

ORÇAMENTO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA ASSOCIADAS ÀS OBRAS RODOVIÁRIAS: METODOLOGIA GEETRANSPORT

DOI: 10.19177/rgsa.v9e22020453-482

José Pedro Francisconi Junior¹

Marcelo de Miranda Reis²

José Carlos Cesar Amorim³, Amir Mattar Valente⁴

Isis Assoni Machado Francisco⁵

RESUMO

São analisados o desenvolvimento de uma metodologia para estimativa de emissões de gases de efeito estufa (GEE) em obras rodoviárias e sua aplicação na construção de uma rodovia localizada no Estado do Rio de Janeiro (Brasil). A metodologia, GEETRANSPORT, utiliza como base de cálculo as informações do projeto de engenharia rodoviária – padrão Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT). Como resultado, foi desenvolvida a metodologia para realização do orçamento das emissões de GEE no momento da execução da obra, característica ex-ante, de qualquer projeto de engenharia que utiliza as composições de serviços padrão DNIT. O GEETRANSPORT foi aplicado no projeto de engenharia de construção da BR 356/RJ com extensão de 12,5 km. Foi estimada a emissão de 4.002.183,34 kgCO_{2e}, sendo as 3 maiores categorias de emissão as atividades relacionadas a terraplenagem (33 %), pavimentação (30 %) e transporte (29 %). Em conclusão, o uso do GEETRANSPORT proporciona aos tomadores de decisão informações para as fases de planejamento e projeto, com vistas a proporcionar empreendimentos de baixo carbono nas fases de construção e operação e pode ser facilmente adaptado para outros países com o uso das suas definições de composições dos serviços constantes nos projetos de engenharia.

Palavras-chave: Emissões de GEE. Rodovia. Orçamento de emissões de GEE. Mudanças Climáticas.

¹ Mestre em Engenharia de Transportes. Consultor Técnico no Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans/UFSC). E-mail: pedrofran2002@yahoo.com.br

² Doutor em Engenharia Civil. Professor do curso Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia (IME). E-mail: marceloreis@ime.eb.br

³ Doutor em Engenharia Hidráulica. Professor do curso Mestrado em Engenharia de Transportes do IME. E-mail: jcamorim@ime.eb.br

⁴ Doutor em Engenharia de Produção. Professor na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail: amir.labtrans@gmail.com

⁵ Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFSC). Bolsista em meio ambiente no Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans/UFSC). E-mail: isis.assoni@gmail.com

BUDGET OF GREENHOUSE GASES EMISSIONS ASSOCIATED WITH ROADWORKS: GEETRANSPORT METHODOLOGY

ABSTRACT

The development of a methodology for estimating greenhouse gases (GHG) emissions in roadworks and its applications in the construction of a highway located in the State of Rio de Janeiro (Brazil) are analyzed. The methodology, GEETRANSPORT, uses as the calculation basis the road engineering project information – standard of the National Department of Transport Infrastructure (DNIT). As a result, the base structure for preparing the GHG emissions budget at the time of the works execution was developed, an ex-ante characteristic of any engineering project that uses the compositions of DNIT standard services. Thus, the GEETRANSPORT use provides the decision makers the information for the planning and project stages, aiming to provide low-carbon enterprises in the construction stage and can be easily adapted to other countries using its services composition definitions included in engineering projects.

Keywords: Greenhouse gas emissions. Roadwork. GHG emissions budget. Climate change.



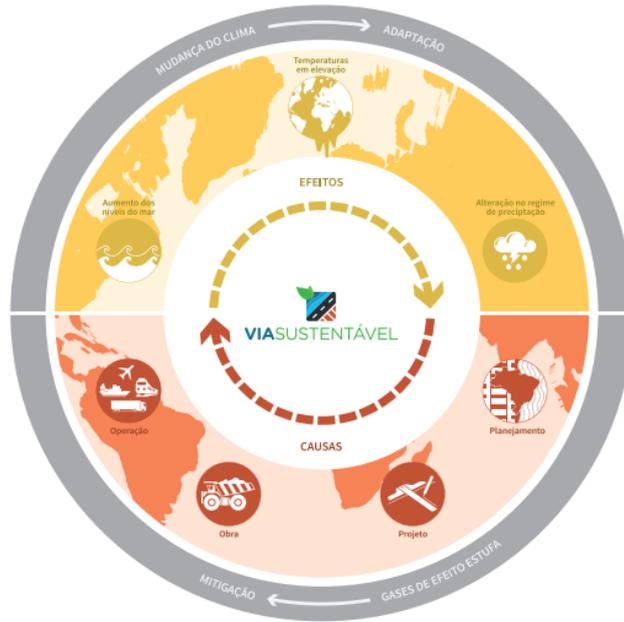
1 INTRODUÇÃO

A emissão de gases de efeito estufa (GEE) do sistema rodoviário é uma das causas significativas das mudanças do clima. O setor de transportes apresenta interação com as mudanças do clima, e gera impactos que podem ser agrupados em duas categorias: aqueles originados pelo setor, tais como as emissões de GEE e poluentes (efeitos negativos sobre o aquecimento global), e aqueles causados por estas mudanças sobre o setor de transporte, como a necessidade de adaptações na infraestrutura existente de forma a buscar adequação às novas realidades climáticas (ITF, 2016; Neumann et al., 2015; Schweikert et al., 2014; PBMC, 2014; Nemry and Demirel; 2012; Koetse and Rietveld, 2009). Dessa forma, pode-se afirmar que ambas as categorias estão diretamente interligadas, sendo um ciclo contínuo de mútua influência (Francisconi Jr., 2015 and 2016b; MTPA, 2016).

As partes interessadas – agências de transportes, ambientais e multilaterais de crédito e centros de pesquisas – na concepção das rodovias estão buscando maneiras de reduzir as emissões GEE em todas as fases desses empreendimentos: planejamento, projeto, obra e operação (Ozcan-Deniz et. al., 2017); Rahman et. al., 2017; Francisconi Jr. et. al., 2016a; Lima et. al., 2016; Fernández-Sánchez et al., 2015; Hanson and Noland (2015a and 2015b); Barandica et. al., 2014; Banco Mundial, 2013; Gabriele et al., 2013; Breisinger, 2012; DEINFRA/SC, 2012; Cass and Mukherjee, 2011; Banco Mundial, 2010; Bartholomeu and Caixeta Filho, 2008).

Por exemplo, o governo brasileiro, no ano de 2016, estabeleceu a sua Contribuição Nacionalmente Determinada (Nationally Determined Contribution – NDC) e dentre as pretensões brasileiras para redução das emissões de GEE, no setor de transportes, estão à promoção de medidas de eficiência, melhorias na infraestrutura de transportes e no transporte público em áreas urbanas (Brasil, 2016). Já o Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (MTPA), órgão responsável pela administração da malha rodoviária federal brasileira – 120 Mil km – definiu dez Diretrizes Socioambientais do setor de transportes, documento publicado em 2016, que servem para balizar as políticas, planos, programas e projetos setoriais, o qual há contemplação de uma diretriz específica na área temática Mudança do Clima: *Garantir a inserção das questões relacionadas à mudança do clima na infraestrutura de transportes* (MTPA, 2016). A Fig. 1 ilustra a interação das mudanças do clima e o setor de transportes.

Figura 1: Mudanças Climáticas X Transportes



Fonte: MTPA (2016)

Na fase de execução da obra rodoviária, foco deste trabalho, temos as emissões referentes ao consumo de combustível fóssil e de biocombustíveis nas fontes móveis e estacionárias utilizadas nas mais diversas atividades durante execução da obra, como máquinas, caminhões, usinas de asfalto, concreto e solos; alteração no uso do solo; utilização de insumos que demandam energia no processo de produção (cimento, material betuminoso, aço, madeira, brita e areia comercial...); geração de resíduos; interrupções de tráfego, entre outras fontes (Park et al., 2003; Cass and Mukherjee, 2011; Hanson and Noland, 2015a e 2015b; (Fernández-Sánchez et al., 2015). O Plantio de árvores na implantação de sinalização, paisagismo e na recuperação de áreas degradadas em atividades relacionadas à obra rodoviária contribuem para a remoção de CO₂.

Grande parte das estimativas de emissões é elaborada após a realização do serviço, atividade ou fabricação de um produto, com um conceito *ex-post*, que mede uma realidade física ocorrida no passado. Normalmente, estas estimativas são chamadas de inventário de emissões de GEE. Outra forma de estimar as emissões é o desenvolvimento de ferramentas para orçamento de emissões de GEE, também conhecido como cenário de emissões de GEE, com uma característica *ex-ante*, ou

seja, é uma previsão de emissões de GEE que ocorrerão em determinada obra, apurada antes de seu início. As metodologias com característica *ex-ante* proporcionam aos tomadores de decisão informações para as fases de planejamento e projeto, com vistas a proporcionar empreendimentos de baixo carbono nas fases de construção e operação.

A quantificação das emissões de GEE dos empreendimentos rodoviários, de forma organizada em inventários ou orçamentos, é o primeiro passo para que os atores envolvidos na concepção desses empreendimentos possam contribuir para a sua mitigação e conseqüente combate às mudanças do clima (Adaptado GHG Protocol, 2010). Estes orçamentos servem como ferramenta no gerenciamento das emissões de GEE visando à escolha da melhor solução para os empreendimentos rodoviários – descarbonização dos seus ciclos de vida – e a conseqüente diminuição dos efeitos do aquecimento global.

O Banco Mundial faz algumas recomendações para o desenvolvimento destas ferramentas (Banco Mundial, 2010):

- Facilidade na adição e alterações de características operacionais de equipamentos, materiais e fatores de emissão;
- A ferramenta deve ser fácil de usar auxiliando os usuários (incluindo não engenheiros) para avaliar as quantidades de GEE;
- A ferramenta deve ser útil para os planejadores e projetistas de forma a ser usada para avaliar e comparar as propostas ou definições de métodos construtivos do projeto;
- O relatório de saída deve ser útil para a tomada de decisões (engenharia, planejamento). Portanto, a ferramenta deve identificar impactos das decisões;
- A ferramenta deve ser usada para identificar, propor e avaliar o impacto das alternativas de construção ou de gestão.

Dentre as alternativas de redução das emissões em empreendimentos rodoviários que se vislumbram, destacam-se a escolha por insumos de origem mais próximos à obra, a correta manutenção e monitoramento dos equipamentos e a escolha de traçados e tecnologias de construção de baixo carbono no momento da elaboração

do planejamento e projeto de engenharia, diminuindo assim as causas do aquecimento global.

Este trabalho resume a metodologia GEETRANSPORT (Francisconi, 2016b) para quantificação de emissões de GEE em obras rodoviárias, característica *ex-ante*, e analisa a sua aplicação na construção de uma rodovia federal com 12,5 km de extensão e duas pistas de 3,5 m de cada lado, localizada no Estado do Rio de Janeiro (Brasil), além da proposição de um mecanismo de compensação ambiental das emissões por plantio de árvores nativas.

2 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA GEETRANSPORT

2.1 Considerações gerais

O projeto de engenharia rodoviária apresenta em seu escopo os quantitativos das composições dos serviços de engenharia necessários para a realização do referido projeto – construção da rodovia. Considerando que estes quantitativos são utilizados para definição dos custos – recursos financeiros – das obras rodoviárias, as informações apresentam-se de forma confiável para estimativas de emissões de emissões de GEE.

Na definição destes quantitativos, que tem por objetivo final a definição do custo financeiro da construção da rodovia, as despesas que são consideradas para o cálculo do custo horário de um equipamento são as seguintes (DNIT, 2015), conforme Tabela 1.

Tabela 1: Despesas consideradas no cálculo do custo horário de equipamentos

Tipo de Custos	Variável
	Depreciação
Propriedade	Custo de Oportunidade do Capital
	Seguros e Impostos
Manutenção	Reparos em geral
	Material rodante / pneus

Partes de desgaste (bordas cortantes, dentes de
caçamba, ferramenta de penetração no solo,
entre outras)

	Combustível
Operação	Filtros e lubrificantes
	Mão-de-obra de Operação

Fonte: DNIT (2015)

No Brasil, as composições dos serviços de engenharia necessárias para concepção dos empreendimentos rodoviários estão organizadas dentro do Sistema de Custos Rodoviários (SICRO 2) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Para o GEETRANSPORT, o cálculo das emissões de um projeto de engenharia rodoviária tem-se por base os dados do consumo de combustível de cada equipamento utilizados nas obras rodoviárias e fatores de emissões de GEE dos combustíveis utilizados, sendo realizado em 4 etapas:

- Etapa 1 Definição dos Fatores de Emissões.
- Etapa 2 Cálculo das Emissões das Fontes Móveis e Estacionárias (equipamentos) utilizadas nas Obras Rodoviárias.
- Etapa 3 Cálculo das Emissões nas Composições dos Serviços de Engenharia Utilizadas em Obras Rodoviárias.
- Etapa 4 Cálculo da Emissão Total do Projeto.

Com o desenvolvimento das Etapas 1, 2 e 3 tem-se a estrutura base do GEETRANSPORT para o cálculo das emissões de GEE de obras rodoviárias com base nas informações dos projetos de engenharia. Desta forma, com esta estrutura base, é possível realizar a estimativa de emissões de qualquer projeto de engenharia que utiliza as composições de serviços padrão DNIT.

Neste trabalho, de forma a evitar a dupla contabilização de emissões, que ocorre quando organizações diferentes incluem as mesmas emissões em seus respectivos orçamentos ou inventários, são consideradas no orçamento de emissões de GEE apenas as que acontecem no momento da fase de obras.

A metodologia de cálculo utilizada para definir a compensação ambiental por plantio florestal de espécies nativas da mata atlântica será a proposta por Flizikowski (2012) e Miranda (2008).

2.2 Cálculo de emissões

2.2.1 Etapa 1 - Fatores de emissões

Para a realidade brasileira, a fonte dos fatores de emissão de GEE mais utilizada pode ser obtida do Programa *GHG Protocol* Brasil. No entanto, visando à qualidade dos orçamentos, podem ser utilizados outros fatores de emissão disponíveis, de origem reconhecida, que possam tornar o cálculo mais preciso. Caso a organização desenvolva o seu próprio fator de emissão, esta deve explicar o seu desenvolvimento por meio de documentos e registros que comprovem o seu valor.

Alguns exemplos de fontes para fatores de emissão são encontradas no Programa *GHG Protocol* Brasil, no *IPCC*, no Balanço Energético Nacional (BEN), no Ministério do Meio Ambiente (MMA) e no Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os fatores de emissão para o consumo de combustíveis fósseis e biocombustíveis das fontes móveis e estacionárias utilizados neste trabalho (*GHG Protocol*, 2014).

Tabela 2: Fatores de emissão para combustão móvel

Combustíveis fósseis	Und.	Fatores de Emissão (kg/l)			(kgCO ₂ e/l)
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Óleo Diesel (puro)	litros	2,603000	0,000139	0,000139	2,65
Biocombustível					
Biodiesel (B100)	litros	2,431000	0,000332	0,000020	2,45

Etanol Hidratado	litros	1,457000	0,000384	0,000013	1,47
------------------	--------	----------	----------	----------	------

Fonte: GHG Protocol (2014)

Tabela 3: Fatores de emissão para combustão estacionária

Combustíveis fósseis	Und.	Fatores de Emissão (kg/l)			(kgCO ₂ e/l)
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Gasolina					
Automotiva (pura)	litros	2,238993	9,69E-05	1,939E-05	2,25
Óleo Diesel (puro)	litros	2,632092	0,000107	2,131E-05	2,64
Óleo Combustível (A1)	litros	3,107719	0,000120	2,409E-05	3,12
Biocombustível					
Biodiesel (B100)	litros	2,347689	9,95E-05	1,99E-05	2,36
Etanol Anidro	litros	1,540961	6,71E-05	1,341E-05	1,55

Fonte: GHG Protocol (2014)

A unidade CO₂ equivalente (CO₂e) utilizada segue a métrica GWP (*Greenhouse GHG Protocol*, 2007). O potencial de aquecimento global (GWP) dos gases de efeito estufa em relação ao CO₂, para um horizonte de 100 anos, são 25 para o CH₄ e 298 para o N₂O. A equação 1 apresenta o cálculo.

$$E_{CO_2e} = E_{CO_2} + (25 \times E_{CH_4}) + (298 \times E_{N_2O}) \quad (1)$$

Em que:

E_{CO_2e} é a Emissão total em dióxido de carbono equivalente (t)

E_{CO_2} é a Emissão total de dióxido de carbono (t);

25 é o Potencial de Aquecimento Global do metano;

E_{CH_4} é a Emissão total de metano (t);

298 é o Potencial de Aquecimento Global do óxido nitroso;

E_{N_2O} é a Emissão total de óxido nitroso (t).



2.2.2 Etapa 2 - Cálculo das emissões das fontes móveis e estacionárias (equipamentos) utilizadas nas obras rodoviárias

A metodologia de cálculo das emissões das fontes móveis e estacionárias (equipamentos) utilizadas nas obras rodoviárias considera:

- Os valores dos fatores de emissões de GEE apresentados na Etapa 1 - Fatores de Emissões;
- Os equipamentos listados no Sistema de Custos Rodoviários (SICRO 2) versão março/2015 do DNIT e utilizados como insumos nas composições de serviços de engenharia rodoviária;
- O consumo de combustível dos equipamentos referenciado no cálculo orçamentário do projeto de engenharia (padrão DNIT);
- Nos equipamentos que utilizam óleo diesel comercial, a utilização da mistura de 93 % diesel fóssil e 7 % biodiesel (BRASIL, 2014);
- Nos equipamentos que utilizam gasolina comercial, a utilização da mistura de 73 % de gasolina fóssil e 27 % álcool anidro (MAPA e CIMA, 2015).

O cálculo das emissões de GEE das fontes móveis e estacionárias é obtido pela multiplicação do consumo de combustível do equipamento por hora de trabalho e o respectivo fator de emissão, respeitando os percentuais de mistura combustível fóssil e biocombustível. Para este cálculo foi utilizada a equação 2 descrita abaixo.

$$EE_{(i)} = C_{(i)} \times FE_{(i)} \quad (2)$$

Em que: $EE_{(i)}$ = Emissão de GEE em (kgCO₂e/h) do equipamento (i);

$C_{(i)}$ = Consumo de combustível do equipamento (i) em (l/h);

$FE_{(i)}$ = Fator de emissão de GEE do combustível no equipamento (i) em (kgCO₂e/l).

Nota: As emissões das usinas de asfalto, fontes estacionárias, que utilizam o óleo combustível (A1) como insumo, serão calculadas na Etapa 2, pois, este combustível não é considerado inserido no custo dos equipamentos, e sim como material.

Nesta Etapa 2 foram calculadas as emissões de 112 equipamentos do total de 224 apresentadas no SICRO2. A Tabela 4 apresenta a divisão dos 224 equipamentos conforme o tipo de combustível consumido. Já a Tabela 5 mostra a divisão entre fonte móvel e estacionária dos 112 equipamentos utilizados na base da metodologia desenvolvida.

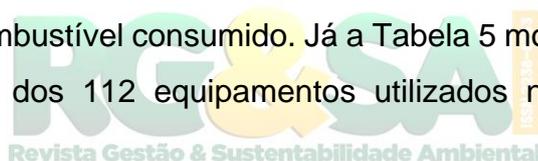


Tabela 4: Equipamentos por tipo de combustível

Combustível	Quant. equipamento
Diesel	104
Energia Elétrica	26
Gasolina	7
Álcool	1
Não usa combustível	86
Total	224

Fonte: Elaboração própria (2019)

Tabela 5: Equipamentos por tipo de fonte

Combustível	Tipo da Fonte	
	Estacionária	Móvel
Diesel	20	84
Gasolina	7	0
Álcool	0	1
Total	27	85

Fonte: Elaboração própria (2019)

2.2.3 Etapa 3 - Cálculo das emissões nas composições dos serviços de engenharia utilizadas em obras rodoviárias

São calculadas as emissões das composições dos serviços de engenharia utilizadas em obras rodoviárias. A metodologia de cálculo considera:

- As emissões dos equipamentos calculadas na Etapa 2 - Cálculo das Emissões das Fontes Móveis e Estacionárias (equipamentos) Utilizadas nas Obras Rodoviárias;
- As composições de serviços de engenharia rodoviária listadas no Sistema de Custos Rodoviários (SICRO 2) do DNIT.

Este cálculo é efetuado pelo somatório da multiplicação da emissão de GEE dos equipamentos por hora, a quantidade do equipamento e a utilização operativa do mesmo. O resultado dessa multiplicação é dividido pela produção da equipe por hora para a referida composição. O resultado da emissão de GEE da composição é apresentado em kgCO₂e pela unidade da respectiva composição. Para este cálculo foi utilizada a equação 3 descrita abaixo.

$$EC = \sum_i^{\infty} (EE_{(i)} \times QE_{(i)} \times UO_{(i)}) \div PE \quad (3)$$

Em que:

EC = Emissão de GEE em (kgCO₂e/unidade da composição) para cada composição.

$EE_{(i)}$ = Emissão de GEE em (kgCO₂e/h) do equipamento (i);

$QE_{(i)}$ = Quantidade do equipamento (i) em (unidade);

$UO_{(i)}$ = Utilização operativa do equipamento (i) em (unidade);

PE = Produção da equipe para a composição em (unidade da composição/h).

Notas:

- Em determinadas composições, chamadas de composições principais, fazem parte de sua estrutura atividades auxiliares. A composição das atividades auxiliares tem a suas emissões de GEE calculadas de forma independente e somadas à equação da composição principal.
- As emissões do óleo combustível (óleo A1) têm o seu cálculo de emissão somado na equação acima. A sua emissão é o resultado da multiplicação do seu fator de emissão por sua quantidade na composição.

A Tabela 6 abaixo apresenta a distribuição das 1.831 composições que tiveram suas emissões de GEE estimadas nos diferentes tipos de intervenção rodoviária – padrão DNIT.

Tabela 6: Composições com emissões de GEE estimadas

Tipo de Intervenção	Composições
Atividades Auxiliares	185
Construção Rodoviária	1.183
Conservação Rodoviária	188

Sinalização	51
Restauração Rodoviária	224
Total	1.831

Fonte: DNIT (2015)

Assim, com os valores das emissões de GEE por unidade de medição das composições dos serviços de engenharia constantes no SICRO2, obtivemos a base de cálculo para estimar as emissões de GEE em um projeto de engenharia rodoviária.

2.2.4 Etapa 4 - Cálculo da emissão total do projeto.

A emissão total do projeto é calculada pela multiplicação da quantidade do serviço de engenharia apresentada no projeto pelo valor de emissão de GEE estimado da composição – Etapa 2, conforme equação 4.

$$E_{service(i)} = E_{composition(i)} \times Q_{service(i)} \quad (4)$$


Em que:

$E_{service(i)}$ = Emissão total de GEE do serviço de engenharia (i) (kgCO₂e);

$E_{composition(i)}$ = Emissão base de GEE da composição (i) (kgCO₂e/unidade);

$Q_{service(i)}$ = Quantidade do serviço de engenharia (i) (unidade) apresentado no projeto.

2.3 Cálculo da compensação

As ações direcionadas à compensação das emissões de GEE das obras rodoviárias por plantio florestal de espécies nativas da mata atlântica brasileira tem por base a metodologia de cálculo proposta por Flizikowski (2012) e Miranda (2008). Ressalta-se que, dependendo da demanda do orçamento de GEE, as árvores plantadas como paisagismo e sinalização nas obras podem ser consideradas no abatimento das emissões.

O cálculo do número de árvores a serem plantadas é obtido pela divisão do valor total das emissões de GEE do projeto pelo fator de fixação de carbono em biomassa – árvores nativas (0,19 t/árvore), conforme apresentado na equação 5.

$$N = ET \div F_f \quad (5)$$

Em que:

N = Número total de árvores a serem plantadas (un).

ET = Emissão total de GEE estimada em (tCO₂e).

F_f = Fator de fixação de carbono em biomassa para árvores nativas em (t/árvore).

O cálculo da área necessária ao plantio é o resultado da divisão da emissão de GEE a ser compensada pelo valor de fixação de carbono – árvores nativas (322,7 t/ha), conforme apresentado na equação 6. É considerado um espaçamento de plantio de 3 x 2 metros e uma idade índice de 17 anos.

$$A = ET \div F_c \quad (6)$$

Em que:

A = Área necessária para o plantio em (ha).

ET = Emissão total de GEE estimada em (tCO₂e).

F_c = Fixação de carbono de árvores nativas de acordo com a idade índice em (t/ha).

O cálculo do valor financeiro para o plantio de árvores é obtido pela multiplicação no número de árvores a serem plantadas e o valor para o plantio de cada árvore, conforme apresentado na equação 7. Outra possibilidade de cálculo é a multiplicação da área necessária e o valor para o plantio de cada área.

$$CC = N \div C_{\text{árvore}} \quad (7)$$

Em que:

CC = Custo da compensação ambiental em reais (R\$).

N = Número total de árvores a serem plantadas (unidade).

$C_{\text{árvore}}$ = Custo do plantio em reais (R\$) por árvore nativa.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Projeto analisado

A obra rodoviária analisada neste estudo de caso é a rodovia federal BR 356/RJ, referente ao trecho de implantação do contorno de Itaperuna/RJ.

A BR 356 é uma rodovia federal diagonal, que liga a cidade de Belo Horizonte/MG ao município de São João da Barra/RJ, totalizando 472,9 quilômetros de extensão. No Estado do Rio de Janeiro a BR 356 atravessa 5 municípios, entre eles Itaperuna.

O projeto rodoviário em foco compreende o reordenamento do tráfego por meio do desvio de parte do fluxo de veículos que trafegam na BR 356/RJ no perímetro urbano de Itaperuna para o contorno a ser implantado.

A implantação do contorno de Itaperuna tem como objetivo diminuir o tráfego de veículos pesados, como ônibus e caminhões, dentro do perímetro urbano, oferecendo ao usuário da rodovia uma alternativa mais eficiente para chegar ao seu destino, aumentando a segurança do tráfego, promovendo o desenvolvimento e melhorando a qualidade ambiental na região.

A Tabela 7 apresenta os dados gerais das obras de implantação da rodovia BR356/RJ (DNIT, 2014), enquanto a Fig. 2 apresenta o mapa de localização.

Tabela 7: Dados gerais do projeto da BR 356 (Contorno de Itaperuna)

Rodovia	BR 356/RJ
Subtrecho	Entr. BR-356(Km 31) – Entr. BR-356 (Km 39) (Contorno de Itaperuna)
Extensão	12,5 km
Valor da Obra	R\$ 28.347.427,12 (março/2014)
Características Gerais	Duas faixas de tráfego de 3,5 m de largura cada;
	Acostamentos em ambos os lados com 2,5 m de largura;
	Faixa destinada à drenagem superficial de 1 m em ambos os lados.
	Velocidade diretriz: 70 km/h
	Rampa máxima: 6 %
	Declividade transversal da pista: 3 %
	Raio mínimo: 200 m
	Faixa de domínio: 70 m

Fonte: DNIT (2014).

Nas 122 composições definidas a partir projeto de engenharia, conforme apresentado na Tabela 8, foram utilizados 33 equipamentos como fonte móvel de emissões e 10 como fonte estacionária.

Tabela 8: Limite operacional – Composições de serviço de engenharia

Tipo de Serviço	Composições (und.)
Terraplenagem	22
Obras de Drenagem Superficial	67
Pavimentação	10
Sinalização e Obras Complementares	9
Componente Ambiental	3
Canteiro de Obras	3
Transporte	8
Total	122

Fonte: Elaboração Própria (2019)

A Tabela 9 apresenta os resultados de emissões totais e desagregadas por tipo de serviço da obra.

Tabela 9: Resultados de emissões

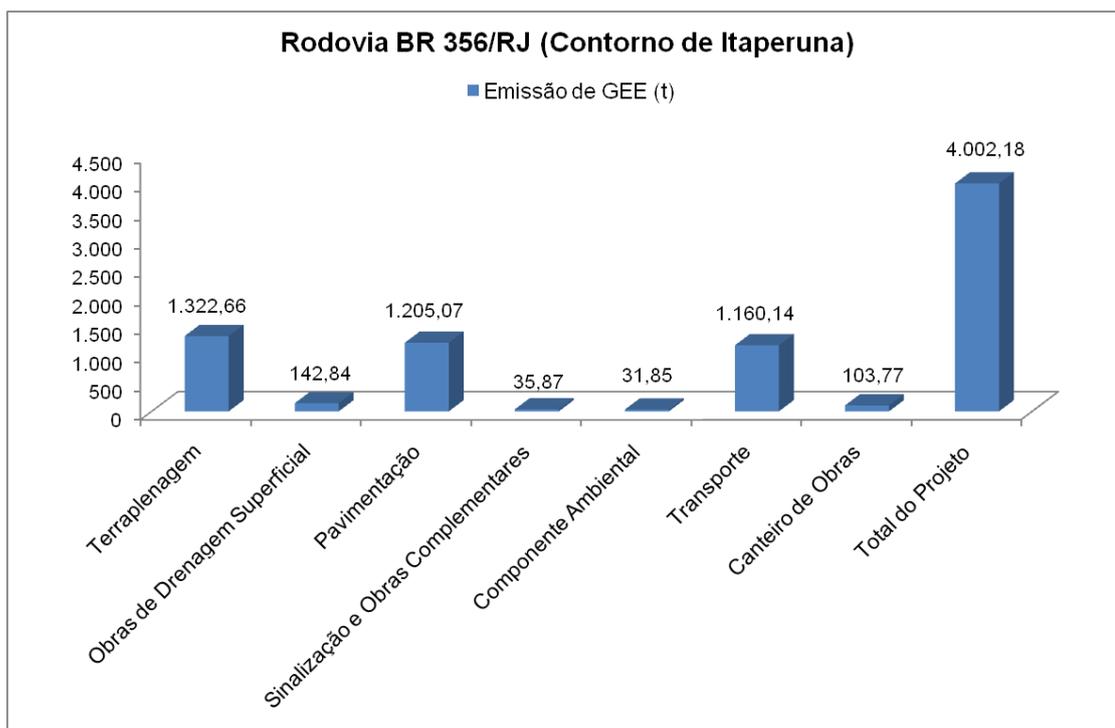
Tipo de Serviço da Obra	Composições (und.)	Emissão de CO _{2e} (t)
Terraplenagem	22	1.322,66
Obras de Drenagem Superficial	67	142,84
Pavimentação	10	1.205,07
Sinalização e Obras Complementares	9	35,87

Componente Ambiental	3	31,85
Transporte	3	1.160,14
Canteiro de Obras	8	103,77
Total do Projeto	122	4.002,18

Fonte: Elaboração Própria (2019)

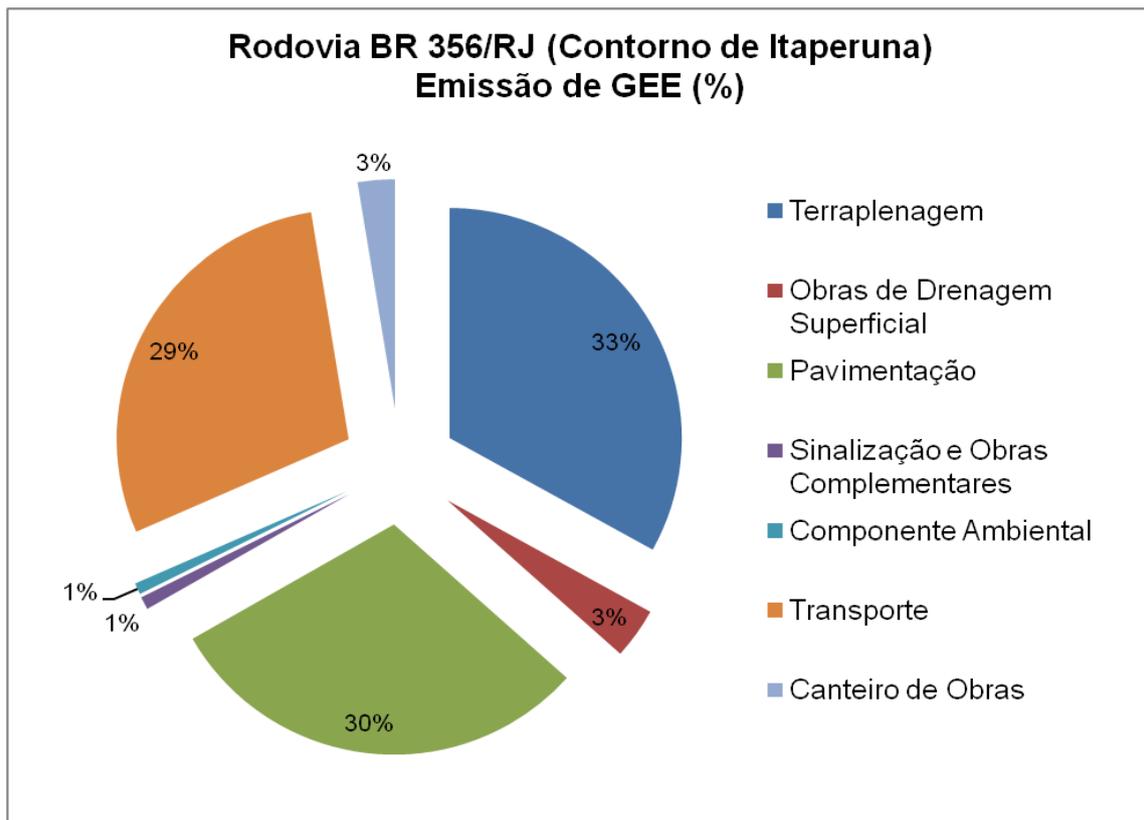
As Fig. 3 e 4 apresentam os resultados de emissões totais e desagregadas por tipo de serviço da obra.

Figura 3: Emissões desagregadas por tipo de serviço (tCO2e)



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Figura 4: Emissões desagregadas por tipo de intervenção (%)



Fonte: Elaboração Própria (2019)
Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental

A Tabela 10 apresenta os resultados finais do uso do modelo, indicado o total de emissões de GEE e o quantitativo referente às ações para neutralizá-las.

Tabela 10: Resultados finais

Total de emissões (tCO ₂ e)	4.002,18
Número de árvores (und) ¹	21.064
Área necessária (ha) ²	12,40
Custo Compensação (Reais) ³	R\$ 959.465,20

Fonte: Elaboração Própria (2019)

¹ Fator de fixação de carbono em biomassa – árvores nativas (0,19 t/árvore);

² Fixação de carbono em área – árvores nativas (322,7 t/ha);

³ Custo da aquisição e plantio das árvores (R\$ 45,55/árvore). Não considera a aquisição da área necessária.

4 CONCLUSÕES

Esta análise focou na apresentação da concepção de um método para quantificação de emissões de GEE em obras rodoviárias, GEETRANSPORT (Francisconi, 2016a). Foram utilizadas no desenvolvimento da metodologia as informações do consumo de combustíveis dos equipamentos apresentadas nas composições de serviços das obras rodoviárias constantes nos projetos de engenharia. Considerando que estes quantitativos de combustíveis são utilizados para definição dos custos – recursos financeiros – das obras rodoviárias, as informações apresentadas no projeto de engenharia apresentam-se de forma confiável para estimativas de emissões de GEE. A metodologia desenvolvida tem característica *ex-ante* e proporciona aos tomadores de decisão informações para as fases de planejamento e projeto, com vistas a proporcionar empreendimentos de baixo carbono nas fases de construção e operação.

Com o método GEETRANSPORT é possível realizar a estimativa de emissões de qualquer projeto de engenharia que utiliza as composições de serviços padrão DNIT, mas, pode ser facilmente adaptado para outros países com o uso das suas definições de composições dos serviços, constantes nos projetos de engenharia, que considerem o uso de combustíveis na proposição dos custos necessários para execução da obra rodoviária.

Na aplicação do GEETRANSPORT em estudo de caso, obtivemos como resultado uma emissão de aproximadamente 322 tCO₂e/km. Não é possível fazer uma comparação com os outros resultados apresentados em outras pesquisas (Hanson and Noland, 2015a e 2015b; Fernández-Sánchez et al., 2015; Breisinger, 2012; Banco Mundial, 2010), pois, cada trabalho difere entre si no escopo adotado. Por exemplo, nosso trabalho avaliou as emissões dos equipamentos utilizados em toda a obra, desde o transporte dos materiais até o adensamento dos insumos. Desta forma, evita-se a dupla quantificação das emissões, trazendo para o projeto apenas as emissões diretas do empreendimento. Outros estudos colocaram o transporte como atividade direta na produção dos insumos e aspectos das interrupções de tráfego. Há oportunidade do desenvolvimento de pesquisas com objetivo de comparações e proposição de alinhamento das diferentes metodologias já utilizadas nos diferentes

países, de forma a verificar/comparar a eficiência do uso dos equipamentos e tecnologias na concepção da obra rodoviária.

A quantificação do número de árvores necessárias para a neutralização das emissões de GEE das obras já é uma alternativa utilizada por órgãos licenciadores, constitui uma prática em obras rodoviárias e tende a ser uma solução para a definição de um valor social e econômico da emissão de GEE, contribuindo com a diminuição do aquecimento global.

A inserção da análise das emissões de GEE na concepção das rodovias fomenta a precificação do carbono, visando que tomadores de decisão internalizem esta variável na tomada de decisão, de forma a refletir no desenvolvimento e uso de novas tecnologias nos sistemas de transportes e conseqüentemente a diminuição das causas do aquecimento global.

Importante ressaltar que o método desenvolvido consiste em trabalho contínuo, pois a busca do constante aperfeiçoamento e aprendizado com as novas práticas e conhecimento no setor de engenharia rodoviária irá contribuir para que as emissões de GEE possam ser utilizadas como instrumento na tomada de decisão visando à escolha da melhor solução para o projeto de engenharia. O risco socioambiental de não investir em tecnologias relacionadas às mudanças climáticas e infraestruturas de transportes poderá ser muito alto.

As rodovias representam um significativo investimento público e privado e são essenciais para a sociedade, e na fase de construção de obras rodoviárias tem um aspecto ambiental considerável de emissões de GEE. Embora a construção ambientalmente consciente tenha sido amplamente estudada, a engenharia de transportes aplicada as emissões de GEE na concepção das rodovias ainda precisa de avanços.

REFERÊNCIAS

BANCO MUNDIAL. **Introduction to Greenhouse Gas Emissions in Road Construction and Rehabilitation.** Greenhouse gas emissions mitigation in road Washington D.C., 2010. Disponível:

<http://siteresources.worldbank.org/INTEAPASTAE/Resources/GHG-ExecSummary.pdf>

BANCO MUNDIAL. Documento de Avaliação do Projeto sobre uma Proposta de Empréstimo no Montante de US\$300 milhões ao Estado de São Paulo - Projeto de Transporte Sustentável do Estado de São Paulo. Washington D.C., 2013.

Disponível:

<http://documents.worldbank.org/curated/en/2013/05/17769516/brazil-sao-paulo-sustainable-transport-project>

BARANDICA, Jesús Maria; DELGADO, Juan A.; BERZOSA, Álvaro; FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Gonzalo; SERRANO, José Manuel; ZORRILLA, Juan M.. **Estimation of CO₂ emissions in the life cycle of roads through the disruption and restoration of environmental systems.** Ecological Engineering, v. 71, 154 – 164. 2014.

Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.009>



BARTHOLOMEU, Daniela Bacchi; CAIXETA FILHO, José Vicente. **Impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras: um estudo de caso.** Revista de Economia e Sociologia Rural. São Paulo, v. 46, n.º 3, 703-738, 2008.

BRASIL. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (Nationally Determined Contribution – NDC) para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Do Clima. 2016. Disponível:

http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/convencao/indc/BRASIL_iNDC_portugues.pdf

BRASIL. **Lei n.º 13.033, de 24 de setembro de 2014.** Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 8.723, de 28 de outubro de 1993; revoga dispositivos da Lei no 11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências. Presidência da República, Brasília. Disponível:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Lei/L13033.htm

BREISINGER, Milena. **Greenhouse Gas Assessment Emissions Methodology.** In: **BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID).** Washington D.C., 2012. Disponível: <https://publications.iadb.org/handle/11319/5515?locale-attribute=en>

CASS, Darrell; MUKHERJEE Amlan. **Calculation of greenhouse gas emissions for highway construction operations by using a hybrid life-cycle assessment approach: case study for pavement operations.** Journal of Construction Engineering and Management. Estados Unidos da América, v. 137, n.º 11, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Sistema de Custos Unitários (SICRO2).** Brasília, 2015. Disponível: <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-1>

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE INFRAESTRUTURA DE SANTA CATARINA (DEINFRA/SC). **Informe de gestão ambiental e social do Programa BID VI.** Secretaria de Estado da Infraestrutura. Florianópolis, 2012. Disponível em:
<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36739154>

FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Gonzalo; BERZOSA, Álvaro; BARANDICA, Jesús María; CORNEJO, Enrique; SERRANO, José Manuel. **Opportunities for GHG emissions reduction in road projects: a comparative evaluation of emissions scenarios using CO2NSTRUCT.** Journal of Cleaner Production, v. 104, 156 - 167, 2015.

FLIZIKOWSKI, Lis Camila. **Estimativa de emissões de dióxido de carbono na construção civil e neutralização com espécies florestais: um estudo de caso.** 2012. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2012.

FRANCISCONI JR., José Pedro; REIS, Marcelo de Miranda; Amorim, José Carlos Cesar; Henkes, Jairo Afonso. Estudo de Caso. **Contribuição do Programa de Infraestrutura Logística de Santa Catarina na redução das emissões de gases de efeito estufa.** 2016a. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental da Universidade do Sul de Santa Catarina (Unisul), Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 694-710, out.2016/mar.2017.

FRANCISCONI JR., José Pedro. **Modelo para estimativa de emissões de gases de efeito estufa em obras rodoviárias.** 2016b. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

FRANCISCONI JR., José Pedro. Mudanças **Climáticas e a Infraestrutura de Transportes.** CREA-SC ed. 11, p. 23, nov/dez. 2015. Disponível: <https://pdf.magtab.com/reader/revista-crea-sc/17321#page/22>

GABRIELE, Pedrita Dantas; BRANDÃO, Luana Carneiro; TREINTA, Fernanda Tavares; MELLO, João Carlos C. B. Soares; CARVALHAL, Raquel. **Comparação internacional da eficiência ambiental dos modos de transporte rodoviário e ferroviário.** Journal of Transport Literature. Rio de Janeiro, v. 7, n.º 1, 212-229, 2013.

GHG PROTOCOL. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol. Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de**

Emissões de Gases de Efeito Estufa. 2. ed. [S.l]: Centro de Estudos em Sustentabilidade (GVces) da Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas (EAESP-FGV) e World Resources Institute (WRI), 2010. Disponível: https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos_ghg/152/especificacoespb_ghgp_rotocol.pdf

GHG PROTOCOL. **Ferramenta de Cálculo - GHG Protocol 2013.** Programa Brasileiro GHG Protocol, 2014. Disponível: <http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo>

GREENHOUSE GHG PROTOCOL. **Global Warming Potentials.** 2007. Disponível: <http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/Global-Warming-Potential-Values.pdf>

HASON, Christopher S.; NOLAND Robert B. **Greenhouse gas emissions from road construction: An assessment of alternative staging approaches.** Transportation Research Part D: Transport Environ, v. 40, 97 - 103, 2015a. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2015.08.002>

HASON, Christopher S.; NOLAND Robert B. **Life-cycle greenhouse gas emissions associated with a highway reconstruction: a New Jersey case study.** Journal of Cleaner Production, v. 107, 731 - 740, 2015b. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.064>

INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM (ITF). **Adapting Transport to Climate Change and Extreme Weather: Implications for Infrastructure Owners and Network Managers.** 2016. ITF Research Reports, OECD Publishing, Paris. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1787/9789282108079-en>

KOETSE, Mark J.; RIETVELD, Piet. **The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings.** Transportation Research Part :. Transport Environ, v. 14, 205 - 221, 2009.

LIMA, Gleiphyson Santana; FRANCISCONI JR., José Pedro; REIS, Marcelo de Miranda; AMORIM, José Carlos Cesar; AQUINO, Maria Eduarda Fagundes; Jéssica Prats. **Economic Valuation of Vehicular Emissions in Deployment of Bus Rapid Transport (BRT) System.** International Journal of Civil & Environmental Engineering, v. 16, p. 64-68, 2016. Disponível: http://ijens.org/Vol_16_I_05/163805-4141-IJCEE-IJENS.pdf

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA) e CONSELHO INTERMINISTERIAL DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL (CIMA). **Portaria MAPA n.º 75, de 5 de março de 2015 e Resolução CIMA n.º 1, de 4 de março de 2015.** Brasília, 2015. Disponível: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=17&data=06/03/2015>

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL (MTPA). **Diretrizes Socioambientais do MTPA.** 2016. Disponível: http://transportes.gov.br/images/MEIO_AMBIENTE/MTPA_DiretrizesSocioambientais.pdf

MIRANDA, Dirceu Lucio Carneiro. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista.** 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

NEMRY, Françoise; DEMIREL, Hande. **In: Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures.** European Commission, Joint Research Centre Institute for Prospective Technological Studies. Luxemburgo, 2012. Disponível: <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC72217.pdf>

NEUMANN, James E.; PRICE, Jason; CHINOWSKY, Paul; WRIGHT, Leonard; LUDWIG, Lindsay; STREETER, Richard; JONES, Russell; SMITH, Joel B.; PERKINS William; JANTARASAMI, Lesley; MARTINICH, Jeremy. **Climate change risks to US infrastructure: impacts on roads, bridges, coastal development, and urban drainage.** Climatic Change, v. 131, 97 - 109, 2015.

OZCAN-DENIZ, Gulbin; ZHU, Yimin. **Multi-objective optimization of greenhouse gas emissions in highway construction projects.** Sustainable Cities and Society, v. 28, p. 162 – 171, 2017. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.009>



PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas.** Volume 2 – Primeiro Relatório de Avaliação Nacional. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. 2014. ISBN 978-85-285-0207-7.

PARK, Kwangho, HWANG, Yongwoo, SEO, Seongwon, M.ASCE, SEO, Hyungjoon. **Quantitative assessment of environmental impacts on life cycle of highways.** Journal of Construction Engineering and Management, v. 129, 25 - 31, 2003

RAHMAN, Syed Masiur; KHONDAKER, A. N., HASAN, Md. Arif; REZA, Imran. **Greenhouse gas emissions from road transportation in Saudi Arabia – a**

challenging frontier. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 69, p. 812 – 821, 2017. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.047>

SCHWEIKERT, Amy; CHINOWSKY, Paul; KWIATKOWSKI, Kyle; ESPINET, Xavier.
The infrastructure planning support system: Analyzing the impact of climate change on road infrastructure and development. Transport Policy, v. 35, 146 – 153, 2014.

