

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**ESTUDO DA VIABILIDADE AMBIENTAL E ECONÔMICA DE OBRAS
RODOVIÁRIAS POR MEIO DA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA**

RAFAEL DOS SANTOS FARIAS

CAMPO GRANDE

2018

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**ESTUDO DA VIABILIDADE AMBIENTAL E ECONÔMICA DE OBRAS
RODOVIÁRIAS POR MEIO DA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA**

RAFAEL DOS SANTOS FARIAS

Trabalho de Conclusão Final de Curso do Mestrado Profissional apresentado na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração: Sustentabilidade.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a ANA PAULA DA SILVA MILANI

**CAMPO GRANDE
AGOSTO/2018**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Redação final do Trabalho de Conclusão Final de Curso defendida por **RAFAEL DOS SANTOS FARIAS**, aprovada pela Comissão Julgadora em 23 de Agosto de 2018, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para a obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.



Profª. Dra. Ana Paula da Silva Milani – Orientadora
FAENG/UFMS

Prof. Dr. Odilar Costa Rondon – Membro Titular
FAENG/UFMS

Prof. Dr. Daniel Anijar de Matos – Membro Titular
LATRAN/FAENG/UFMS



AGRADECIMENTOS

Ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), colegas e amigos da autarquia, pelo auxílio na disponibilização de informações e dados públicos, bem como ideias e sugestões.

Ao Superintendente Regional do DNIT no Estado de Mato Grosso do Sul, Eng. Thiago Carim Bucker, por possibilitar meu ingresso no Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade, ao remover-me do município de Dourados para Campo Grande após minha aprovação no processo seletivo.

À Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), em especial ao Eng. Cálicles Manica, por permitir a flexibilidade em viagens à serviço, necessária para frequentar as aulas do Programa, bem como ao Estágio de Docência, durante minha breve passagem profissional pelo Posto de Fiscalização Rodoviário de Campo Grande.

À Professora Doutora Ana Paula da Silva Milani, minha orientadora, não apenas pelas contribuições a este trabalho, mas pelo apoio prestado nos momentos de incertezas e mudanças.

E, especialmente, à minha família: meus pais, João Batista e Mariza, que sempre priorizaram a educação de seus filhos em detrimento de qualquer bem material ou conforto; e à minha esposa, Eng. Thaís Duek de Araújo, por caminhar junto a mim neste desafio, desde o início, apoiando-me em minhas decisões e sendo minha base nos momentos de dificuldades, nos âmbitos pessoal, profissional e acadêmico, me confortando e me incentivando.

RESUMO

O modal rodoviário representa o meio mais significativo de transporte de cargas e passageiros no Brasil. Os custos de implantação, recuperação e manutenção da malha rodoviária são altos e consomem boa parte do orçamento de Municípios, Estados e União. Mesmo com tal importância, os estudos que subsidiam o licenciamento ambiental de obras rodoviárias no país não se baseiam nos impactos oriundos das atividades executadas em si, tais como emissões de poluentes, consumo energético e consumo de água ocasionados pela utilização de equipamentos e insumos. Os parâmetros comumente analisados se limitam aos resultados das intervenções, tais como a área de supressão vegetal, volumes de extração em jazidas, caixas de empréstimos e bota-foras. Neste trabalho objetivou-se o desenvolvimento de uma ferramenta, através da adaptação do modelo *GHG Protocol* para realização da Análise do Ciclo de Vida (ACV) dos serviços de âmbito rodoviário que compõem o Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), lançado em 2017, em substituição ao SICRO 2. Com isso, foi possível alimentá-la com dados de obras já executadas, orçadas no sistema de referência de preços antigo e adaptadas ao novo, na busca de uma correlação entre as saídas da ACV e as condicionantes e custos decorrentes de seus respectivos licenciamentos ambientais. Na análise quantitativa dos custos de licenciamentos ambientais atualizados em função de diversas emissões atmosféricas calculadas pela ferramenta ACV-SICRO não se observou nenhum fator de correlação significativo. No entanto, ao realizar uma análise qualitativa, verificou-se que as datas de elaboração dos projetos influenciavam na relação entre essas variáveis, o que eliminando projetos datados da década de 1990, obteve-se forte fator de correlação, na ordem de 0,90, para a relação entre as emissões de gases de efeito estufa nos serviços de desmatamento e custos ambientais atualizados. Por ora, ACV é uma ferramenta interessante no processo inicial para verificar a proporção do impacto ambiental a ser causado pela construção da rodovia, mas não foi possível corroborar que a ACV pode auxiliar na estimativa de custos ambientais para obras rodoviárias. Porém, indica-se como promissora uma nova análise devendo ser realizada com obras orçadas exclusivamente no SICRO e agrupadas por características qualitativas, eliminando, assim, divergências provocadas pelo fator de temporalidade, de bioma e/ou Estado, de órgão licenciador, e de relevo e uso do solo.

Palavras-chave: pavimentação, impacto ambiental, licenciamento ambiental, SICRO, ACV

ABSTRACT

The road transports represents the most significant cargo and passengers transportings in Brazil. The road construction, maintenance and recovery costs are high and consume much of the budget from cities, states and country. Even with such importance, the studies that subsidize road constructions environmental licensing in the country are not based on the activities impacts caused by itself, such as pollutant emissions, energy and water consumption caused by the use of equipment and inputs. The parameters commonly analyzed are limited to the results of the interventions, such as the forest suppression area, soil extraction volumes, borrowing pits and wastes. This study's purpose is the developening of a tool, through the adaptation of the GHG Protocol to perform the Life Cycle Analysis (LCA) of road services that make up the *Sistema de Custos Referenciais de Obras* (SICRO), a referential costs system for transportations infrastructure works, of the *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes* (DNIT), the brazilian infrastructure departament, launched in 2017, replacing SICRO 2. Thereby, it was possible to feed it with data from works already executed, budgeted in the old price reference system and adapted to the new one, in search of a correlation between the outputs of the LCA and the environmental compensations and costs arising from their respective environmental licenses. In a quantitative analysis of the updated environmental costs due to different emissions, no strong correlation factor was observed. However, when conducting a qualitative analysis, it was verified that the dates of projects design influenced the relationship between the variables. Thus, by eliminating projects dating from the 1990s, a strong correlation factor was found, in the order of 0.90 for the relationship between GHG emissions in deforestation services and updated environmental costs. For now, LCA is an interesting tool in the initial process to verify the proportion of the environmental impact to be caused by the construction of the highway, but it was not possible to corroborate that it can assist in estimating environmental costs for road works. However, a new analysis is indicated as promising, and should be carried out with works budgeted exclusively in SICRO and grouped by qualitative characteristics, thus eliminating divergences caused by the temporality factor, biome and / or State, licensing agency, relief and land use.

Keywords: pavement, environmental impact, environmental licensing, SICRO, LCA

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Custo total e médio de acidentes por gravidade no Brasil em 2016.....	18
Figura 2. Aumento do custo operacional conforme o estado do pavimento das rodovias no Brasil	18
Figura 3. Fluxograma da Gestão Ambiental Pública.....	25
Figura 4. Composição de Custo Unitário de Referência do SICRO.....	31
Figura 5. Fases para Análise de Ciclo de Vida na pavimentação.....	32
Figura 6. Fluxograma de informações na ACV-SICRO	37
Figura 7. Composição de Preço Unitário do SICRO para o serviço de “Base de solo estabilizado granulometricamente sem mistura com material de jazida”	38
Figura 8. Especificações do equipamento no Volume 3 - Equipamentos do Manual do SICRO	38
Figura 9. Localização das obras estudadas dentro dos biomas brasileiros	44
Figura 10. Dispersão de Custos Ambientais Totais Atualizados em função das emissões totais de GEE	54
Figura 11. Dispersão dos Custos Ambientais Atualizados à março de 2018 em função das emissões de GEE pelos serviços de desmatamento.....	56
Figura 12. Dispersão de pontos dos Custos Ambientais Atualizados em função dos serviços de Desmatamento para projetos recentes.....	58
Figura 13. Dispersão de Custos Ambientais Totais Atualizados em função das emissões totais de gases acidificantes	62
Figura 14. Dispersão dos Custos Ambientais Reajustados à março de 2018 em função das emissões de Gases Acidificantes pelos serviços de desmatamento.....	63
Figura 15. Dispersão das quantidades de mudas plantadas em função das emissões de GEE. 66	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Entradas e saídas a serem contabilizadas em um estudo de ACV	20
Tabela 2. Fatores de emissões para motores à gasolina e à diesel.....	34
Tabela 3. Data de elaboração dos projetos, de execução das obras e delegação p/ execução .	40
Tabela 4. Extensão, intervenção e pavimento da amostra de obras estudadas.....	41
Tabela 5. Bioma, relevo e uso da superfície da amostra de segmentos estudados.....	42
Tabela 6. Custo total e custos ambientais à preços iniciais nas obras estudadas	49
Tabela 7. Custos totais à preços iniciais nas obras estudadas	51
Tabela 8. Custos ambientais atualizados para março de 2018 nas obras estudadas	51
Tabela 9. Saídas das ACVs para as obras estudadas	52
Tabela 10. Emissões de Gases do Efeito Estufa nas obras estudadas.....	53
Tabela 11. Emissões de GEE pelas atividades de desmatamento	55
Tabela 12. Emissões de Gases Acidificantes nas obras estudadas	61
Tabela 13. Emissões de Gases Eutrofizantes nas obras estudadas	63
Tabela 14. Emissões de Material Particulado até 2,5 µm nas obras estudadas.....	64
Tabela 15. Potencial de Formação de Smog nas obras estudadas	65
Tabela 16. Serviço de Plantio de Árvores e Emissões devido ao Desmatamento.....	66

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACCV	Análise de Custo de Ciclo de Vida
ACV	Análise de Ciclo de Vida
ACV-SICRO	Análise de Ciclo de Vida no Sistema de Custos Referenciais de Obras
BEN	Balanço Energético Nacional
CAA	Custos Ambientais Atualizados
CAA _{efetivo}	Custos Ambientais Atualizados Efetivos
CGCIT	Coordenação-Geral de Custos de Infraestrutura de Transportes
CNT	Confederação Nacional do Transporte
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPU	Composição de Preço Unitário
DEFRA	<i>Department of Environment, Food and Rural Affairs</i>
DMT	Distância Média de Transporte
DNER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GEE	Gases do Efeito Estufa
GHG	<i>Greenhouse Gases</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LCI	<i>Life Cycle Inventory</i>
LCIA	<i>Life Cycle Impact Assessment</i>
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MRI	<i>Midwest Research Institute</i>
PAH	Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

PaLATE	<i>Pavement Life-Cycle Assessment Tool for Enviromental and Economic Effects</i>
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PRF	Polícia Rodoviária Federal
PROCONVE	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
REPA	<i>Resource and Environmental Profile Analysis</i>
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SICRO	Sistema de Custos Referenciais de Obras
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SIOR	Sistema Integrado de Operações Rodoviárias
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
US-EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
VGeo	Visualizador de Informações Geográficas do DNIT
VMD	Volume Médio Diário
VOC	Compostos Orgânicos Voláteis
WRI	<i>World Resources Institute</i>

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	4
RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	7
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	9
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 DISCUSSÃO TEÓRICA	17
3.1 Importância do modal rodoviário brasileiro.....	17
3.2 ACV e empreendimentos rodoviários.....	19
3.3 EIA e empreendimentos rodoviários	23
4 MÉTODO.....	28
4.1 Abordagem da pesquisa	28
4.2 SICRO.....	29
4.3 Análise do Ciclo de Vida (ACV).....	31
4.4 Cálculo das Emissões – Ferramenta “ACV-SICRO”	33
4.4.1 Fatores de Emissões.....	33
4.4.1.1 Emissões de Gases do Efeito Estufa.....	35
4.4.1.2 Emissões de Gases Acidificantes	35
4.4.1.3 Emissões de Gases Eutrofizantes	36
4.4.1.4 Emissões de Material Particulado (Poluição Atmosférica).....	36
4.4.1.5 Potencial de Formação de <i>Smog</i>	36

4.4.2	Composições Unitárias do SICRO	37
4.5	Aplicação da ferramenta “ACV-SICRO”	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1	Adaptação das composições do SICRO 2 para o SICRO	46
5.2	Análise da ferramenta ACV-SICRO	47
5.3	Custo total e custo ambiental das obras	48
5.4	Emissões Atmosféricas x Custos Ambientais	52
5.4.1	Emissões de Gases do Efeito Estufa ($\text{CO}_{2\text{eq}}$)	53
5.4.2	Emissões de Gases Acidificantes ($\text{SO}_{2\text{eq}}$)	60
5.4.3	Emissões de Gases Eutrofizantes (NO_{xeq}).....	63
5.4.4	Emissões de Material Particulado ($\text{MP}_{2,5\text{eq}}$).....	64
5.4.5	Potencial de Formação de <i>Smog</i> ($\text{O}_{3\text{eq}}$).....	64
5.5	Emissões x Plantio de Árvores.....	65
6	CONCLUSÃO.....	68
6.1	Oportunidades de estudos futuros.....	69
	BIBLIOGRAFIA	70
	APÊNDICE A – Exemplo de cálculo de emissões de equipamento em um serviço	74
	APÊNDICE B – Cálculo de Emissões nas Obras da BR-359/MS – Lote 2	77

1 INTRODUÇÃO

O modal rodoviário se apresenta como o mais importante meio de escoamento de cargas (61% da movimentação total) e de passageiros (95% de participação) no Brasil. No entanto, ainda assim, as rodovias do país não estão dotadas de segurança e qualidade desejadas pelo usuário. Tais condições têm elevado os custos de operação dos serviços de transportes, reflexo da maior necessidade de manutenção dos veículos, trocas de pneus e do consumo de combustíveis (CNT, 2015).

Paralelamente, presencia-se em um cenário de crescente conscientização do emprego correto dos recursos naturais, da necessidade da preservação ambiental e da redução das emissões de poluentes, o que tem impulsionado a busca de soluções favoráveis ao meio ambiente e não longe se encontra a necessidade de aplicação desses conceitos em empreendimentos rodoviários (PIRES *et al.*, 2014).

Isto tem impulsionado a busca de soluções mais sustentáveis ao meio ambiente e umas das ferramentas para tal é ACV (Análise de Ciclo de Vida), ou LCA (*Life Cycle Assessment*). Ela permite dimensionar os impactos ambientais e sociais de produtos e serviços, dentre os quais a pavimentação, através do levantamento do consumo energético (ou, mais apropriadamente, consumo de energia não renovável) e das emissões de CO₂, ambos com importante influência sobre os aspectos sociais e ambientais (SANTERO *et al.*, 2011).

Santero *et al.* (2011) apresentam um panorama da literatura acadêmica disponível acerca do tema ACV para pavimentação, tomando como base o primeiro artigo publicado, em meados dos anos 1990. De acordo com os autores, a maior parte do que se tem publicado não representa uma ACV integral, isto é, não há um exame exaustivamente detalhado de todas as fases do ciclo de vida do produto. Isso se deve à dificuldade que os pesquisadores encontram para identificar e delimitar os processos envolvidos. Azarijafari *et al.* (2016), em seu estudo, encontraram apenas 15 trabalhos, no mundo todo, acerca desta temática. Eles apresentaram recomendações e ações necessárias para preencher as lacunas de pesquisa identificadas com respeito às fases de construção, uso e fim da vida.

Para Butt *et al.* (2015), a ACV na pavimentação é um campo de pesquisa em expansão. Contudo, a metodologia ainda não se encontra integrada com a prática. Até o presente, a ACV tem sido utilizada, geralmente, como conhecimento, gerando estudos como ferramentas de quantificação autônoma ou comparações de diferentes alternativas. Os autores acrescentam que

há algumas ferramentas para ACV desenvolvidas para a pavimentação ao longo das últimas duas décadas, no entanto, continuam não sendo implementadas em projetos de rodovias reais.

Portanto, o setor da pavimentação, atualmente, encontra-se pouco alinhado à tendência da utilização da ACV em seus processos. Sem isto, é pouco provável que os órgãos e empresas envolvidos na atividade conheçam, de fato, a dimensão dos impactos ao meio ambiente decorrentes de suas ações e possam agir na mitigação e compensação dos prejuízos ambientais gerados.

Lins *et al.* (2015) afirmam, com base em Lauxen (2012), que a ecologia de estradas ainda é um tema pouco estudado no Brasil. Na revisão bibliográfica feita pelo autor, dos 230 artigos específicos sobre ecologia de estradas, apenas 14 eram de trabalhos nacionais. O referido autor enxerga nisto uma lacuna que, se vencida, tem o potencial de se tornar um necessário e forte elo entre as pesquisas sobre ferramentas de análise de impactos ambientais e os órgãos licenciadores, gerando benefícios para toda sociedade.

Teixeira *et al.* (2016) destacam que, cada vez mais, o Brasil tem avançado na Legislação que garante a defesa do meio ambiente. Isso se dá não apenas na construção de novas rodovias, mas também na operação de rodovias já existentes. Os autores ainda destacam que, com isso, tem-se uma grande oportunidade de repensar e implementar soluções para mitigar os impactos das rodovias na vida selvagem.

Porém, de um modo geral, o licenciamento ambiental para a implantação, duplicação ou aumento de capacidade de uma rodovia, atualmente, se baseia em dois aspectos principais: a preservação da fauna e da flora local. Isto é, exige-se um levantamento de plantas e animais presentes na área de afetação, realizado por biólogos, engenheiros ambientais e florestais, a fim de definir medidas compensatórias para a supressão vegetal e mitigadoras para proteção da fauna.

Como exemplo, é possível que haja a exigência do plantio de espécies vegetais nativas e o transplante de árvores de espécies ameaçadas de extinção. Já para a proteção da fauna, cada vez mais tem-se lançado mão dos dispositivos conhecidos como “passagem de fauna”, seja em forma de túneis sob a rodovia ou pontes de corda por via aérea (passagem de primatas), bem como a instalação de cercas que impeçam os animais de ter acesso à plataforma da rodovia em pontos críticos de atropelamentos. Isso, no entanto, tem se mostrado muito superficial, uma vez que, em muitos casos, não há, por exemplo, avaliações posteriores do impacto da estrada na vida animal através da exploração da variação nas taxas de mortalidade e isolamento das populações (TEIXEIRA *et al.*, 2016).

Os enfoques centrais de um Estudo de Impactos Ambientais (EIA) são a prevenção, mitigação e compensação dos impactos gerados, bem como sua potencialização, caso estes sejam positivos (GALLARDO, 2004). Segundo Sánchez (2003 *apud* GALLARDO, 2004), as principais atividades envolvidas na execução de um EIA consistem em: definição do Termo de Referência, estudos de base, identificação dos impactos, previsão dos impactos, avaliação dos impactos e plano de gestão.

Gallardo (2004) aborda tais aspectos em sua pesquisa. A delineação de seus estudos envolve as causas e consequências dos impactos e medidas mitigadoras da construção da pista descendente da Rodovia dos Imigrantes, no Estado de São Paulo. Seus objetivos foram a verificação, prevenção, controle e atenuação das alterações ambientais constatadas. Segundo a autora, os impactos que afetam o meio ambiente podem ser classificados como diretos, indiretos ou cumulativos. Segundo Erickson (1994), citado por Gallardo (2004), “impactos diretos são mudanças nos componentes e processos do meio ambiente que resultam imediatamente de uma ação ou projeto relacionado à atividade”.

No ciclo de vida de um empreendimento rodoviário, a fase de construção representa aquela que pode deflagrar os impactos mais significativos (GALLARDO, 2004). A autora cita as atividades relacionadas por Bellia e Bidone (1993) que apresentam potencial de degradação, dentre as quais estão: instalação do canteiro de obras; desmatamento e limpeza do terreno; execução de caminhos de serviço; terraplenagem, empréstimos e bota-foras; desmonte de rochas e pedreiras; obras de drenagem permanentes e provisórias; obras de arte especiais (pontes, viadutos, túneis); e exploração de materiais de construção.

Ainda segundo Gallardo (2004), as medidas mitigadoras podem ser adotadas a fim de: evitar um impacto ambiental; reduzir um impacto ambiental; ou compensar um impacto ambiental. Para este último fator, a autora destaca a importância da prevenção de sua ocorrência, que está associado à fase de concepção e definição do projeto, sendo possível a escolha da tecnologia ou processo mais adequado para se alcançar esse objetivo. É este o enfoque almejado no presente estudo, uma vez que, para Vargas (2012), mais importante do que reparar o dano ambiental consumado é prevenir sua ocorrência, pois, concretizado o dano, revela-se praticamente impossível sua reconstituição.

Eis, então, que surgem as questões primordiais perseguidas pelo presente estudo: como prever os danos ambientais causados diretamente pelas atividades ligadas à construção da pavimentação? É possível estimar os custos decorrentes das medidas de compensação e mitigação desses danos ambientais? Esta pesquisa trabalha com a hipótese de que seja possível correlacionar impactos ambientais e econômicos através dos resultados obtidos com as saídas

da ACV, tais como poluição atmosférica, toxicidade ecológica, potencial de acidificação, consumo de água, depleção de combustíveis fósseis, etc. Se esta hipótese se demonstrar válida, será possível auxiliar os gestores da área de pavimentação na tomada de decisões, ao possibilitar que custos estimados para as medidas mitigatórias e compensatórias, provenientes de cada uma das alternativas de soluções técnicas analisadas, sejam abordados nos estudos de viabilidade econômica.

Assim, espera-se que a aplicação da técnica de ACV em pavimentação se possa determinar, ainda nas fases preliminares de projetos, soluções de pavimento e de traçado de rodovia sob a ótica do menor impacto ambiental gerado, como também estimar-se um custo a ser destinado para medidas compensatórias devido aos impactos socioambientais das alternativas estudadas, enriquecendo, assim, o Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) de um empreendimento rodoviário.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a Análise de Ciclo de Vida (ACV) como ferramenta para o estudo da viabilidade ambiental e econômica de empreendimentos rodoviários.

2.2 Objetivos específicos

- Adaptar a ferramenta *GHG Protocol* (FGV e WRI, 2018) para obtenção da Análise de Ciclo de Vida (ACV) de obras rodoviárias de implantação, manutenção e restauração, com base nas atividades que compõem o Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT);
- Subsidiar o gestor ou projetista para determinação de alternativas de soluções e traçados estudados, na fase de anteprojeto, que tragam redução de custos aliado ao menor impacto ao meio ambiente, e;

- Obter uma correlação entre os indicadores de impacto ambiental da ACV e as medidas mitigadoras e compensatórias exigidas em decorrência do licenciamento ambiental pelos órgãos ambientais competentes.

3 DISCUSSÃO TEÓRICA

3.1 Importância do modal rodoviário brasileiro

Estima-se que os prejuízos anuais gerados pelas más condições de trafegabilidade nas rodovias brasileiras seja de, aproximadamente, R\$ 3,8 bilhões, apenas com a exportação de soja e milho (CNT, 2015). Os custos de manutenção crescem exponencialmente com o aumento da degradação dos pavimentos, que pode vir a acontecer tão intensamente na ausência de manutenção, que sua reconstrução, parcial ou total, será inevitável em curto período de tempo (BALBO, 2007).

Por este ponto de vista, os resultados verificados na Pesquisa CNT 2017 (CNT, 2017a), que analisou mais de 100.000 quilômetros de rodovias no país, tornam-se ainda mais preocupantes. O estudo aponta que 33,6% da malha pavimentada no país, está classificada como em condição regular, 20,1% em condições ruins e 8,1% em condições péssimas.

Conforme apurado pela CNT (2017b) junto à Polícia Rodoviária Federal (PRF), no ano de 2016 foram registrados 96.363 acidentes, dos quais houve vítimas fatais em 5.355, ou seja, em 5,6%. Apesar de a perda de uma vida ser imensurável, alguns custos decorrem à União cada vez em que eles ocorrem, tais como: despesas hospitalares, indenizações e seguros, resgates, deslocamentos, mobilização de equipes policiais, médicas e técnicas, etc. Aos usuários e empresários, ainda incorrem custos com as perdas materiais, perdas de carga, perda de produção, entre outros. Com base nisso, a CNT (2017b) investigou o custo gerado pelos acidentes na economia do país, conforme apresentado na Figura 1.

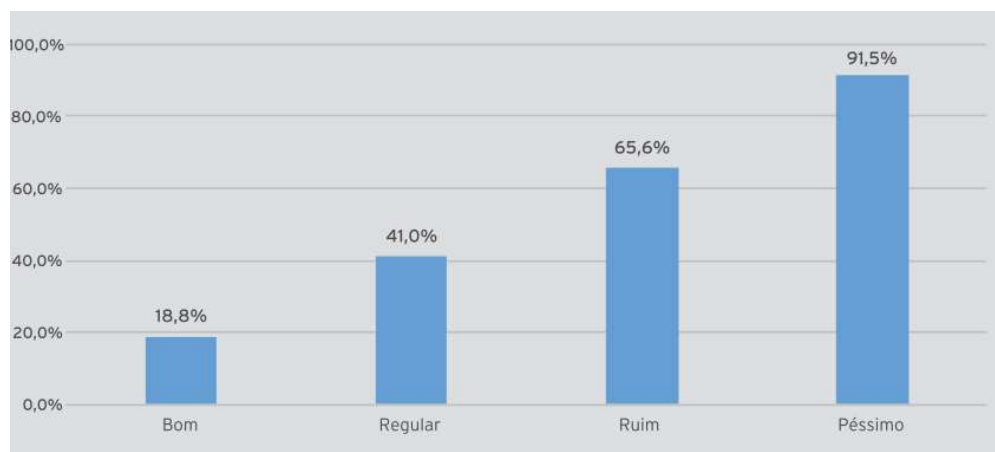
Figura 1. Custo total e médio de acidentes por gravidade no Brasil em 2016

Gravidade do acidente	Quantidade de acidentes	Custo médio (R\$ mil/ocorrência)	Custo total (R\$ bilhões)
Com fatalidade	5.355	760,79	4,07
Com vítimas	54.873	106,08	5,82
Sem vítimas	36.135	27,13	0,98
Total	96.363	112,86	10,88

Fonte: CNT (2017b)

Ainda que as condições da via sejam a responsáveis por apenas uma parcela da ocorrência desses acidentes, melhores estados de conservação do pavimento, drenagem e sinalização afetariam diretamente na redução de ocorrências. Ademais, o estado de conservação de uma rodovia impacta não somente na segurança de seus usuários, mas também nos custos operacionais dos transportes. A Figura 2 traz o acréscimo estimado nestes custos em decorrência do estado em que se apresenta o pavimento.

Figura 2. Aumento do custo operacional conforme o estado do pavimento das rodovias no Brasil



Fonte: CNT (2017b)

No ano de 2015, 46,9% do investimento público federal em infraestrutura de transportes foi direcionado ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), autarquia responsável, entre outras, pela construção e manutenção da malha rodoviária federalizada. Isso corresponde a um valor de R\$ 6,314 bilhões (BRASIL, 2015).

Relatório da Confederação Nacional de Transportes (CNT), publicado em 2017, aponta que, entre 2004 e 2016, o resultado de avaliação da malha rodoviária federal melhorou 24,0 pontos percentuais, passando de 18,7% em ótimas ou boas condições para 42,7%. A

pesquisa atribui esta melhora ao aumento nos investimentos em rodovias. Em 2004, quando ocorreu o menor investimento no período analisado, R\$ 3,90 bilhões foram injetados no setor. Por outro lado, a maior destinação de recursos se deu mais recentemente, em 2011, quando foram investidos R\$ 15,73 bilhões e 41,3% da malha foi avaliada como ótima ou boa (CNT, 2017b).

No entanto, o estudo alerta que, para o ano de 2016, o nível de investimento retrocedeu ao que fora aplicado em 2008, isto é, R\$ 8,6 bilhões. Em 2015 o orçamento destinado ao setor foi ainda menor: R\$ 6,3 bilhões (CNT, 2017b).

Limitações orçamentárias foram impostas pela crise econômica ao qual o país passa, a partir de 2014, vindo a reduzir drasticamente o investimento em infraestrutura rodoviária. Associado a isso, deve-se considerar que, apesar da melhora nos índices de condições das rodovias, mais da metade da malha rodoviária federal ainda é classificada, pelo estudo da CNT (2017a), como regulares, ruins ou péssimas. Pode-se inferir, portanto, que a busca por uma melhor eficiência na utilização dos recursos é uma saída viável para melhoria ou, ao menos, a manutenção dos índices de avaliação.

A busca pela melhor aplicação de recursos financeiros pode ser alcançada com uma política de gestão que considere, também, os aspectos ambientais, tais como: a otimização de utilização de recursos naturais e a minimização de desperdícios, emissões e demais impactos ambientais. Todos estes fatores carregam em si custos que possuem margem para redução.

Em 2002, o Ministério dos Transportes publicou sua Política Ambiental, que tem como referência três princípios: a viabilidade ambiental dos empreendimentos de transportes, o respeito às necessidades de preservação ambiental e a sustentabilidade ambiental dos transportes (BRASIL, 2002). Nesta publicação, são definidos objetivos e ações a serem alcançados por todas as agências, fundações, órgãos e autarquias vinculados àquele Ministério, dentre os quais, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

3.2 ACV e empreendimentos rodoviários

Conforme Santos *et al.* (2011), os primeiros conceitos da ACV surgiram na década de 1960, ainda com os nomes de “Análise de Energias”, “Análise de Recursos” e “Análise de Perfil Ambiental”. O primeiro grande estudo ao qual se tem conhecimento foi realizado pela Coca-Cola, em 1965, no qual estudava-se as possibilidades de embalagens para seus produtos que trouxessem menos impactos ambientais e utilizassem menos recursos naturais. À metodologia

utilizada, desenvolvida pelo *Midwest Research Institute* (MRI), deu-se o nome de REPA (*Resource and Environmental Profile Analysis*). O aprimoramento desta metodologia, em 1974, pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) deu origem ao que se tem como precursor do LCA (*Life Cycle Assessment*) (SANTOS *et al.*, 2011).

A área da construção civil, por ser um dos setores que mais consomem recursos naturais e apresenta grandes possibilidades de reutilização de resíduos, se apresenta como um dos maiores utilizadores da Análise do Ciclo de Vida, porém, historicamente, tem sido a indústria de produção de bens de consumo a grande desenvolvedora desta ferramenta.

A ACV consiste, basicamente, na análise e interpretação dos dados obtidos, por meio do inventário quantitativo e qualitativo, de todos os insumos consumidos e dos resíduos e demais poluentes liberados no ambiente, durante todo o ciclo de vida de um produto (fabricação, uso e descarte) e posterior avaliação dos impactos ambientais gerados (SANTOS *et al.*, 2011).

Os primeiros passos de um estudo de ACV são as definições dos objetivos, escopo e das fronteiras do sistema a ser avaliado. A importância dessas etapas se deve, principalmente, à infinidade de parâmetros que podem ser analisados em um sistema produtivo, de modo que é preciso sempre delimitar, de forma clara, quais devem ser os dados e quais as unidades que devem ser levadas em consideração no estudo (Santos *et al.*, 2011).

Santos *et al.* (2011) prosseguem afirmando que, após a definição das fronteiras do sistema a ser avaliado, o próximo passo é a elaboração do Inventário do Ciclo de Vida de cada um dos materiais. Esta etapa da ACV consiste no inventário quantitativo e qualitativo, de todos os insumos consumidos e dos resíduos e demais poluentes liberados no ambiente, durante todo o ciclo de vida de um produto (*inputs* e *outputs*), conforme demonstra a Tabela 1.

Tabela 1. Entradas e saídas a serem contabilizadas em um estudo de ACV

Entradas (<i>inputs</i>)	Saídas (<i>outputs</i>)
• Consumo de energia (kW);	• Emissão de poluentes para o ar (kg);
• Consumo de água (litros);	• Emissão de efluentes líquidos (litros);
• Consumo de recursos não-renováveis (kg);	• Produção de resíduos sólidos (kg).
• Consumo de recursos renováveis (kg).	

Fonte: Mourad *et al.* (2002) *apud* Santos *et al.* (2011)

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (INPC) publicou em 2006 diretrizes para elaboração de inventários de emissões de gases do efeito estufa a partir de diversas fontes,

inclusive dos transportes. Não apenas as nações, mas grandes multinacionais, com ações em bolsas de valores em todo o mundo, passaram a publicar seus inventários, seja por pura consciência ambiental, estratégia de negócio ou assinatura de tratados, no caso dos países.

A elaboração destes inventários é importante para que países, empresas e instituições possam atuar na redução das emissões de acordo com as principais fontes poluidoras nele apontadas. Os inventários também podem ser aproveitados como fonte de conhecimento para elaboração de partes de ACVs, uma vez que sua base é composta pelas emissões de GEE.

A Fundação Getúlio Vargas e a *World Resources Institute* desenvolveram uma ferramenta, denominada *GHG Protocol*, em Microsoft® Excel e adaptada à realidade dos combustíveis brasileiros, para auxiliar empresas, órgãos e governos a elaborar seus próprios inventários.

Horvath (2003) realizou uma Análise Econômica e Ambiental do Ciclo de Vida de pavimentos com o uso de materiais recicláveis utilizando a ferramenta PaLATE (*Pavement Life-Cycle Assessment Tool for Environmental and Economic Effects*). Este modelo foi desenvolvido no software Microsoft® Excel pelo próprio autor, com o intuito de avaliar os impactos gerados pela utilização de materiais recicláveis na pavimentação nos Estados Unidos.

Jullien *et al.* (2006) afirmam que a ACV é uma ferramenta apta para separar as fontes (emissões) dos impactos (incômodo causado pelos odores). Por outra ótica, podemos inferir que a ACV é capaz de mensurar não apenas os impactos ambientais (emissões nocivas ao meio ambiente), como também de algum impacto social (odores liberados nas circunvizinhanças).

A avaliação de impactos ambientais vai muito além das emissões de VOC (compostos orgânicos voláteis), PAH (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos), odores e carga ecológica. Há de se avaliar, especialmente, a emissão de mais gases causadores do efeito estufa, consumo energético e de combustíveis envolvidos em todas as etapas de construção, manutenção, uso e fim de vida, além da exploração de recursos minerais. A Análise do Ciclo de Vida surge, portanto, como uma ferramenta mais completa para este fim.

Wang *et al.* (2012) aplicaram um modelo de ACV para reabilitação de pavimentos, comparando a intervenção com a não-intervenção. Isto é, intervindo com atividades de manutenção ou restauração ou mantendo o estado em que o pavimento se encontrava. Esta avaliação foi feita comparando o consumo de combustível nos cenários propostos. Ficou evidenciado que a pior opção para esta variável foi a não-intervenção. Por outro lado, a restauração profunda do pavimento implicou nos melhores resultados de consumo de combustível.

Farina *et al.* (2016) apresentaram um estudo bastante abrangente dos benefícios de se utilizar resíduos em serviços de pavimentação. Não apenas aspectos de emissões de gases poluentes foram analisados, como também o consumo de água, de recursos minerais, geração de resíduos, transportes, etc. Mais além, quantificaram impactos à saúde humana, à água e ao solo.

Com base nesta variedade de estudos, Santero *et al.* (2011) realizaram uma análise crítica das pesquisas realizadas envolvendo ACV na pavimentação. Foram observados 4 atributos metodológicos chaves: comparabilidade das unidades funcionais, comparabilidade dos limites do sistema, qualidade dos dados e incertezas e métricas ambientais. O estudo obteve como resultado que uma grande desvantagem dos ACVs existentes para pavimentação é a falta de consenso sobre a unidade funcional adequada para avaliar pavimentos. Isto é, estudos diferentes comparam realidades diferentes utilizando-se da mesma ferramenta: uma estrada de pista simples para 5.000 veículos/ano com previsão de vida útil de 40 anos na Suécia é comparada a uma autoestrada duplicada dos Estados Unidos projetada para receber 10 milhões de cargas de eixo padrão equivalente. Outro problema apontado pelos referidos autores, por dentro deste atributo, é que o fator regionalidade pesa na comparação. Materiais, equipamentos, processos e normas divergem de um país para outro, devido a formações litológicas diferentes, condições climáticas diversas e até culturas específicas.

Santero *et al.* (2011), no atributo de comparabilidade dos limites do sistema, apontam que alguns dos estudos adotaram uma visão distorcida do real objetivo de uma ACV. Os autores dos trabalhos abordados, ao invés de estudar a vida inteira do pavimento, analisaram apenas algumas fases dela. As variáveis mais analisadas pelos estudos abordados focam na extração de matérias primas, transporte e aplicação. Isso se deve à imensa complexidade em se delimitar todas as variáveis de uma estrutura construída para durar décadas e que serão submetidas a diversas intervenções ao longo de sua vida. A fase de manutenção é apontada pelos autores como, de longe, a de maior complexidade por envolver diversos processos, entretanto, dois terços das pesquisas prospectadas tratam esta variável. A maior dificuldade é prever quando e como ocorrerão as etapas de manutenção e restauração do pavimento, gerando diversas incertezas sobre os resultados. É esta uma das fases com maior impacto nos resultados de um ACV de pavimentos (SANTERO *et al.*, 2011).

A interface econômica também se mostra importante ao se apresentar como premissa principal em tomada de decisões na construção, manutenção e restauração rodoviária devido aos altos custos envolvidos neste tipo de atividade.

Gschösser e Wallbaum (2013) combinaram à ACV uma Análise de Custo de Ciclo de Vida (ACCV) para comparar melhores alternativas de pavimentação rodoviária. O resultado obtido pelos autores apontou para benefícios econômicos e ambientais na utilização de pavimento rígido em rodovias suíças. Analogamente, pode-se utilizar os passos desenvolvidos no estudo para comparar, na fase de projeto, o melhor custo benefício, econômico e ambiental, das possíveis soluções de pavimentos e traçados de uma implantação de rodovia. Ainda, pode-se levar tal análise aos processos de manutenção e restauração de pavimentos.

No estudo bibliométrico realizado por Butt *et al.* (2015), não foi observada a presença de trabalhos realizados no Brasil com a abordagem ACV. Em pesquisa no Portal de Periódicos da Capes, obtém-se, 668 resultados ao se pesquisar por “LCA” e “*pavement*” em qualquer parte do texto. Destes, apenas cinco trabalhos são brasileiros. Apesar disso, verificou-se que nenhum deles trabalha a pavimentação urbana ou rodoviária e ACV (BUTT *et al.*, 2015). Esta constatação corrobora a existência de lacunas nos estudos de ACV para a pavimentação rodoviária brasileira, sendo necessário inserções de equipamentos, de materiais e de normativas nacionais para a adaptação da técnica ACV às condicionantes regionais.

Atualmente, não há no país qualquer estimativa de como e quanto as atividades atreladas à execução, restauração, manutenção e conservação rodoviária impactam diretamente no meio ambiente e nas comunidades lindeiras à faixa de domínio da União. Os estudos de impactos socioambientais tomam por base a existência da rodovia e de como esta afetará o bioma na qual está inserida e as comunidades adjacentes. A aplicação da ACV permitirá quantificar e qualificar os impactos gerados durante a execução dos serviços, elucidando quais são os serviços mais impactantes e possibilitando a indicação de melhorias no processo a fim de reduzir tais danos.

3.3 EIA e empreendimentos rodoviários

Sabe-se que o conceito de Sustentabilidade vai além das interfaces ambiental e econômica. Segundo Jeronymo *et al.* (2012), a elaboração, a construção e a institucionalização do licenciamento ambiental são instrumentos para prevenção e reparação de diferentes ordens de impacto, dentre as quais estão: impactos sociais, impactos econômicos, impactos ambientais e impactos culturais. A própria licença ambiental configura-se como um instrumento político

para a regulação de tais impactos. Verifica-se, portanto, que o licenciamento ambiental se ampara na mesma base da Sustentabilidade.

O Artigo 1º da Resolução CONAMA n.º 001/1986 (BRASIL, 1986) define impacto ambiental como sendo qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I - a saúde, a segurança e o bem estar da população;
- II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;
- IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V - a qualidade dos recursos ambientais.

Ainda segundo a Resolução CONAMA n.º 001/1986 (BRASIL, 1986), em seu Art. 2º, as atividades cujo Licenciamento Ambiental dependerá de EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto Ambiental), entre as quais se destacam: portos, aeroportos, ferrovias, estradas de rodagem com duas ou mais faixas, etc. O EIA abrange a coleta de dados, levantamentos bibliográficos e estudo das prováveis consequências ao meio ambiente. O RIMA é o relatório conclusivo dos aspectos abordados no EIA, sendo analisado pelos órgãos competentes e publicado em edital na imprensa local.

O Estudo de Impacto Ambiental – EIA surgiu, no Brasil, através da promulgação da Lei Federal n.º 6.803/1980 (BRASIL, 1980). Barrionuevo *et al.* (2014) destacam que, segundo a Resolução nº 237 de 1997 do CONAMA (BRASIL, 1997), licenciamento ambiental é um procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades que utilizam recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

O EIA é uma avaliação preventiva e de monitoramento dos danos ambientais. A evolução da legislação ambiental brasileira continua com a Lei nº 6.938/1981 (BRASIL, 1981) que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), seus fins e mecanismos de formulação e aplicação (JERONYMO *et al.*, 2012).

Valinhas (2010) elaborou um fluxograma (Figura 3) no qual apresenta a Gestão Ambiental Pública, demonstrando as responsabilidades do Poder Público (União, Estados e Municípios) estipuladas pela Constituição Federal, tendo como foco o impacto ambiental das atividades e suas conexões com a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) e a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

Figura 3. Fluxograma da Gestão Ambiental Pública



Fonte: Valinhas (2010)

Muitos dos EIAs apenas resultam em uma lista de espécies encontradas no entorno do empreendimento, mas, isso, efetivamente não responde o que deve ser perguntado: ‘Quais os impactos do empreendimento?’ ‘É possível mitigá-los?’ ‘Como?’ (GONÇALVES, 2012, p. 217 *apud* LINS *et al.*, 2015, p. 156).

Nessa ótica, o legislador ordinário, ao introduzir no ordenamento jurídico brasileiro a Política Nacional de Meio Ambiente por meio da Lei 6.938/1981 (BRASIL, 1981), expressamente definiu, em seu art. 9º, IV, o licenciamento ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (VARGAS, 2012).

Art. 9º - São instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente:

I - o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;

II - o zoneamento ambiental;

III - a avaliação de impactos ambientais;

IV - o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras; (MEDAUAR, 2002, p. 566 *apud* VARGAS, 2012, p. 210)

A Resolução CONAMA n.º 237/1997 (BRASIL, 1997), em seu art. 1º, define Licenciamento Ambiental como:

Art. 1º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - Licenciamento Ambiental: procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso. (FINK *et al.*, 2004, p. 198 *apud* VARGAS, 2012, p. 211)

O Licenciamento Ambiental é um processo complexo, composto por oito etapas dispostas no Art. 10º da Resolução CONAMA n.º 237/2017 (BRASIL, 1997):

Art. 10 - O procedimento de licenciamento ambiental obedecerá às seguintes etapas:

I - Definição pelo órgão ambiental competente, com a participação do empreendedor, dos documentos, projetos e estudos ambientais, necessários ao início do processo de licenciamento correspondente à licença a ser requerida;

II - Requerimento da licença ambiental pelo empreendedor, acompanhado dos documentos, projetos e estudos ambientais pertinentes, dando-se a devida publicidade;

III - Análise pelo órgão ambiental competente, integrante do SISNAMA, dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados e a realização de vistorias técnicas, quando necessárias;

IV - Solicitação de esclarecimentos e complementações pelo órgão ambiental competente, integrante do SISNAMA, uma única vez, em decorrência da análise dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados, quando couber, podendo haver a reiteração da mesma solicitação caso os esclarecimentos e complementações não tenham sido satisfatórios;

V - Audiência pública, quando couber, de acordo com a regulamentação pertinente;

VI - Solicitação de esclarecimentos e complementações pelo órgão ambiental competente, decorrentes de audiências públicas, quando couber, podendo haver reiteração da solicitação quando os esclarecimentos e complementações não tenham sido satisfatórios;

VII - Emissão de parecer técnico conclusivo e, quando couber, parecer jurídico;

VIII - Deferimento ou indeferimento do pedido de licença, dando-se a devida publicidade. (BRASIL, 1997)

Já a Instrução Normativa n.º 184/2008 do IBAMA (BRASIL, 2008), a qual regulamenta o Licenciamento Ambiental, define 4 etapas para o procedimento, ainda que o órgão se reserve ao direito de acrescentar novas fases, se necessário entender:

I – Instauração do Processo;

II – Licenciamento Prévio (LP), na fase preliminar do planejamento de atividade, contendo requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, instalação e operação, observados os planos municipais, estaduais ou federais de uso do solo;

III – Licenciamento de Instalação (LI), autorizando o início da implantação, de acordo com as especificações constantes do Projeto Executivo aprovado, e;

IV – Licenciamento de Operação (LO), autorizando, após as verificações necessárias, o início da atividade licenciada e o funcionamento de seus equipamentos de controle de poluição, de acordo com o previsto nas Licenças Prévia e de Instalação.

A Resolução CONAMA n.º 237/1997 (BRASIL, 1997) determina que todos os empreendimentos de infraestrutura física de transporte e mais a atividade de transporte de cargas perigosas estão sujeitos ao licenciamento ambiental (BRASIL, 2002).

No setor rodoviário, Lins *et al.* (2015) afirmam que o licenciamento ambiental é o instrumento jurídico no qual o órgão ambiental competente pode definir o traçado menos impactante, discutindo as alternativas locais do empreendimento, e exigir as medidas adequadas para mitigação dos impactos ambientais da instalação de estradas.

A fim de melhorar e aumentar a integração entre a ciência e o licenciamento ambiental no Brasil, Teixeira *et al.* (2016) destacam três fatores para uma efetiva mitigação da mortalidade e isolamento da fauna: o aperfeiçoamento da pesquisa, o aperfeiçoamento das avaliações de impactos ambientais e uma integração de ambos.

Teixeira *et al.* (2016) discorrem sobre os impactos das rodovias na vida animal e apontam duras críticas de outros autores ao atual sistema de licenciamento ambiental no país. Para estes autores, os objetivos não são claros e há baixa qualidade metodológica. Por outro lado, também afirmam que as empresas e setores do governo têm tecido críticas ao atual modelo, imputando-lhe a culpa por atrasos no início de obras. Com isso, a população interessada tem enxergado o licenciamento ambiental como um entrave ao desenvolvimento local.

A Política Ambiental do Ministério dos Transportes (BRASIL, 2002) determina como diretriz que a variável ambiental seja inserida nas fases de planejamento, projeto, implantação e gestão da infraestrutura e dos serviços de transportes. À esta área temática são traçados como objetivos:

- Assegurar a viabilidade ambiental dos planos e projetos de transportes e a adequada consideração ambiental nas fases de implantação e gestão da infraestrutura e dos serviços de transportes;
- Assegurar, na fase de planejamento modal, a consideração na variável ambiental, a avaliação de alternativas e na análise de investimentos das propostas, de forma que resulte na previsão e realização dos necessários estudos ambientais, assim como na respectiva alocação de recursos financeiros e humanos;
- Tornar a aplicação dos procedimentos de avaliação de impactos ambientais uma rotina entre as atividades do Ministério dos Transportes, suas Agências e órgãos vinculados, e;
- Facilitar os processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos e serviços do Ministério dos Transportes.

Para atingir tais objetivos, BRASIL (2002) determina que as seguintes ações devem ser colocadas em prática pelo Ministério, suas fundações, agências e autarquias:

- Introduzir a avaliação de impactos ambientais na metodologia de planejamento e elaboração de projetos de vias, portos e terminais de transporte;
- Elaborar instruções para o licenciamento ambiental;
- Promover a interação da equipe de análise ambiental com as equipes de análise econômico-social e de desenvolvimento de projetos, bem como de todas essas com a equipe do órgão responsável pelo licenciamento ambiental, e;
- Elaborar e executar uma Agenda Ambiental para curto, médio e longo prazos;

Um dos instrumentos apontados na Política Ambiental do Ministério dos Transportes (BRASIL, 2002) para implementação das ações acima descritas é a elaboração e aplicação de uma metodologia de avaliação de impactos ambientais.

Comparando-se as críticas dos diversos autores que abordam o atual procedimento de licenciamento ambiental rodoviário (TEIXEIRA *et al.*, 2016) com os objetivos e ações definidas na Política Ambiental do Ministério dos Transportes (BRASIL, 2002), infere-se que alguns destes objetivos possam não estar sendo atingidos. Possivelmente, isto decorre da não execução de algumas das ações definidas no plano apresentado ou da insuficiência de ações propostas, como a aplicação de métodos holísticos para o estudo dos impactos ambientais e econômicos.

4 MÉTODO

4.1 Abordagem da pesquisa

Esta pesquisa científica se enquadra na área do conhecimento das engenharias, por investigar os impactos das atividades de construção, restauração, conservação e manutenção rodoviária. Sua abordagem epistemológica é multidisciplinar, por transitar na economia (viabilidade econômica), química e biologia (impactos ambientais e à saúde humana) (GIL, 2010).

A natureza desta pesquisa é mista, isto é, pode ser classificada como básica e aplicada, uma vez que o intuito é desenvolver uma ferramenta para uso no âmbito do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), mas também de obter resultados para um estudo de caso (MARCONI e LAKATOS, 2003).

O objetivo do estudo é descritivo, já que os fatos abordados serão observados, sem interferências, buscando relações entre as variáveis (GIL, 2010).

A abordagem da pesquisa é quantitativa, pois se utilizará técnicas estatísticas a fim de transformar em números os resultados obtidos da observação dos fatos. O procedimento de levantamento de coleta de dados é o estudo de caso, por envolver a coleta de dados de determinada amostra e testar sua validade em uma situação específica (MARCONI e LAKATOS, 2013).

A técnica de investigação é estatística, por envolver a prospecção de uma correlação entre variáveis obtidas de uma amostra (GIL, 2010).

4.2 SICRO

A obtenção de parâmetros de custos para referenciar a elaboração dos orçamentos de projetos e a licitação de obras rodoviárias sempre constituiu uma preocupação do extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (BRASIL, 2017b).

Para criar uma referência de custos para as obras contratadas, o DNER desenvolveu o SICRO (Sistema de Custos Referenciais de Obras), com composições de serviços contendo materiais, mão de obra e equipamentos com índices de utilização aferidos ao longo de décadas de experiência na atuação de execução e fiscalização de obras rodoviárias.

O SICRO é divulgado periodicamente, contendo preços referenciais para todos os Estados da Federação. É obrigatório o seu uso pelo DNIT na contratação de obras rodoviárias, ferroviárias e aquaviárias, representando essencial ferramenta de projeto, planejamento, fiscalização e medição de serviços.

Como autarquia que veio a substituir o DNER, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) iniciou a elaboração de um novo sistema referencial de custos que viesse a substituir o SICRO 2, a fim de atualizar produtividades e incluir itens omissos ou não esclarecidos daquele sistema.

De acordo com BRASIL (2017b), após um Termo de Cooperação firmado com o Centro de Excelência em Engenharia de Transportes – CENTRAN, Departamento de Engenharia de Construção do Exército Brasileiro - DEC/EB, cujo produto seria o SICRO 3, que não fora finalizado, uma nova parceria com órgãos de controle e a contratação da Fundação Getúlio Vargas, deu origem, em abril de 2017, ao SICRO.

A “regressão” ao nome SICRO, e não a intuitiva continuação para SICRO 3, uma vez que veio a substituir o SICRO 2, se deve à intenção de consolidação de um sistema único, tal como ocorre com o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), que, apesar das atualizações periódicas, mantém o mesmo nome.

O SICRO contém mais de seis mil composições unitárias de serviços rodoviários, ferroviários e aquaviários. Juntamente às composições, foi publicado o Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes, subdividido em 12 volumes, abrangendo o conhecimento e a experiência acumulados desde a edição das primeiras tabelas referenciais de preços, datadas da década de 1970 (BRASIL, 2017a).

Os índices de utilização de equipamentos, de consumo de insumos e de produção horária foram revisados e validados pelas entidades, universidades, centros e fundações de pesquisas parceiras no desenvolvimento do SICRO. Da mesma forma, o consumo de combustível, potência e demais especificações de equipamentos foram atualizados, estando contidos no Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes – Volume 3 – Equipamentos do Manual do SICRO (BRASIL, 2017b).

Os arquivos disponibilizados pelo DNIT em seu sítio eletrônico, contendo as composições unitárias de maneira analítica, estão no formato *Portable Document Format* (PDF). Para utilização no Microsoft Excel®, foi realizada a exportação do banco de dados do SICRO contido no *software* Compore 90®, utilizado para orçamentação de obras, para o formato *Comma-Separated Values* (CSV), compatível com o Microsoft Excel®.

A Figura 4 apresenta o layout de uma composição unitária de custos, discriminando seus equipamentos, mão de obra, insumos, composições auxiliares, tempos fixos (carga e descarga de materiais) e transportes, com seus respectivos índices de utilização e custos. Cada composição possui a produtividade da equipe aferida na mesma unidade de medição do serviço.

Figura 4. Composição de Custo Unitário de Referência do SICRO

DNIT

Figura 4: Composição de Custo Unitário de Referência do SICRO

CGCIT

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Mato Grosso do Sul		Produção da equipe		0,24000 m	
Custo Unitário de Referência		Setembro/2017				Valores em reais (R\$)	
0606475	Bueiro metálico com chapas múltiplas MP 152 galvanizadas - passagem inferior - vão = 5,65 m e altura = 5,25 m - aterro rodoviário						
mínimo = 0,9 m e máximo = 9 m - brita produzida							
	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total	
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo		
E9686	Caminhão carroceria com guindauto com capacidade de 30 t.m - 136 kW	1,00000	1,00	0,00	139,8668	48,3871	139,8668
E9740	Quadro tubular contraventado para andaime de 1 x 1 x 1 m e capacidade de 2 t	10,00000	1,00	0,00	0,1103	0,0863	1,1030
Custo horário total de equipamentos						140,9698	
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9830	Montador	2,00000	h	27,4024		54,8048	
P9824	Servente	12,00000	h	16,6110		199,3320	
Custo horário total de mão de obra						254,1368	
Custo horário total de execução						395,1066	
Custo unitário de execução						1.646,2775	
Custo do FIC						-	
Custo do FIT						-	
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M2853	Chapa múltipla MP 152 galvanizada para passagem inferior - E = 3,9 mm, vão = 5,65 m e H = 5,25 m	1,00000	m	12.211,3230		12.211,3230	
Custo unitário total de material						12.211,3230	
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
2003849	Lastro de brita produzida	2,67750	m³	66,9800		179,3390	
Custo total de atividades auxiliares						179,3390	
Subtotal						14.036,9395	
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
M2853	Chapa múltipla MP 152 galvanizada para passagem inferior - E = 3,9 mm, vão = 5,65 m e H = 5,25 m - Guindauto 30 t.m	5915373	0,81900	t	8,7600		7,1744
Custo unitário total de tempo fixo						7,1744	
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
				LN	RP	P	
M2853	Chapa múltipla MP 152 galvanizada para passagem inferior - E = 3,9 mm, vão = 5,65 m e H = 5,25 m - Guindauto 30 t.m	0,81900	tkm	5914584	5914599	5914614	
Custo unitário total de transporte							
Custo unitário direto total							14.044,11

Fonte: BRASIL (2017c)

Neste estudo, por se tratar de uma ACV “Portão à Portão”, os únicos dados contidos dentro das composições relevantes para a ferramenta desenvolvida são os índices de utilização de equipamentos e de composições auxiliares.

Já para a determinação dos custos ambientais, será considerado, também, os custos unitários de todos os serviços que compõem esta parcela do orçamento estimado. Para as demais composições que formam o custo estimado final das obras e que não estejam ligadas à recuperação ambiental, os custos serão desprezados por não serem dados relevantes ao estudo ou variáveis que entrem na verificação da correlação entre as saídas da ACV e o custo daquelas condicionantes.

4.3 Análise do Ciclo de Vida (ACV)

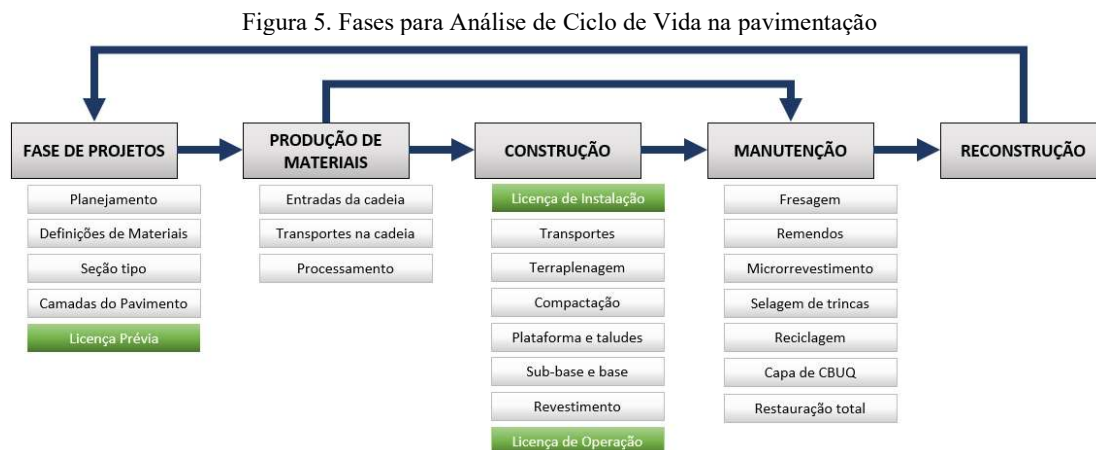
Devido à esta complexidade e à dificuldade em se obter dados para todos os elementos envolvidos na produção de um produto ou execução de um serviço, a análise do ciclo de vida (ACV) do presente estudo foi realizada em seções de seus ciclos, mais precisamente na fase de execução da obra.

Comumente, classifica-se tais variáveis da ACV da seguinte forma:

- **Berço ao Túmulo:** análise a partir da extração, passando pela fabricação, utilização e chegando à disposição final;
- **Berço ao Portão:** análise a partir da extração até o “portão” da fábrica ou obra;
- **Berço ao Berço:** semelhante ao “Berço ao Túmulo”, porém, abrangendo algum processo de reciclagem ou de reaproveitamento, e;
- **Portão ao Portão:** análise parcial, focando apenas partes de um processo em uma cadeia produtiva.

O presente estudo, portanto, constitui-se de uma ACV “Portão ao Portão” que, futuramente, pode ser combinada à outras ACVs do mesmo tipo e formar uma ACV “Berço ao Túmulo” ou, mais apropriadamente, uma ACV “Berço ao Berço”, uma vez que a etapa final da vida útil de um pavimento caracteriza-se, geralmente, pela sua reconstrução (Figura 5).

Para que isto seja possível, deverão ser adicionadas a este estudo as fases referentes à extração, processamento ou produção e movimentação dos diversos insumos, bem como a manutenção dos equipamentos utilizados, assunto não abordado devido à inexistência desses dados no Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes – Volume 3 – Equipamentos (BRASIL, 2017b).



Fonte: Adaptado de Horvath (2003)

Os passos desenvolvidos por Gschösser e Wallbaum (2013) nortearam as escolhas que levaram ao desenvolvimento da Análise do Ciclo de Vida (ACV) proposta. São eles:

1. Definição do escopo do estudo de acordo com as metas esperadas;
 - a. Definição dos pavimentos de rodovia a serem analisados (unidade funcional: dimensões físicas, requerimentos de performance);
 - b. Identificação dos processos ocorridos nas fases do ciclo de vida analisadas;

- c. Definição do período de análise, e;
 - d. Definição das estratégias de construção e manutenção;
2. Quantificação de insumos e produtos (energia, materiais, emissões, etc.) para todas as novas construções e manutenção analisadas (análise de inventário de ciclo de vida, LCI – Inventário de Ciclo de Vida);
 3. Ponderação e avaliação de entradas e saídas determinadas de acordo com os indicadores ambientais selecionados (avaliação do impacto do ciclo de vida, LCIA – Análise de Impacto de Ciclo de Vida);
 4. Quantificação de custos para todos os novos processos de construção e manutenção analisados, e;
 5. Discussão e interpretação dos resultados determinados.

O atendimento aos itens 1 e 2 se dão através dos projetos de engenharia aprovados e executados dos segmentos a serem estudados. Não se entrará em pormenores dos detalhes construtivos e soluções adotadas, uma vez que se possui os quantitativos de serviços executados.

Para atendimento ao item 3, tem-se como entradas o consumo de combustíveis pelos equipamentos utilizados na execução dos segmentos estudados, contidos nas composições de custos unitários de cada serviço que compõe a obra. Como saídas, foram escolhidas as emissões atmosféricas de Gases do Efeito Estufa ($\text{CO}_{2\text{eq}}$), Gases Acidificantes ($\text{SO}_{2\text{eq}}$), Gases Eutrofizantes (N_{eq}), Poluição Atmosférica ($\text{MP}_{2,5\text{eq}}$) e Potencial de Formação de Smog ($\text{O}_{3\text{eq}}$).

Apenas o item 4 não será totalmente analisado, já que é fundamental apenas em uma Análise de Custo de Ciclo de Vida (ACCV), que não é o caso. Apenas os serviços ambientais terão seus custos apurados.

O item 5 é atendido pelos capítulos de “5. Resultados e Discussões” e “6. Conclusões” deste trabalho.

4.4 Cálculo das Emissões – Ferramenta “ACV-SICRO”

4.4.1 Fatores de Emissões

Uma ferramenta de imensa importância na quantificação de emissões e consumo energético é a Ferramenta de Estimativa de Gases de Efeito Estufa para Fontes Intersetoriais

(FGV e WRI, 2018), ou simplesmente “Ferramenta *GHG Protocol*”, baseada nas metodologias desenvolvidas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), US-EPA, DEFRA, entre outras.

Considerando o fator de regionalidade de combustíveis, equipamentos e legislações, alguns dados foram modificados pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e *World Resources Institute* (WRI) a fim de adaptá-las à realidade brasileira. Para tanto, foi utilizada na ferramenta da *GHG Protocol* dados do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2017).

Para a ferramenta desenvolvida no presente trabalho, a qual denominou-se “ACV-SICRO”, foram apropriados os consumos de combustíveis para motores à diesel e à gasolina, para fontes móveis ou estacionárias, a depender do tipo do equipamento. Esta classificação foi realizada analiticamente em cada máquina constante no SICRO.

Com base no consumo de combustível de cada equipamento (litros/kWh), contido no Volume 3 do Manual do SICRO (BRASIL, 2017b), foi elaborado um banco de dados com os consumos horários de cada máquina.

Na formação desta base, aplica-se o fator de emissão (kg/l ou kg/kWh) de cada poluente para cada tipo de motor e combustível, utilizando dados constantes na ferramenta *GHG Protocol*, baseada no Boletim Energético Nacional - BEN (BRASIL, 2017d), em dados médios de emissões aferidos pelo Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE (BRASIL, 2009) ou, no caso específico do dióxido de enxofre (SO₂), para o qual não se encontrou dados de fontes oficiais, em Yasar *et al.* (2013). Tem-se, assim, dentro do banco, as emissões unitárias (kg/h) de cada emissão para cada um dos 364 equipamentos do SICRO. A Tabela 2 apresenta os fatores de emissão de motores à gasolina e à diesel para cada poluente considerado na ACV-SICRO.

Tabela 2. Fatores de emissões para motores à gasolina e à diesel

Poluente	Un.	Gasolina	Diesel	Fonte
CO ₂	kg/l	2,212	2,603	<i>GHG Protocol</i>
CH ₄	kg/l	$8,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-4}$	<i>GHG Protocol</i>
N ₂ O	kg/l	$2,6 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-4}$	<i>GHG Protocol</i>
CO	kg/kWh	$3,0 \times 10^{-4}$	$8,3 \times 10^{-4}$	PROCONVE
NMHC	kg/kWh	$3,6 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-4}$	PROCONVE
NO _x	kg/kWh	$2,0 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-3}$	PROCONVE
MP _{2,5}	kg/kWh	$1,1 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-5}$	PROCONVE
RHCO	kg/kWh	$1,7 \times 10^{-6}$	0	PROCONVE
SO ₂	kg/l	$2,5 \times 10^{-8}$	$1,23 \times 10^{-7}$	Yasar <i>et al.</i>

Fonte: IPCC (2006); BRASIL (2009); Yasar *et al.* (2013); BRASIL (2017d); FGV e WRI (2018)

4.4.1.1 Emissões de Gases do Efeito Estufa

Com os fatores de emissões relativos ao dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), é possível calcular as emissões equivalentes de dióxido de carbono (CO_{2eq}) através da aplicação da Equação (1).

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = 1 \times \text{CO}_2 + 25 \times \text{CH}_4 + 298 \times \text{N}_2\text{O} \quad (\text{IPCC, 2006}) \quad (1)$$

4.4.1.2 Emissões de Gases Acidificantes

Os gases acidificantes são responsáveis pela redução do pH do ar atmosférico e, conseqüentemente, pela ocorrência de chuvas ácidas e pela acidificação de solos agricultáveis, apresentando-se, portanto, não apenas como um problema ambiental, mas também social e econômico.

O IPCC (2006) define a emissão equivalente de dióxido de enxofre (SO_{2eq}) através da Equação (2).

$$\text{SO}_{2\text{eq}} = 1 \times \text{SO}_x + 0,70 \times \text{NO}_x + 1,88 \times \text{NH}_3 \quad (\text{IPCC, 2006}) \quad (2)$$

Por não haver limite de emissão estipulado no Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), atualmente não há dados nacionais das emissões de SO_x e NH₃ para veículos automotores, uma vez que não são objetos de aferição.

No entanto, há publicações internacionais que aferiram as emissões de dióxido de enxofre (SO₂) em diferentes motores, incluindo aqueles movidos à diesel e à gasolina. Yasar *et al.* (2013), por exemplo, fizeram suas aferições em veículos paquistaneses. Por também se tratar de um país em desenvolvimento, com parâmetros, limites e controles de emissões aquém do exigido em países desenvolvidos, tal como ocorre no Brasil, foram admitidos os dados obtidos pelos autores para veículos pesados (diesel) e leves (gasolina), conforme fora apresentado na Tabela 2, como próximos à realidade brasileira.

4.4.1.3 Emissões de Gases Eutrofizantes

A eutrofização é a adição de nutrientes minerais no solo ou na água, estimulando o crescimento de algas e plantas de maneira indesejada (MIRANDA, 2017).

De maneira semelhante, ao ocorrido no cálculo das emissões de gases acidificantes, para as emissões equivalentes de gases eutrofizantes encontrou-se uma limitação de disponibilidade de dados decorrentes das políticas de controle de poluição impostas pelos órgãos competentes brasileiros. Por este motivo, os resultados obtidos através da Equação (3) não consideram a parcela de emissão de amônia (NH_3).

$$N_{eq} = 0,12 \times \text{NH}_3 + 0,04 \times \text{NO}_x \quad (\text{IPCC, 2006}) \quad (3)$$

4.4.1.4 Emissões de Material Particulado (Poluição Atmosférica)

A poluição atmosférica é responsável pelo aumento de doenças respiratórias, demonstrando-se um problema de saúde pública em diversos países, especialmente aqueles em desenvolvimento, como o Brasil.

É representada pela Equação (4), onde se faz as mesmas ressalvas relatadas para as emissões de gases acidificantes: não há aferição ou base de dados de emissões de amônia (NH_3) por parte dos órgãos fiscalizadores no Brasil.

$$\text{MP}_{2,5eq} = 1 \times \text{MP}_{2,5} + 0,07 \times \text{NH}_3 + 0,01 \times \text{NO}_x \quad (\text{IPCC, 2006}) \quad (4)$$

4.4.1.5 Potencial de Formação de *Smog*

De acordo com Miranda (2017), *smog* é o acúmulo da poluição do ar nas cidades, que forma uma grande neblina de fumaça no ambiente atmosférico próximo à superfície, podendo causar danos à saúde humana e danos à vegetação.

Também se encontrou uma limitação de dados aferidos pelos órgãos fiscalizadores para o cálculo integral da Equação (5), pois não há base de dados das emissões isoladas de dióxido de nitrogênio (NO_2), nem de compostos orgânicos voláteis (COV).

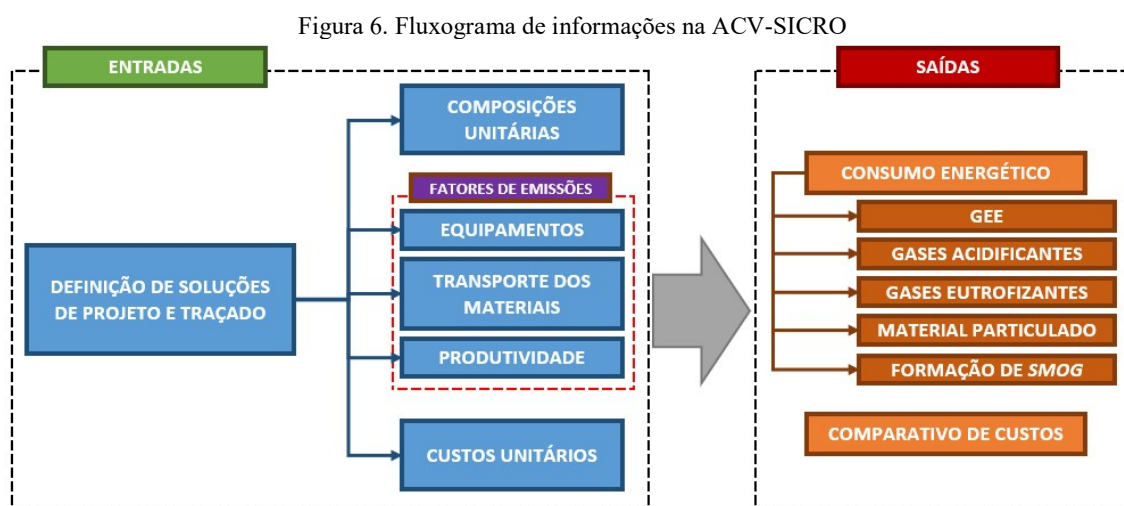
$$O_{3eq} = 24,8 \times NO_x + 1,68 \times NO_2 + 0,01 \times CH_4 + 3,6 \times COV \quad (IPCC, 2006) \quad (5)$$

4.4.2 Composições Unitárias do SICRO

Foram utilizadas as composições de preços unitários do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO), desenvolvido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) em conjunto com a Fundação Getúlio Vargas (FGV), a qual validou as informações presentes nas mais de 6.000 composições que integram a nova versão do sistema, implantado em janeiro de 2017 e que passou a ser obrigatório na elaboração de projetos e orçamentos de infraestrutura de transportes, em âmbito federal, a partir de janeiro de 2018.

Devido à quantidade de insumos e composições de serviços presentes no SICRO, aliado à complexidade e dificuldade em se obter informações acerca da ACV dos materiais utilizados, a ACV aqui proposta se aterá estritamente à execução dos serviços. Isto é, não serão verificados, neste estudo, as fases de utilização e de fim de vida do empreendimento rodoviário. Trata-se, portanto, de uma ACV “Portão à Portão”.

Na Figura 6, apresenta-se o fluxograma de informações no desenvolvimento da ACV-SICRO, a entrada de dados pelo usuário e a saída de resultados na ferramenta.



Fonte: Autor (2018)

A seguir, através da Figura 7 e Figura 8, apresenta-se um exemplo dos procedimentos realizados para a construção da ACV-SICRO, baseada nas Composições de Preços Unitários (CPUs) do SICRO, para obtenção dos indicadores de impactos ambientais por meio da ACV.

Figura 7. Composição de Preço Unitário do SICRO para o serviço de “Base de solo estabilizado granulometricamente sem mistura com material de jazida”

DNIT				CGCIT			
SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO				Mato Grosso do Sul			
Custo Unitário de Referência				Setembro/2017			
4011219 Base de solo estabilizado granulometricamente sem mistura com material de jazida				FIC 0,02866			
				Produção da equipe 168,20 m³			
				Valores em reais (R\$)			
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização	Custo Horário		Custo	
			Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	Horário Total
E9571 Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW		1,00000	0,93	0,07	172,9501	50,1377	164,3532
E9518 Grade de 24 discos rebocável de 24"		1,00000	0,49	0,51	2,8588	1,9872	2,4143
E9524 Motorizadora - 93 kW		1,00000	0,77	0,23	178,0303	78,3330	165,3299
E9762 Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW		1,00000	0,96	0,04	142,9488	66,8427	139,9046
E9685 Rolo compactador pe de camêro vibratório autopropelido de 11,6 t - 82 kW		1,00000	1,00	0,00	121,4489	55,7485	121,4489
E9577 Trator agrícola - 77 kW		1,00000	0,49	0,51	83,5047	34,2532	58,3864
					Custo horário total de equipamentos		641,8373
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824 Servente		1,00000	h	16,6110		16,6110	
				Custo horário total de mão de obra		16,6110	
				Custo horário total de execução		658,4483	
				Custo unitário de execução		3,9147	
				Custo do FIC		0,1122	
				Custo do FIT		-	
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
				Custo unitário total de material		-	
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
4816096 Escavação e carga de material de jazida com escavadeira hidráulica		1,10000	m³	0,8400		0,9240	
				Custo total de atividades auxiliares		0,9240	
				Subtotal		4,9599	
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário
4816096 Escavação e carga de material de jazida com escavadeira hidráulica - Caminhão basculante 10 m³		5914354	2,06250	t	1,5100		3,1144
					Custo unitário total de tempo fixo		3,1144
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	LN	RP	P	Custo Unitário
4816096 Escavação e carga de material de jazida com escavadeira hidráulica - Caminhão basculante 10 m³		2,06250	tkm	5914359	5914374	5914389	
					Custo unitário total de transporte		
					Custo unitário direto total		8,07

Fonte: BRASIL (2017c)

Figura 8. Especificações do equipamento no Volume 3 - Equipamentos do Manual do SICRO

E9762 - Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW

Finalidade: Acabamento e selamento do asfalto e compactação de solos em reforços de subleito, sub-bases, bases e revestimentos betuminosos

Dados:

- Largura (m): 2,30
- Comprimento (m): 5,48
- Altura (m): 2,99
- Peso (kg): 10.800,00
- Vida Útil (anos): 6,00
- HTA (h/ano): 2.000,00
- Potência (kW): 85,00
- Valor Residual (%): 20,00
- Coeficiente de Manutenção (K): 0,80
- Coeficiente de Combustível (l/kWh): 0,18
- Tipo de Combustível: Diesel
- Seguro (%): -
- IPVA (%): -
- Operação:
 - 1 Operador de equipamento pesado

Referência: CP 274 - Dynapac

Fonte: BRASIL (2017b)

Apresenta-se no Apêndice A, como exemplo, o procedimento de cálculo das emissões dos gases CO₂, CH₄, N₂O, CO, NMHC, NO_x, MP_{2,5}, RCHO e SO₂ para o equipamento “Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t – 85 kW” e suas respectivas emissões unitárias para o serviço de “Base de solo estabilizado granulometricamente sem mistura com material de

jazida” utilizando as informações constantes na Tabela 2, Figura 7 e Figura 8 nas Equações (1), (2), (3), (4) e (5).

Os resultados das emissões equivalentes para o referido equipamento, dentro da composição deste serviço são apresentados a seguir:

- $\text{CO}_{2\text{eq}} = 0,231 \text{ kg/m}^3$
- $\text{SO}_{2\text{eq}} = 6,113 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$
- $\text{N}_{\text{eq}} = 3,493 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3$
- $\text{MP}_{2,5\text{eq}} = 1,746 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3$
- $\text{O}_{3\text{eq}} = 2,166 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3$

Este procedimento foi realizado, através de planilha eletrônica, para todos os demais equipamentos desta composição, além de ter sido replicado em mais de 6.000 composições unitárias que formam o SICRO.

A composição do exemplo demonstrado, também possui uma composição auxiliar, para a qual também foram calculadas as emissões e constam nos cálculos de emissões unitárias do serviço principal.

4.5 Aplicação da ferramenta “ACV-SICRO”

Para aplicação da ACV-SICRO, foram utilizados como estudos de casos apenas obras de implantação e pavimentação ou duplicação de rodovias, dada sua complexidade, porte e obrigatoriedade de licenciamento.

A escolha de 2015 como ano final das obras listadas está atrelada à data mais recente em que há obras licitadas já concluídas, ou seja, não há a possibilidade de aditivos de serviços necessários à sua realização. O ano inicial foi escolhido a fim de se limitar um horizonte de análise de 10 (dez) anos.

Também foi parâmetro de escolha a conclusão das obras. Isto é, não foram selecionadas obras que ainda não constam como finalizadas. Isto porque a conclusão das obras indica a execução das condicionantes ambientais.

Foram selecionadas as seguintes obras executadas e concluídas:

- BR-359/MS: pavimentação de pista simples entre os km 149,60 e 213,40;
- BR-146/MG: pavimentação de pista simples entre os km 375,60 e 427,50;

- BR-163/PA: pavimentação de pista simples entre os km 0,00 e 102,30;
- BR-163/PA: pavimentação de pista simples entre os km 173,20 e 240,50;
- BR-163/PA: pavimentação de pista simples entre os km 419,90 e 537,04;
- BR-242/TO: pavimentação de pista simples entre os km 129,30 e 189,30;
- BR-432/RR: pavimentação de pista simples entre os km 119,20 e 165,44;
- BR-429/RO: pavimentação de pista simples entre os km 259,90 e 341,90;
- BR-429/RO: pavimentação de pista simples entre os km 341,90 e 382,20;
- BR-101/AL: duplicação entre os km 212,32 e 248,50;
- BR-101/RS: duplicação entre os km 25,72 e 52,86;
- BR-060/GO: duplicação entre os km 50,40 e 94,20;

Encontrando-se, em alguma das análises, um fator de correlação relevante, será obtida uma equação para a linha de tendência do gráfico de dispersão de pontos da relação entre as variáveis. Assim, será possível verificar a validade dela através da aplicação do estudo de caso da BR-359/MS – Lote 1, implantação de rodovia em pista simples em pavimento flexível com 55,3 km de extensão total, executada em 2007 em convênio do Governo de Mato Grosso do Sul com o DNIT.

O número atribuído ao lote nas rodovias com mais de um segmento estudado não necessariamente representa o lote levado à licitação. Trata-se apenas de uma forma de diferenciar os trechos dentro do estudo.

O ano de execução, data do projeto e a delegação de execução, isto é, se foi uma execução direta do DNIT ou em convênio com outra esfera federal, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Data de elaboração dos projetos, de execução das obras e delegação para execução (continua)

#	Obra	Data de Elaboração do Projeto	Ano Início de Execução da Obra	Delegação
01	BR-359/MS – Lote 2	Setembro/2007	2007	Estado de MS
02	BR-146/MG	Julho/2009	2010	DNIT
03	BR-163/PA – Lote 1	Julho/2009	2010	DNIT
04	BR-163/PA – Lote 2	Setembro/2007	2009	DNIT
05	BR-163/PA – Lote 3	Julho/2009	2010	DNIT
06	BR-242/TO	Dezembro/1998	2011	DNIT

Tabela 3. Data de elaboração dos projetos, de execução das obras e delegação para execução (conclusão)

07	BR-432/RR	Janeiro/2010	2011	DNIT
08	BR-429/RO – Lote 1	Novembro/2007	2010	DNIT
09	BR-429/RO – Lote 2	Novembro/2007	2010	DNIT
10	BR-101/AL	Julho/2009	2010	DNIT
11	BR-101/RS	Março/2008	2009	DNIT
12	BR-060/GO	Março/1998	2006	DNIT

Fonte: Autor (2008)

A extensão de cada segmento, o tipo de intervenção executada e o pavimento aplicado em cada trecho de obra são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Extensão, intervenção e pavimento da amostra de obras estudadas

#	Obra	Extensão (km)	Intervenção	Pavimento
01	BR-359/MS – Lote 2	63,80	Pavimentação de Pista Simples	Flexível
02	BR-146/MG	51,90	Pavimentação de Pista Simples	Flexível
03	BR-163/PA – Lote 1	102,30	Pavimentação de Pista Simples	Flexível
04	BR-163/PA – Lote 2	67,30	Pavimentação de Pista Simples	Flexível
05	BR-163/PA – Lote 3	117,14	Pavimentação de Pista Simples	Flexível
06	BR-242/TO	60,00	Pavimentação de Pista Simples	Flexível
07	BR-432/RR	46,24	Pavimentação de Pista Simples	Flexível
08	BR-429/RO – Lote 1	82,00	Pavimentação de Pista Simples	Flexível
09	BR-429/RO – Lote 2	40,30	Pavimentação de Pista Simples	Flexível
10	BR-101/AL	36,18	Duplicação	Rígido
11	BR-101/RS	27,14	Duplicação	Flexível
12	BR-060/GO	43,80	Duplicação	Flexível

Fonte: Autor (2018)

A Tabela 5 apresenta a classificação dos segmentos quanto ao relevo, bioma ao qual se insere e o uso da superfície, se urbana ou rural. Os dados referentes à topografia dos trechos são provenientes da classificação de segmentos homogêneos do Sistema Integrado de Operações Rodoviárias (SIOR) do DNIT (BRASIL, 2018a) e foram tratados para serem apresentados em forma de percentagens.

Tabela 5. Bioma, relevo e uso da superfície da amostra de segmentos estudados

#	Obra	Bioma	Relevo (%)			Ocupação (%)	
			Plano	Ondulado	Montanhoso	Urbano	Rural
01	BR-359/MS – Lote 2	Cerrado	67,2	32,8	0,0	0,0	100
02	BR-146/MG	Cerrado	44,9	32,7	22,4	14,3	85,7
03	BR-163/PA – Lote 1	Amazônia	64,6	31,4	4,0	0,0	100
04	BR-163/PA – Lote 2	Amazônia	56,3	43,7	0,0	0,0	100
05	BR-163/PA – Lote 3	Amazônia	30,4	68,7	0,9	0,0	100
06	BR-242/TO	Cerrado	75,4	22,8	1,8	5,3	94,7
07	BR-432/RR	Amazônia	90,9	9,1	0,0	40,9	59,1
08	BR-429/RO – Lote 1	Amazônia	78,8	21,2	0,0	7,5	92,5
09	BR-429/RO – Lote 2	Amazônia	75,0	25,0	0,0	2,5	97,5
10	BR-101/AL	Mata Atlântica	46,9	37,5	15,6	0,0	100
11	BR-101/RS	Mata Atlântica	79,2	20,8	0,0	25,0	75,0
12	BR-060/GO	Cerrado	51,2	34,1	14,6	26,8	73,2

Fonte: Autor (2018)

Portanto, tem-se que as obras em terrenos mais acidentados são a BR-163/PA – Lote 3 (Obra #05), BR-146/MG (Obra #02) e BR-101/AL (Obra #10), para as quais mais da metade do segmento encontra-se em relevo ondulado e/ou montanhoso. Noutro extremo, tem-se as obras da BR-432/RR (Obra #07), BR-101/RS (Obra #11) e BR-429/RO – Lote 1 (Obra #08) como as obras com terreno mais plano.

Em tese, obras em terrenos que apresentam maiores declividades, requerem maiores quantidades de movimento de solo e, conseqüentemente, compactação de aterros. Ambas atividades representam duas naturezas de serviços responsáveis por significantes emissões atmosféricas, devido ao intenso uso de equipamentos pesados, grandes consumidores de combustível.

Quanto à ocupação do solo, as obras que apresentam maior extensão em travessias urbanas são BR-432/RR (Obra #07), BR-060/GO (Obra #12) e BR-101/RS (Obra #11). Há obras exclusivamente compostas por segmentos rurais: BR-359/MS – Lote 2 (Obra #01), BR-163/PA – Lotes 1 ao 3 (Obras #03 a #05) e BR-101/AL (Obra #10).

Obras em zonas de adensamento urbano significam, em geral, maior interferência ao tráfego de longo destino. Isto é, o trânsito da cidade impacta na fluidez dos veículos que se deslocam na rodovia. Este fato leva à necessidade de implantação de interseções, viadutos, faixas adicionais de tráfego, reforço na sinalização vertical e horizontal, segregação de pistas, etc. Por outro lado, por se tratar de área já antropizada, seu impacto ao meio ambiente é minimizado, abrاندando as condicionantes ambientais para licenciamento ambiental.

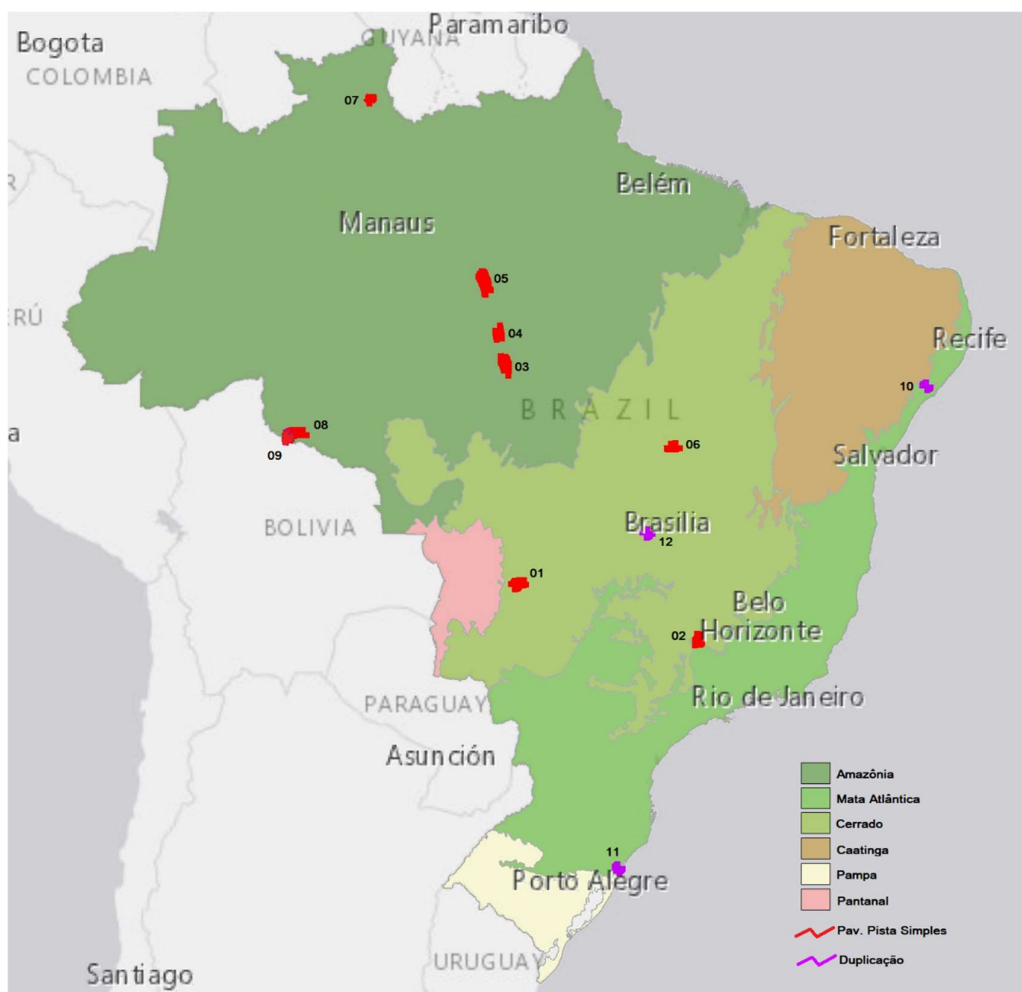
Obras em zonas totalmente rurais requerem, em geral, quantidades maiores de desmatamento e destocamento, além de possibilitarem a execução de caixas de empréstimo ao longo da faixa de domínio da rodovia. Isto tende a levar os órgãos ambientais à exigirem compensações maiores em comparação com as intervenções em áreas urbanizadas.

Os biomas afetados pelas obras também são importantes variáveis qualitativas na fixação de condicionantes ambientais para emissão das licenças ambientais. Biomas mais vulneráveis, que apresentem espécies com risco de extinção ou que venham sofrendo grande degradação ao longo dos anos como a Amazônia, por exemplo, possui critérios mais rígidos de avaliação por conta de uma legislação específica para atividades que venham a ser realizadas nela.

Todos estes fatores mencionados – relevo, ocupação do solo e bioma afetado – implicam, diretamente, na determinação das condicionantes ambientais e, consequentemente, em seus custos.

A Figura 9 apresenta a localização das obras estudadas dentro da divisão de biomas do Brasil. A localização dos trechos e delimitação dos biomas foram obtidos através da ferramenta Visualizador de Informações Geográficas (VGeo), do DNIT (BRASIL, 2018b), e disponível em seu sítio eletrônico (<http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>) para acesso público.

Figura 9. Localização das obras estudadas dentro dos biomas brasileiros



Fonte: Adaptado de BRASIL (2018b)

As quantidades estimadas de serviços de cada uma dessas obras, orçadas no SICRO 2, foram adaptadas para seus serviços equivalentes no novo SICRO e transportadas à ferramenta “ACV-SICRO” para que se obtivesse as respectivas saídas da ACV. Essa transformação foi realizada, inclusive, nos serviços componentes das medidas compensatórias e mitigadoras.

Em todos os casos foram utilizadas as mesmas datas-bases da época da licitação de cada obra, a fim de possibilitar um cenário real, onde as emissões não variam com o tempo (salvo alteração nos índices de utilização de equipamentos nas composições), somente os custos.

Da mesma forma, quanto ao fator regionalidade, foram utilizadas as bases de custos de insumos, equipamentos e mão de obra para cada Estado, pois há diferenças de custos, mas não de emissões. Além disso, há diferenças nas metodologias de definições de compensações ambientais em função do bioma afetado pela obra.

Através de uma matriz contendo os custos de execução das condicionantes ambientais impostas no licenciamento com as saídas das ACVs encontradas no presente estudo, foi verificado, para cada uma das rodovias supracitadas, se há correlação entre os resultados obtidos. As variáveis resultantes são as saídas da ACV de cada uma das obras rodoviárias estudadas (CO_2 , CH_4 , N_2O , CO , NMHC, NO_x , $\text{MP}_{2,5}$, RCHO, SO_2 , Gases do Efeito Estufa - $\text{CO}_{2\text{eq}}$, Gases Acidificantes - $\text{SO}_{2\text{eq}}$, Gases Eutrofizantes - N_{eq} , Poluição Atmosférica - $\text{MP}_{2,5\text{eq}}$ e Potencial de Formação de *Smog* - $\text{O}_{3\text{eq}}$), as quais foram comparadas com os seus respectivos custos de execução das contrapartidas ambientais.

Este estudo foi motivado por inferir-se haver possibilidade na correlação entre as variáveis, devido à alguns serviços inerentes à execução de uma obra rodoviária serem fatores de análise para determinação das condicionantes ambientais no momento da concessão da Licença de Instalação (LI), tais como a área de supressão vegetal, escavação de caixas de empréstimo, etc.

Para esta análise, utilizou-se a Correlação de Pearson que, conforme Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009), o coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida de associação linear entre variáveis, isto é, quando estas guardam semelhanças na distribuição dos seus escores. Prosseguem os autores afirmando, mais precisamente, que elas podem se associar a partir da distribuição das frequências ou pelo compartilhamento de variância.

Para Correa (2003), a verificação da consistência da correlação pode ser dada pelos seguintes intervalos:

- $0 < |r| < 0,3$ – Correlação fraca, possivelmente não há relação entre as variáveis;
- $0,3 \leq |r| < 0,6$ – Correlação fraca, porém, pode existir uma relativa relação entre as variáveis, e;
- $0,6 \leq |r| \leq 1$ – Correlação de média à forte, há relação significativa entre as variáveis, podendo levar a conclusões com poucos conflitos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Adaptação das composições do SICRO 2 para o SICRO

Não foi possível, no momento, aplicar o estudo em uma obra que utilize o SICRO, devido à sua recente implantação. Logo, foi necessária a adaptação das composições do SICRO 2 para aquele novo sistema.

A adaptação de composições do SICRO 2 para o SICRO, em muitos casos, não é direta. Devido à publicação ou revogação de Instruções Normativas, Instruções de Serviços, Manuais e Álbuns, alguns serviços existentes no sistema antigo não estão mais disponíveis. Ao se deparar com este tipo de situação, buscou-se utilizar aquele serviço que mais se aproximava do utilizado. Como exemplo, destaca-se o serviço de “Compactação de Aterros a 95% do Proctor Normal”, substituído, em todas as ocorrências, pelo serviço de “Compactação de Aterros a 100% do Proctor Normal”.

De modo similar, todas as composições novas, isto é, aquelas desenvolvidas particularmente para uma obra e aprovada na Coordenação Geral de Custos de Infraestrutura (CGCIT) do DNIT, que não constavam no SICRO 2 e não constam no SICRO, foram aproximadas para a mais similar possível. Por exemplo, para os serviços de escavação, carga e transporte com distâncias médias de transportes de mais de 3.000 metros, que é a máxima DMT com composição no SICRO, utilizou-se esta em sua substituição, uma vez não ser possível, através das planilhas de orçamento, verificar o dimensionamento do comboio utilizado na composição com DMT maior.

Em situações pontuais, a composição fora descartada por não existir composição similar no novo sistema. Entretanto, cabe destacar que são serviços pouco usuais, de pequena quantidade e de ínfimo impacto estimado nas emissões totais. Por exemplo, o serviço de “Abrigo para Passageiros” ou “Abrigo de Ônibus” não encontra similar no SICRO, porém, sua execução não requer utilização de equipamentos pesados e não demanda muito tempo de utilização de equipamentos leves.

Como utilizou-se apenas as planilhas de orçamento das obras nas adaptações, não foi possível estipular alguns movimentos de transportes que dependem da identificação da origem de materiais e localização dos canteiros.

Portanto, desprezou-se, em todos os casos estudados, as parcelas de transportes locais (canteiro à frente de serviço) de insumos e misturas, bem como do transporte comercial (origem

ao canteiro) de materiais betuminosos, pétreos e todos os demais insumos menos relevantes. Destaca-se que, diferentemente do SICRO 2, não há mais distinção de transporte local e transporte comercial no SICRO. Apesar de provavelmente serem fontes relevantes de emissões, estes movimentos, como mencionado, foram desconsiderados em todas as obras que compõem a amostra, reduzindo distorções na verificação da correlação.

Para que fosse possível considerar tais movimentos de transportes, seria necessário que cada obra tivesse estes serviços destacados na planilha de orçamento e não dentro de suas composições como serviços auxiliares.

Também devido à análise ter se restringido às planilhas de orçamento, não foi possível considerar a instalação de canteiros no estudo. Em todas as obras estudadas o Canteiro de Obras foi apresentado em verba ou unidade, não sendo possível, portanto, estimar as emissões decorrentes da construção das instalações de obra e suas atividades correlatas. Ademais, de modo geral, as composições utilizadas na formação do preço de Instalação de Canteiro utilizam como base de dados o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), uma vez que o SICRO 2 não apresentava composições para este fim. Já o SICRO traz a possibilidade de utilização de contêineres, mas a construção de edificações continua a depender do SINAPI ou de elaboração de composições novas no SICRO.

Estas dificuldades podem não existir em situações onde se tem o projeto completo em mãos, pois será possível verificar todas as origens e locações da obra, composições novas que podem ser incluídas no banco de dados da ACV-SICRO, bem como visualizar onde se encontrarão as frentes de serviços de utilização dos insumos, possibilitando considerar suas distâncias médias de transportes (DMT).

5.2 Análise da ferramenta ACV-SICRO

A ferramenta desenvolvida para determinar as saídas das ACV das obras estudadas baseou-se em dados validados e/ou aferidos por institutos nacional e internacionalmente reconhecidos. Para dados não encontrados nestas bases, buscou-se na literatura científica autores referências no assunto, tentando manter um paralelo aproximado da realidade da qualidade de combustíveis utilizados no Brasil.

Como resultado, gerou-se uma ferramenta intuitiva, de fácil manuseio, de edição simplificada e totalmente aberta à modificações pelo usuário. Assim, permite-se seu

aprimoramento por qualquer profissional da área que detenha intimidade mínima com planilhas eletrônicas e bom conhecimento em Análise de Ciclo de Vida.

Como limitação principal, deparou-se com a necessidade de lançar os momentos de transportes de insumos como composições principais, ou seja, aparecendo na planilha principal e não como composição auxiliar. Isto se deve à dificuldade em alterar-se de maneira automática e simplificada as DMTs dentro de cada composição.

Uma limitação de menor monta nas saídas da ACV tem relação à instalação de canteiros. Caso não se opte pela utilização de contêineres, como prevê a nova metodologia do SICRO, e se adote construções em concreto armado, alvenaria ou madeira, haverá dificuldade em estimar as emissões para estes serviços. As composições dessa natureza, geralmente, são apropriadas do SINAPI e, portanto, exigiria adaptação para a base de dados da ferramenta.

Ainda que no desenvolvimento da ACV-SICRO tenha se encontrado limitações de acesso à informação, principalmente pela inexistência de legislação que obrigue a aferição de níveis de algumas emissões veiculares, como, por exemplo, de amônia (NH_3), os resultados obtidos demonstram a capacidade da ferramenta desenvolvida de identificar os serviços ambientalmente mais impactantes em uma obra que utilize como referência as composições do SICRO.

Ao ter ciência destes resultados, os gestores e projetistas podem otimizar os processos a fim de reduzir emissões ou, caso isso não seja possível, buscar alternativas de compensação dos impactos gerados. Por exemplo, uma composição de serviço do SICRO pode ser simulada considerando a utilização de equipamento diferente, mas que cumpra a mesma tarefa, emitindo menos poluentes e sem prejudicar a produtividade. Ou, ainda que o equipamento apresente emissões unitárias maiores, um possível aumento de produtividade nesta substituição poderá resultar em menores emissões totais. Uma grande vantagem da ACV-SICRO é que estas simulações podem ser realizadas de maneira bastante intuitiva e simples, demandando do usuário conhecimento intermediário em planilhas eletrônicas.

5.3 Custo total e custo ambiental das obras

O custo total e os custos decorrentes das condicionantes ambientais impostas pelos órgãos ambientais para emissão da Licença de Instalação (LI) foram obtidos diretamente das planilhas de orçamentos das obras alvos do estudo. Estes valores podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6. Custo total e custos ambientais à preços iniciais nas obras estudadas

#	Obra	Extensão (km)	Custos à Preços Iniciais		
			Total (R\$)	Ambientais (R\$)	%
01	BR-359/MS – Lote 2	63,80	47.320.326,77	641.641,70	1,36
02	BR-146/MG	51,90	116.271.366,15	2.316.577,84	1,99
03	BR-163/PA – Lote 1	102,30	212.898.043,51	2.883.837,72	6,77
04	BR-163/PA – Lote 2	67,30	85.679.544,19	1.397.472,61	1,93
05	BR-163/PA – Lote 3	117,14	278.860.870,58	3.197.918,53	1,15
06	BR-242/TO	60,00	12.572.810,47	1.422.066,05	11,31
07	BR-432/RR	46,24	83.213.882,55	2.125.224,40	2,55
08	BR-429/RO – Lote 1	82,00	106.651.537,39	4.634.140,47	4,35
09	BR-429/RO – Lote 2	40,30	40.578.649,13	1.484.204,04	3,66
10	BR-101/AL	36,18	234.863.180,19	1.378.868,17	0,59
11	BR-101/RS	27,14	81.734.291,61	420.828,35	0,51
12	BR-060/GO	43,80	24.466.360,48	427.396,54	1,75

Fonte: Autor (2018)

Nota-se que não há uma proporcionalidade entre o custo total de uma rodovia e seus custos ambientais. Isso se deve, entre outros motivos, pelas características de relevo e soluções de engenharia aplicadas. Por exemplo, as obras de duplicação da BR-101/AL afetam uma rodovia de grande Volume Médio Diário (VMD), de cerca de 5.500 veículos, uma das razões pelas quais foi executada em pavimento rígido, solução mais onerosa inicialmente do que o pavimento flexível. Além disso, a obra contempla a execução uma extensa ponte sobre o rio São Francisco, na divisa com o Estado de Sergipe.

Tudo isso faz com que seu custo seja muito superior ao de obras mais extensas e sem a necessidade de transposição de grandes cursos d'água ou execução de inúmeras obras de arte especiais. Por outro lado, por se tratar de área já antropizada por conta da implantação da pista antiga, em tese, seus impactos ambientais não são tão significativos quanto a implantação de uma rodovia em área virgem, o que reflete em um custo ambiental relativamente pequeno, de cerca de 0,59% do custo total da obra.

Por outro lado, no caso da BR-242/TO, ocorreu a pavimentação, em pista simples, de uma rodovia predominantemente rural e plana, sem grandes obras de arte especiais, cujo traçado atravessou áreas de vegetação nativa virgem. Isto é, embora os custos de implantação tendam a ser mais baixos, os custos ambientais tendem a ser relativamente mais altos em função das áreas de supressão vegetal e de movimentação de solo para execução da plataforma, ainda que

o terreno não apresente grandes elevações e depressões. Por fim, a cada R\$ 1,00 investido nesta obra, aproximadamente R\$ 0,11 representavam custos ambientais, enquanto a média de custos ambientais em relação aos custos totais nas obras estudadas foi de cerca de R\$ 0,03 para cada R\$ 1,00 investido.

Entretanto, uma ressalva deve ser feita à esta obra e à duplicação da BR-060/GO. Apesar de suas execuções terem se dado nos anos de 2011 e 2006, as datas-bases de seus orçamentos são dezembro e março de 1998, respectivamente. Tal lapso temporal acaba gerando distorções no comparativo direto entre valores absolutos, mas não afeta a comparação relativa.

A análise fria de números não permite enxergar a particularidade de cada situação. As obras da BR-163/PA – Lote 1, por exemplo, estão inseridas no bioma da Amazônia, distante de grandes centros urbanos ou mesmo de cidades médias que disponham dos serviços básicos necessários para o atendimento a uma equipe de dimensão tal a executar mais de 100 km de rodovia.

Outro fator de grande impacto atrelado à sua localização é a alta ocorrência de precipitações pluviométricas, especialmente no verão. Isto incorre em um prazo de execução relativamente grande, devido à natureza das atividades de pavimentação estarem intimamente submetidas à umidade do solo. Ao prolongar a execução de uma obra, os custos de administração e manutenção do canteiro aumentam.

Destacadas todas estas variáveis qualitativas, que não entram na análise quantitativa de correlação, a aplicação da Correlação de Pearson entre as matrizes contendo os custos totais e os custos ambientais à preços iniciais apontou para um número de 0,4849, o que, conforme Correa (2003), por estar no intervalo entre 0,3 e 0,6, indica que há uma correlação fraca entre as variáveis, podendo haver alguma relação entre elas.

A Tabela 7 apresenta o custo médio por quilômetro para execução das obras nas rodovias estudadas, enquanto a Tabela 8 faz o mesmo comparativo para os custos ambientais, porém, com valores atualizados para uma mesma data-base (março de 2018), utilizando-se os custos das composições do novo sistema referencial, o SICRO, para cada Estado, na condição sem desoneração da mão de obra.

O BDI (Bonificação e Despesas Indiretas) adotado nesta atualização seguiu o preconizado no Manual do SICRO – Volume I (BRASIL, 2017a), sendo:

- Pequeno Porte: Até 15 km de construção de pista simples por ano: 26,36%;
- Médio Porte: De 15 a 30 km de construção de pista simples por ano: 24,73%, e;
- Grande Porte: Acima de 30 km de construção de pista simples por ano: 23,09%.

Considerou-se que as obras estudadas se enquadram como porte médio, pois somente com a análise do cronograma contratado poder-se-ia determinar seu real enquadramento. Desta forma, ainda que a obra na realidade se enquadre como pequeno porte ou grande porte, não divergirá tanto do porte adotado.

Esta atualização faz-se necessária para que se viabilize a formação de uma matriz contendo custos ambientais, uma vez que não faria sentido comparar custos de 1998 com custos de 2014 por conta da desvalorização monetária e inflação neste período.

Tabela 7. Custos totais à preços iniciais nas obras estudadas

#	Obra	Extensão (km)	Custo Total (R\$)	Custo por km (R\$/km)
01	BR-359/MS – Lote 2	63,80	47.320.326,77	741.697,91
02	BR-146/MG	51,90	116.271.366,15	2.240.296,07
03	BR-163/PA – Lote 1	102,30	212.898.043,51	2.081.114,79
04	BR-163/PA – Lote 2	67,30	85.679.544,19	1.273.098,72
05	BR-163/PA – Lote 3	117,14	278.860.870,58	2.380.577,69
06	BR-242/TO	60,00	12.572.810,47	209.546,84
07	BR-432/RR	46,24	83.213.882,55	1.799.608,19
08	BR-429/RO – Lote 1	82,00	106.651.537,39	1.300.628,50
09	BR-429/RO – Lote 2	40,30	40.578.649,13	1.006.914,37
10	BR-101/AL	36,18	234.863.180,19	6.491.519,63
11	BR-101/RS	27,14	81.734.291,61	3.011.580,38
12	BR-060/GO	43,80	24.466.360,48	558.592,71

Fonte: Autor (2018)

Tabela 8. Custos ambientais atualizados para março de 2018 nas obras estudadas (continua)

#	Obra	Extensão (km)	Custo Total (R\$)	Custo por km (R\$/km)
01	BR-359/MS – Lote 2	63,80	2.444.225,15	38.310,84
02	BR-146/MG	51,90	5.852.432,59	112.763,63
03	BR-163/PA – Lote 1	102,30	10.572.153,43	103.344,61
04	BR-163/PA – Lote 2	67,30	5.220.718,33	77.573,82
05	BR-163/PA – Lote 3	117,14	10.104.309,46	86.258,40
06	BR-242/TO	60,00	9.779.245,28	162.987,42
07	BR-432/RR	46,24	2.439.414,96	52.755,51
08	BR-429/RO – Lote 1	82,00	11.111.983,65	135.512,00
09	BR-429/RO – Lote 2	40,30	4.832.590,87	119.915,41

Tabela 8. Custos ambientais atualizados para março de 2018 nas obras estudadas (conclusão)

10	BR-101/AL	36,18	2.075.814,90	57.374,65
11	BR-101/RS	27,14	505.311,47	18.618,70
12	BR-060/GO	43,80	7.646.211,38	174.571,04

Fonte: Autor (2018)

O fator de correlação obtido entre os custos totais por quilômetro e custos ambientais à atualizados por quilômetro foi de -0,4859. De acordo com Correa (2003), pode-se concluir que a correlação é fraca.

Em relação aos custos das obras por quilômetro, não se nota uma uniformidade entre os resultados. Imagina-se que, quanto menor a extensão do segmento, maior tendem a ser os custos por quilômetro, uma vez que se diluem nestes valores os custos com mobilização e instalação de canteiro de obras, por exemplo. No entanto, o que se verificou foi que a obra de menor extensão (BR-101/RS, com 27,14 km) apresentou os menores custos ambientais atualizados absoluto (R\$ 505.311,47) e relativo à sua extensão (R\$ 18.618,70) dentro da amostra.

5.4 Emissões Atmosféricas x Custos Ambientais

Finalizadas as adaptações das composições do SICRO 2 para o SICRO, foram lançadas na ACV-SICRO as quantidades de serviços em cada composição da obra, para todos os casos listados no item 4.5. As saídas das ACVs obtidas podem ser observadas na Tabela 9.

Tabela 9. Saídas das ACVs para as obras estudadas (continua)

#	Obra	CO _{2eq} (kg)	SO _{2eq} (kg)	NO _{xeq} (kg)	MP _{2,5eq} (kg)	O _{3eq} (kg)
01	BR-359/MS – Lote 2	4.830.165,30	9.500,80	542,89	271,50	336.596,31
02	BR-146/MG	14.125.467,29	33.152,57	1.894,40	947,35	1.174.534,57
03	BR-163/PA – Lote 1	15.311.334,26	37.847,63	2.162,68	1.081,55	1.340.871,38
04	BR-163/PA – Lote 2	6.486.967,85	16.961,15	969,19	484,66	600.901,80
05	BR-163/PA – Lote 3	10.149.367,68	26.082,75	1.490,42	745,49	924.063,11
06	BR-242/TO	3.064.561,22	6.190,01	353,71	176,88	219.300,93
07	BR-432/RR	4.809.962,09	11.936,94	682,10	341,11	422.903,65
08	BR-429/RO – Lote 1	8.436.043,47	19.452,14	1.111,53	555,84	689.153,51
09	BR-429/RO – Lote 2	3.416.974,66	7.498,94	428,50	214,29	265.673,80
10	BR-101/AL	14.267.243,28	35.133,07	2.007,57	1.003,95	1.244.699,46

Tabela 9. Saídas das ACVs para as obras estudadas (conclusão)

11	BR-101/RS	5.562.121,60	14.382,98	821,87	411,00	509.562,26
12	BR-060/GO	5.121.150,70	13.011,47	743,50	371,79	460.972,20

Fonte: Autor (2018)

5.4.1 Emissões de Gases do Efeito Estufa (CO_{2eq})

Analogamente aos procedimentos realizados na análise da correlação entre custos totais e custos ambientais, na Tabela 10 apresenta-se as emissões médias de GEEs por quilômetro de rodovia.

Tabela 10. Emissões de Gases do Efeito Estufa nas obras estudadas

#	Obra	Extensão (km)	CO _{2eq} (kg)	CO _{2eq} por km (kg/km)
01	BR-359/MS – Lote 2	63,80	4.830.165,30	75.707,92
02	BR-146/MG	51,90	14.125.467,29	272.167,00
03	BR-163/PA – Lote 1	102,30	15.311.334,26	149.866,41
04	BR-163/PA – Lote 2	67,30	6.486.967,85	96.388,82
05	BR-163/PA – Lote 3	117,14	10.149.367,68	86.643,06
06	BR-242/TO	60,00	3.064.561,22	51.076,02
07	BR-432/RR	46,24	4.809.962,09	104.021,67
08	BR-429/RO – Lote 1	82,00	8.436.043,47	102.878,58
09	BR-429/RO – Lote 2	40,30	3.416.974,66	84.788,45
10	BR-101/AL	36,18	14.267.243,28	394.340,61
11	BR-101/RS	27,14	5.562.121,60	204.941,84
12	BR-060/GO	43,80	5.121.150,70	116.921,25

Fonte: Autor (2018)

Verifica-se que a extensão do segmento de obra não é fator determinante para as emissões serem maiores ou menores. Exemplo mais claro é comparar as emissões geradas nas obras de pavimentação da BR-163/PA – Lote 3 com as obras de duplicação da BR-101/AL.

Enquanto aquela possui a maior extensão dos segmentos estudados e somente a quarta maior emissão de GEEs, esta apresenta a segunda maior emissões de GEEs, embora tenha a segunda menor extensão das obras analisadas.

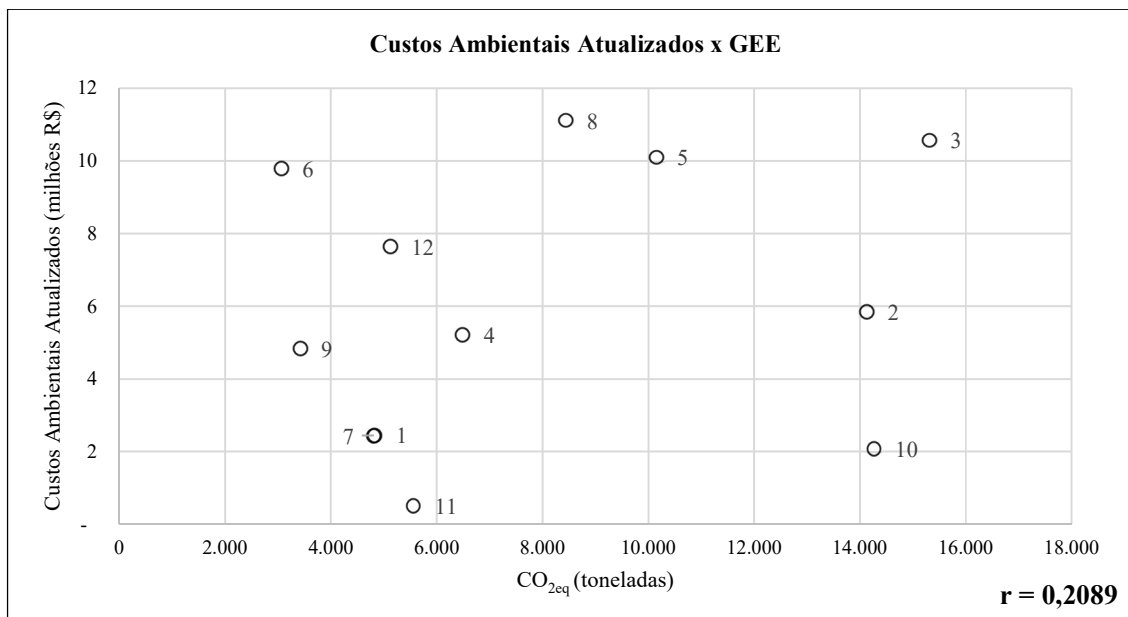
Novamente recai-se sobre a natureza dos serviços, soluções de engenharia e características dos terrenos. Em geral, verificou-se que as maiores emissões decorrem dos serviços de movimentação de solo. Nas obras da BR-101/AL, houve movimento de solo na ordem de 4.640.000 metros cúbicos, somando-se materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias, bem como solos moles. Já nas obras da BR-163/PA – Lote 3, constatou-se movimento de solo de cerca de 2.243.000 metros cúbicos, o que representa menos da metade da rodovia alagoana, apesar da extensão ser mais de 3 vezes maior.

Terrenos mais acidentados e maiores quantidades de obras de artes especiais requerem, em geral, maiores movimentos de solo. A classificação da rodovia é outro fator que impacta nas quantidades deste serviço, uma vez que se estipulam rampas máximas menores em rodovias de melhor categoria do que em rodovias de categoria inferior que, em geral, são aquelas com VMD mais baixos.

Na análise de correlação entre as emissões totais de GEE e os custos ambientais totais atualizados, obteve-se número de 0,2089. Portanto, há fraca correlação, possivelmente não há relação entre as variáveis.

Já a análise entre emissões médias por quilômetro e custos ambientais por quilômetro, obteve-se número de -0,3078. O valor encontra-se próximo ao limite de provavelmente não haver correlação entre as variáveis (CORREA, 2003).

Figura 10. Dispersão de Custos Ambientais Totais Atualizados em função das emissões totais de GEE



Fonte: Autor (2018)

A Figura 10 apresenta um gráfico de dispersão de pontos dos Custos Ambientais Atualizados para a data-base de março de 2018 em função das emissões de GEE. De modo geral, há uma dispersão dos pontos nos quatro quadrantes do gráfico, o que demonstra que não há uma tendência na distribuição dos pontos e, conseqüentemente, de determinação dos custos em função das emissões de GEE.

Não havendo correlação significativa entre as emissões de GEE e os custos ambientais atualizados e, diante de não ser possível plotar uma linha de tendência que se aproxime ou se demonstre equidistante dos pontos da dispersão, prospectou-se a relação entre serviços específicos das obras e seus custos ambientais.

Um dos principais parâmetros analisados pelos órgãos ambientais para fins de concessão de licenças é a área de supressão vegetal. Portanto, analisou-se a possibilidade de haver correlação entre os custos ambientais e as emissões de GEE das atividades de desmatamento calculadas pela ferramenta ACV-SICRO. As quantidades destes serviços nas obras do estudo de caso constam na Tabela 11.

Tabela 11. Emissões de GEE pelas atividades de desmatamento

#	Obra	Desmatamento (m²)	CO _{2eq} do Desmatamento (kg)
01	BR-359/MS – Lote 2	1.031.670,0000	109.911,7636
02	BR-146/MG	1.215.272,0460	129.472,3059
03	BR-163/PA – Lote 1	4.183.742,8200	445.726,3969
04	BR-163/PA – Lote 2	2.434.187,4000	259.332,7616
05	BR-163/PA – Lote 3	3.514.200,0000	374.394,8353
06	BR-242/TO	626.711,4000	66.768,4000
07	BR-432/RR	1.269.689,3590	135.269,8021
08	BR-429/RO – Lote 1	3.131.814,0000	333.656,3049
09	BR-429/RO – Lote 2	1.495.613,0000	159.339,1904
10	BR-101/AL	1.736.891,3900	185.044,4385
11	BR-101/RS	13.834,0000	1.473,8427
12	BR-060/GO	532.590,5600	56.740,9809

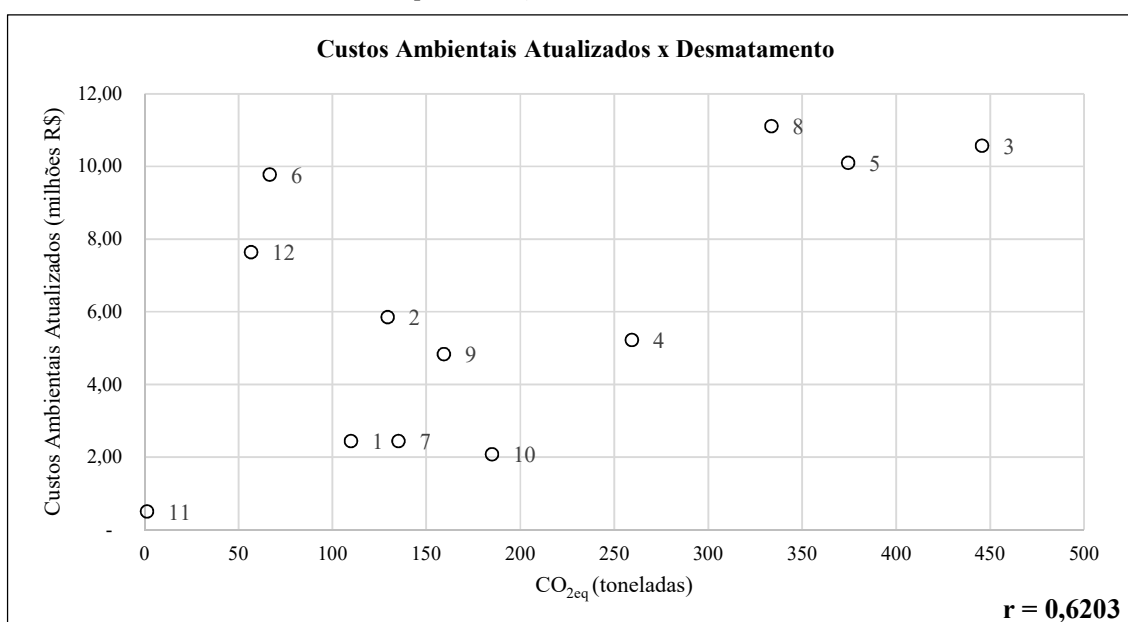
Fonte: Autor (2018)

Analisando a correlação entre as emissões de GEE dos serviços de desmatamento com os custos ambientais atualizados, isto é, considerando o reajustamento para a data-base de março de 2018, obteve-se como resultado 0,6203. Isto indica que há uma correlação entre média e forte entre as variáveis, com possibilidade de haver relação entre elas.

Na verdade, tal relação pode ser obtida diretamente entre as quantidades de desmatamento e os custos ambientais atualizados da obra. As saídas unitárias da ACV para um único serviço é uma constante e, por se tratar de um fator comum à toda a amostra, não implicará em influência na correlação.

Ao plotar um gráfico de dispersão dos pontos relativos aos custos ambientais atualizados em função das emissões de GEE dos serviços de desmatamento (Figura 11), verifica-se que não há uniformidade na distribuição dos pontos.

Figura 11. Dispersão dos Custos Ambientais Atualizados à março de 2018 em função das emissões de GEE pelos serviços de desmatamento



Fonte: Autor (2018)

Em comparação com o gráfico de dispersão em função das emissões totais de GEE, no gráfico com as emissões oriundas dos serviços de desmatamento, nota-se que os pontos se encontram mais concentrados nos quadrantes 1 e 3. Os pontos ainda apresentam distâncias relativamente grandes entre si, com os pontos das obras #06 (BR-242/TO) e #12 (BR-060/GO) distante da tendência dos demais pontos.

O distanciamento entre os pontos pode ser fruto da quantidade limitada de obras da amostra. Possivelmente, aumentando-se a amostra, verificar-se-ia uma linha de tendência de função linear.

Por ter apresentado fator de correlação acima de 0,6, configurando possibilidade de haver uma relação média entre as variáveis (CORREA, 2003), partiu-se para uma análise qualitativa com outras variáveis: relevo, ocupação do solo e bioma afetado.

Fazendo uma análise em função do relevo, verifica-se que as obras #05 (BR-163/PA – Lote 3), #02 (BR-146/MG) e #10 (BR-101/AL), que se situam em terrenos mais acidentados, encontram-se em diferentes quadrantes, sem que haja a percepção de uma linha de tendência entre eles. Os pontos que representam as obras em relevo mais plano, #07 (BR-432/RR), #11 (BR-101/RS) e #08 (BR-429/RO – Lote 1), também se apresentam em quadrantes diferentes e distanciados entre si, embora apresentem um certo alinhamento exponencial crescente entre si.

Analisando o gráfico da Figura 11 em função da ocupação do solo, nota-se a inexistência de uma uniformidade na distribuição dos pontos que representam as obras mais urbanizadas: #07 (BR-432/RR), #12 (BR-060/GO) e #11 (BR-101/RS), também distribuídos em quadrantes diferentes. No entanto, verifica-se que são alguns dos pontos com menores emissões de GEE devido ao desmatamento, localizados nos quadrantes da esquerda.

Por outro lado, as obras totalmente localizadas em zonas rurais, #01 (BR-359/MS), #03 a #05 (BR-163/PA – Lotes 1 a 3) e #10 (BR-101/AL), encontram-se dispersas em três quadrantes do gráfico.

Analisando em função do bioma, tem-se que as três obras com maiores custos ambientais estão localizadas na Amazônia. São elas, também, as obras com maiores emissões de GEE devido aos serviços de desmatamento.

No outro extremo, as duas obras com menores custos ambientais (#11 – BR-101/RS e #10 – BR-101/AL) estão localizadas na Mata Atlântica. No entanto, ambas tratam de duplicação de rodovias. Este tipo de intervenção, geralmente, requer menores áreas de desmatamento devido à antropização da faixa de domínio, pela própria construção da via existente, bem como das áreas lindeiras a ela, devido à valorização e exploração das terras adjacentes pela melhoria na infraestrutura.

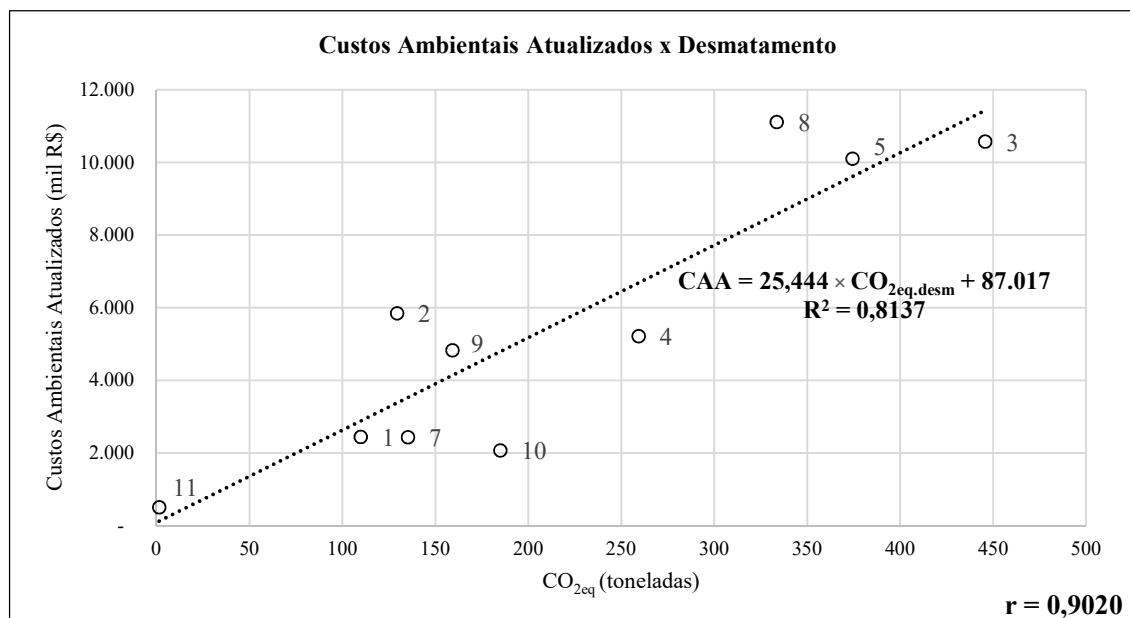
Outra observação a ser feita, é que no caso das obras da BR-359/MS, a execução foi feita sob convênio do governo estadual com o DNIT. Neste tipo de situação, há grande interação entre os órgãos ou agências estaduais responsáveis pela execução das obras e pela emissão das licenças ambientais, seja por normativas internas ou intermediação política, enquanto ao DNIT cabe o acompanhamento de cronograma e desembolso, mas não a fiscalização direta ou o licenciamento. O mesmo pode não ocorrer quando se trata de uma autarquia federal executando obras sujeitas ao licenciamento pelas unidades da Federação.

Os pontos dispersos da tendência dos demais na Figura 11 (obras #06 – BR-242/TO e #12 – BR-060/GO) são aqueles cujos projetos datam da década de 1990, apesar de suas execuções terem se dado durante o intervalo estipulado para seleção da amostra. Isto reforça a necessidade de se limitar a amostra, também, a projetos mais recentes, e não apenas a data de suas efetivas implantações.

Este fato pode ser explicado, em parte, pela publicação da Resolução Nº 237/1997, em data muito próxima à elaboração dos projetos e, conseqüentemente, de suas análises pelos órgãos licenciadores. Ainda que os analistas tenham se baseado na nova legislação, por se tratar de uma novidade à época, certamente não havia o mesmo grau de amadurecimento em sua aplicação se comparado aos anos das análises das demais obras. Há ainda a possibilidade de que, por ter se iniciado meses antes da publicação da Resolução, os projetos não tenham sido analisados com fundamentação nesta legislação, mas em sua antecessora.

Removendo-os do gráfico de dispersão, o fator de correlação obtido foi de 0,9020. Isto indica uma forte correlação entre as variáveis custos ambientais atualizados e desmatamento entre as obras com projetos mais recentes. O gráfico obtido, juntamente com sua linha de tendência, é apresentado na Figura 12.

Figura 12. Dispersão de pontos dos Custos Ambientais Atualizados em função dos serviços de Desmatamento para projetos recentes



Fonte: Autor (2018)

A Equação (6) é a função que representa a linha de tendência da dispersão de pontos:

$$CAA = 25,444 \times CO_{2eq,desm} + 87.017 \quad (6)$$

Onde:

CAA – Custos Ambientais Atualizados para data-base de março de 2018, no SICRO;

$CO_{2eq,desm}$ – Emissões de GEE geradas pelos serviços de desmatamento.

O coeficiente de determinação (R^2) observado para a linha de tendência foi de 0,8137. Isto é, 81,37% da variável dependente (CAA) consegue ser explicada pelo regressor do modelo (emissões de GEE pelo desmatamento).

Sabe-se que, para a obra de estudo de caso para validação, rodovia BR-359/MS – Lote 1, as emissões de GEE provenientes dos serviços de desmatamento foram estimadas em 100.111,259 kg.

Assim, aplicando-o na Equação (6), tem-se que:

$$CAA = 25,444 \times 100.111,259 + 87.017$$

$$CAA = R\$ 2.634.247,87$$

Entretanto, os custos ambientais efetivos para esta obra, orçados no SICRO com data-base de março de 2018, são de R\$ 1.827.522,83, já considerando o BDI padrão para uma obra de implantação de porte médio.

Portanto, a estimativa de custos ambientais, obtida através da função da linha de tendência do gráfico de dispersão de pontos, foi cerca de 44% superior aos custos ambientais efetivos para as obras da rodovia BR-359/MS.

Para confirmar se este valor é aceitável, realizou-se uma verificação da validação da hipótese nula ($H_0: CAA = CAA_{efetivo}$), com um fator de confiança de 95% para um grau de liberdade 9, sabendo que o desvio padrão dos custos ambientais atualizados da amostra é de R\$ 3.864.982,10. Assim, o intervalo limite de t é $-2,262 < t < 2,262$. O valor t calculado, por sua vez, é:

$$t = \frac{2.634.247,87 - 1.827.522,83}{\frac{3.864.982,10}{\sqrt{10}}}$$

$$t = -2,358$$

O *valor-p* obtido para a amostra foi de 0,92%.

$$\text{valor-p} = 0,0092$$

Como o valor t obtido não se encontra no intervalo limite de t , então não se rejeitaria a Hipótese Nula, podendo-se afirmar, com 95% de confiança, que CAA é um valor admissível para os custos ambientais atualizados. Ou seja, a equação obtida poderia ser tomada como verdadeira para estimação dos custos ambientais.

Entretanto, como o *valor-p* é inferior ao nível de significância (5%), então rejeita-se a hipótese nula: o CAA obtido, bem como a equação que levou à ele, não podem ser considerados válidos.

Com a amostra limitada à projetos mais recentes, foi possível vislumbrar uma linha de tendência na dispersão dos pontos entre os custos ambientais atualizados e as emissões decorrentes dos serviços de desmatamento. O fator de correlação apontou para uma forte relação entre as variáveis, não deixando pairar dúvidas de que há influência da área desmatada e, conseqüentemente, suas emissões, no cômputo dos custos ambientais.

Entretanto, devido à amostra limitada, o resultado obtido na aplicação de estudo de caso não validou a função linear obtida para a linha de tendência. Verificou-se um descolamento considerável das variáveis em relação à ela. Enquanto o fator de correlação apontou para 0,9020, o coeficiente de determinação (R^2) foi de apenas 0,8137, demonstrando grande disparidade numérica entre eles.

Isto é, enquanto o fator de correlação de Pearson apontou que 90,20% da variável dependente (custos ambientais atualizados) consegue ser determinada pela variável regressora (emissões de GEE pelo desmatamento) do modelo, o coeficiente de determinação indicou 81,37% para a mesma relação.

5.4.2 Emissões de Gases Acidificantes ($\text{SO}_{2\text{eq}}$)

A Tabela 12 traz as emissões totais de gases acidificantes para cada um dos segmentos estudados, bem como suas emissões médias por quilômetro.

Tabela 12. Emissões de Gases Acidificantes nas obras estudadas

#	Obra	Extensão (km)	SO _{2eq} (kg)	SO _{2eq} por km (kg/km)
01	BR-359/MS – Lote 2	63,80	9.500,80	148,92
02	BR-146/MG	51,90	33.152,57	638,78
03	BR-163/PA – Lote 1	102,30	37.847,63	369,97
04	BR-163/PA – Lote 2	67,30	16.961,15	252,02
05	BR-163/PA – Lote 3	117,14	26.082,75	222,66
06	BR-242/TO	60,00	6.190,01	102,67
07	BR-432/RR	46,24	11.936,94	258,15
08	BR-429/RO – Lote 1	82,00	19.452,14	237,22
09	BR-429/RO – Lote 2	40,30	7.498,94	186,08
10	BR-101/AL	36,18	35.133,07	971,06
11	BR-101/RS	27,14	14.382,98	529,96
12	BR-060/GO	43,80	13.011,47	297,07

Fonte: Autor (2018)

As mesmas observações apontadas nas emissões de GEEs podem ser tomadas para as emissões de Gases Acidulantes. Isto é, ainda que em sua fórmula não entrem emissões semelhantes às do cálculo de CO_{2eq}, a extensão do segmento de obra não é fator determinante para as emissões serem maiores ou menores.

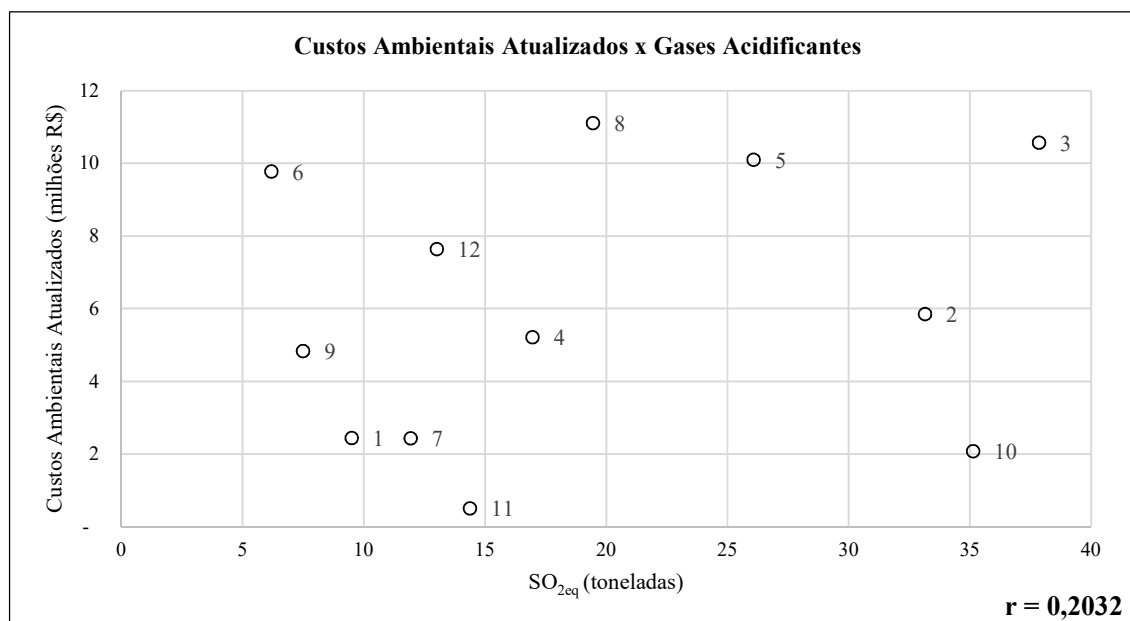
A natureza dos serviços, movimentos de solo e característica do terreno, novamente, são os fatores determinantes para maiores emissões.

Na análise de correlação entre as emissões totais de Gases Acidificantes e os custos ambientais totais atualizados, obteve-se número de 0,2032. Portanto, há fraca correlação, com remota possibilidade de haver relação entre as variáveis.

Já a análise entre emissões médias por quilômetro e custos ambientais atualizados por quilômetro, obteve-se número de -0,3247. Isso indica uma fraca correlação, havendo remota possibilidade de relação entre as variáveis.

A Figura 13 apresenta a dispersão dos custos ambientais atualizados em função das emissões de gases acidificantes. A distribuição dos pontos pouco se difere do observado nas emissões de GEE, com pontos distribuídos em todos os quadrantes e, novamente, sem uma disposição que permita a definição de uma linha de tendência.

Figura 13. Dispersão de Custos Ambientais Totais Atualizados em função das emissões totais de gases acidificantes

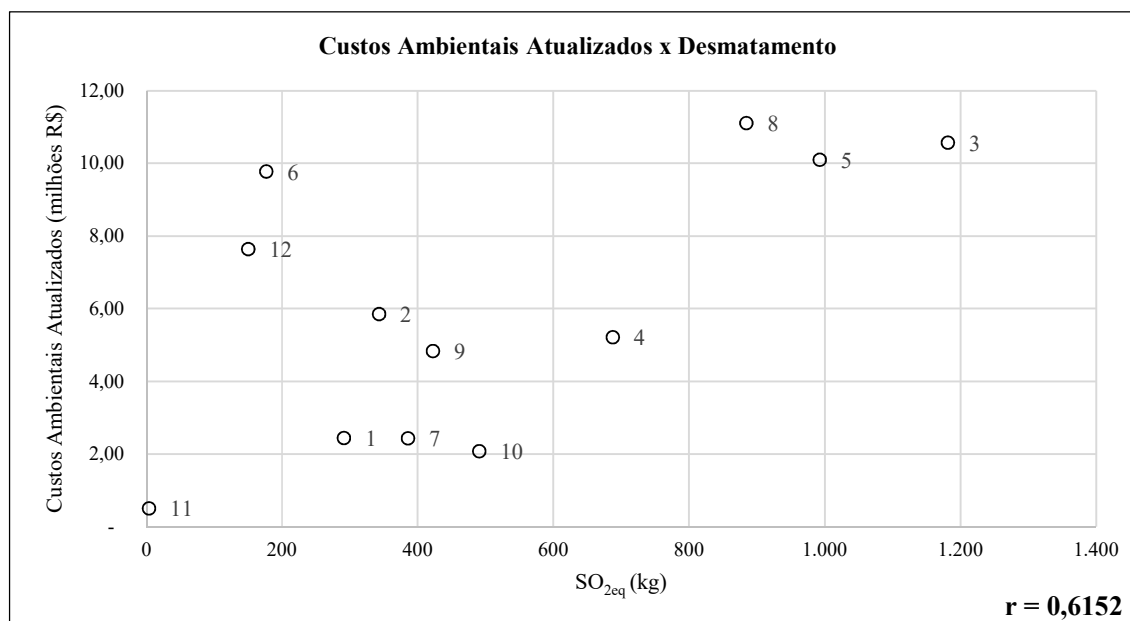


Fonte: Autor (2018)

Posteriormente, realizou-se a mesma análise de correlação entre os custos ambientais atualizados e as emissões de gases acidificantes provenientes dos serviços de desmatamento nas obras que compõem a amostra.

Obteve-se como fator de correlação 0,6152, valor próximo ao obtido para os GEE (0,6203). A dispersão dos pontos, conforme demonstrado na Figura 14, também apresenta distribuição semelhante aos GEE.

Figura 14. Dispersão dos Custos Ambientais Reajustados à março de 2018 em função das emissões de Gases Acidificantes pelos serviços de desmatamento



Fonte: Autor (2018)

5.4.3 Emissões de Gases Eutrofizantes (NO_xeq)

A Tabela 13 apresenta as emissões totais de gases eutrofizantes para cada um dos segmentos estudados, bem como suas emissões médias por quilômetro.

Tabela 13. Emissões de Gases Eutrofizantes nas obras estudadas (continua)

#	Obra	Extensão (km)	NO _x eq (kg)	NO _x eq por km (kg/km)
01	BR-359/MS – Lote 2	63,80	542,89	8,51
02	BR-146/MG	51,90	1.894,40	36,50
03	BR-163/PA – Lote 1	102,30	2.162,68	21,14
04	BR-163/PA – Lote 2	67,30	969,19	14,40
05	BR-163/PA – Lote 3	117,14	1.490,42	12,72
06	BR-242/TO	60,00	353,71	5,90
07	BR-432/RR	46,24	682,10	14,75
08	BR-429/RO – Lote 1	82,00	1.111,53	13,56
09	BR-429/RO – Lote 2	40,30	428,50	10,63
10	BR-101/AL	36,18	2.007,57	55,49

Tabela 13. Emissões de Gases Eutrofizantes nas obras estudadas (conclusão)

11	BR-101/RS	27,14	821,87	30,28
12	BR-060/GO	43,80	743,50	16,97

Fonte: Autor (2018)

5.4.4 Emissões de Material Particulado (MP_{2,5eq})

As emissões totais e médias por quilômetro de material particulado até 2,5 micrômetros nas obras da amostra estão relacionadas na Tabela 14.

Tabela 14. Emissões de Material Particulado até 2,5 µm nas obras estudadas

#	Obra	Extensão (km)	MP _{2,5eq} (kg)	MP _{2,5eq} por km (kg/km)
01	BR-359/MS – Lote 2	63,80	271,50	4,26
02	BR-146/MG	51,90	947,35	18,25
03	BR-163/PA – Lote 1	102,30	1.081,55	10,57
04	BR-163/PA – Lote 2	67,30	484,66	7,20
05	BR-163/PA – Lote 3	117,14	745,49	6,36
06	BR-242/TO	60,00	176,88	2,95
07	BR-432/RR	46,24	341,11	7,38
08	BR-429/RO – Lote 1	82,00	555,83	6,78
09	BR-429/RO – Lote 2	40,30	214,29	5,32
10	BR-101/AL	36,18	1.003,95	27,75
11	BR-101/RS	27,14	411,00	15,14
12	BR-060/GO	43,80	371,79	8,49

Fonte: Autor (2018)

Da mesma forma que para as emissões de Gases Acidificantes e Gases Eutrofizantes, para as emissões de Material Particulado os números de correlação são semelhantes, sendo: 0,2033 para as emissões totais e custos ambientais atualizados, e -0,3247 para os médios unitários (por quilômetro).

5.4.5 Potencial de Formação de Smog (O_{3eq})

O potencial de formação de smog nos trechos do estudo são apresentados na Tabela 15, inclusive suas médias por quilômetro.

Tabela 15. Potencial de Formação de Smog nas obras estudadas

#	Obra	Extensão (km)	O _{3eq} (kg)	O _{3eq} por km (kg/km)
01	BR-359/MS – Lote 2	63,80	336.596,31	5.275,80
02	BR-146/MG	51,90	1.174.534,57	22.630,72
03	BR-163/PA – Lote 1	102,30	1.340.871,38	13.107,25
04	BR-163/PA – Lote 2	67,30	600.901,80	8.928,70
05	BR-163/PA – Lote 3	117,14	924.063,11	7.888,54
06	BR-242/TO	60,00	219.300,93	3.655,02
07	BR-432/RR	46,24	422.903,65	9.145,84
08	BR-429/RO – Lote 1	82,00	689.153,51	8.404,31
09	BR-429/RO – Lote 2	40,30	265.673,80	6.592,40
10	BR-101/AL	36,18	1.244.699,46	34.402,97
11	BR-101/RS	27,14	509.562,26	18.775,32
12	BR-060/GO	43,80	460.972,20	10.524,48

Fonte: Autor (2018)

Assim como nas emissões de Gases Acidificantes, Gases Eutrofizantes e Material Particulado, para o Potencial de Formação de *Smog* os números de correlação foram 0,2032 para as emissões totais e custos ambientais, e -0,3247 para os médios unitários (por quilômetro).

A semelhança entre os números de correlação obtidos para estas emissões esta ligada à presença das quantidades de CH₃ e NO_x em suas fórmulas, possuindo pesos e quantidades muito superiores às demais substâncias que as completam.

5.5 Emissões x Plantio de Árvores

A busca por uma correlação baseada em custos pode não se demonstrar tão precisa quanto uma correlação baseada em quantidades. Isto porque os custos variam com a localização e tempo em que a obra foi executada, ainda que a aplicação de reajustamentos aproxime os custos de anos anteriores a um valor mais atual.

Baseando-se em quantidades, em tese, não há interferência da localização ou lapso temporal que as alterem, salvo em casos de mudanças na legislação ou procedimentos adotados por obras localizadas em biomas mais ameaçados e sensíveis à intervenção humana, tais como a Mata Atlântica e Amazônia.

Para as obras da BR-359/MS – Lote 2 e BR-060/GO, não houve plantio de mudas e, portanto, estas obras foram excluídas desta amostra. Como para a obra de validação, BR-359/MS – Lote 1, também não foi realizado este serviço, retirou-se da amostra a obra da BR-163/PA – Lote 2 para que sirva de validação, caso se comprove correlação significativa.

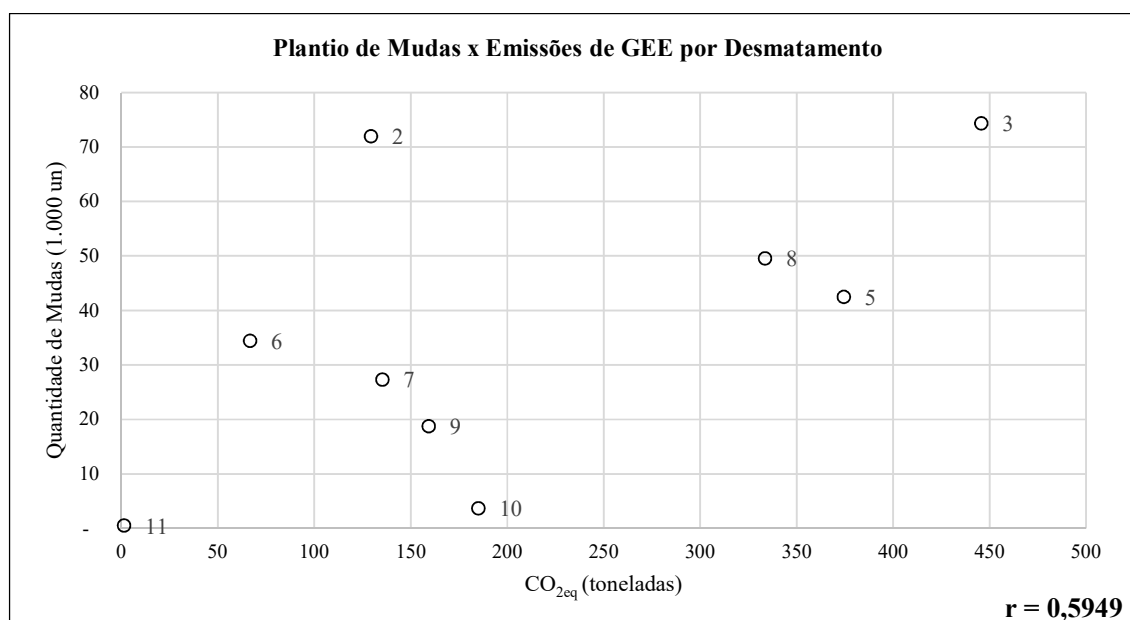
A amostra final para esta análise é apresentada na Tabela 16.

Tabela 16. Serviço de Plantio de Árvores e Emissões devido ao Desmatamento

#	Obra	Extensão (km)	Plantio de Muda (un)	CO _{2eq} por Desmatamento (kg)
02	BR-146/MG	51,90	72.006	129.472,3059
03	BR-163/PA – Lote 1	102,30	74.385	445.726,3969
04	BR-163/PA – Lote 3	117,14	42.521	374.394,8353
06	BR-242/TO	60,00	34.468	66.768,4000
07	BR-432/RR	46,24	27.360	135.269,8021
08	BR-429/RO – Lote 1	82,00	49.604	333.656,3049
09	BR-429/RO – Lote 2	40,30	18.773	159.339,1904
10	BR-101/AL	36,18	3.700	185.044,4385
11	BR-101/RS	27,14	550	1.473,8427

Fonte: Autor (2018)

Figura 15. Dispersão das quantidades de mudas plantadas em função das emissões de GEE



Fonte: Autor (2018)

A correlação obtida para esta amostra foi de 0,5949. Por se aproximar de um fator de correlação de 0,6, há uma correlação de fraca à média entre as variáveis, podendo haver relação entre elas (CORREA, 2003). O gráfico de dispersão dos pontos das quantidades de mudas plantadas em função das emissões de GEE é apresentado na Figura 15.

Verifica-se uma concentração de pontos nos quadrantes 1 e 3, com um único ponto isolado no quadrante 2 e nenhum no quadrante 4. Na verificação de *outliers*, não foi encontrado nenhum ponto que assim possa ser classificado, todos estão entre os limites inferiores e superiores em ambas as matrizes.

A dispersão não uniforme e distante dos pontos indica não haver uma relação entre as variáveis, uma vez que não é possível traçar uma linha de tendência entre eles.

Para as emissões de gases acidificantes, eutrofizantes, de material particulado e de potencial de formação de *smog*, os fatores de correlação e os gráficos de dispersões obtidos são semelhantes ao das emissões de GEE. Por este motivo, absteve-se de apresentá-los.

6 CONCLUSÃO

A ferramenta ACV-SICRO demonstra-se útil para estimativa de saídas de ACV, permitindo aos gestores e analistas ambientais ter uma proporção dos impactos gerados pelas atividades de construção, manutenção ou conservação rodoviária, estendendo-se também para obras ferroviárias e aquaviárias, uma vez que toda a base de composições, equipamentos e insumos do SICRO foram transportados à base de dados da ferramenta. Assim, há a possibilidade de, no momento dos estudos preliminares e anteprojetos, optar-se pela solução de engenharia, processo construtivo e/ou desenho do traçado que resultem em menores impactos ambientais no que tange às emissões atmosféricas, cumprindo seu principal objetivo.

Em todas as verificações de correlações entre as variáveis envolvendo as emissões de gases poluentes, seja com custos ambientais ou com quantidades de serviços ligados a recuperação ambiental, não se observou correlação significativa entre elas. Portanto, a hipótese de que seria possível estimar os custos ambientais através dessas emissões calculadas pela ACV não se demonstrou válida, ou seja, a ferramenta ACV-SICRO não apresentou relação direta para a estimativa de custos ambientais de obras rodoviárias.

É possível que tal fato ocorra devido às diferentes abordagens entre órgãos ambientais estaduais e federais, cada um com sua metodologia de avaliação em função do bioma afetado, das características de relevo, da existência de passivos ambientais a serem tratados ou mesmo do desenvolvimento econômico do Estado, que pode levar as decisões técnicas para o campo político.

Há indícios apontando para que quanto maior as emissões atmosféricas decorrentes dos serviços de desmatamento, maior tendem ser os custos com licenciamentos ambientais. Foi nesta análise que se observou o maior fator de correlação entre as variáveis quantitativas com uma tendência de correlação linear entre essas variáveis, especialmente quando o horizonte amostral foi limitado à projetos elaborados mais recentemente, excluindo aqueles datados da década de 90.

Portanto, um significativo fator de correlação entre ACV e licenciamento ambiental poderá ser alcançado a partir de uma análise limitada à projetos mais recentes, com uma amostragem maior das obras rodoviárias, sendo estas agrupadas por tipo de obra rodoviária, bioma afetado, relevo da rodovia e ocupação do solo urbano ou rural; para que assim seja possível eliminar *outliers* ou desvios decorrentes da aplicação de legislações diferentes nas análises ambientais.

6.1 Oportunidades de estudos futuros

Por se tratar do primeiro estudo nacional envolvendo emissões provenientes dos serviços que compõem o SICRO e custos ambientais, alguns dos resultados e conclusões obtidos podem ser úteis a determinação de critérios de escolha da amostra.

Sugere-se, portanto, como oportunidade de estudo futuro, a divisão das obras por bioma e/ou Estado, licenciadas por órgãos ambientais estaduais ou federal, relevo e uso do solo. É fundamental, também, uma amostra maior para cada um desses enquadramentos de variáveis, a fim de reduzir a ocorrência de *outliers* e aumentar o grau de confiança dos resultados.

Os resultados obtidos apontam para a necessidade de se limitar a data de elaboração dos projetos, e não apenas de execução da obra, a fim de evitar pontos que distorçam a dispersão dos pontos no gráfico e o traçado de uma linha de tendências entre eles.

Em virtude disso, a utilização de uma amostra orçada exclusivamente através do SICRO, sem a necessidade de adaptações de composições, também se demonstra mais promissora na busca de resultados mais convergentes, uma vez que o SICRO 2 fora descontinuado.

Entretanto, reitera-se que, por ter sido implantado em 2017, tornando-se obrigatório apenas em 2018, levará certo tempo até que haja um banco de obras projetadas e executadas, com base neste sistema referencial, que possibilite uma ampliação da amostra.

BIBLIOGRAFIA

AZARIJAFARI, H.; YAHIA, A.; AMOR, M. B. Life cycle assessment of pavements: reviewing research challenges and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, 2016. 2187-2197. Vol. 112.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, Projetos e Restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARRIONUEVO, M. *et al.* **Descrição das etapas do licenciamento ambiental das obras de apoio à pavimentação da Rodovia Caminho das Neves (SC-114)**. Lages: Revista Geográfica Acadêmica, v. 8, 2014.

BELLIA, V.; BIDONE, E. D. **Rodovias, recursos naturais e meio ambiente**. Niterói: EDUFF/DNER, 1993.

BRASIL. **Lei N.º 6.803/1986: Dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, e dá outras providências**. Brasília. 1980.

_____. **Lei N.º 6.938/1981: Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Brasília. 1981.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Sistema Integrado de Operações Rodoviárias**. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/sior/>>. Acesso em: 15 Abril 2018a.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Visualizador de Informações Geográficas (VGeo)**. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>>. Acesso em: 16 Abril 2018b.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de custos de infraestrutura de transportes. Volume 1 - Metodologia e Conceitos**. Brasília. 2017a.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de custos de infraestrutura de transportes. Volume 3 - Equipamentos**. Brasília. 2017b.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Sistema de custos referenciais de obras (SICRO): composições analíticas**. Brasília. 2017c.

_____. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Instrução Normativa N.º 184/2008**. Brasília. 2008.

_____. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional 2016**. Brasília. 2017d.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução N.º 001/1986**. Brasília. 1986.

_____; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução N° 237/1997**. Brasília. 1997.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução N° 415/2009**. Brasília. 2009.

_____; MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Política ambiental do Ministério dos Transportes**. Brasília. 2002.

_____; MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Transportes 2015**. Brasília. 2015.

BUTT, A. A.; TOLLER, S.; BIRGISSON, B. Life cycle assessment for the green procurement of roads: a way forward. **Journal of Cleaner Production**, 2015. 163-197. Vol. 90.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2015**: Relatório Gerencial. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2015.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2017**: Relatório Gerencial. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2017a.

CNT. **Transporte rodoviário: desempenho do setor, infraestrutura e investimentos**. CNT. Brasília. 2017b.

CORREA, S. M. B. B. **Probabilidade e estatística**. 2. ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003.

FARINA, A. *et al.* Life cycle assessment applied to bituminous mixtures containing recycled materials: Crumb rubber and reclaimed asphalt pavement. **Resources, Conservation and Recycling**, 2016. 1-9.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do Coeficiente de Pearson. **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS; WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Ferramenta de Estimativa de Gases do Efeito Estufa para Fontes Intersetoriais**. [S.l.]: [s.n.], v. 2018.1.4, 2018.

GALLARDO, A. L. C. F. **Análise das práticas de gestão ambiental da construção da pista descendente da Rodovia dos Imigrantes**. Tese. São Paulo: USP, 2004.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GSCHÖSSER, F.; WALLBAUM, H. Life cycle assessment of representative Swiss road pavements for National Roads with an accompanying life cycle cost analysis. **Environmental Science & Technology**, 2013. 8453-8461.

HORVATH, A. **Life-cycle environmental and economic assessment of using recycled materials for asphalt pavement**. Department of Civil and Environmental Engineering. University of California. Berkeley, CA. 2003.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Guidelines for Natural Greenhouse Gas Inventories**. Genebra. 2006.

JERONYMO, A. C. J.; BERMANN, C.; GUERRA, S. M. G. **Considerações sobre a desconstrução do Licenciamento Ambiental brasileiro**. 26. ed. Curitiba: Departamento de Geografia - UFPR, 2012.

JULLIEN, A. *et al.* Air emissions from pavement layers composed of varying rates of reclaimed asphalt. **Resources, Conservation and Recycling**, 2006. 356-374.

LAUXEN, M. S. **A mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna: um guia de procedimentos para tomada de decisão**. Porto Alegre: UFRGS, 2012.

LINS, G. A. *et al.* A ecologia de estrada sob a ótica do licenciamento ambiental. **Revista SUSTINERE**, Rio de Janeiro, jul-dez 2015. 152-159.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MEDAUAR, O. **Coletânea de Legislação de Direito Ambiental. Lei n. 6938, de 31 de agosto de 1981**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2002.

MIRANDA, A. S. **Análise comparativa de métodos simplificados de ACV aplicado a paredes de eficações**. Dissertação (Mestrado). UFMS. Campo Grande. 2017.

PIRES, G. M.; RENZ, E. M.; SPECHT, L. P. **Estudo da Estabilização Granulométrica e Química de Material Fresado com Adição de Cimento Portland e Cinza de Casca de Arroz Moída para Aplicação em Camadas de Pavimentos**. Reunião Anual de Pavimentação. Maceió: [s.n.]. 2014.

SANTERO, N. J.; MASANET, E.; HORVATH, A. **Resources, Conservation and Recycling. Life-cycle assessment of pavements. Part I: Critical review**, 55, 2011. 801-809.

SANTOS, M. F. N.; HORI, C. Y.; JULIOTI, P. S. Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Abril-Junho 2011. 57-73.

TEIXEIRA, F. Z. *et al.* The need to improve and integrate science and environmental licensing to mitigate wildlife mortality on roads in Brazil. **Tropical Conservation Science**, Vol. 9. 2016. 34-42.

VALINHAS, M. M. Licenciamento ambiental e sustentabilidade. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Campo dos Goytacazes, RJ, v. 4, jul-dez 2010. 231-246.

VARGAS, R. A. Licenciamento Ambiental. **Revista Eletrônica do Ministério Público de Goiás**, p. 201-236, jul-dez 2012. Disponível em: <http://www.mp.go.gov.br/revista/pdfs_3/9-Artigo3_Revista240Keletronica_Layout%201.pdf>. Acesso em: 02 outubro 2017.

WANG, T. *et al.* Life cycle energy consumption and GHG emission from pavement rehabilitation with different rolling resistance. **Journal of Cleaner Production**, 2012. 86-96.

YASAR, A. *et al.* A comparison of engine emissions from heavy, medium and light vehicles for CNG, diesel, and gasoline fuels. **Polish Journal of Environmental Studies**, Vol. 22, 2013. p.1277-1281.

APÊNDICE A – Exemplo de cálculo de emissões de equipamento em um serviço

a) Dados do equipamento “Rolo compactador de pneus autopropelido” (BRASIL, 2017b):

- Potência do Equipamento: 85 kW;
- Coeficiente de Consumo de Combustível: 0,18 l/kWh;
- Tipo de Combustível: diesel;

Portanto, o consumo horário de combustível é:

$$CH = 0,18 \times 85 \quad \therefore \quad CH = 15,3 \text{ l/h}$$

b) Fatores de Emissão de fontes móveis à diesel (BRASIL, 2009; Yasar *et al.*, 2013; IPCC, 2016; BRASIL, 2017d; FGV e WRI, 2018):

- CO₂: 2,603 kg/l
- CH₄: $1,0 \times 10^{-4}$ kg/l
- N₂O: $1,4 \times 10^{-4}$ kg/l
- CO: $8,3 \times 10^{-4}$ kg/kWh
- NMHC: $1,6 \times 10^{-4}$ kg/kWh
- NO_x: $1,8 \times 10^{-3}$ kg/kWh
- MP_{2,5}: $1,8 \times 10^{-5}$ kg/kWh
- RCHO: -
- SO₂: $1,23 \times 10^{-7}$ kg/l

Observando-se que há emissões obtidas através do consumo horário ou da potência do equipamento, chega-se, portanto, às seguintes emissões horárias para o equipamento:

- CO₂: $2,603 \times 15,3 = 39,826$ kg/h
- CH₄: $1,0 \times 10^{-4} \times 15,3 = 1,53 \times 10^{-3}$ kg/h
- N₂O: $1,4 \times 10^{-4} \times 15,3 = 2,142 \times 10^{-3}$ kg/h
- CO: $8,3 \times 10^{-4} \times 85 = 7,055 \times 10^{-2}$ kg/h
- NMHC: $1,6 \times 10^{-4} \times 85 = 1,36 \times 10^{-2}$ kg/h
- NO_x: $1,8 \times 10^{-3} \times 85 = 0,153$ kg/h
- MP_{2,5}: $1,8 \times 10^{-5} \times 85 = 1,53 \times 10^{-3}$ kg/h

- RCHO: -
- SO₂: $1,23 \times 10^{-7} \times 15,3 = 1,88 \times 10^{-6} \text{ kg/h}$

c) Emissões unitárias do equipamento no serviço 4011219 - “Base de solo estabilizado granulometricamente sem mistura com material de jazida”:

Através da composição de custo unitário do exemplo, sabe-se que, para cada hora de serviço, produz-se 168,20 m³ deste, utilizando 0,96 hora do equipamento rolo de pneus de 85 kW. Portanto, é possível obter as emissões deste equipamento para cada unidade do serviço (m³):

- CO₂: $39,826 \times 0,96 \div 168,20 = 0,227 \text{ kg/m}^3$
- CH₄: $1,53 \times 10^{-3} \times 0,96 \div 168,20 = 8,732 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$
- N₂O: $2,142 \times 10^{-3} \times 0,96 \div 168,20 = 1,222 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3$
- CO: $7,055 \times 10^{-2} \times 0,96 \div 168,20 = 4,027 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$
- NMHC: $1,36 \times 10^{-2} \times 0,96 \div 168,20 = 7,762 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3$
- NO_x: $0,153 \times 0,96 \div 168,20 = 8,732 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$
- MP_{2,5}: $1,53 \times 10^{-3} \times 0,96 \div 168,20 = 8,732 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$
- RCHO: -
- SO₂: $1,88 \times 10^{-6} \times 0,96 \div 168,20 = 1,073 \times 10^{-8} \text{ kg/m}^3$

d) Emissões unitárias equivalentes do equipamento no serviço:

Aplicando os resultados obtidos em (c) nas Equações (1), (2), (3), (4) e (5), desconsiderando as emissões não disponíveis por não haver aferição pelos órgãos de controle, conforme explicado nos itens 4.4.1.1 a 4.4.1.5, obtém-se também as emissões unitárias equivalentes para a composição:

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = 1 \times \text{CO}_2 + 25 \times \text{CH}_4 + 298 \times \text{N}_2\text{O}$$

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = 1 \times 0,227 + 25 \times 8,732 \times 10^{-6} + 298 \times 1,222 \times 10^{-5}$$

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = 0,231 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{SO}_{2\text{eq}} = 1 \times \text{SO}_x + 0,70 \times \text{NO}_x + 1,88 \times \text{NH}_3$$

$$\text{SO}_{2\text{eq}} = 1 \times 1,073 \times 10^{-8} + 0,70 \times 8,732 \times 10^{-4} + 1,88 \times 0$$

$$\text{SO}_{2\text{eq}} = 6,113 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$$

$$\text{N}_{\text{eq}} = 0,12 \times \text{NH}_3 + 0,04 \times \text{NO}_x$$

$$N_{eq} = 0,12 \times 0 + 0,04 \times 8,732 \times 10^{-4}$$

$$N_{eq} = 3,493 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3$$

$$MP_{2,5eq} = 1 \times MP_{2,5} + 0,07 \times NH_3 + 0,01 \times NO_x$$

$$MP_{2,5eq} = 1 \times 8,732 \times 10^{-6} + 0,07 \times 0 + 0,01 \times 8,732 \times 10^{-4}$$

$$MP_{2,5eq} = 1,746 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3$$

$$O_{3eq} = 24,8 \times NO_x + 1,68 \times NO_2 + 0,01 \times CH_4 + 3,6 \times COV$$

$$O_{3eq} = 24,8 \times 8,732 \times 10^{-4} + 1,68 \times 0 + 0,01 \times 8,732 \times 10^{-6} + 3,6 \times 0$$

$$O_{3eq} = 2,166 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3$$

APÊNDICE B - Cálculo de Emissões nas Obras da BR-359/MS – Lote 2

Apresenta-se, neste Apêndice, a interface de saída de resultados de emissões do ACV-SICRO para o estudo de caso das obras da BR-359/MS – Lote 2.

São discriminadas as parcelas de emissões por serviços que compõem o projeto e orçamento da obra, bem como as emissões totais de CO_2 , CH_4 , N_2O , CO , NMHC, NO_x , RHCO, $\text{MP}_{2,5}$ e SO_2 , com os quais foi possível o cálculo das emissões equivalentes: Gases do Efeito Estufa ($\text{CO}_{2\text{eq}}$), Gases Acidificantes ($\text{SO}_{2\text{eq}}$), Gases Eutrofizantes (N_{eq}), Poluição Atmosférica ($\text{MP}_{2,5\text{eq}}$) e Potencial de Formação de *Smog* ($\text{O}_{3\text{eq}}$).

804293	CORPO DE BTTC D = 1,00 M PAI - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	27,0000	M	1.866,5395	0,0976	0,0900	3,1528	0,6065	6,8026	0,0001	0,0681	0,0001	1.895,8044	4,7619	0,2721	0,1361	168,7044
804301	CORPO DE BTTC D = 1,20 M PAI - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	97,0000	M	8.192,2361	0,4298	0,4025	14,0637	2,7051	30,3427	0,0004	0,3037	0,0004	8.322,9265	21,2402	1,2137	0,6071	752,5026
804441	BOCA BTTC D = 1,00 M - ESCONSIDADE 0° - AREIA E BRITA COMERCIAIS - ALAS ESCONSAS	4,0000	UN	30,7329	0,0014	0,0003	0,9895	0,1890	2,0987	0,0001	0,0211	0,0000	30,8433	1,4691	0,0839	0,0420	52,0480
804337	BOCA BTTC D = 1,20 M - ESCONSIDADE 0° - AREIA E BRITA COMERCIAIS - ALAS RETAS	13,0000	UN	99,8819	0,0045	0,0008	2,0378	0,3880	4,2923	0,0003	0,0431	0,0001	100,2407	3,0047	0,1717	0,0860	106,4494
705185	CORPO BSCC 2,00 X 2,00 M - MOLDADO NO LOCAL - ALTURA DO ATERRO 1,00 A 2,50 M - AREIA E BRITA COMERCIAIS	29,0000	M	409,7536	0,0185	0,0034	3,9058	0,7497	8,3860	0,0002	0,0840	0,0001	411,2229	5,8703	0,3354	0,1678	207,9729
705187	CORPO BSCC 2,00 X 2,00 M - MOLDADO NO LOCAL - ALTURA DO ATERRO 2,50 A 5,00 M - AREIA E BRITA COMERCIAIS	28,0000	M	395,6241	0,0179	0,0033	3,8341	0,7351	8,2085	0,0003	0,0822	0,0001	397,0428	5,7460	0,3283	0,1643	203,5708
705201	CORPO BSCC 2,50 X 2,50 M - MOLDADO NO LOCAL - ALTURA DO ATERRO 2,50 A 5,00 M - AREIA E BRITA COMERCIAIS	26,0000	M	367,3653	0,0166	0,0030	4,6744	0,8965	10,0167	0,0003	0,1003	0,0001	368,6826	7,0118	0,4007	0,2005	248,4139
705215	CORPO BSCC 3,00 X 3,00 M - MOLDADO NO LOCAL - ALTURA DO ATERRO 2,50 A 5,00 M - AREIA E BRITA COMERCIAIS	2,0000	M	28,2589	0,0013	0,0002	0,4660	0,0892	0,9945	0,0000	0,0100	0,0000	28,3602	0,6961	0,0398	0,0199	24,6629
705273	CORPO BDCC 2,00 X 2,00 M - MOLDADO NO LOCAL - ALTURA DO ATERRO 1,00 A 2,50 M - AREIA E BRITA COMERCIAIS	20,0000	M	282,5887	0,0128	0,0023	4,5417	0,8716	9,7449	0,0003	0,0976	0,0001	283,6020	6,8216	0,3898	0,1950	241,6740
705275	CORPO BDCC 2,00 X 2,00 M - MOLDADO NO LOCAL - ALTURA DO ATERRO 2,50 A 5,00 M - AREIA E BRITA COMERCIAIS	29,0000	M	409,7536	0,0185	0,0034	6,5854	1,2638	14,1301	0,0004	0,1415	0,0002	411,2229	9,8913	0,5652	0,2828	350,4273
705291	CORPO BDCC 2,50 X 2,50 M - MOLDADO NO LOCAL - ALTURA DO ATERRO 5,00 A 7,50 M - AREIA E BRITA COMERCIAIS	35,0000	M	494,5302	0,0223	0,0041	10,5874	2,0300	22,6703	0,0008	0,2271	0,0003	496,3035	15,8695	0,9068	0,4538	562,2238
705322	BOCA BDCC 2,00 X 2,00 M - ESCONSIDADE 0° - AREIA E BRITA COMERCIAIS	2,0000	UN	17,8405	0,0008	0,0001	1,1267	0,2153	2,3934	0,0001	0,0240	0,0000	17,9047	1,6754	0,0957	0,0479	59,3570
705330	BOCA BDCC 2,50 X 2,50 M - ESCONSIDADE 0° - AREIA E BRITA COMERCIAIS	3,0000	UN	26,7607	0,0012	0,0002	2,1746	0,4151	4,6070	0,0003	0,0462	0,0001	26,8571	3,2249	0,1843	0,0923	114,2526
705338	BOCA BDCC 3,00 X 3,00 M - ESCONSIDADE 0° - AREIA E BRITA COMERCIAIS	2,0000	UN	17,8405	0,0008	0,0001	1,8125	0,3454	3,8248	0,0003	0,0384	0,0000	17,9047	2,6774	0,1530	0,0766	94,8540
2003569	DRENO LONGITUDINAL PROFUNDO PARA CORTE EM SOLO - DPS 07 - TUBO DE CONCRETO PERFORADO E BRITA COMERCIAL	2.680,0000	M	8.512,8792	0,3779	0,0716	5,9547	1,0672	10,7795	0,0058	0,1108	0,0001	8.543,6666	7,5458	0,4312	0,2186	267,3350
2003917	DRENO LONGITUDINAL PROFUNDO PARA CORTE EM ROCHA - DPR 02 - TUBO DE CONCRETO PERFORADO E BRITA COMERCIAL	1.120,0000	M	11.591,3160	0,5261	0,0949	3,8371	0,7061	7,4339	0,0024	0,0756	0,0001	11.632,7572	5,2038	0,2974	0,1499	184,3651
2003321	SARJETA TRIANGULAR DE CONCRETO - STC 02 - AREIA E BRITA COMERCIAIS	44.364,0000	M	54.878,8265	2,3757	0,4751	3,2722	0,3708	0,2181	0,0185	0,0120	0,0000	55.079,8113	0,1527	0,0087	0,0142	5,4337
2003373	MEIO FIO DE CONCRETO - MFC 03 - AREIA E BRITA COMERCIAIS - FORMA DE MADEIRA	3.614,0000	M	23.296,6051	1,0555	0,1912	16,7887	3,2264	36,1448	0,0007	0,3618	0,0004	23.379,9731	25,3018	1,4458	0,7233	896,4009
2003732	CAIXA COLETORA DE TALVEGUE - CCT 03 - AREIA E BRITA COMERCIAIS	2,0000	UN	12,8924	0,0006	0,0001	0,3741	0,0718	0,8041	0,0000	0,0081	0,0000	12,9386	0,5629	0,0322	0,0161	19,9419
2003391	DESCIDA D'ÁGUA DE ATERROS TIPO RÁPIDO - DAR 02 - AREIA E BRITA COMERCIAIS	16.322,0000	M	125.405,5688	5,6409	1,0384	165,7004	31,8100	355,6171	0,0105	3,5617	0,0044	125.856,0302	248,9363	14,2247	7,1179	8.819,3596
2003385	ENTRADA PARA DESCIDA D'ÁGUA - EDA 01 - AREIA E BRITA COMERCIAIS	2.022,0000	UN	13.034,2378	0,5905	0,1070	2,0304	0,3768	4,0158	0,0010	0,0407	0,0000	13.080,8814	2,8111	0,1606	0,0809	99,5989
2003387	ENTRADA PARA DESCIDA D'ÁGUA - EDA 02 - AREIA E BRITA COMERCIAIS	200,0000	UN	1.289,2421	0,0584	0,0106	0,2058	0,0378	0,3975	0,0001	0,0040	0,0000	1.293,8557	0,2783	0,0159	0,0080	9,8597
2003443	DISSIPADOR DE ENERGIA - DES 02 - AREIA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	115,0000	UN	142,2564	0,0062	0,0012	0,0123	0,0014	0,0008	0,0001	0,0000	0,0000	142,7774	0,0006	0,0000	0,0001	0,0203
2003449	DISSIPADOR DE ENERGIA - DEB 01 - AREIA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	2.305,0000	UN	14.858,5154	0,6732	0,1220	57,8333	11,0849	123,7352	0,0045	1,2398	0,0015	14.911,6873	86,6161	4,9494	2,4771	3.068,6391
2003457	DISSIPADOR DE ENERGIA - DEB 05 - AREIA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	4,0000	UN	25,7848	0,0012	0,0002	0,4333	0,0828	0,9217	0,0000	0,0092	0,0000	25,8771	0,6452	0,0369	0,0185	22,8574
2003463	DISSIPADOR DE ENERGIA - DEB 08 - AREIA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	1,0000	UN	6,4462	0,0003	0,0001	0,1229	0,0235	0,2604	0,0000	0,0026	0,0000	6,4693	0,1823	0,0104	0,0052	6,4571
2003471	DISSIPADOR DE ENERGIA - DEB 12 - AREIA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	3,0000	UN	19,3386	0,0009	0,0002	0,4815	0,0917	1,0132	0,0001	0,0102	0,0000	19,4078	0,7092	0,0405	0,0203	25,1265
2003620	BOCA DE LOBO SIMPLES - BLS 02 - AREIA E BRITA COMERCIAIS	20,0000	UN	203,1450	0,0091	0,0017	0,5741	0,1100	1,2281	0,0000	0,0123	0,0000	203,8781	0,8597	0,0491	0,0246	30,4579
2003600	POÇO DE VISITA - PVI 02 - AREIA E BRITA COMERCIAIS	7,0000	UN	45,1235	0,0020	0,0004	0,9715	0,1865	2,0866	0,0001	0,0209	0,0000	45,2850	1,4606	0,0835	0,0418	51,7471
2003714	CHAMINÉ DOS POÇOS DE VISITA - CPV 01 - AREIA E BRITA COMERCIAIS	7,0000	UN	66,8221	0,0030	0,0006	0,1674	0,0321	0,3594	0,0000	0,0036	0,0000	67,0626	0,2516	0,0144	0,0072	8,9123
1600436	DEMOLIÇÃO DE CONCRETO SIMPLES	210,0000	M³	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1600403	REMOÇÃO DE TUBOS DE CONCRETO EM VALAS E BUEIROS - D = 800 MM	360,0000	M	595,6629	0,0273	0,0048	1,0440	0,2013	2,2641	0,0000	0,0226	0,0000	597,7827	1,5849	0,0906	0,0453	56,1499
1505879	ENROCAMENTO DE PEDRA ARRUMADA MANUALMENTE - PEDRA DE MÃO COMERCIAL - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO	145,0000	M³	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3713600	DEFENSA MALEÁVEL SIMPLES - FORNECIMENTO E IMPLANTAÇÃO	4.712,0000	M	7.617,3347	0,3488	0,0617	13,3507	2,5736	28,9533	0,0000	0,2895	0,0004	7.644,4422	20,2676	1,1581	0,5791	718,0442
3713601	ANCORAGEM DE DEFENSA MALEÁVEL SIMPLES - FORNECIMENTO E IMPLANTAÇÃO	1.184,0000	M	13.012,8126	0,5958	0,1054	22,8072	4,3966	49,4613	0,0000	0,4946	0,0006	13.059,1206	34,6235	1,9785	0,9892	1.226,6461
5213401	PINTURA DE FAIXA - TINTA BASE ACRÍLICA - ESPESSURA DE 0,6 MM	20.870,0000	M²	13.223,3415	0,6334	0,2769	23,2469	4,4813	50,4149	0,0000	0,5041	0,0006	13.321,6997	35,2910	2,0166	1,0083	1.250,2953
5213405	PINTURA DE SETAS E ZEBRADOS - TINTA BASE ACRÍLICA - ESPESSURA DE 0,6 MM	15,0000	M²	47,0400	0,0023	0,0010	0,0827	0,0159	0,1794	0,0000	0,0018	0,0000	47,3900	0,1256	0,0072	0,0036	4,4485
5213360	TACHA REFLETIVA BIDIRECIONAL - FORNECIMENTO E COLOCAÇÃO	11.970,0000	UN	8.190,1531	0,4343	0,4287	14,3321	2,7543	30,8561	0,0006	0,3089	0,0004	8.328,7751	21,5997	1,2342	0,6174	765,2364
5213572	FORNECIMENTO E IMPLANTAÇÃO DE PLACA EM AÇO, DE SOLO, IRREGULAR, SIMPLES - PELÍCULA III + III	295,0000	M²	2.127,9888	0,1092	0,0890	3,7595	0,7247	8,1532	0,0000	0,0815	0,0001	2.157,2289	5,7073	0,3261	0,1631	202,2003
4413996	ENLEIVAMENTO	239.870,0000	M²	216.196,6281	11,3759	10,7167	382,6550	73,7648	829,8543	0,0000	8,2985	0,0102	219.674,5888	580,9082	33,1942	16,5971	20.500,4992
3713610	CERCA COM 4 FIOS DE ARAME FARPADO E MOURÃO DE CONCRETO DE SEÇÃO QUADRADA DE 11 CM A CADA 2,5 M E ESTICADOR DE 15 CM A CADA 50 M - AREIA E BRITA COMERCIAIS	127.600,0000	M	913.861,9374	41,0400	7,5001	7,3337	1,3151	13,2954	0,0070	0,1367	0,0002	917.146,9953	9,3070	0,5318	0,2696	330,1375
5502978	COMPACTAÇÃO DE ATERROS A 100% DO PROCTOR NORMAL	3.500,0000	M³	3.282,9741	0,1638	0,1085	5,7881	1,1158	12,5524	0,0000	0,1255	0,0002	3.319,3925	8,7869	0,5021	0,2510	311,3019
5502109	ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE DE MATERIAL DE 1ª CATEGORIA - DMT DE 50 A 200 M - CAMINHO DE SERVIÇO EM LEITO NATURAL - COM ESCAVADEIRA E CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³	4.500,0000	M³	3.813,1343	0,1951	0,1551	6,7349	1,2983	14,6058	0,0000	0,1461	0,0002	3.864,2449	10,2243	0,5842	0,2921	362,2267
4413905	HIDROSSEMEADURA	523.091,0000	M²	120.477,5124	6,4118	6,4118	213,4211	41,1414	462,8410	0,0000	4,6284	0,0057	122.548,5207	323,9944	18,5136	9,2568	11.478,5209
5914640	TRANSPORTE COM CAVALO MECÂNICO DE 45 T - RODOVIA PAVIMENTADA	3.048.750,0000	TKM	376.078,6175	20,0148	20,0148	666,2083	128,4257	1.444,7892	0,0000	14,4479	0,0178	382.543,4083	1.011,3702	57,7916	28,8958	35.830,9712
5914637	TRANSPORTE COM CAVALO MECÂNICO DE 35 T - RODOVIA PAVIMENTADA	966.375,0000	TKM	109.104,9018	5,8065	5,8065	193,2750	37,2578	419,1506	0,0000	4,1915	0,0052	110.900,4149	293,4106	16,7660	8,3830	10.394,9930
TOTAIS:				5.212.261,20	251,08	126,08	7.017,50	1.351,34	15.180,85	0,10	151,86	0,19	5.256.111,21	10.626,78	607,23	303,67	376.487,65