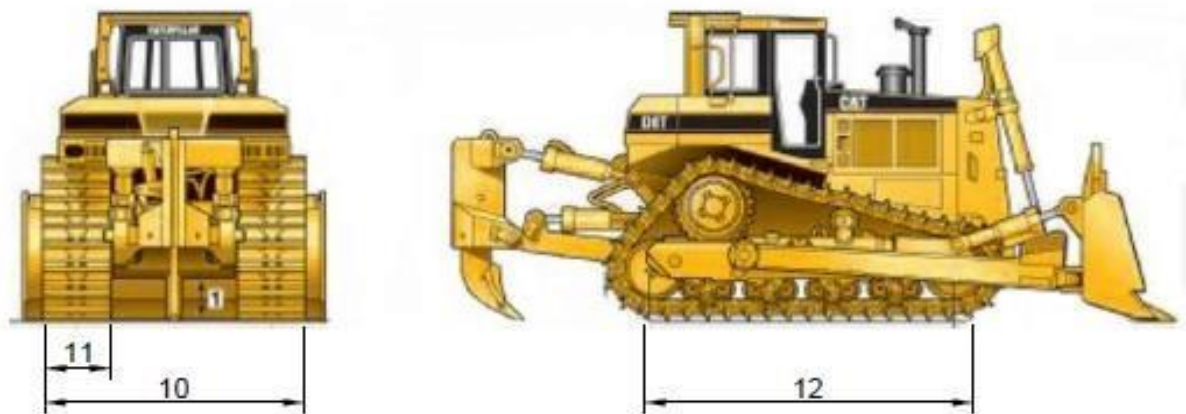


Figura 8: Dimensões do trator de esteira Caterpillar modelo D8

Fonte: adaptado de Caterpillar (2022).

O seu deslocamento por meios próprios pode causar transtornos nas vias públicas por conta da sua baixa velocidade de rodagem e peso próprio elevado. Segundo o fabricante do equipamento, o peso operacional do D8 é de 38834 kg e suas dimensões são disponibilizadas pelo fabricante na tabela 3.

Tabela 3: Dimensões do trator Caterpillar modelo D8

Dimensão	Valor	Unidade
10	2642	mm
11	562	mm
12	3207	mm

Fonte: adaptado de Caterpillar (2022).

Para a determinação dos carregamentos, será utilizado a carga do equipamento fornecida pelo catálogo do fabricante conforme a figura 8. A carga será dividida por dois, pois o equipamento possui dois pontos de contato com o semirreboque, que são as esteiras do equipamento. A figura 9 apresenta o diagrama de forças aplicadas ao conjunto.

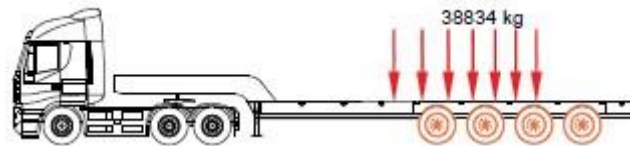


Figura 9: Diagrama de forças aplicadas ao semirreboque

Fonte: Autoria própria (2022).

O implemento em questão possui dois pontos de contato com a superfície representado pelas suas esteiras, os quais vão distribuir toda a carga do equipamento para o semirreboque. Desta forma, a carga aplicada ao semirreboque proveniente da massa do trator será distribuída em duas regiões de mesma área obtidas pela multiplicação das dimensões 11 e 12 da figura 8. A figura 10 expõe as duas regiões em uma vista superior onde a carga será aplicada no semirreboque.

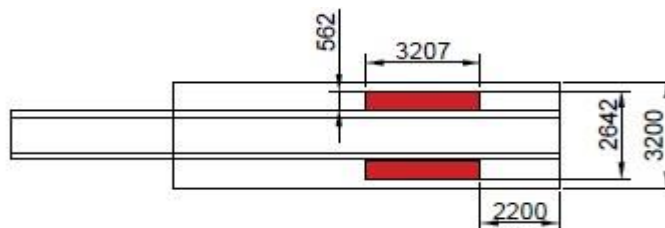


Figura 10: Regiões de aplicação de carga no semirreboque

Fonte: Autoria própria (2022).

Com as informações apresentadas pode-se definir os parâmetros a serem introduzidos no software de simulação, definidos pela tabela 4.

Tabela 4: Base de dados para a simulação

Parâmetro	Equação	Valor	Unidade
Área de aplicação de	$A = b * h$	1,80	m^2
Força	$F = m * g$	380,96	kN
Tensão aplicada	$\sigma = F/A$	0,10585	MPa

Fonte: Autoria própria (2022).

Portanto, para os parâmetros de simulação será aplicado uma tensão de 0,10585 MPa em duas regiões de 1,80 m² no semirreboque.

3.3– SIMULAÇÃO VIA METODOLOGIA DOS ELEMENTOS FINITOS

Baseando-se nas informações anteriormente coletadas, foi concebido um modelo 3D do semirreboque utilizando o software Solidedge versão estudante. A modelagem realizada não tem como objetivo trazer todos os elementos que compõem um semirreboque, mas sim os elementos estruturais que compõem o equipamento como demonstra a figura 11.

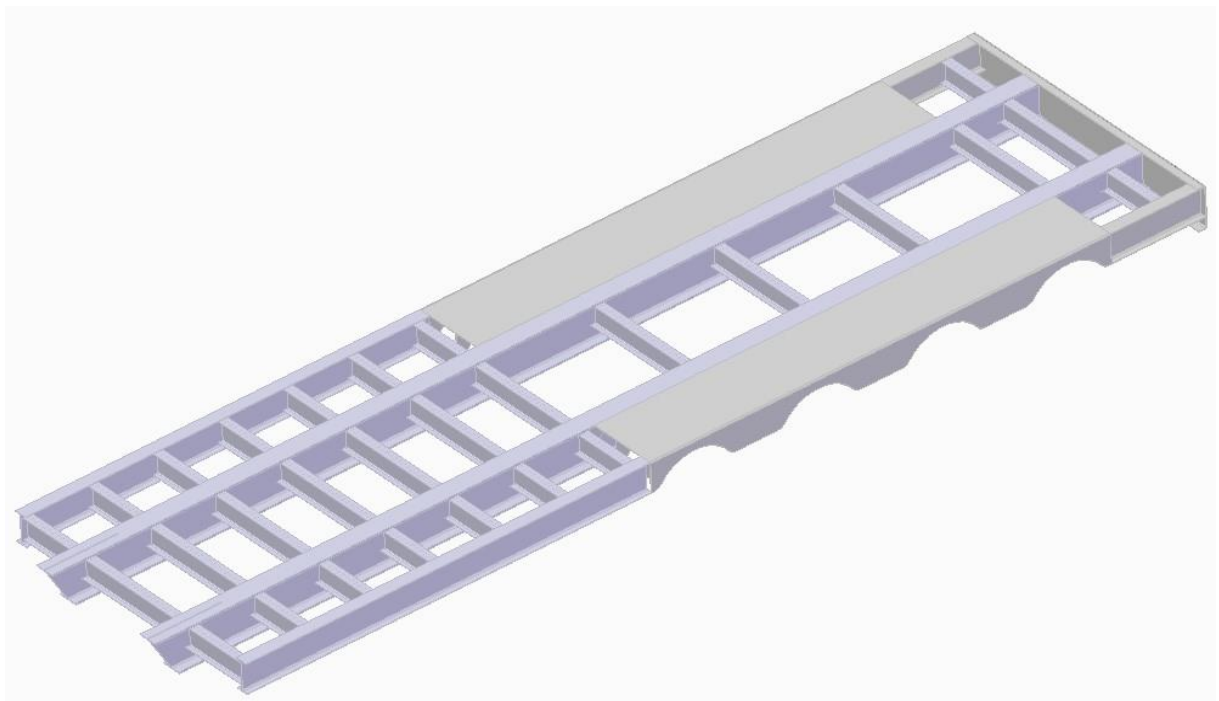


Figura 11: Estrutura do semirreboque modelado no Solidedge

Fonte: Autoria própria (2022).

Neste estudo serão analisadas duas situações para a simulação da estrutura, a saber: Na primeira simulação, a carga será aplicada na estrutura somente com os elementos principais, enquanto que na segunda simulação, serão introduzidos reforços estruturais a fim de verificar-se o quão eficiente é a sua implementação na estrutura. Ao final da simulação é apresentado uma tabela com o resultado da deformação da estrutura para os dois cenários. A estrutura do semirreboque com e sem reforços que estão representadas nas figuras 12 e 13 respectivamente.

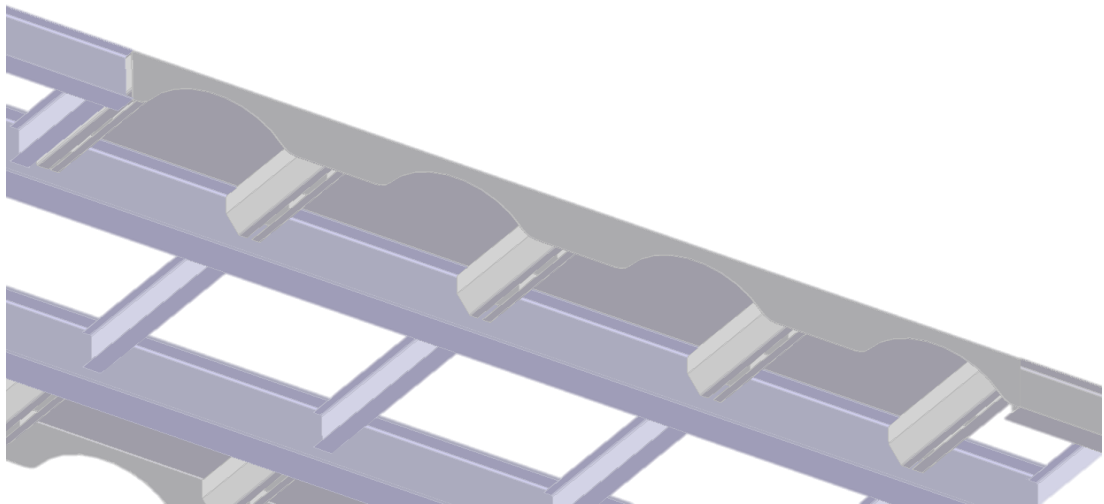


Figura 12: Estrutura do semirreboque sem reforços estruturais

Fonte: Autoria própria (2022).

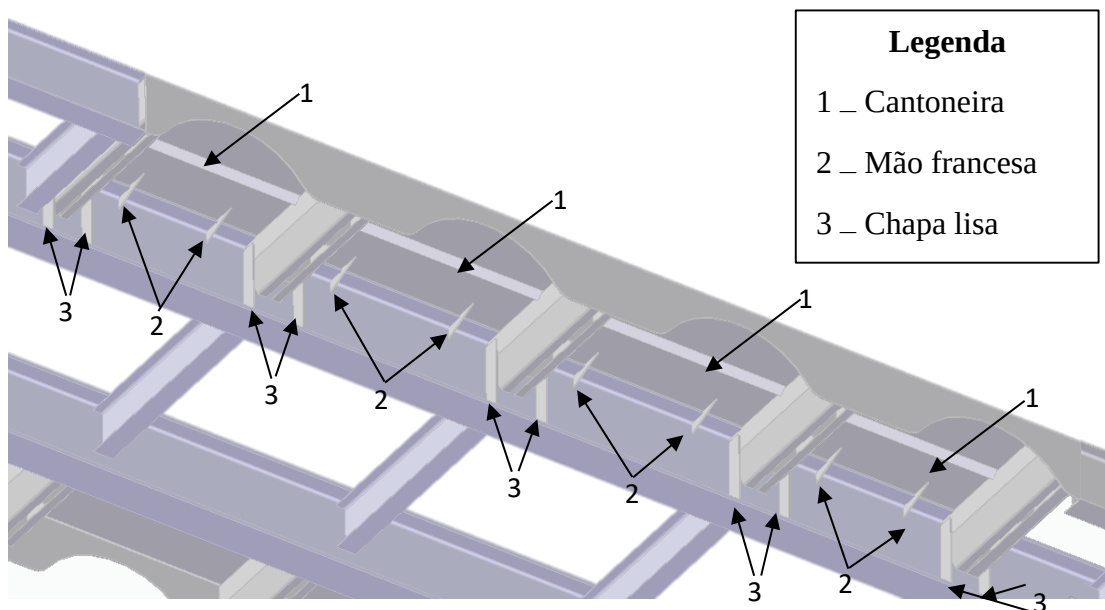


Figura 13: Estrutura do semirreboque com reforços estruturais

Fonte: Autoria própria (2022).

A figura 13 apresenta os pontos na área que foi introduzido os reforços na estrutura. Estes reforços têm como objetivo atenuar a deformação na estrutura, principalmente nas regiões mais distantes dos pontos de apoio. Para que sejam aplicadas as cargas, é necessário definir os pontos de engastamento da estrutura, os quais representam regiões na estrutura com restrições de movimento necessário para que o cálculo computacional possa ser realizado. A figura 14 apresenta pontos de apoio que representam a ligação que a estrutura tem com o suporte da suspensão conforme a figura 15.

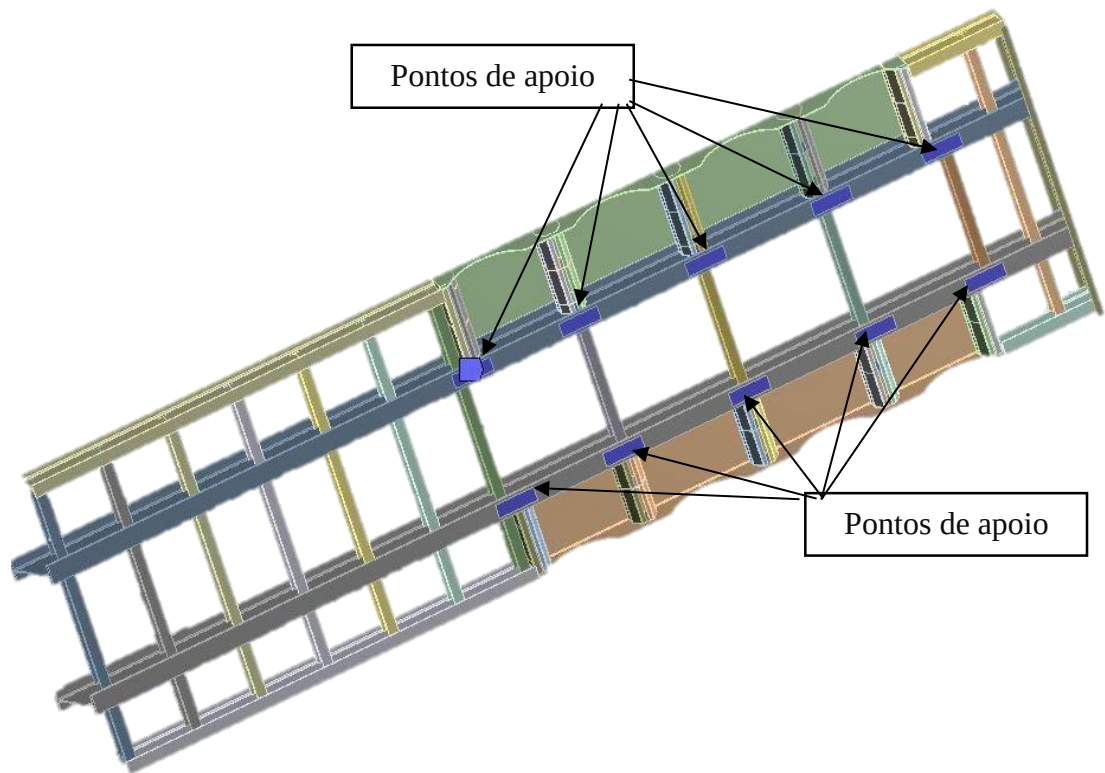


Figura 14: Pontos de apoio da estrutura dentro do ambiente de simulação

Fonte: Autoria própria (2022).

Definiu-se os pontos de apoio da estrutura na região, onde a ligação do suporte da suspensão é feita com a estrutura do semirreboque como evidenciado na figura 15.

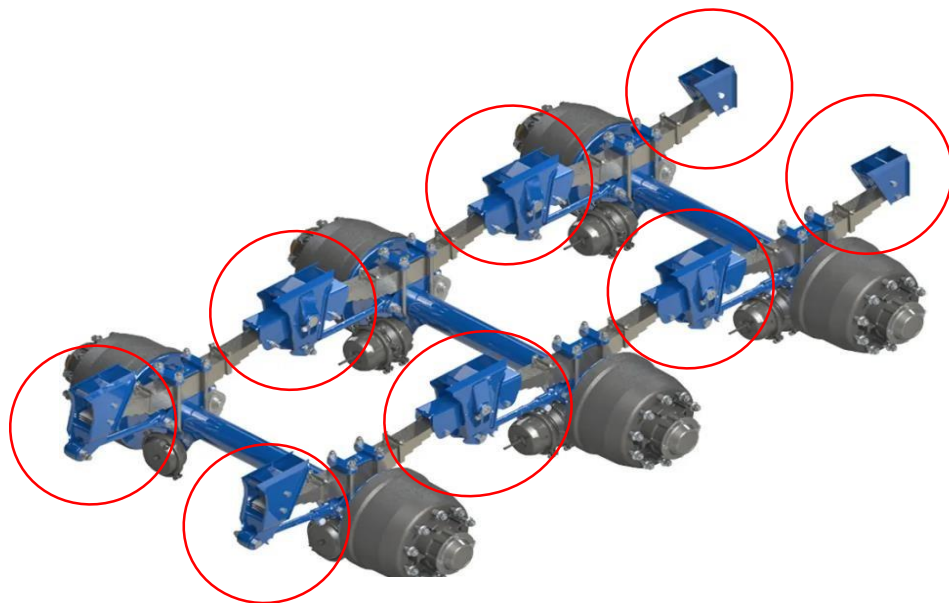


Figura 15: Kit de suspensão de um semirreboque

Fonte: Dinattec (2022).

O kit de suspensão apresentado na figura 15 é um dos conjuntos que compõem o rodado do semirreboque, sendo este responsável por absorver parte dos esforços gerados pela aplicação de carga na estrutura.

Ainda com o objetivo de simplificar o modelo para a simulação, a estrutura do pescoço não será incluída nesta simulação, ao invés disso, será incluído dois pontos de apoio na estrutura afim de representar a ligação do pescoço com as longarinas principais do chassi do semirreboque, como indicado na figura 16.

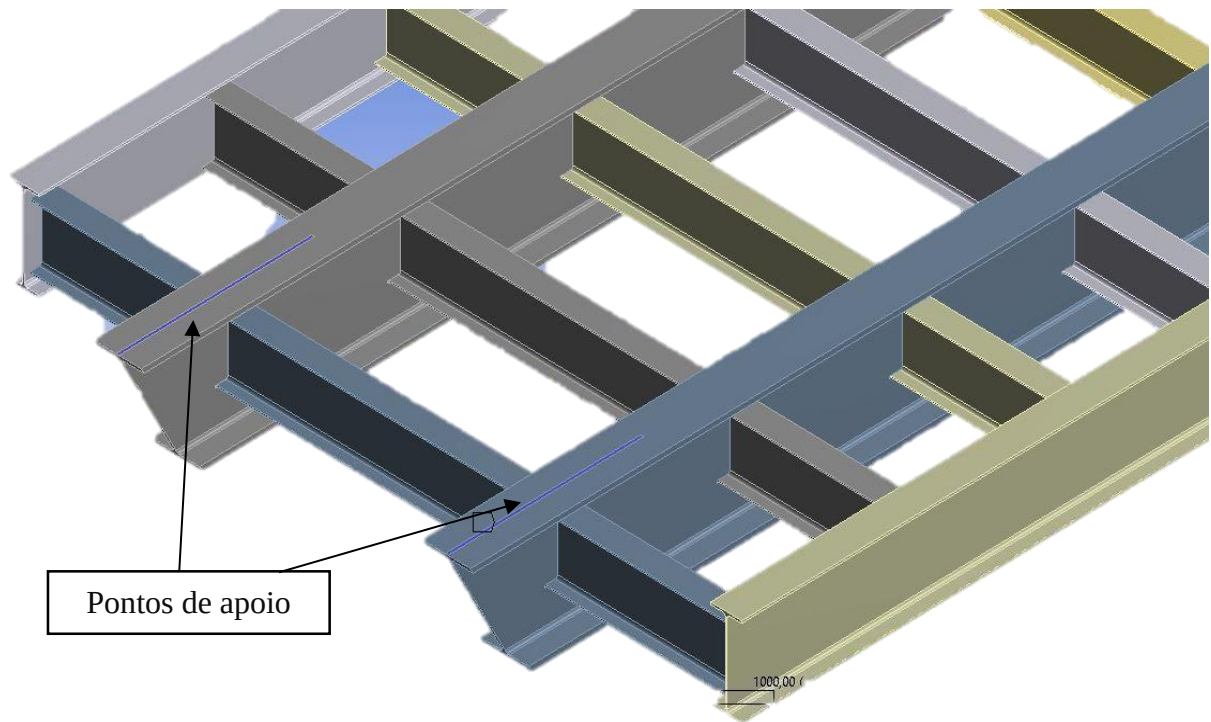


Figura 16: Pontos de apoio da estrutura dentro do ambiente de simulação

Fonte: Autoria própria (2022).

Após definir os pontos de apoio da estrutura são inseridas as cargas como previamente definido. A região em vermelho visto na figura 14, representa a zona de aplicação de carga, assim como já previamente referido também na figura 10.

Deste modo, o software vai utilizar os pontos de apoio e as zonas de aplicação de força definidas para executar a simulação da estrutura, de maneira a representar tal situação sem que haja a necessidade de fabrica-la e executa-la em um protótipo para obter resultados confiáveis, o que representa uma economia no modo em que a estrutura é avaliada para sua posterior fabricação em série.

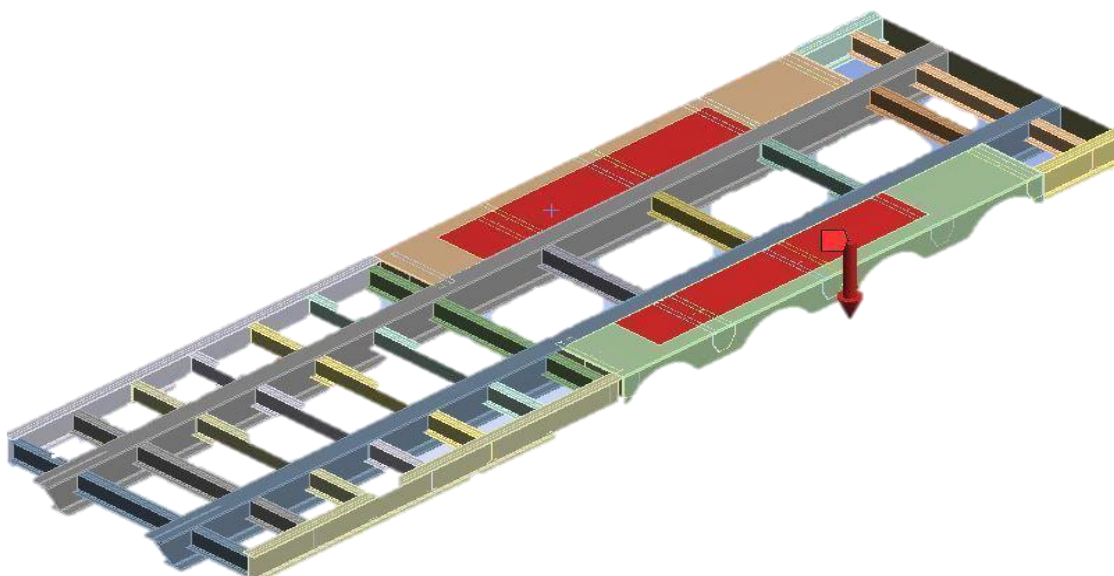


Figura 17: Região de aplicação de carga no semirreboque no ambiente de simulação

Fonte: Autoria própria (2022).

Com a definição das cargas, é gerado a malha da estrutura. Nesta etapa a estrutura é subdividida em elementos interligados por nós, como é possível observar na figura 18.

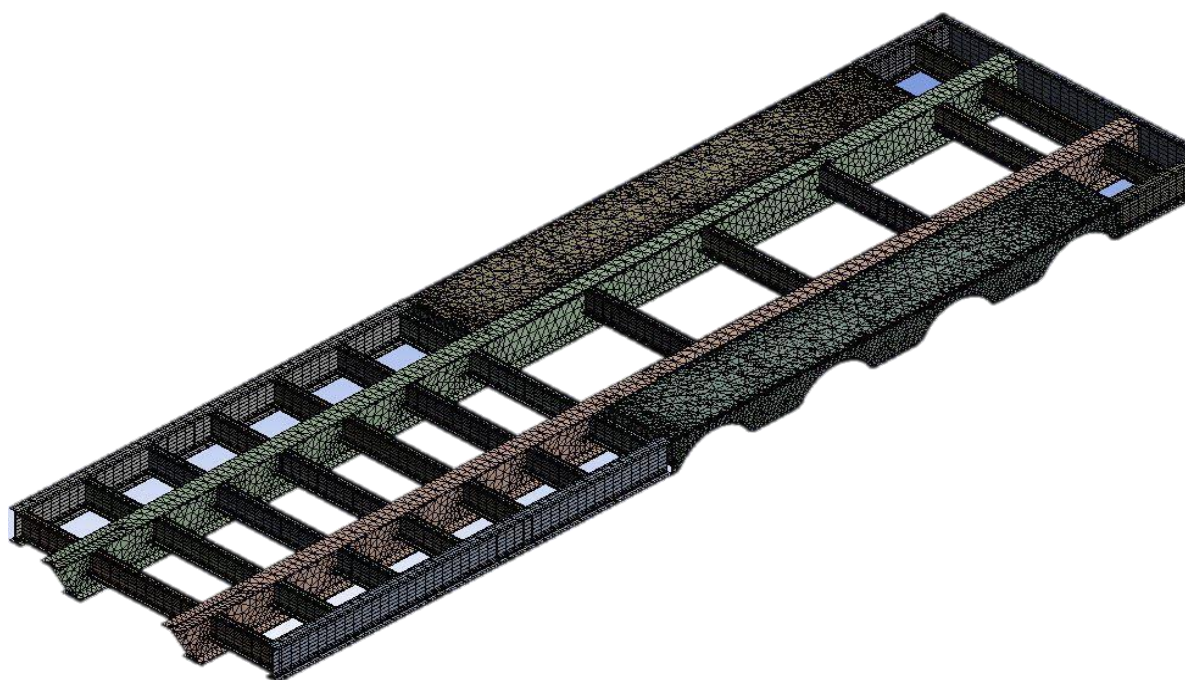


Figura 18: Malha gerada a partir da estrutura do semirreboque

Fonte: Autoria própria (2022).

A figura 18 mostra a estrutura do semirreboque transformada em malha. Deste modo, toda a estrutura foi dividida em elementos e nós. Com a geração desses elementos, será possível que o software efetue todos os cálculos necessários para a avaliação da estrutura diante a aplicação da carga determinada, definindo como cada um dos pontos presentes na estrutura se comportam. Sendo assim, é possível executar o software para que sejam apresentados os resultados para a posterior análise.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Para a análise dos resultados, foi escolhido o critério de deformação total da estrutura em milímetros. Desta forma, é possível avaliar a condição da estrutura para o carregamento deste ensaio. A figura 19 e as demais figuras apresentadas nesta seção, apresentam o resultado de uma análise global da estrutura do semirreboque, utilizando a carga prevista para a simulação.

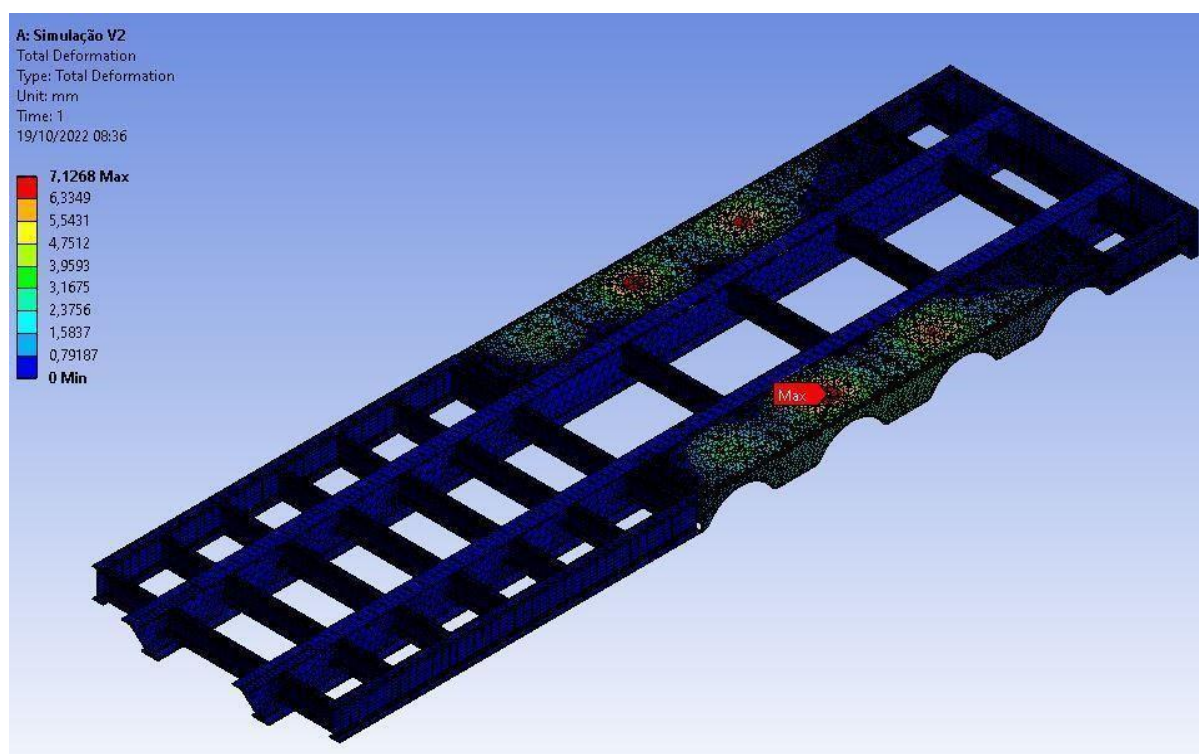


Figura 19: Análise global da simulação da estrutura sem reforços estruturais

Fonte: Autoria própria (2022).

A figura 19 apresenta o resultado da simulação da estrutura do semirreboque sem reforços estruturais que obteve uma deformação máxima de 7 milímetros. O software apresenta o fluxo de deformação na estrutura através de uma palheta de cores, onde as regiões nas quais se predomina a cor azul escuro, são partes de menor deformação. Enquanto as regiões em vermelho, apresentaram as maiores deformações.

O resultado desta simulação evidenciou que a maior parte da estrutura se mantém rígida e com pouca deformação. Porém, na investigação realizada, é possível observar que a força não é distribuída de forma igualitária em toda a estrutura e por esta razão, as regiões na qual a carga está sendo aplicada diretamente tendem a sofrer uma deformação mais acentuada.

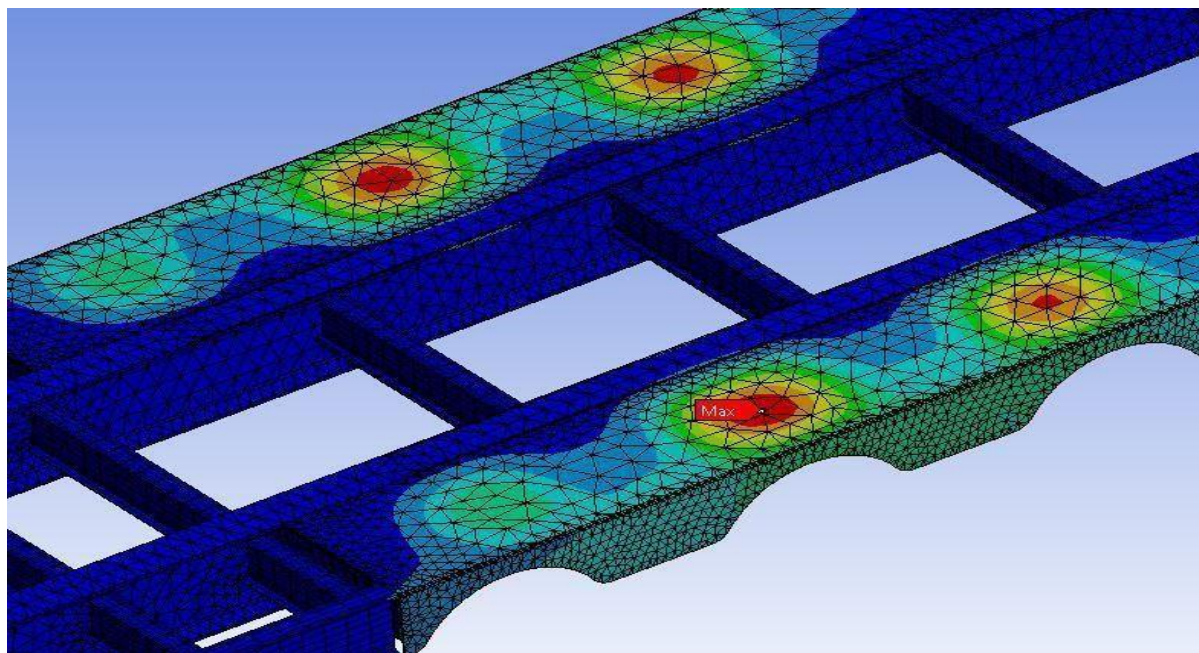


Figura 20: Fluxo de tensão gerado pela aplicação da carga (Sem reforços estruturais)

Fonte: Autoria própria (2022).

Na figura 20 apresenta-se uma vista aproximada da estrutura presente na figura 19, na qual é possível visualizar com mais clareza o fluxo de deformação gerado na estrutura pela aplicação da carga, e nota-se que a região de maior deformação da estrutura se concentra no meio da área, local que a carga foi aplicada. Além disso, a parte que obteve a maior deformação é próxima ao lugar onde a estrutura foi engastada, como anteriormente evidenciado na figura 14. Por este motivo, esta área da estrutura fica sujeita a um momento fletor de maior intensidade.

Deste modo, utilizando os resultados desta simulação é possível também inferir a localidade da estrutura, na qual as introduções dos reforços estruturais são mais coerentes e condizentes com a carga que está sendo aplicada.

Na figura 21, apresenta-se o resultado da segunda simulação global da estrutura do semirreboque, mas desta vez, introduzindo elementos de reforço na estrutura compostos por perfis estruturais e perfis em chapa metálica. Neste estudo de caso, os reforços estruturais se comportam de maneira a representar o processo de soldagem para a sua ligação com a estrutura.

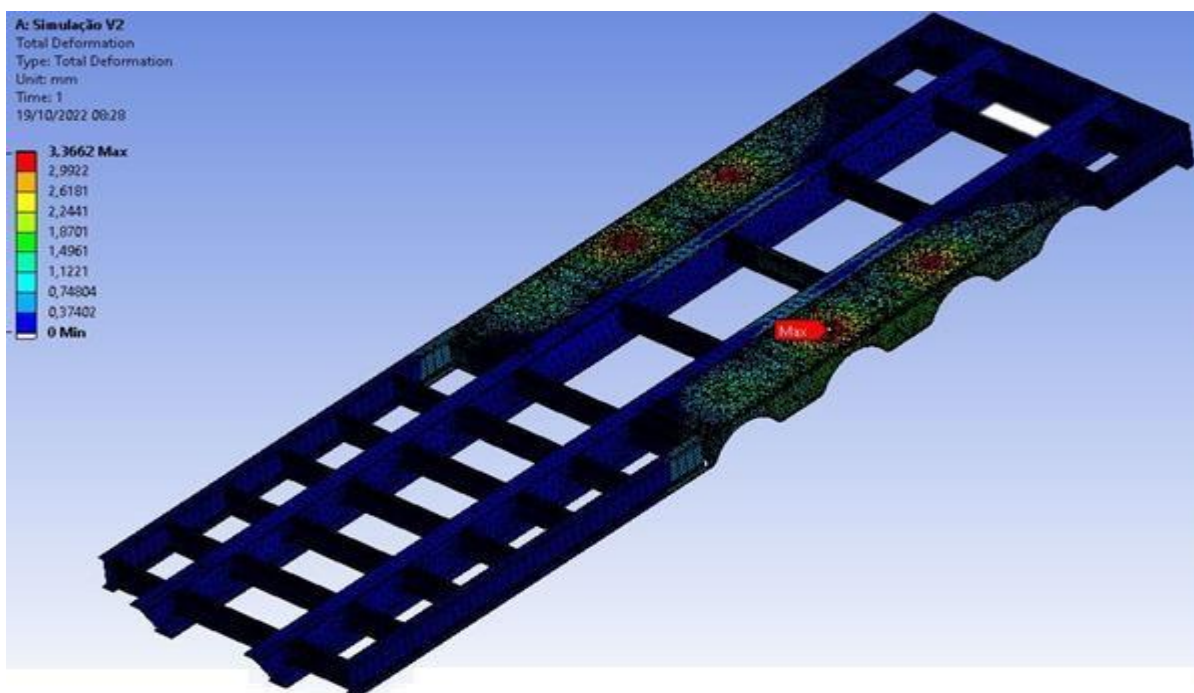


Figura 21: Análise global da simulação da estrutura com reforços estruturais

Fonte: Autoria própria (2022).

Apesar da aplicação dos reforços estruturais na estrutura, as regiões nas quais a deformação é mais acentuada continua sendo a mesma, entretanto, o grau de deformação é consideravelmente menor.

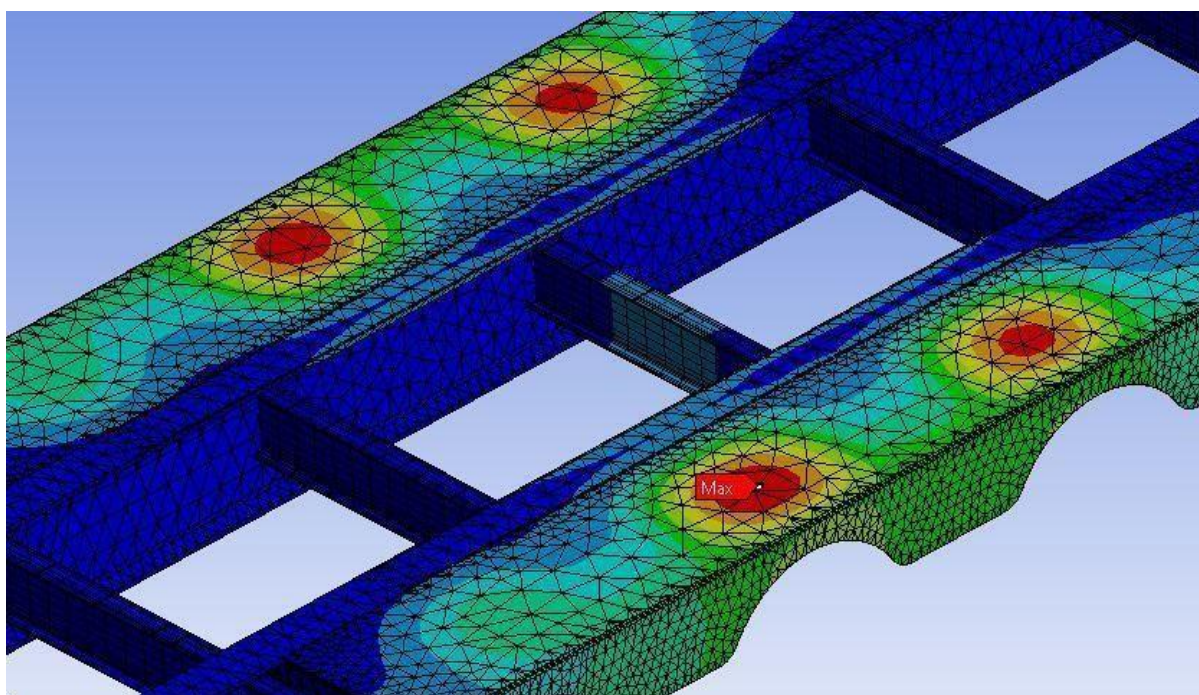


Figura 22: Fluxo de tensão gerado pela aplicação da carga (Com reforços estruturais).

Fonte: Autoria própria (2022).

A figura 22 mostra uma vista ampliada da simulação realizada na figura 21, que quando comparada com as figuras anteriores apresenta bastante semelhança no fluxo de deformação. Porém, comparando-se o grau de deformação experimentado na primeira para a segunda situação, notabiliza-se uma redução na deformação de 47% relacionando os valores apresentados na tabela 5.

Tabela 5: Resultado comparativo das simulações

Situação	Deformação	Unidade
Sem reforços estruturais	7,12	mm
Com reforços estruturais	3,36	mm

Fonte: Autoria própria (2022).

Desta forma, é possível evidenciar o ganho de rigidez na estrutura com a implementação de reforços estruturais, que quando introduzidos nas zonas de deformação apresentadas pelo resultado da simulação, diminuem significativamente a deformação. Porém, neste presente estudo, somente a introdução dos reforços não são o suficiente para anular a deformação da estrutura, sendo esta, uma tarefa complexa e fora do objetivo deste ensaio, sendo necessário uma nova avaliação da estrutura visando a diminuição da deformação causada pela carga aplicada, caso o objetivo dessa avaliação fosse obter o menor valor de deformação possível.

Entretanto, é importante dizer que para a obtenção de resultados mais acurados, é necessário um maior refinamento da malha da estrutura, o que exige um maior tempo computacional para a obtenção dos resultados, o que se evidenciou durante a pesquisa como um fator limitante para este estudo, já que o equipamento utilizado para gerar os resultados através do software não possui os requisitos necessários para simulações complexas.

5. CONCLUSÃO

Mediante as informações levantadas para este estudo de caso, buscou-se analisar a estrutura de um semirreboque de maneira que evidencie como a aplicação da carga prevista seria refletida na estrutura do semirreboque. Foram definidas as cargas e os pontos de engastamento na estrutura, com o objetivo de analisar os resultados obtidos por simulação feita no software Ansys em duas situações distintas para a estrutura.

Constatou-se que a aplicação de carga na estrutura gerou uma zona de fluxo de deformação na estrutura, acentuando-se nas regiões próximas do ponto de aplicação de carga e próxima aos pontos de engastamento. Com os resultados obtidos a partir da simulação, foi possível verificar uma diminuição de 47% na deformação na estrutura que apresentava reforços estruturais quando comparada com a estrutura sem reforços. Portanto, evidencia-se que a implementação de reforços estruturais contribuiu para a diminuição da deformação global da estrutura.

Com os resultados obtidos, foi possível demonstrar de forma breve a avaliação de uma estrutura de um semirreboque utilizando cargas de projeto, e como a implementação de reforços estruturais é capaz de fornecer maior rigidez a estrutura. E também, como este tipo de análise contribui para o desenvolvimento de planeamentos mais otimizados e confiáveis.

É importante também salientar sobre os benefícios da utilização de softwares de simulação em projetos, que como demonstrado neste trabalho, contribuem para que engenheiros e projetistas possam propor soluções mais confiáveis e acuradas.

O presente trabalho oportuniza outras pesquisas, deste modo sugere-se para futuras dissertações:

- I. Simulação para vida em fadiga do equipamento durante o seu período de serviço;
- II. Otimização estrutural do equipamento, evidenciando o quanto a estrutura pode ser otimizada mantendo a mesma integridade estrutural;
- III. Realizar um estudo comparando uma estrutura composta por perfis conformados a frio, e outra estrutura conformada a quente, evidenciando as vantagens e desvantagens de cada uma.

REFERÊNCIAS

ALTAIR, U. **Practical Aspects of Finite Element Simulation: a study guide**. 3. ed. 2015. 503 p.

ALVES, P. D. **Estratégia global-local aplicada ao método dos elementos finitos generalizados**. Dissertação de Mestrado — Universidade Federal De Minas Gerais - Belo Horizonte, 2012.

AZEVEDO, Álvaro F. M. **Método dos Elementos Finitos**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003. 258 p.

BENNETT, S.; NORMAN, I. A. **Heavy Duty Truck Systems**. 5. ed. Delmar Cengage learning, 2011. 1301 p.

CATERPILLAR. **Tratores**. Disponível em: <https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/dozers.html>. Acesso em: 13 out. 2022.

CNT - Confederação nacional do transporte. Boletins. Brasília, DF: 2021. Disponível em: <https://cnt.org.br/boletins>. Acesso em: 17 set. 2022.

CONTRAN. **Conselho Nacional de Trânsito**. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/index.php/contran>. Acesso em mai/2022.

DINATEC, Peças e serviços. **Suspensão**. Disponível em: <<https://www.dinatec.com.br/carreta/suspensao/>>. Acesso em: 17 out. 2022.

ESSS - **Software Ansys**. Análise Estrutural. Florianópolis, SC. 2022. Disponível em: <https://www.esss.co/ansys/analise-estrutural/>. Acesso em: 27 out. 2022.

GERDAU. **Catálogo Barras e Perfis Gerdau**. Disponível em:<<https://www2.gerdau.com.br/blog-do-aco/publication-category/catalogos/?>>. Acesso em: 10 de outubro de 2022.

KÖHLER, L. L. **Estudo de cargas em um semirreboque carrega tudo utilizando métodos numéricos e análise experimental**. Trabalho De Conclusão De Curso (Bacharelado em Engenharia Automotiva). Universidade Federal De Santa Catarina - Joinville, 2018.

LEANDRO, V. M. **Análise estrutural de um chassi de semirreboque pelo método de elementos finitos**. Trabalho De Conclusão De Curso (Bacharelado em Engenharia Automotiva). Universidade Federal De Santa Catarina - Joinville, 2019.

LENA, E. **Projeto de um reboque do tipo de engate quinta roda com análise por simulações computacionais e utilização de ferramenta de verificação de falhas**. Trabalho De Conclusão De Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2019.

LIBRELATO. **Semirreboque Carrega tudo**. 2020. Disponível em: <<https://www.librelato.com.br/implementos/linha-carrega-tudo-7/semirreboque-carrega-tudoplano-9>>. Acesso em: 14 out. 2022.

MACEDO, D. X. S. et al. Caracterização dos acidentes com máquinas agrícolas em rodovias federais no estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 43–46, 2015.

MIRLISENNA, G. **Método dos Elementos Finitos: o que é?**. Blog ESSS, 2016. Disponível em: <<https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/>>. Acesso em: 13 out. 2022.

PEREIRA, R. Logística do transporte de cargas indivisíveis. **Revista Científica do UBM**, n. n.35, p. 171-189, 27 fev. 2022.

PUC RIO. **O Método dos Elementos Finitos Aplicado a Análise Não-Linear**. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/3328/3328_4>. Acessado 3 de setembro de 2022

SANTOS, W. J. DOS. **Análise comparativa dos modais rodoviário e ferroviário: uma abordagem pela vida e a economia**. Trabalho De Conclusão De Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas). Universidade Federal da grande Dourados - UFGD – Dourados/ MS, 2021. Disponível em: <<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>>.