

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA FLUMINENSE**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS À
ENGENHARIA E GESTÃO**

FÁBIO CARNEIRO ESCOCARD

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE MAIS SEGURO E
CONFIÁVEL PARA A CONDUÇÃO DE BLOCOS E ROCHAS
ORNAMENTAIS EM RODOVIAS**

**Campos dos
Goytacazes/RJ**

2018

2018

FÁBIO CARNEIRO ESCOCARD

MPSAEG / IFF

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA FLUMINENSE**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS À
ENGENHARIA E GESTÃO**

FÁBIO CARNEIRO ESCOCARD

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE MAIS SEGURO E CONFIÁVEL PARA
A CONDUÇÃO DE BLOCOS E ROCHAS ORNAMENTAIS EM RODOVIAS**

**D.Sc. Alline Sardinha Cordeiro Morais
(Orientadora)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão (MPSAEG), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão.

Campos dos
Goytacazes/RJ
2018

Biblioteca Anton Dakitsch
CIP - Catalogação na Publicação

E74p

Escocard, Fábio Carneiro

PROPOSTA DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE MAIS SEGURO
E CONFIÁVEL PARA A CONDUÇÃO DE BLOCOS E ROCHAS
ORNAMENTAIS EM RODOVIAS / Fábio Carneiro Escocard - 2018.
49 f.: il. color.

Orientador: Alline Sardinha Cordeiro Morais
Coorientador: Frederico Kraft

Dissertação (mestrado) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Fluminense, Campus Campos Centro, Curso de Mestrado
Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Campos dos
Goytacazes, RJ, 2018.

Referências: f. 1992 a 2018.

1. Acidente. 2. Transporte. 3. Rocha. 4. Bloco. 5. Granito. I. Morais,
Alline Sardinha Cordeiro, orient. II. Kraft, Frederico, coorient. III. Título.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA FLUMINENSE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS
À ENGENHARIA E GESTÃO

Fábio Carneiro Escocard

PROPOSTA DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE MAIS SEGURO E CONFIÁVEL PARA
A CONDUÇÃO DE BLOCOS E ROCHAS ORNAMENTAIS EM RODOVIAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão (MPSAEG), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão.

Aprovado (a) em 20 de dezembro de 2018.

Banca
Examinadora:

Alline Sardinha Cordeiro Morais, Doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais – UENF/RJ
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense
(Orientadora)

Frederico Kraft, Especialista em logística e sistemas de transporte.
Morumbi Industrial LTDA
(Especialista Externo)

Rodrigo Martins Fernandes, Doutor em Engenharia Elétrica – UENF/RJ
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

Camila Mendonça Romero Sales, Doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais – UENF/RJ
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Mario e Lena, ao meu irmão Vitor e minha esposa Hellen.

AGRADECIMENTOS

A Deus e ao meu anjo da guarda, por terem iluminado e guiado todos os meus passos dessa caminhada.

Aos meus pais, Mário e Lena, que foram cruciais na formação do meu caráter, por sempre acreditarem em mim e por todo empenho para proporcionar uma educação de qualidade, que foi fundamental na minha formação acadêmica.

Ao meu irmão Vitor, pelo exemplo que é para mim como profissional e homem de bem. Seu caráter e compromisso sempre me incentivaram a superar as dificuldades passadas.

A minha esposa Hellen, por sempre estar ao meu lado me apoiando e me incentivando em tudo que faço, pela compreensão nos momentos difíceis e por todo amor e carinho que sempre tem comigo.

A minha orientadora Alline por acreditar em mim, pela paciência e puxões de orelha. Sem seus feedbacks nem sempre positivos, não teria conseguido cumprir essa etapa.

A empresa Morumbi Industrial Ltda, por acreditar no meu trabalho e abrir todas as portas possíveis para a realização deste trabalho.

Ao amigo Frederico, pelo apoio técnico e por sempre estar presente e disposto contribuir com o trabalho, muito antes de pensar em se tornar meu co-orientador.

A amiga e companheira de trabalho Micaela por me incentivar e por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis da dissertação. Sem seu apoio provavelmente não teria tido completo êxito nessa longa caminhada.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram nessa jornada.

“Se o problema tem solução, não esquite a cabeça, porque tem solução. Se o problema não tem solução, não esquite a cabeça, porque não tem solução”.

Provérbio chinês

RESUMO

O transporte rodoviário é um aspecto chave para toda a logística do país, sobretudo para o setor de blocos e rochas ornamentais que depende massivamente deste tipo de modal. Apesar de ser capaz de trazer resultados significantes tanto em aspectos econômicos quanto financeiros, esse modelo de escoamento está suscetível a grandes riscos de acidentes. No entanto o uso de equipamentos modernos e devidamente planejados para tal operação pode ser capaz de superar tais dificuldades, oferecendo mais segurança para os transportadores e viajantes. A presente pesquisa insere-se no discutido contexto, uma vez que propõem um projeto inovador para o transporte de blocos e rochas ornamentais. Tal projeto permitiu que a carga fosse transportada mais próxima ao solo, reduzindo em quase um metro a altura do centro de gravidade do conjunto e aumentando a estabilidade e segurança do mesmo durante o transporte. Essas e outras mudanças permitem dentre outras vantagens, aumentar a capacidade máxima estimada de carga líquida a ser transportada. Para tal desenvolvimento, foi feita uma análise dos equipamentos de transporte utilizados para esse fim e dos pontos críticos de carregamento e transporte existentes, para que em seguida fosse possível propor um novo modelo. Espera-se que com a materialização deste e outros projetos similares que venham a surgir, tenhamos mais segurança nesse tipo de transporte, contribuindo dessa forma, para a redução do número de acidentes rodoviários relacionados ao transporte de blocos e rochas de granito e conseqüentemente o número de mortos e feridos nas estradas.

Palavras-chave: Acidente, transporte, rocha, bloco, granito, rodovia e legislação.

ABSTRACT

The road transport is a key aspect for all the country logistics, especially for the sector of blocks and ornamental rocks that depends massively on this type of transport. Despite being able to bring significant results in economic and financial aspects, this model of flow is susceptible to large risks of accidents. However the use of modern equipment and properly planned for such an operation may be able to overcome such difficulties, offering more safety for transporters and travelers. The present research inserts itself in the discussed context, since they propose an innovative project for the transport of blocks and ornamental rocks. The project allows the load to be transported closer to the ground, reducing the height of the center of gravity of the assembly by almost one meter and increasing its stability and safety during transportation. These and other changes allowed, among other advantages, to increase the net load capacity to be transported. For this development, an analysis was made of the transport equipment used for this purpose and the critical loading and transport points, so that a new model could then be proposed. It is hoped that the materialization of this and other similar projects that may bring more safety to those involved and contribute to the reduction of the number of highway accidents related to the transportation of blocks and granite rocks and consequently the number of dead and wounded on the roads.

Keywords: Accident, transport, rock, block, granite, highway e legislation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Veículo transportador de rochas tombado. Fonte: Portal G1 de notícias (2013).....	21
Figura 2: Indicativo geral de acidentes de trânsito em rodovias federais. Fonte: Registros da Polícia Rodoviária Federal.....	22
Figura 3: Indicativo de acidentes de trânsito com tombamento de cargas. Fonte: Registros da Polícia Rodoviária Federal.....	22
Figura 4: Tombamento de carga X Geral. Fonte: Registros da Polícia Rodoviária Federal	23
Figura 5: Ilustração de veículo transportador de rochas ornamentais dentro das normas técnica exigidas. Fonte: Resolução 354/10	24
Figura 6: Exemplos de configurações utilizadas para o transporte de blocos e rochas. Fonte: Portaria do DENATRAN nº 63 de 31/03/2009.....	25
Figura 7: Comparação do raio de giro entre dois semirreboques de mesma configuração. Fonte: Machado (2012).....	28
Figura 8: Resultado encontrado quando comparado dois semirreboques nas mesmas condições de uso durante dois anos. Fonte: Machado (2012)	28
Figura 9: Etapas da pesquisa desenvolvida. Fonte: Próprio autor (2018).	29
Figura 10: Perspectiva do equipamento proposto em 2D. Fonte: Próprio Autor (2018).....	32
Figura 11: Ilustração centro de gravidade de uma carreta carga seca carregada. Fonte: Próprio Autor (2018).....	33
Figura 12: Ilustração centro de gravidade do equipamento proposto carregado. Fonte: Próprio Autor (2018).....	33
Figura 13: Gráfico de aceleração centrípeta X ângulo máximo de tombamento. Fonte: Próprio Autor (2018).....	36
Figura 14: Visão geral do equipamento proposto carregado em formato 3D. Fonte: Próprio Autor (2018).....	38
Figura 15: Vista lateral do equipamento proposto carregado em formato 3D. Fonte: Próprio Autor (2018).....	38
Figura 16: Vista superior do equipamento proposto carregado em formato 3D. Fonte: Próprio Autor (2018).....	38
Figura 17: Análise SWOT – Desenvolvimento de um novo equipamento para o transporte de blocos e rochas ornamentais. Fonte: Próprio Autor (2018)	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características da frota de veículos dedicada ao TRC de terceiros no Brasil. Fonte: Adaptado de ANTT (2016b).....	18
Tabela 2: Distribuição dos veículos das ETCs e dos TACs, segundo faixa de idade (%). Fonte: Adaptado de ANTT (2016a).	19
Tabela 3: Variáveis encontradas através do cálculo limiar de capotamento. Fonte: Próprio Autor (2018).....	34

LISTA DE SIGLAS

AET	Autorização Especial de Trânsito
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
D.O.U	Diário Oficial da União
PBT	Preso Bruto Total
PBTC	Preso Bruto Total Combinado
PRF	Polícia Rodoviária Federal
CAD	Computer-aided desing
IFF	Instituto Federal Fluminense
RJ	Rio de Janeiro
ES	Espírito Santo
ABIROCHAS	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
CNI	Confederação Nacional da Indústria
ANTT	Agência Nacional de Transporte Terrestre
TRC	Transporte Rodoviário de Carga
RNTRC	Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Carga
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
TAC	Transportadores Autônomos de Carga
ECT	Empresas de Transporte de Carga
CG	Centro de Gravidade
2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.2. Logística e a evolução do transporte brasileiro	16
2.2 Transporte rodoviário de cargas	17
2.3. Produção e transporte de blocos e rochas ornamentais	19
2.3. Acidentes rodoviários relacionados ao transporte de cargas	21
2.4. Legislação referente ao transporte de cargas e rochas ornamentais	23
2.5. Análise das configurações existentes.....	25
2.6. Cinemática do movimento	26
2.6.1 Análise de tombamento	26
2.6.2 Análise raio de giro	27
3. METODOLOGIA	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Equipamento de transporte	32
4.2. Adequações propostas	39
4.3. Análise crítica do projeto.....	40
5. CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

Segundo Silveira (2011), o sistema logístico apresenta-se como um dos principais meios de geração de estratégias, gestão de transportes e planejamento. O transporte rodoviário de cargas por sua vez, tem grande importância neste cenário, visto que responde sozinho por mais de 61% de toda a carga transportada no país (CNT, 2017b).

Existem, no entanto, grandes desafios nesse modelo, que impactam negativamente a sua prosperidade. Dentre eles, pode-se destacar a legislação inadequada e o envelhecimento da frota (KATO, 2007).

Um setor que está diretamente ligado a essa vertente é o de blocos e rochas ornamentais, onde o Brasil é um dos principais produtores do mundo. Além disso, o cenário nacional de exportações de rochas mostra-se muito promissor, pois, se comparados os anos de 2016 e 2017, percebe-se uma alta de 3% na quantidade (tonelada) exportada. (CENTROROCHAS, 2017).

O setor, apesar de promissor, enfrenta algumas dificuldades, podendo-se destacar principalmente dois pontos: Evidência de graves acidentes rodoviários envolvendo esse tipo de transporte e limitação da carga a ser transportada.

Levando em consideração apenas os acidentes por tombamento, em média são evidenciadas mais de 6.300 ocorrências nas estradas todos os anos, ocasionando cerca de 170 mortes (PRF, 2017). Sendo recorrente o registro de acidentes envolvendo tombamento de caminhões para transporte de blocos nas rodovias (CASTRO *et al.*, 2011).

O recente cenário de grandes tragédias enfrentado nas estradas brasileiras, como o acidente que em novembro de 2017 deixou 09 feridos e 11 mortos (MACHADO, 2017), fez despertar na sociedade e nas associações/sindicatos da classe, o interesse em entender melhor esse ambiente e contribuir de alguma forma para a mudança desse panorama. Desta forma, a presente pesquisa traz uma solução viável para contribuir consideravelmente para a redução destes tipos de acidentes.

Apesar de já existir legislação específica a respeito deste tema, a resolução nº 354 de 24 de junho de 2010, que estabelece requisitos de segurança para o transporte de blocos e chapas serradas de rochas ornamentais, as ocorrências de sinistros continuam acontecendo.

O segundo ponto se refere à limitação imposta pelos modelos de transporte disponíveis para o escoamento das produções. De acordo com Ricardo Schvez, diretor de uma das maiores empresas do ramo no país, em uma entrevista concedida a Revista M&T (2015), no Brasil já existem equipamentos modernos capazes de movimentar blocos de até 40 toneladas dentro das mineradoras. No entanto, eles trabalham apenas com blocos de 33 toneladas em média. Isso

ocorre principalmente ao fato desse ser o limite para deslocamento em rodovias, segundo as composições homologadas para o transporte de carga, pois, na atualidade esse tipo de transporte se enquadra na Portaria DENATRAN nº 63 de 31/03/2009.

Mesmo com essas particularidades, somente em meados de 2010, esse tipo de transporte, passou a ser especificamente regulamentado segundo alguns requisitos de segurança. (CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO, 2006,2010).

O presente trabalho, por sua vez, vai um passo além, com a proposta de desenvolver um sistema de transporte mais seguro e confiável para a condução de blocos e rochas ornamentais nas rodovias, comparar as especificações entre um dos principais modelos existentes e analisar de forma crítica a legislação que rege esse tipo de transporte, propondo melhorias, para avaliação técnica por parte dos Órgãos competentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nessa seção está detalhado o material teórico de apoio ao desenvolvimento da pesquisa trabalhada.

2.2. Logística e a evolução do transporte brasileiro

A logística, os transportes e o comércio estão presentes no cotidiano de toda sociedade, sejam clientes ou produtores, pois é por meio deles que as mercadorias circulam no mercado local, regional, nacional e internacional, sendo responsável por ampliar as relações econômica, política, social e cultural. Os sistemas de troca de mercadorias vêm se tornando cada vez mais complexos, articulados e organizados em redes de transportes e de comunicações, objetivando a viabilização dos fluxos de bens e de serviços (GONÇALVES; RODRIGUES, 2016).

O sistema logístico é, ainda, um dos principais meios de geração de estratégias, gestão de transportes e planejamento, determinando a fluidez econômica e o movimento circulatório de capital dentro de um território (SILVEIRA, 2011).

Levando em consideração os serviços logísticos organizados em rede no mercado, o transporte é o mais fácil de ser visualizado, devido a sua finalidade de movimentar mercadorias produzidas em pontos estratégicos no espaço geográfico (GONÇALVES; RODRIGUES, 2016).

Além disso, na comercialização de produtos, o transporte representa um dos principais componentes do custo. Quanto mais eficazes os sistemas, menor o tempo gasto no escoamento da produção e, conseqüentemente, menores as perdas de produtos no transporte, custos e barreiras às transações comerciais (KATO, 2005; ALMEIDA; GOMES; SILVA, 2009).

No Brasil, o contato com sistemas de movimento mais modernos foi mediado pela navegação a vapor, especialmente na região norte do país, e pelas estradas de ferro, meios de transportes alavancados pela Primeira Revolução Industrial. Paralelo a isso, os portos, os sistemas de armazenagem e de estocagem se modernizaram a fim de atender à demanda de escoamento de produtos, sendo o principal deles o café, favorecendo o desenvolvimento logístico nacional (SILVEIRA, 2009).

A Segunda Revolução Industrial, no entanto, seguida pela utilização do motor à combustão, da linha de montagem, do automóvel e das vias asfaltadas, fez com que o Brasil traçasse um novo rumo econômico mudando sua matriz dos transportes para o modal rodoviário (KATO, 2005; SILVEIRA, 2009).

Mesmo que tardiamente, comparado aos demais países da América, o Brasil foi capaz de viabilizar o sistema de transporte rodoviário através da construção de rodovias asfaltadas,

incentivo fiscal para as indústrias de autopeças, instalação de montadoras automobilísticas estrangeiras, criação da Petrobrás e da instalação de refinarias de petróleo em pontos estratégicos. Tais fatores contribuíram para a integração territorial e para a ampliação da malha rodoviária (SILVEIRA, 2009).

A manutenção da logística de transportes é dependente da infraestrutura, dos terminais, dos fluxos de informações e dos serviços logísticos. A partir desses que se viabiliza a articulação espacial entre os fornecedores, produtores, prestadores de serviços, comerciantes e consumidores. Por essa razão, a logística de transportes é uma atividade de grande relevância no processo de efetivação das trocas comerciais e de serviços (PEREIRA, 2015; GONÇALVES; RODRIGUES, 2016).

No mercado internacional, em um comércio cada vez mais articulado e mais integrado, as exportações e as importações de mercadorias exigem operações com níveis elevados de especialização de serviços, para que os produtos cheguem ao destino, em diversos mercados, no espaço geográfico. Nesse sentido, quanto melhores as condições de infraestrutura de transporte, maiores são os níveis de integração entre o produtor e o comprador (KATO, 2005; GONÇALVES; RODRIGUES, 2016).

2.2 Transporte rodoviário de cargas

O transporte rodoviário de cargas tem especial destaque na economia brasileira pela sua importância estratégica ao responder por mais de 61% de toda a carga transportada no país (CNT, 2017b).

Existem, no entanto, grandes desafios nesse modelo, tais como o desbalanceamento da matriz de transportes, legislação inadequada e falta de fiscalização, deficiência estrutural, insegurança nas vias, altos custos, envelhecimento da frota, consumo energético e a emissão de gases poluentes. Problemas que atrasam o crescimento do setor (KATO, 2007).

Para entender a relevância do transporte rodoviário no Brasil, é importante avaliar alguns dados que revelam, quantitativamente, sua influência para a economia nacional. Tal mercado possuía em 2015, segundo a Pesquisa Anual de Serviços do IBGE, uma receita operacional líquida de aproximadamente R\$ 155 bilhões, o que representa um crescimento de 3% comparado ao ano de 2007. Além disso, o setor empregou diretamente, segundo o referido estudo, pouco mais de 1 milhão de pessoas (CNT, 2017c).

Contudo, em 2017, dos 105.814 km de rodovias federais e estaduais avaliadas em todo país pela Pesquisa CNT de Rodovias, 61,8% apresentaram algum tipo de deficiência no pavimento, na sinalização ou na geometria da via, fatores que afetam diretamente o

desempenho operacional e a segurança dos usuários, principalmente dos transportadores de grandes cargas (CNT, 2017b).

No ano de 2016, o total de veículos destinados ao Transporte Rodoviário de Cargas (TRC) já ultrapassava a marca de 2 milhões de unidades. Esse quantitativo pode ser dividido entre autônomos e empresas, conforme Tabela 1 (ANTT, 2016b).

Tabela 1: Características da frota de veículos dedicada ao TRC de terceiros no Brasil. Fonte: Adaptado de ANTT (2016b).

NÚMERO DE VEÍCULOS (milhares)			
-	Autônomos	Empresas	Total
Caminhões	816	684	1.500
Caminhão leve (3,5 toneladas a 7,0 toneladas)	157	64	222
Caminhão simples (8 toneladas a 29 toneladas)	493	282	775
Cavalo mecânico	166	338	504
Comerciais leves	113	52	165
Veículos automotores	929	737	1.666
Tracionados	158	516	675
Total	1.087	1.253	2.340

O aumento na quantidade de transportadores de carga, em uma época de baixa demanda, tem acirrado a concorrência entre as Empresas Transportadoras de Cargas (ETCs) e os Transportadores Autônomos de Cargas (TACs), podendo gerar ociosidade e desequilíbrio nos valores de frete praticados, colocando em dúvida as condições de segurança dos veículos que circulam pelas rodovias. Tais fatores, bem como a falta de fiscalização, normativas específicas para o setor e investimento em infraestrutura proporcional ao número de veículos em circulação, favorece uma crise no setor de transporte cargueiro (CNI, 2016).

Outro ponto relevante é o envelhecimento da frota de transporte nacional. Conforme pode ser verificado na Tabela 2, segundo informações da ANTT, quase 40% dos veículos possuem mais de 16 anos de idade, o que intensifica ainda mais a necessidade de fiscalização, tanto ao que tange a conservação estrutural e segurança dos usuários quanto à emissão de gases poluentes (ANTT, 2016a).

Tabela 2: Distribuição dos veículos das ETCs e dos TACs, segundo faixa de idade (%). Fonte: Adaptado de ANTT (2016a).

PERCENTAGENS							
	De 0 a 5 anos	De 6 a 10 anos	De 11 a 15 anos	De 16 a 20 anos	De 21 a 30 anos	Acima de 30 anos	Total
TACs	14,5	15	13,2	11,8	20,1	25,3	100
ETCs	43,6	25,6	14	6,8	6,4	3,7	100
Total	30,4	20,7	13,7	9,1	12,7	13,5	100

A atividade de TRC está segmentada em diversos mercados. A classificação utilizada para determinar os tipos de cargas, levando em consideração as características físicas das mercadorias (granel sólido, granel líquido e carga seca) ou a necessidade de tratamentos especiais, indica uma delimitação inicial desses mercados. As demandas e ofertas diferenciadas de cada tipo de mercadoria requerem a utilização de equipamentos específicos, como veículos e instalações, para garantir um transporte eficiente e seguro (CNI, 2016).

Neste sentido, sistemas logísticos que contribuam para um uso mais eficiente dos veículos, assim como mudanças para veículos com maior capacidade e maiores recursos de segurança, podem gerar ganhos adicionais de eficiência para o sistema de transporte. Além de tecnologias mais avançadas, é fundamental a participação de motoristas e transportadoras para potencializar a redução dos impactos econômicos e ambientais causados pelo transporte rodoviário de cargas (BARTHOLOMEU; PÉRA; CAIXETA-FILHO, 2016).

2.3. Produção e transporte de blocos e rochas ornamentais

As rochas ornamentais, também chamadas de pedras naturais, rochas lapídeas ou rochas dimensionais, são largamente utilizadas na indústria da construção civil como revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas e soleiras. Podendo, ainda, compor peças isoladas, como estruturas, tampos, pés de mesa, bancadas, balcões, lápides e arte funerária em geral, além de edificações (BRASIL, 2007, 2009; IEL, 2013; IDEIES, 2015).

Desde que se desenvolveram técnicas de beneficiamento para o acabamento das peças de mármore e granitos, tais materiais passaram a ser amplamente utilizados nos revestimentos de construções mais sofisticadas, pois apresentavam características de beleza, funcionalidade, facilidade de aplicação e durabilidade, além é claro, do forte apelo de exclusividade (IEL, 2013).

Mundialmente, a produção de rochas ornamentais passou de 1,5 milhão de t/ano, em 1920, para 130 milhões de toneladas em 2013, o que corresponde a cerca de 48 milhões de metros cúbicos ou 1,42 bilhões de metros quadrados equivalentes às chapas com dois

centímetros de espessura. Estima-se, ainda, que, no ano de 2020, essa produção ultrapasse a casa dos 170 milhões de toneladas (SANTOS, 2016).

O setor de rochas ornamentais apresenta grande força no cenário econômico do Brasil, colocando o país, em 2015, como o quinto maior produtor de rochas e o terceiro em exportação de granitos, 80% de todo o montante enviado para fora do país pertence a esse grupo (SANTOS, 2016).

O estado do Espírito Santo, em especial o município de Cachoeiro de Itapemirim, por sua vez, é um dos grandes responsáveis pela relevante posição do Brasil no *ranking* mundial, respondendo sozinho por cerca de 50% da produção de rochas e por mais de 70% das exportações brasileiras. Esse desempenho justifica-se pela existência de parques industriais de beneficiamento e em uma base de competitividade firmada para produtos acabados e semiacabados no mercado interno. (MARTINEZ; HEIDER, 2012; IDEIES, 2015; MONTANI, 2015; EL HAJJ *et al.*, 2017).

De acordo com informações da ABIROCHAS (2017), em 2014 o Brasil já era o principal fornecedor de rochas para o mercado norte-americano, respondendo por 30% do volume importado pelos Estados Unidos, o que corresponde a US\$ 790 milhões.

No geral, o setor de rochas ornamentais apresenta números bem promissores. A produção total de rochas representa 10,13 milhões de toneladas e possui capacidade de produzir 93 milhões de m²/ano de rochas especiais, além de 50 milhões de m²/ano de rochas de processamento simples. Com cerca de 1.200 variedades comercializadas no mercado interno e externo, possui aproximadamente 1.500 pedreiras ativas e 10 mil empresas na cadeia produtiva, gerando mais de 120 mil empregos diretos (ABIROCHAS, 2017).

O cenário nacional de exportações de rochas mostra-se muito promissor. Em 2017 verificou-se uma alta de 3% na quantidade (tonelada) exportada e de 9,34% no preço médio dos materiais exportados, quando comparados com os dados observados no mesmo período do ano de 2016. Fato que mostra um crescimento da atividade independentemente da situação econômica financeira que vive o país (CENTROROCHAS, 2017).

Para um país de dimensões continentais como o Brasil, onde o modelo de transporte mais utilizado é o rodoviário, a logística de escoamento de produção é determinante para a manutenção de todo o sistema. Desta forma, a movimentação segura e adequada de cargas brutas e produtos semiacabados, como os blocos e chapas ornamentais, pelas rodovias brasileiras depende de um transporte otimizado, de equipamentos eficientes e de uma fiscalização assídua para garantir o cumprimento das normativas e exigências legais relacionadas à atividade de transporte de cargas, visto que oferecem riscos a estrutura das

estradas, aos motoristas e aos demais usuários das rodovias (BRASIL, 2009; IEL, 2013; IDEIES, 2015).

2.3. Acidentes rodoviários relacionados ao transporte de cargas

O transporte dos blocos e chapas tornou-se um dos gargalos do setor de extração de rochas ornamentais. Por serem escoados através do modal rodoviário, esses produtos são responsáveis pela redução da vida útil das rodovias, aumento dos riscos de acidentes e danos a veículos transportadores e de terceiros, tendo como consequências significativas o elevado número de vítimas e a emissão de poluentes (BRAGANÇA; BRAGANÇA; MACIEL, 2017; NARCISO; MELLO, 2017).

Por mais que os principais portos utilizados para exportação da produção de rochas ornamentais, Porto de Santos- SP e de Vitória- ES, estejam na mesma região dos grandes municípios produtores, o fluxo de veículos transportadores de cargas pelas rodovias é intenso e necessita de atenção (SINDIROCHAS, 2017).

São frequentes os acidentes envolvendo caminhões de blocos nas estradas. O principal motivo é o excesso de velocidade com perda de controle na direção e tombamento do caminhão, quando os blocos estão devidamente amarrados ou, a queda dos blocos na pista quando eles não estão presos de acordo à regulamentação vigente (CASTRO *et al.*, 2011), conforme Figura 01.



Figura 1: Veículo transportador de rochas tombado. Fonte: Portal G1 de notícias (2013)

Analisando a Figura 02, é possível segmentar as informações em 03 grandes etapas. Sendo a primeira de 2007 à 2010, onde há uma crescente nos indicadores relacionados à acidentes, a segunda de 2010 à 2013, onde é possível perceber uma estabilização dos índices e a terceira e última etapa, de 2013 à 2017, quando o cenário melhora consideravelmente. Apesar das estatísticas estarem mostrando um cenário cada vez mais promissor ao que se refere aos acidentes nas rodovias federais brasileiras, o número de mortos e feridos e a quantidade de pessoas e veículos envolvidos ainda é alarmante (PRF, 2017), conforme Figura 02.

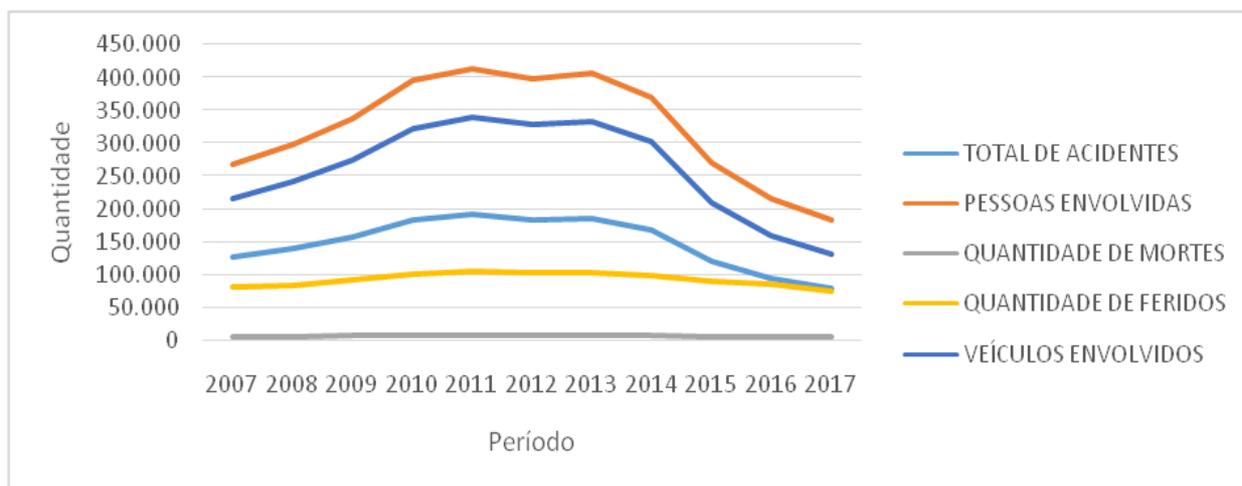


Figura 2: Indicativo geral de acidentes de trânsito em rodovias federais. Fonte: Registros da Polícia Rodoviária Federal

No entanto, no mesmo período de tempo (2007 à 2017), analisando apenas os acidentes relacionados a tombamentos de carga, é possível identificar um cenário bem menos promissor. A situação fica ainda mais alarmante quando correlacionados os dados de tombamento de cargas os índices gerais de acidentes rodoviários (PRF, 2017), conforme Figura 03 e Figura 04.

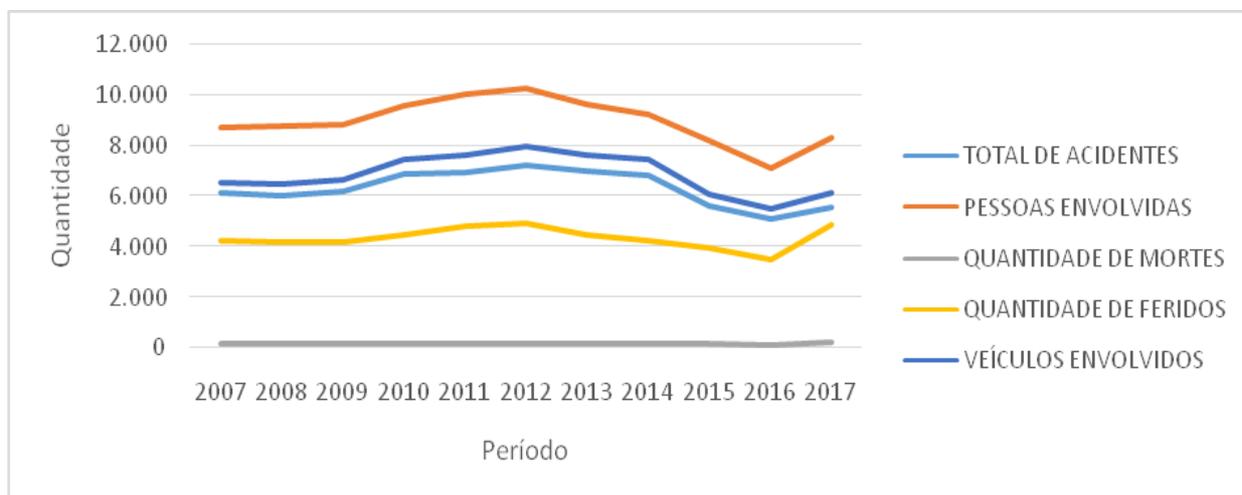


Figura 3: Indicativo de acidentes de trânsito com tombamento de cargas. Fonte: Registros da Polícia Rodoviária Federal

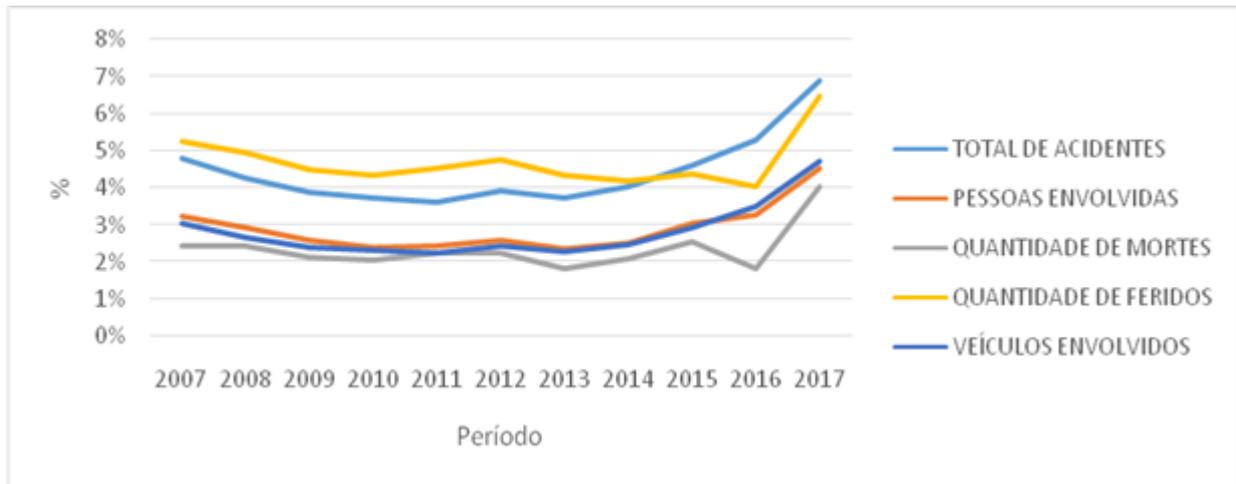


Figura 4: Tombamento de carga X Geral. Fonte: Registros da Polícia Rodoviária Federal

Com isso, fez-se necessária a promulgação de diversas legislações e normativas que objetivassem o melhor controle do tráfego de veículos transportadores de carga, buscando a segurança nas estradas brasileiras.

2.4. Legislação referente ao transporte de cargas e rochas ornamentais

Com a modernização e evolução dos equipamentos buscando uma melhor produtividade das empresas exploradoras de pedras naturais, os blocos de rocha ornamentais ficaram maiores e também mais pesados. Paralelamente, os caminhões também evoluíram em relação à potência do motor e tecnologias embarcadas. No entanto, a legislação demorou a acompanhar esse progresso (CORDEIRO, 2015).

No CTB de 1997, existem basicamente duas normatizações para o transporte de carga: O de carga fracionada, através de composições previstas na Portaria DENATRAN nº 63 de 31/03/2009, que homologa os veículos e as combinações de veículos de transporte de carga e de passageiros, com seus respectivos limites de comprimento, PBT (Peso Bruto Total) e PBTC (Peso Bruto Total Combinado), e o de carga indivisível, através da resolução nº 1, de 14 de janeiro de 2016, publicada no D.O.U de 15 de janeiro de 2016, que aprova as normas de utilização de rodovias federais para o transporte de cargas indivisíveis e excedentes em peso e/ou dimensões para o trânsito de veículos especiais (BRASIL, 1997; DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO, 2009; DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES; 2016).

Entende-se como PBT, a tara apenas do equipamento somado a sua lotação (capacidade máxima de carga). Entende-se como PBTC, a tara do equipamento e do veículo trator, somado a sua lotação.

Apenas em 1º de julho de 2010 o transporte de rochas ornamentais, serradas ou em blocos, passou a responder a uma legislação específica, a Resolução CONTRAN nº 354 de 24/06/2010, que estabeleceu os requisitos de segurança para o transporte desses materiais. Antes disso, tinha-se somente a Resolução CONTRAN Nº 210, de 13 de novembro de 2006, que determinava limites gerais de peso e dimensão de veículos, não considerando características exclusivas do transporte de rochas (CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO, 2006,2010).

A fim de atender determinação do Conselho Nacional de Transito, os blocos mais pesados (PBTC entre 54,5 e 57 toneladas) só podem ser transportados em um veículo especialmente desenvolvido para esta finalidade: veículo trator 6x4, com semi-reboque dianteiro para distribuição do peso, conhecido como *dolly*, e um semi-reboque traseiro com *dolly* de distribuição para o transporte de rochas ornamentais com PTBC superior a 54,5 toneladas, que é o limite máximo de carga para composição de veículo dotado de articulação única, conforme Figura 05. Além disso, para poder circular, os veículos necessitam de um Certificado de Segurança Veicular, após a adaptação dos dispositivos de segurança (CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO, 2010).

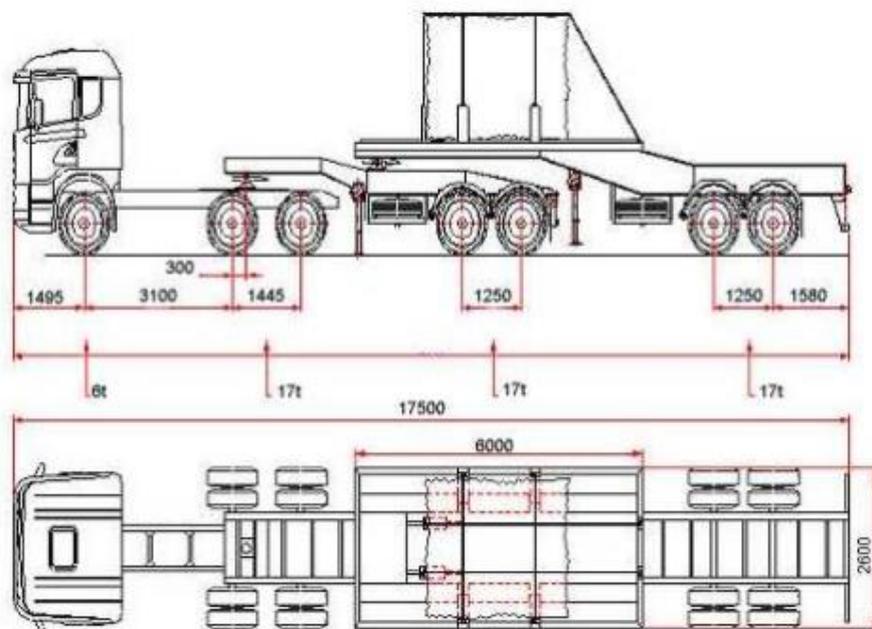


Figura 5: Ilustração de veículo transportador de rochas ornamentais dentro das normas técnica exigidas. Fonte: Resolução 354/10

Ainda sobre as determinações técnicas para transporte de rochas ornamentais, para fins de segurança, deve-se utilizar ganchos e correntes com especificações determinadas. Foi definido para o transporte, um conjunto mínimo de oito travas de segurança, sendo duas em cada lateral da carroceria, duas frontais e duas traseiras. Cada uma das travas deve ser posicionada de forma que suas faces tangencie o bloco em pelo menos um ponto. As rochas

menores, por sua vez, devem ser transportadas em caçambas, devidamente travadas (CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO, 2010).

Todavia, mesmo com a existência de legislações e normativas que regulamentam o transporte das rochas ornamentais, ainda é comum encontrar veículos fora dos padrões técnicos, além de índices assustadores de acidentes e vítimas devido ao deslocamento rodoviário das grandes cargas (GOMES, 2017a, 2017b).

Soma-se a isso veículos em alta velocidade e com excesso de carga enfrentando condições adversas e perigosas nas estradas nacionais, como falta de pavimentos e sinalização, situação que exige experiência profissional por parte dos motoristas, infraestrutura, fiscalização a respeito do cumprimento as normativas vigentes e equipamentos que garantam a segurança do tráfego de cargas pesadas nas rodovias brasileiras (ZANOTTI, 2013; CORDEIRO, 2015).

2.5. Análise das configurações existentes

Através do Anexo I, da Portaria do DENATRAN nº 63 de 31/03/2009, que homologa os veículos e as combinações de veículos de transporte de carga e de passageiros, com seus respectivos limites de comprimento, PBT e PBTC, é possível perceber que, além da configuração supracitada (exclusiva para PBTC entre 54,5 e 57 toneladas), existem uma série de configurações possíveis para o transporte de carga em geral, como o de blocos e rochas ornamentais (DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO, 2009). No entanto, devido à busca pela otimização do transporte e um melhor aproveitamento logístico, atualmente costuma-se trabalhar com apenas 03 dessas configurações, são elas: I 18, I 22 e I 29 (Figura 06).

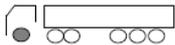
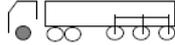
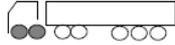
COMPOSIÇÕES HOMOLOGADAS PARA O TRANSPORTE DE CARGA						
Caminhão Trator + Semi-reboque			Peso máximo por eixo ou conjunto de eixos (t)	PBT e PBTC (t)		
				Comprimento total (metros)		
				Inferior ou igual a 14,0	Inferior a 16,0	Superior ou igual a 16,0
I-18			$6 + 17 + 25,5 = 48,5$		45	48,5
I-22			$6 + 17 + 10 + 10 + 10 = 53$		45	53
I-29			$12 + 17 + 25,5 = 54,5$		45	54,5

Figura 6: Exemplos de configurações utilizadas para o transporte de blocos e rochas. Fonte: Portaria do DENATRAN nº 63 de 31/03/2009.

A configuração I-18, trata-se de um semirreboque carga seca, com os 03 eixos próximos um do outro (espaçamento inferior a 2400 mm), utilizando um veículo trator com tração 6x2, o que permite um PBTC de 48,5 toneladas e carga líquida estimada de 29 toneladas.

A configuração I-22, trata-se do mesmo semirreboque carga seca 03 eixos utilizando um veículo trator com tração 6x2, da configuração I-18. Porém, nesta configuração os eixos encontram-se distanciados (espaçamento superior a 2400 mm), o que permite que o PBTC passe para 53 toneladas e a carga líquida estimada para 33,5 toneladas.

A configuração I-29, trata-se do mesmo semirreboque carga seca, com os 03 eixos próximos um do outro da configuração I-18, porém utilizando um veículo trator com tração 8x2. O que permite um PBTC de 54,5 toneladas e carga líquida estimada de 35 toneladas.

Para o cálculo da carga líquida a ser carregada, em ambos os casos a tara do conjunto (veículo trator + equipamento de transporte) foi considerada igual à 19,5 toneladas.

2.6. Cinemática do movimento

2.6.1 Análise de tombamento

A margem de segurança para veículos pesados, ao que se refere a acidentes de derrapagem e tombamento, é bastante inferior à encontrada nos automóveis comuns. Mesmo em situações normais, em pista seca, os caminhões apresentam limite de tombamento inferior ao atrito lateral disponível (HARWOOD *et al.*, 2003), o que magnifica os riscos de acidentes. Ademais, quanto maior a velocidade de deslocamento de um veículo, mais intensa é a manifestação dos processos dinâmicos que agem sobre ele, podendo causar, mais facilmente, o seu tombamento (LIMA *et al.*, 2004).

Entende-se por tombamento qualquer manobra na qual o veículo, mantendo contato com o solo, gira 90 graus ou mais em torno do eixo longitudinal (GILLESPIE, 1992 *apud* EJZEMBERG, 2009), sendo a manobra lateral o principal tipo de tombamento relacionado a veículos pesados (EJZEMBERG, 2009) e, conseqüentemente, aos transportadores de cargas.

Tais tombamentos laterais ocorrem tipicamente em acidentes envolvendo veículos pesados em curvas horizontais, sendo mais comuns em curvas de menor velocidade, que apresentam raios pequenos e maior aceleração lateral (BONNISON, 2000; ECHAVEGUREN *et al.*, 2005; EJZEMBERG, 2009).

Os acidentes de trânsito envolvendo tombamentos de veículos em curvas são sempre resultado da interação de diversos fatores, dentre eles os relacionados ao próprio veículo. A margem de segurança e o limite de tombamento lateral de veículos pesados estão fortemente relacionados à geometria do próprio veículo, bem como as características da carga

transportada, onde se percebe a redução da estabilidade lateral dos veículos decorrente da lotação e da altura do centro de gravidade da carga (EJZEMBERG, 2009).

Com relação ao limite de tombamento, fatores como a altura do centro de gravidade, tipo e pressão dos pneus, rigidez torsional da estrutura do veículo e excentricidade da carga afetam consideravelmente a sua determinação (WINKLER, 2000).

O centro de gravidade, por sua vez, é definido como o ponto geométrico no corpo da máquina onde a força peso total atua normal à superfície do solo. As coordenadas do centro de gravidade são definidas em três planos ortogonais, sendo eles, plano de apoio, plano médio longitudinal e plano transversal traseiro (CHUDAKOV, 1977 *apud* LIMA *et al.*, 2004).

Todavia, com a evolução tecnológica do modal logístico rodoviário, o formato dos caminhões transportadores de carga vem sendo modificado quanto ao rebaixamento do centro de gravidade, que passa a ser mais próximo do solo. Com isso, busca-se um melhor desempenho do veículo, aumento da capacidade de carga e maior segurança de tráfego, especialmente em terrenos inclinados (LIMA *et al.*, 2004; PETRAGLIA, 2011).

2.6.2 Análise raio de giro

Entende-se por eixo autodirecional, segundo os estudos de Machado (2012) e Milliken (1995, p.713), aquele que se direciona de acordo com a proporção de giro do conjunto, fazendo com que ele mude o ângulo em relação ao centro do eixo, de acordo com a curvatura sem a necessidade de intervenção auxiliar. Ou seja, quando este é instalado do centro de giro do conjunto para frente o direcionamento do eixo autodirecional acompanha o direcionamento do veículo trator e quando ele é instalado do centro de giro para trás, automaticamente ele é direcionado para o lado oposto do sentido da curva, fazendo com que o veículo trator e o eixo autodirecional sejam direcionados em lados opostos. Através da utilização desse sistema é possível dentre outros fatores, reduzir a largura de trajetória da curva do veículo.

Através da Figura 07, é possível identificar que quando se tratando de um semirreboque padrão, somente essa mudança, traz uma redução de aproximadamente 9,2% na trajetória da curva.

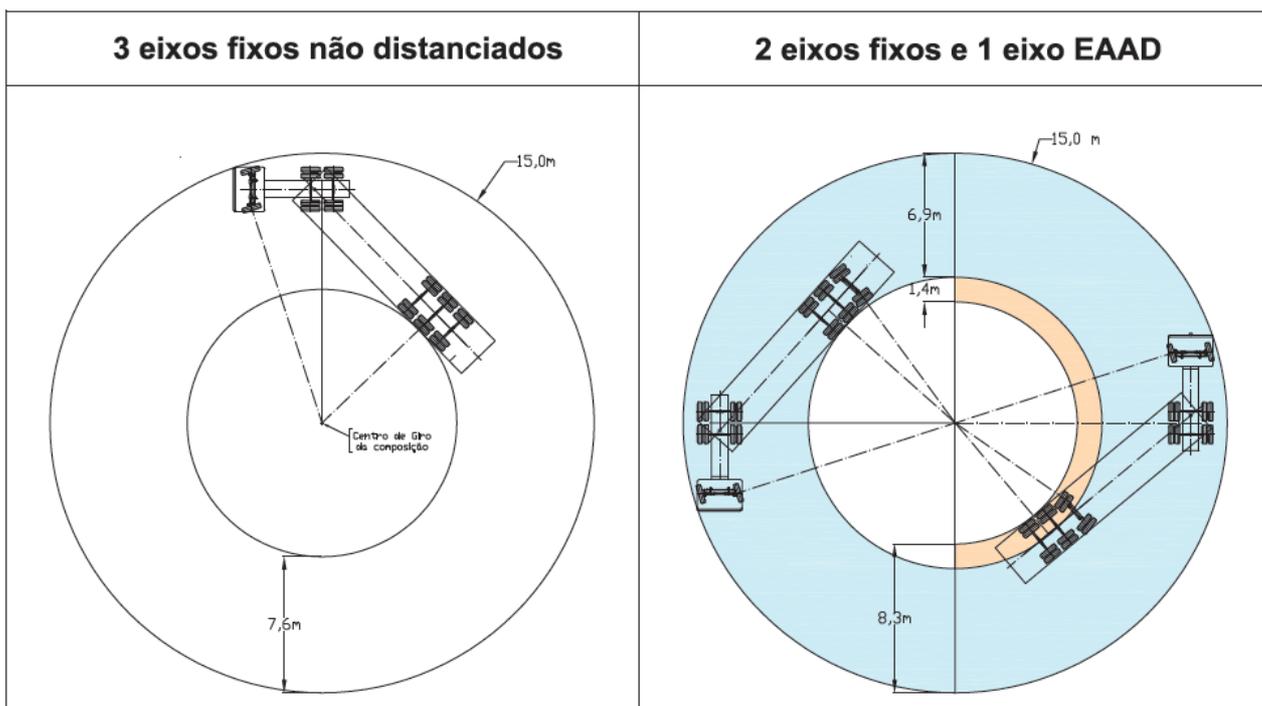


Figura 7: Comparação do raio de giro entre dois semirreboques de mesma configuração. Fonte: Machado (2012)

Através de um estudo realizado por Machado (2012), foi possível identificar que a autonomia de cada conjunto de pneu chega a ser 3 vezes maior quando o terceiro eixo de uma carreta com 03 eixos é autodirecional, quando comparada com uma de igual configuração e mesmas condições de uso, porém, com os três eixos rígidos (Figura 08).

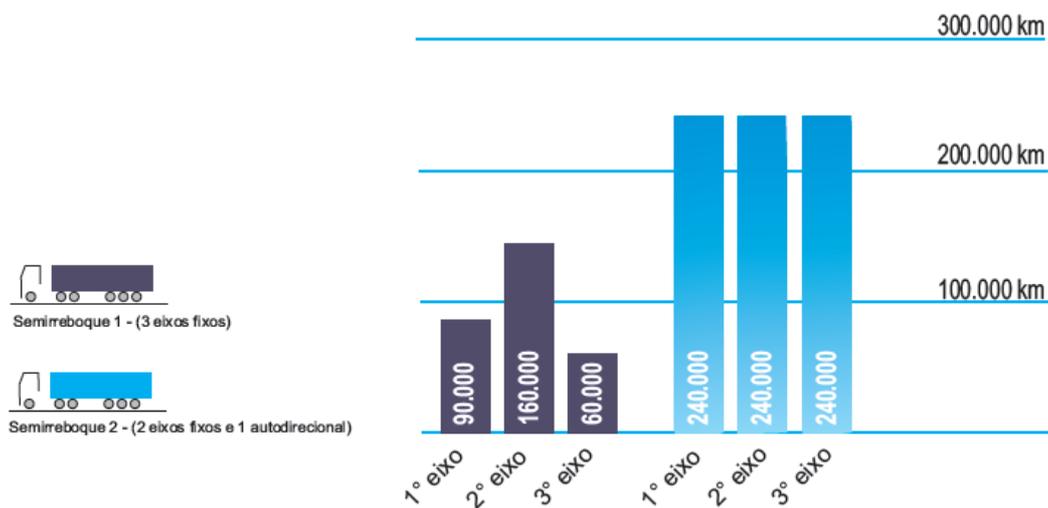


Figura 8: Resultado encontrado quando comparado dois semirreboques nas mesmas condições de uso durante dois anos. Fonte: Machado (2012)

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi dividida e realizada em sete etapas principais, como segue:

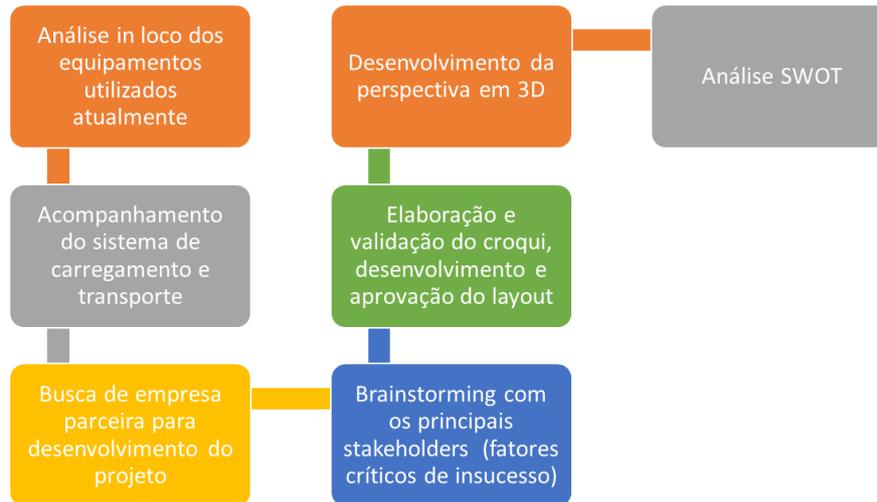


Figura 9: Etapas da pesquisa desenvolvida. Fonte: Próprio autor (2018).

Em um primeiro momento foram analisados os equipamentos utilizados para o transporte de blocos e rochas ornamentais na atualidade, levando em consideração não somente as configurações possíveis, mas também a capacidade de carga dos mesmos.

Em seguida foi necessário acompanhar todo o sistema, de carregamento desses materiais e a logística que envolve esse procedimento, desde a entrada e saída das pedreiras até o transporte nas estradas e cidades, a fim de levantar as premissas necessárias para o desenvolvimento do novo modelo de equipamento. Esse acompanhamento foi feito *in loco* entre os meses de abril e maio de 2018. Dessa forma, alguns pontos críticos foram identificados como:

- i. Apesar de já existir configuração capaz de carregar blocos acima de 33 toneladas (PBTC ente 54,5 e 57 toneladas), caso apresentado na Figura 05, esse não foi aceito pelo mercado devido não ser um equipamento muito operacional. O mesmo, possui uma articulação a mais que os demais equipamentos utilizados nesse transporte, o que dificulta a dirigibilidade deste e prejudica a execução de manobras tanto dentro das pedreiras, quanto nas estradas de um modo geral;
- ii. Já existe no mercado carregadeiras capazes de movimentar blocos de até 40 toneladas dentro das pedreiras, porém, o mesmo ainda não é desenvolvido devido o transporte rodoviário não atender a mesma capacidade de forma eficaz;

- iii. As pedreiras ficam localizadas em locais altos, o que dificulta o acesso de carretas com dimensões fora do padrão;
- iv. As configurações existentes não apresentam grande estabilidade no momento do transporte nas rodovias;

A partir do levantamento destas informações, foi possível buscar uma indústria de transformação com capacidade técnica necessária para contribuir com o desenvolvimento de um equipamento que suprisse tais dificuldades. Tal empresa precisava ser do ramo de implementos rodoviários e ter como um de seus focos a inovação, visto que o modelo proposto não se caracteriza como um produto padrão de mercado. Foi priorizado empresas da região sudeste do país, devido à proximidade com o *campus* onde está sendo desenvolvido este programa de Pós-graduação e o principal polo produtor de rochas do país. Desta forma, a empresa escolhida foi a Morumbi Industrial Ltda, uma indústria do ramo de metal mecânica localizada na região norte do Estado do Rio de Janeiro. Tal empresa, compartilhou dos objetivos e abraçou a causa, fornecendo toda a estrutura necessária para o desenvolvimento do projeto.

Uma vez estabelecida a parceria, foi realizado um *brainstorming* com os principais *stakeholders* do projeto: Pesquisador, investidor, equipe comercial e equipe de engenharia da empresa parceira e fabricantes e transportadores de blocos e rochas. Através dessas partes interessadas, foi possível reunir 10 pessoas e estabelecer os fatores críticos de insucesso, o que permitiu o delineamento de possíveis soluções para cada situação apontada.

Dessarte, foi desenvolvido um croqui do projeto para avaliação e posterior validação, que por sua vez, serviu de base para o desenvolvimento do desenho técnico em 2D. Após a validação das cotas e finalização das simulações, iniciou-se o desenvolvimento das perspectivas em 3D. Para o desenvolvimento das etapas de projeto, foi utilizado o *software* de CAD SolidWorks da Dassault Systèmes SolidWorks Corp, versão 2018.

Por fim, foi desenvolvida uma análise de viabilidade deste novo produto, levando em consideração não só a segurança do transporte de modo geral, mas a capacidade de atendimento as legislações vigentes e as particularidades do segmento. Desse modo, além da realização da análise SWOT, foi necessário comparar tecnicamente o modelo proposto com os modelos atuais. Como existem diversas configurações possíveis, foi necessário escolher uma para analisar as principais diferenças. O modelo escolhido foi o da composição I-22, que além de ser muito usual neste tipo de carga é correspondente ao equipamento envolvido no acidente rodoviário ilustrado na Figura 01.

A fim de determinar o valor do limiar de capotamento do veículo tradicionalmente utilizado para o transporte de rochas ornamentais e do modelo proposto pelo presente estudo,

utilizou-se como base a equação para rolagem estática de um veículo rígido, proposta por Gillespie (1992). Todavia, adaptaram-se as variáveis para a situação de pista não inclinada, tendo-se, por fim, a Equação 1.

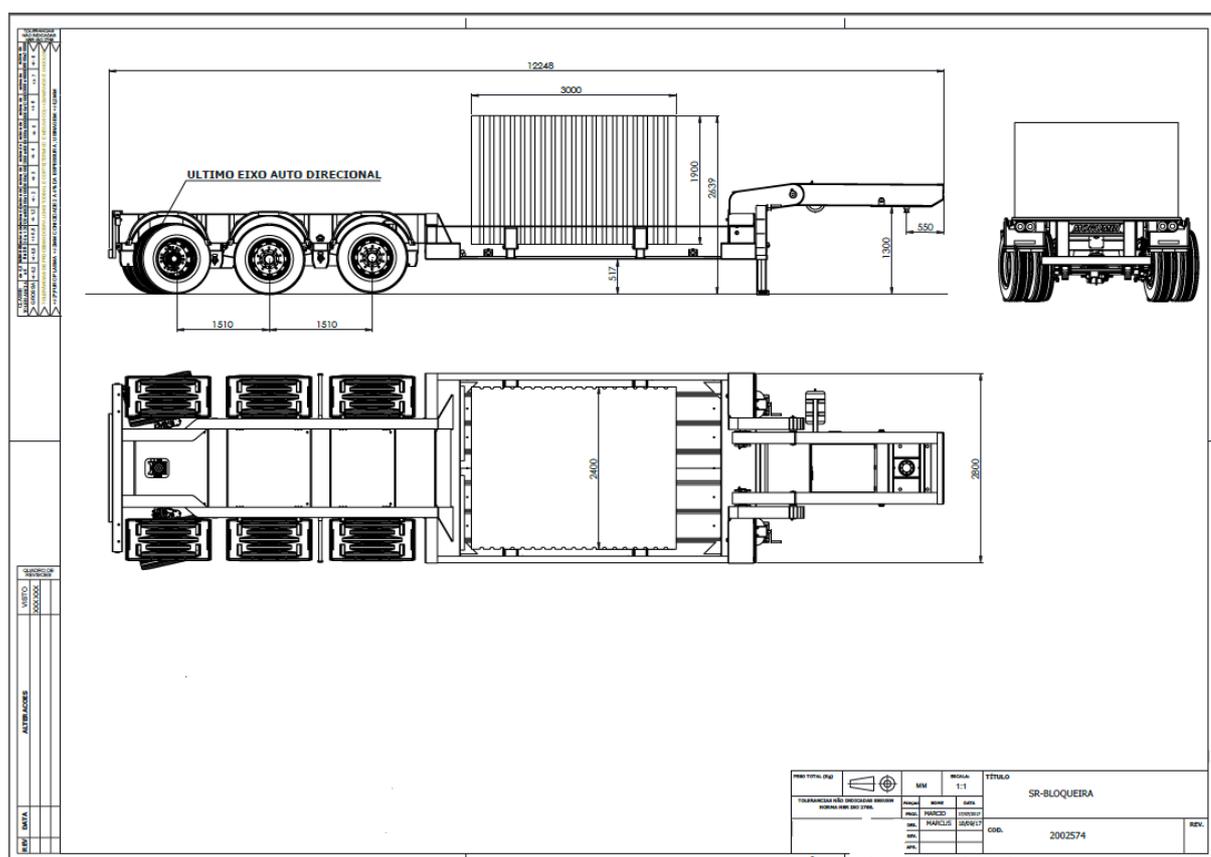
$$ay / g = (t / 2)/h \quad (1)$$

Onde, ay / g é o limiar de capotamento do veículo (m); t o valor médio da bitola (m); e h a altura do centro de gravidade (m).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Equipamento de transporte

Através da metodologia proposta foi possível identificar diversas melhorias possíveis de serem implementadas no transporte de blocos e rochas ornamentais. Com o apoio da empresa parceira, tornou-se realizável a concepção de uma configuração de equipamento mais segura do que a utilizada atualmente. No entanto, para que isso fosse possível, foi necessário realizar alterações de algumas cotas. Através da Figura 10, é possível identificar as principais informações técnicas do produto, como medida do entre eixos, comprimento e largura do implemento e distância das bases do produto até o solo.



Por meio da Figura 11 e da Figura 12 é possível identificar uma redução da altura do centro de gravidade de quase 1 metro de altura comparando os dois equipamentos.

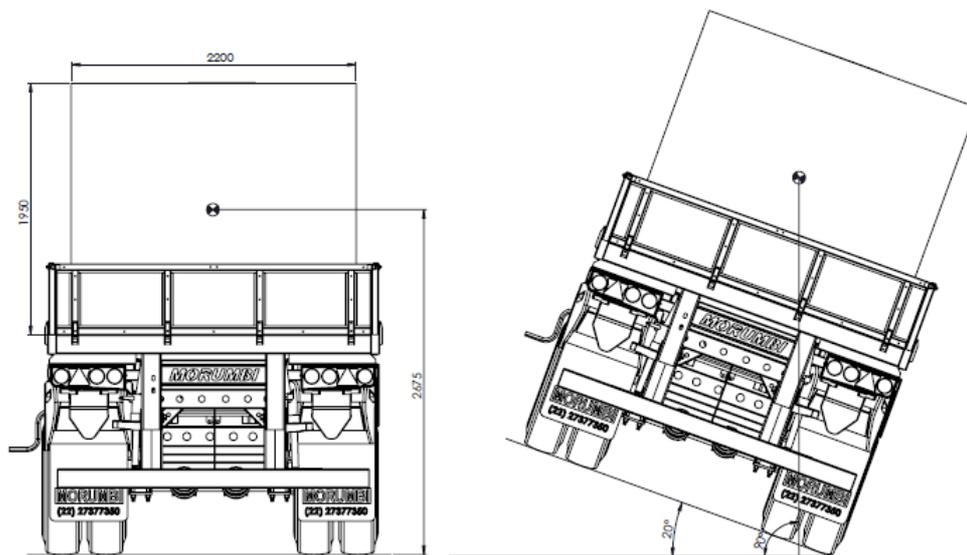


Figura 11: Ilustração centro de gravidade de uma carreta carga seca carregada. Fonte: Próprio Autor (2018)

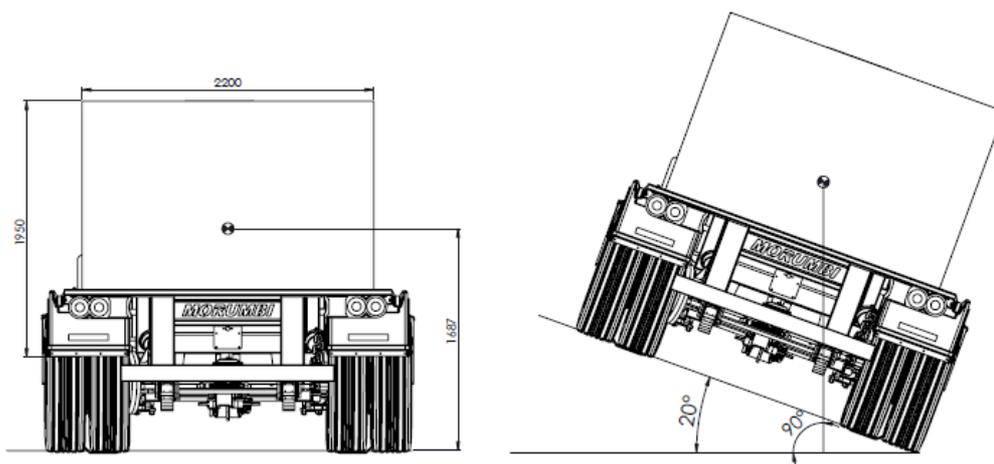


Figura 12: Ilustração centro de gravidade do equipamento proposto carregado. Fonte: Próprio Autor (2018)

Avaliando o centro de gravidade destes dois conjuntos e simulando uma inclinação de 20° do equipamento em relação ao solo, foi possível identificar que no primeiro equipamento (Figura 11) a projeção do centro de gravidade fica além da extremidade da bitola do eixo, enquanto no segundo (Figura 12) a projeção não chega sequer até a bitola do eixo.

Tal diferença fica ainda mais evidente, quando realizado o cálculo limiar de capotamento dos dois equipamentos. Para tanto, esses foram analisados estando em condições idênticas de trabalho, ou seja, ambos numa velocidade de 60 km/h e carregando um bloco de 33 toneladas. No entanto, as demais variáveis da fórmula possuem resultados diferentes. Visto que, o equipamento da Figura 11 possui uma bitola menor e o centro de gravidade mais elevado que o equipamento proposto (Figura 12), o que coloca em risco a estabilidade do primeiro em curvas.

Analisando a situação com base na Equação 1, proposta por Gillespie (1992), pode-se observar que com a velocidade constante de 60 km/h, o raio de curva mínimo que o primeiro implemento consegue executar sem tombar é de 296,39 m, que se encontra bem acima do raio de curva mínimo admitido para estradas comuns do Brasil (estradas onduladas com mais de 1000 veículos de fluxo diário). Já o implemento proposto, que apresenta características mais favoráveis, consegue executar curvas com raio de giro de 177,29 m, cerca de 40% menor que o anterior e abaixo do raio mínimo encontrado nas estradas comuns do Brasil. De acordo com as normas admissíveis de projetos rodoviários para novas estradas do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (BRASIL, 1973), o raio de curva mínimo em uma estrada ondulada, com fluxo de mais de 1000 veículos por dia é de 230 m. Tal característica é típica da BR-101, que por sua vez é umas das principais saídas da cidade de Cachoeiro do Itapemirim/ES, onde fica o maior polo processador de mármore granito do Brasil, segundo informações da ABIROCHAS (2017). Além disso, conforme pode ser visualizado na Tabela 03, a inclinação máxima do equipamento antes de iniciar o capotamento (Roll angle) é 67% maior no equipamento proposto.

Tabela 3: Variáveis encontradas através do cálculo limiar de capotamento. Fonte: Próprio Autor (2018).

Cálculo de limiar de capotamento			
Equipamento 01 (Figura 11)		Equipamento 02 (Figura 12)	
Bitola	1840,00 mm	Bitola	1940,00 mm
Massa	42000,00 Kg	Massa	42500,00 Kg
Altura do CG	2675,00 mm	Altura do CG	1687,00 mm
Velocidade	60,00 Km/h	Velocidade	60,00 Km/h
Ay	0,34 g	Ay	0,57 g
Roll angle	19,69°	Roll angle	32,93°
Raio de giro	296,39 m	Raio de giro	177,29 m

Para o cálculo das variáveis, considerou-se as seguintes nomenclaturas e bases de cálculo:

- i) Bitola: Distância entre o centro de cada conjunto roda + pneu;
- ii) Massa: Peso Bruto Total (Tara do implemento + lotação);
- iii) Altura do CG: Altura do centro de gravidade do conjunto (Implemento + lotação);
- iv) Velocidade: Velocidade do veículo no momento da simulação;
- v) A_y : Aceleração Lateral, calculada através da Equação 2:

$$\text{Bitola} / (2 * \text{Altura do CG}) \quad (2)$$

- vi) Roll angle: Ângulo de inclinação máximo antes de iniciar o capotamento, calculado através da Equação 3:

$$1 / (\text{TAN}(\text{RADIANOS}(2 * \text{Altura do CG} / \text{Bitola}))) \quad (3)$$

- vii) Raio de giro, conforme Equação 4:

$$((\text{Velocidade}^2) / 3,6) / (A_y * 9,81) \quad (4)$$

A partir das informações obtidas na Tabela 3, foi possível gerar o gráfico de aceleração centrípeta em relação ao ângulo máximo de tombamento (Figura 13) e evidenciar a variação da aceleração lateral em função do ângulo de inclinação de cada um dos implementos comparados, desconsiderando a deformação da suspensão, uma vez que essa é a mesma nos dois equipamentos.

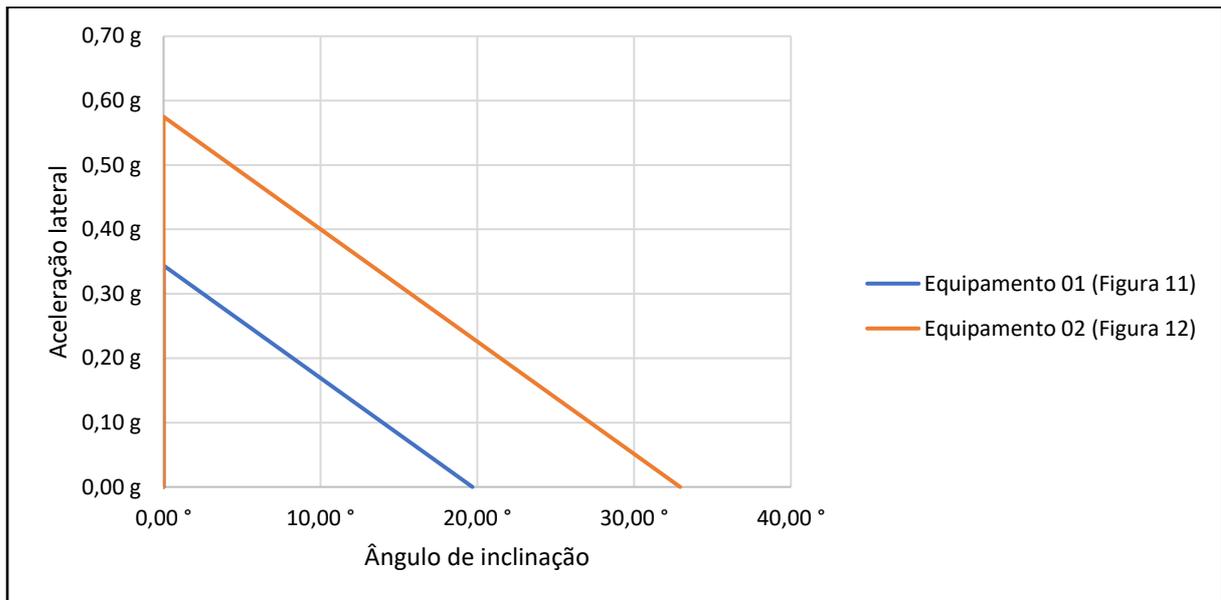


Figura 13: Gráfico de aceleração centrípeta X ângulo máximo de tombamento. Fonte: Próprio Autor (2018)

Tomando como base a primeira Lei de Newton, percebemos que em uma curva, quanto mais acentuada ela for, maior será a força empurrando o implemento para fora. Dessa forma, o gráfico da Figura 13 começa com o implemento em linha reta e velocidade constante (aceleração lateral = 0). No entanto, se o implemento começar a realizar uma curva, à medida que a curva for fechando, a aceleração vai aumentar sem mudar o ângulo de inclinação pois, até o momento o implemento não transferiu totalmente o peso da roda interna da curva para a roda externa. Dessa forma, mantendo a velocidade constante, conforme o motorista for fechando a curva, essa aceleração lateral vai chegar a um valor em que o peso sustentado pela roda interna a curva será igual a zero e todo o peso do implemento vai estar apoiado na roda externa a curva. A partir desse momento, o implemento começará a ganhar ângulo de inclinação e para que ele não tombe, o motorista deverá abrir a curva. Se o motorista não abrir a curva o suficiente, o implemento vai ganhar ângulo de inclinação até o ponto em que, mesmo em linha reta ele não terá condições apoiar as duas rodas no chão novamente, não tendo dessa forma, mais condições de evitar o tombamento do mesmo.

No entanto, para reduzir a altura do centro de gravidade do conjunto, dentre outros fatores foi necessário diminuir também a altura do equipamento, ponto este identificado como negativo por parte dos transportadores, devido as pedreiras não estarem localizadas em locais planos e de fácil acesso. A fim de suprir essa particularidade foi desenvolvido um sistema de acionamento hidráulico robusto acoplado ao pescoço do semirreboque, capaz de elevar a plataforma central do equipamento de maneira rápida e fácil sem prejudicar e/ou dificultar o transporte.

Outra modificação considerável, está ligada ao sistema de eixos. Ao invés de utilizar os eixos rígidos, o modelo proposto, foi projetado para receber um sistema de eixos que contemplassem os 02 primeiros eixos rígidos e 01 eixo (último) autodirecional.

Apenas este benefício, a longo prazo traz consigo uma série de pontos positivos para os transportadores e conseqüentemente para os demais envolvidos do processo, como: Menor desgaste dos pneus, uma vez que não terá arraste dos mesmos, melhor capacidade de manobra em baixa velocidade e redução da necessidade de desmatamento e desapropriações próximo as rodovias e dentro das áreas urbanas a fim de aumentar o campo para manobras desses veículos.

Por se tratar de um produto inovador e com inúmeros recursos capazes de suprir as deficiências desse tipo de transporte e conseqüentemente aumentar a segurança de todos os envolvidos neste, a expectativa é que o mesmo chegue ao mercado em torno de 50% mais caro que a configuração do equipamento comparada. No entanto, com o crescimento da produção do mesmo, a tendência é que essa diferença reduza, pois além de ir aperfeiçoando os processos a tendência é que outros fabricantes apresentem diferentes soluções, o que certamente acarretará numa disputa sadia por essa fatia de mercado.

Além disso, com o novo projeto, é possível transportar uma carga líquida de 40 toneladas (considerando: PBTC de 59,5 toneladas e tara do conjunto de 19,5 toneladas), enquanto que na configuração comparada, o máximo permitido é de somente 33,5 toneladas de carga líquida (Portaria DENATRAN nº 63 de 31/03/2009). Dessa forma, uma maior quantidade de material poderá ser transportada com um número menor de viagens, o que por sua vez, mostra que mesmo sendo um pouco mais caro, a longo prazo pode trazer ganhos e ser um diferencial competitivo.

Nas figuras 14, 15 e 16, é possível visualizar o equipamento já materializado em formato 3D. São apresentadas três diferentes vistas e por meio delas torna-se palpável a visualização de todos os benefícios alcançados.

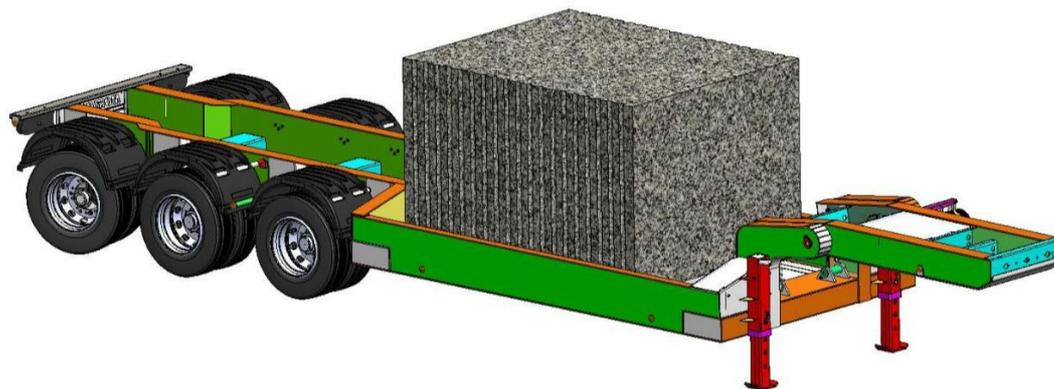


Figura 14: Visão geral do equipamento proposto carregado em formato 3D. Fonte: Próprio Autor (2018)

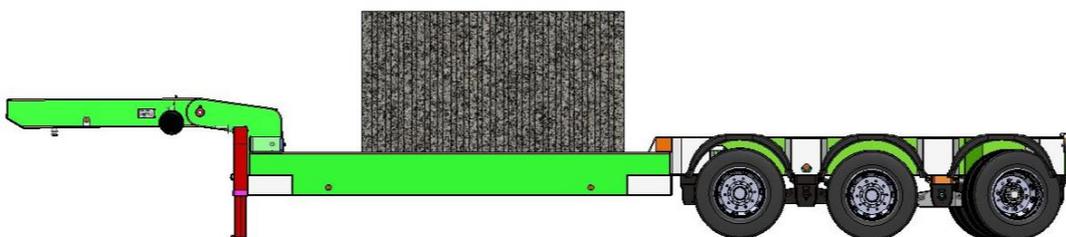


Figura 15: Vista lateral do equipamento proposto carregado em formato 3D. Fonte: Próprio Autor (2018)

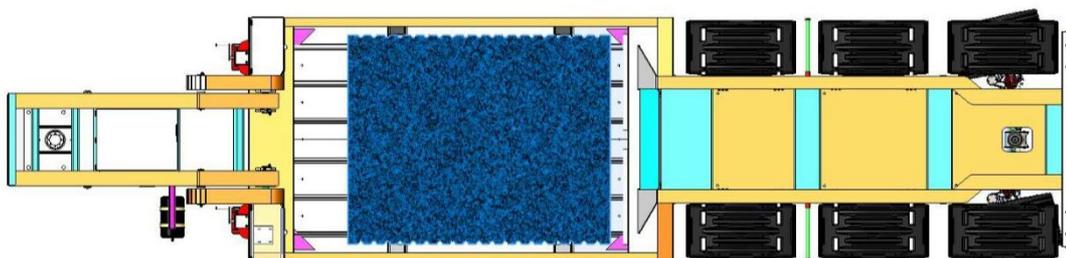


Figura 16: Vista superior do equipamento proposto carregado em formato 3D. Fonte: Próprio Autor (2018)

4.2. Adequações propostas

Embora seja reconhecida a notoriedade da Resolução N° 354, de 24 de junho de 2010, para o transporte blocos e rochas ornamentais, o referido estudo identificou oportunidades de melhorias e a necessidade de atualizações nos requisitos técnicos estabelecidos na norma supracitada, além da adoção de outras medidas, objetivando aumentar ainda mais a segurança no transporte desse tipo de carga.

Dessa forma, a seguir estão destacados alguns pontos críticos identificados nesta Resolução. Tais pontos merecem uma análise técnica ampla e especializada por parte dos órgãos competentes e por isso estão seguidas de suas possíveis revisões.

- i) A presente resolução não prevê a utilização de barrotes para suporte da carga, de modo que a carga fica diretamente apoiada nas longarinas do veículo. Atualmente, a colocação dos mesmos fica a critério do responsável pelo carregamento. Uma vez colocado, esses barrotes além de estabilizar a carga, facilitariam o descarregamento do material, aumentando a segurança da operação. Indica-se dessa forma, que seja obrigatório o uso de pelo menos 02 pontos de apoio no sentido transversal do implemento, sejam estes móveis ou fixos como parte integrante da plataforma de carga. O importante é que a altura dos mesmos e os pontos de apoio sejam padronizados.
- ii) No que se refere aos dispositivos de amarração, em alguns pontos são mencionadas especificações de normas europeias como a EN 12195-3:2001. Indica-se dessa forma, que sejam utilizadas referências brasileiras, o que facilitaria o entendimento e adequação do processo, assim como a fiscalização dos dispositivos.
- iii) O Anexo IV não deixa claro a exigência de travas no sentido longitudinal, apenas no sentido transversal, assim sendo, a sugestão é que a exigência seja cumprida em ambos os sentidos a fim de evitar o deslocamento da carga de forma completa.
- iv) O comprimento das correntes exigidas nos anexos V e VI, possui medida padronizada, uma vez que determina a quantidade de elos nas extremidades do tensionador, não permitindo dessa forma a amarração de blocos com dimensões menores. Sugere-se assim, que as exigências sejam com relação apenas as composições técnicas e mecânicas da corrente e do tensionador.
- v) Atualmente não há nada que limite a altura do centro de gravidade do conjunto e como evidenciado nesse estudo quanto maior o centro de gravidade, maior é a possibilidade de tombamento da carga, portanto, com o intuito de aumentar a segurança no transporte desse tipo de carga e reduzir a quantidade de acidentes envolvendo o mesmo sugere-se que para PBTC acima de 54,5 toneladas, o limite da

base inferior do bloco fique no máximo à 700 mm do solo. Dessa forma, o centro de gravidade do conjunto ficaria em torno de 1,70 metros, conforme ilustrado na Figura 12.

- vi) Através dos Art. 2º, 8º e 10º, é possível perceber que as combinações de veículo de carga com PBTC entre 54,5 e 57 toneladas, devem obedecer aos mesmos limites de peso, dimensões e tolerâncias das combinações de veículos com PBTC inferior a 54,5 toneladas, ou seja, ambos os casos são regidos pela Resolução nº 210 de 13 de novembro de 2006 e pela Portaria nº 63 de 01 de abril de 2009. Sendo assim, sugere-se que as combinações de veículo de carga superior a 54,5 toneladas, sejam regidos pela legislação de carga indivisível, através da resolução nº 1, de 14 de janeiro de 2016, publicada no D.O.U de 15 de janeiro de 2016. Dessa forma, blocos maiores e mais pesados necessitariam trafegar com AET, que dentre outras diretrizes, estabelece condições especiais de trânsito em rodovias, como horário pré-definido para circulação e velocidade máxima de 60 km/h independente da rodovia que estiver trafegando. A adoção de tais medidas, aumentaria consideravelmente a segurança no transporte de blocos e rochas e deixaria todos os transportadores em condições iguais de trabalho.
- vii) Os Art. 3º e 8º, determinam que as combinações de veículos de carga com PBTC entre 54,5 e 57 toneladas, utilizadas no transporte de um único bloco de rocha ornamental, devem ser obrigatoriamente do tipo caminhão trator 6x2 ou 6x4, um semi-reboque dianteiro para distribuição do peso (dolly) e um semi-reboque traseiro destinado ao carregamento de cargas indivisíveis de até 6 m. No entanto, tal configuração, além de aumentar ainda mais a altura do centro de gravidade do conjunto, uma vez que a base inferior do bloco está apoiada a quase 2 metros do solo, este possui uma articulação a mais do que os demais equipamentos utilizados para esse fim, o que dificulta a logística interna e externa do equipamento. Sugere-se dessa forma, que essa composição seja revista, pois apesar de estar dentro do estabelecido nas composições homologadas para o transporte de carga, a mesma se mostra vulnerável no quesito segurança.

4.3 Análise crítica do projeto

Para a análise crítica do projeto foi elaborado uma Análise SWOT, que serviu de base para identificar a verdadeira situação do mercado e descobrir onde precisaram ser colocados os esforços (Figura 17). Para Andion e Fava (2003, p. 43) “Através da análise dos pontos fortes e

Primeiro, devido ao fato de ser possível a geração de outras configurações de equipamento diferente da que está sendo proposta e segundo, pois, após alguns estudos preliminares, identificou-se que a diferença do valor de venda dos equipamentos comparados ficará em torno de 50%. Como um dos objetivos do projeto é aumentar a capacidade de carga a ser transportada por equipamento, tal diferença pode ser amortizada ao longo das viagens, uma vez que através dessa configuração é possível carregar uma maior quantidade de carga líquida em uma única viagem,

Conclui-se dessa forma, que o equipamento proposto por si só, irá trazer uma série de benefícios a sociedade e aos stakeholders do processo, no entanto, além de ser uma mudança que demanda maior investimento inicial, impactará diretamente na cultura do segmento logístico. Faz-se necessário dessa forma, uma ação conjunta dos envolvidos no projeto para que o sucesso pleno seja alcançado. Dentre esses envolvidos, podemos destacar o papel do CONTRAN e do DENATRAN na avaliação das mudanças propostas e da Polícia Rodoviária Federal através da fiscalização constante.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho atingiu seus objetivos ao apresentar um sistema de transporte com menor risco de tombamento e indicar possíveis melhorias na legislação vigente.

Espera-se que, com a materialização e comercialização deste produto, o número de acidentes relacionados ao transporte de blocos e rochas diminua consideravelmente, reduzindo também dessa forma, a quantidade de mortos e feridos todos anos nas estradas e a quantidade de veículos envolvidos. No entanto, após todo o mapeamento e desenvolvimento do trabalho, foi possível perceber que para o completo sucesso do projeto, algumas premissas precisam ser consideradas como verdadeiras, são elas: Adequação da Resolução N° 354 de 24 de junho de 2010; Mudança de cultura do segmento e Fiscalização constante dos órgãos competentes.

Ainda assim, existem pontos a serem trabalhados. Dentre eles, pode-se destacar a limitação do material a ser carregado, pois, com o equipamento proposto o transportador não poderá transportar diferentes tipos de carga com um único equipamento, algo que é bem corriqueiro no segmento, devido aumentar o campo de atuação de quem faz o transporte dos materiais nas rodovias. Recomenda-se então o desenvolvimento de um equipamento mais versátil, capaz de atender diversas demandas de forma segura e confiável.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Idade Média dos Veículos**. 2018a. Registro nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas. Disponível em: <http://portal.antt.gov.br/index.php/content/view/20272/Idade_Media_dos_Veiculos.html>. Acesso em: 20 fev. 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Transportadores - Frota / Tipo de Veículo**. 2018b. Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas. Disponível em: <http://portal.antt.gov.br/index.php/content/view/20271/Transportadores___Frota___Tipo_de_Veiculo.html>. Acesso em: 20 fev. 2018.
- ALMEIDA, F. M.; GOMES, M. F. M.; SILVA, O. M. Infraestrutura de transportes e comércio interestadual agrícola e agroindustrial no Brasil. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 40, n. 4, p. 655-668, 2009.
- ANDION, M. C.; FAVA, R., **Gestão empresarial / Fae School**. Curitiba: Associação Franciscana de Ensino Bom Jesus, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). **Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento**. 2017. Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br/Exp-imp-out-2017.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- BARTHOLOMEU, D. B.; PÉRA, T. G.; CAIXETA-FILHO, J. V. Logística sustentável: avaliação de estratégias de redução das emissões de CO2 no transporte rodoviário de cargas. **Journal Of Transport Literature**, Manaus, v. 10, n. 3, p.15-19, jul. 2016.
- BONNESON, J. A. *Superelevation distribution methods and transition designs*. Washington, D.C., USA: NCHRP – National Cooperative Highway Research Program/TRB – Transport Research Board, 2000. Disponível em: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_439.pdf>. Acesso em: 26 set. 2018
- BRAGANÇA, R.; BRAGANÇA, H. B. N.; MACIEL, E. F. Diagnóstico Socioambiental dos Impactos Positivos e Negativos Gerados Através das Atividades de Exploração de Rochas Ornamentais do Município de Cachoeiro de Itapemirim/ES. **8º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**, Curitiba, v. -, n. -, p.1-12, jun. 2017.
- BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. **Institui O Código de Trânsito Brasileiro**. BRASÍLIA, 23 set. 1997.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Rochas Ornamentais**. 2007. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf3/publica_setec_rochas.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2018.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Relatório Técnico 33: Perfil de Rochas Ornamentais e de Revestimento**. 2009. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral –. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P23_RT33_Perfil_de_Rochas_Orname>

ntais_e_de_Revestimento.pdf/d6f58aa1-b01a-4da1-a178-e6052b2fc8e5>. Acesso em: 15 fev. 2018.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Normas para o projeto das estradas de rodagem**. 1973. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviaras/faixa-de-dominio/normas-projeto-estr-rod-reeditado-1973.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2018.

CASTRO, N. F; MARCON , D. B; CATTABRIGA, L; LIMA, E. F; ALMEIDA, P. F. Impacto do APL de Rochas Ornamentais do Espírito Santo nas comunidades. In: Francisco Rego Chaves Fernandes; Maria Amélia Rodrigues da Silva Enríquez; Renata de Carvalho Jimenez Alamino. Org.). **Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial: arranjos produtivos locais**. 1 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011, v. II, p. 139-176.

CENTRO BRASILEIRO DOS EXPORTADORES DE ROCHAS ORNAMENTAIS (CENTROROCHAS). **Informativo das Exportações de Rochas**. 2017. Disponível em: <<http://www.centrorochas.org.br/>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE INDÚSTRIAS. **Transporte Rodoviário de Carga (TRC): Características Estruturais e a Crise Atual**. 2016. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2017/10/estudo-transporte-rodoviario-de-carga-trc-caracteristicas-estruturais-e-crise-atual/>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (CNT). **Pesquisa de Rodovias 2017: Relatório Gerencial**. 2017a. SEST-SENAT. Disponível em: <[http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//Relatorio Geral/Pesquisa CNT \(2017\) - ALTA.pdf](http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20(2017)%20-%20ALTA.pdf)>. Acesso em: 15 fev. 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (CNT). **Boletim Estatístico - CNT**. 2017b. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Boletim/boletim-estatistico-cnt>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). Resolução nº 210, de 13 de dezembro de 2006. **Estabelece Os Limites de Peso e Dimensões Para Veículos Que Transitem Por Vias Terrestres e Dá Outras Providências..** BRASÍLIA, 13 nov. 2006.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). Resolução nº 354, de 24 de junho de 2010. **Estabelece Requisitos de Segurança Para O Transporte de Blocos e Chapas Serradas de Rochas Ornamentais..** BRASÍLIA, 24 jun. 2010.

CORDEIRO, B. **Como é o transporte de blocos de rochas**. 2015. Disponível em: <<http://www.guiadotrc.com.br/noticias/noticiaid.asp?id=30456>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Resolução nº 1, de 14 de janeiro de 2016. **Regulamenta O Uso de Rodovias Federais Por Veículos Ou Combinações de Veículos**. BRASÍLIA, 14 jan. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). Portaria nº 63, de 31 de março de 2009. **Omologa Os Veículos e As Combinações de Veículos de Transporte de Carga e de Passageiros, Com Seus Respective Limites de Comprimento, Peso Bruto Total - Pbt e Peso Bruto Total Combinado - Pbtc..** BRASÍLIA, 31 mar. 2009.

ECHAVEGUREN, T.; BUSTOS, M.; SOLMINIHAC, H. de. Assessment of horizontal curves of an existing road using reliability concepts. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Canadá, n. 32, p. 1030-1038, 2005. doi: 10.1139/L05-056

EJZEMBERG, S. Os veículos pesados e a segurança no projeto das curvas horizontais de rodovias e vias de trânsito rápido. 2009. 245 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Transporte, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

EL HAJJ, T.; SILVA, P. S. C.; GANDOLLA, M. P. A.; DANTAS, G. A. S. A.; SANTOS, A.; DELBONI, H.. Radiological hazard indices and elemental composition of Brazilian and Swiss ornamental rocks. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 5, n. 2, 2017.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Atlas, 2002.

GILLESPIE, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. [s.i]: Society of Automotive Engineers, 1992. 495 p.

GOMES, G. **Caminhão irregular carregado com chapas de granito é apreendido na BR-101 no Sul do ES**. 2017a. Portal G1 de notícias. Disponível em: <<https://g1.globo.com/espírito-santo/sul-es/noticia/caminhao-irregular-carregado-com-chapas-de-granito-e-apreendido-na-br-101-no-sul-do-es.ghtml>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

GOMES, G. **Mais um caminhão é apreendido no Sul do ES por transporte irregular de granito**. 2017b. Portal G1 de notícias. Disponível em: <<https://g1.globo.com/espírito-santo/sul-es/noticia/mais-um-caminhao-e-apreendido-no-sul-do-es-por-transporte-irregular-de-granito.ghtml>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

GONÇALVES, L. A. P.; RODRIGUES, W. F. LOGÍSTICA DE TRANSPORTES, COMÉRCIO INTERNACIONAL E FLUXOS DAS EXPORTAÇÕES NO NORTE DE MINAS GERAIS. **Boletim Goiano de Geografia**, vol. 36, núm. 1, enero-abril, 2016, pp. 67-85 Universidade Federal de Goiás Goiás, Brasil.

HARWOOD, D. W.; TORBIC, D. J.; RICHARD, K. R.; GLAUZ, D. W.; ELEFTERIADOU, L. Review of truck characteristics as factors in roadway design. Washington, D.C.,USA: National Cooperative Highway Research Program/TRB – Transport Research Board, 2003. Disponível em: <https://nacto.org/docs/usdg/nchrprpt505_harwood.pdf>. Acesso em: 26 set. 2018

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Anual de Serviços - PAS**. 2015. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/servicos/9028-pesquisa-anual-de-servicos.html?&t=destaques>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL E INDUSTRIAL DO ESPÍRITO SANTO. **Análise de Competitividade da Indústria de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo**. 2015. Disponível em: <http://www.invistanoes.es.gov.br/images/contratos-de-competitividade/analise-dos-setores/analise_rochas_ornamentais.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2018.

INSTITUTO EUVALDO LODI (IEL). **Manual de Caracterização, Aplicação, Uso e Manutenção das Principais Rochas Comerciais no Espírito Santo**. 2013. Disponível em: <www.iel-es.org.br>. Acesso em: 15 fev. 2018.

KATO, J. M. **Cenários Estratégicos para Indústria de Transportes Rodoviários de Cargas no Brasil**. 2005. 167 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

KATO, J. M. Um modelo para a construção de cenários aplicado à Indústria de Transportes Rodoviários de Cargas no Brasil. **Fae**, Curitiba, v. 10, n. 2, p.179-197, dez. 2007.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; PEZZOPANE, J. E. M.; AREAS, M. L. Estimativa das estabilidades longitudinal e transversal de tratores florestais utilizados na colheita de madeira. *Revista árvore*, Viçosa, v. 6, n. 28, p.839-844, [s.i] 2004.

MACHADO, P. Eixo autodirecional manga deslocada. MM Tecnologia em Implementos Rodoviários Ltda. São Paulo, [2012]. Não publicado.

MACHADO, V. **Caminhão com o granito que matou 11 pessoas na BR-101 estava acima da velocidade e sem permissão para carga**. 2017. Portal G1 de notícias. Disponível em: <<https://g1.globo.com/espírito-santo/sul-es/noticia/caminhao-com-o-granito-que-matou-11-pessoas-na-br-101-estava-acima-da-velocidade-e-sem-permissao-para-carga.ghtml>>. Acesso em: 05 jan. 2018

MARTINEZ, C.; HEIDER, M. **Rochas ornamentais e de revestimentos**. In: LIMA, T. M. & NEVES, C. A. R. – Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral/Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral. – Brasília: DNPM/DIPLAM, 2012. 126p.

MILLIKEN, W. F.; MILLIKEN, D. L.. Race car vehicle dynamics. [s.i]: **Sae International**, 1995. 918p.

NARCISO, F. V.; MELLO, M. T. Safety and health of professional drivers who drive on Brazilian highways. **Revista de Saúde Pública**, [s.l.], v. 51, n. 26, p.1-7, Não é um mês valido! 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1518-8787.2017051006761>.

PEREIRA, L. A. G.. **Logística de transportes e comércio internacional: os fluxos das exportações e das importações de mercadorias no norte de Minas Gerais**. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

PETRAGLIA, J. A relevância da inovação tecnológica no processo logístico de exportação de etanol. *Future Studies Research Journal*, São Paulo, v. 3, n. 1, p.59-83, jul. 2011.

POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL (PRF). **Estatísticas - Acidentes**. 2018. Ministério da Justiça e Segurança Pública. Disponível em: <<https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes/acidentes>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

REVISTA M&T: Manutenção & Tecnologia. São Paulo: Sobratema, v. 1, n. 189, abr. 2015. Disponível em: <http://www.revistamt.com.br/index.php?option=com_contenido&task=viewEdicao&edicao=189>. Acesso em: 05 jan. 2018.

SANTOS, J. **Caracterização de Resíduos de Rochas Ornamentais: Aplicação de Conceitos Mecanoquímicos**. 2016. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Química na área de Físico-química, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

SILVA, E. L. MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 3. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SILVEIRA, M. R. Logística, sistemas de movimento, fluxos econômicos e interações espaciais no território paulista: uma abordagem para a geografia dos transportes e circulação. **Scripta Nova**: revista electrónica de geografía y ciencias sociales, Barcelona, v. 13, n. 283, p.1-23, 1 fev. 2009.

SILVEIRA, M. R. Geografia da circulação, transportes e logística: construção epistemológica e perspectivas. In: SILVEIRA, M. R. (Org.). Circulação, transportes e logística: diferentes perspectivas. São Paulo: Outras Expressões, 2011. p. 21-68. 624 p.

SINDIROCHAS. **Exportações de Rochas**. 2017. Disponível em: <<http://www.sindirochas.com/downloads/relatorios/exportacoes-de-rochas-junho-2017.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

WINKLER, C. B. Rollover of heavy commercial vehicles. UMTRI Research Review, Ann Arbor, Michigan, v. 31, n. 4, Oct./Dec. 2000. Disponível em: <http://www.umtri.umich.edu/content/rr31_4.pdf>. Acesso em: 26 set. 2018

ZANOTTI, Á. **Caminhão carregado com granito tomba na BR-101 em Guarapari, ES**. 2013. Portal G1 de notícias. Disponível em: <<http://g1.globo.com/espirito-santo/noticia/2013/04/caminhao-carregado-com-granito-tomba-na-br-101-em-guarapari-es.html>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

MONTANI, C. XXVI Relatório Mármore e Pedras no Mundo 2015. Carrara: Aldus Casa di Edizione, 2015.