



Encontro Internacional sobre Gestão  
Empresarial e Meio Ambiente

ISSN: 2359-1048  
Dezembro 2016

## **EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> NA LOGÍSTICA DE EXPORTAÇÃO DE SOJA DO MATO GROSSO: O CASO DAS EXPORTAÇÕES PELO ARCO NORTE**

**ABNER MATHEUS JOÃO**

abner.joao@usp.br

**ANA CAROLINA VETTORAZZI**

ana.vettorazzi@usp.br

**FERNANDO VINÍCIUS DA ROCHA**

fernandorocha7@gmail.com

**DANIELA BACCHI BARTHOLOMEU**

daniela.bartholomeu@usp.br

**JOSÉ VICENTE CAIXETA FILHO**

jose.caixeta@usp.br

# EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> NA LOGÍSTICA DE EXPORTAÇÃO DE SOJA DO MATO GROSSO: O CASO DAS EXPORTAÇÕES PELO ARCO NORTE

## 1. INTRODUÇÃO

O estado do Mato Grosso é o maior produtor de soja do Brasil, com grande representatividade no cenário agroindustrial nacional. Entretanto, a maior parte do grão é escoado através do uso do modal rodoviário, incorrendo em custos de transporte mais elevados, bem como um maior consumo de energia e emissão de CO<sub>2</sub>.

Nos últimos anos, através de investimentos na modernização e viabilização dos portos brasileiros das regiões Norte e Nordeste (conhecidos como portos do Arco Norte), foram incorporadas novas alternativas para o escoamento da produção mato-grossense, uma vez que os destinos eram quase que exclusivamente os portos de Santos (SP) e Paranaguá (PR). Tais soluções logísticas tiveram como objetivo a redução dos custos logísticos para a exportação da produção agrícola, resultado na utilização de modais alternativos de transporte (modal ferroviário e modal hidroviário) e também na diminuição das distâncias entre origem e destino.

Ademais, consequência das busca mais acentuada pela sustentabilidade nas operações logísticas, é essencial que a questão ambiental também seja considerada na definição das melhores opções para o escoamento da produção. A análise das emissões de CO<sub>2</sub> nas atividades logísticas se torna um importante indicador, dado que existe um maior aproveitamento energético oriundo da maior utilização da multimodalidade no transporte de cargas, resultando em impactos ambientais reduzidos.

Inserido nessa temática o presente trabalho tem o objetivo de comparar as soluções logísticas existentes para exportação de soja do Mato Grosso quanto às emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) na atmosfera. Especificamente, o artigo visa responder as seguintes questões de pesquisa: (i) *qual o impacto dos portos do Arco Norte nas emissões de CO<sub>2</sub> da cadeia logística de exportação de soja do Mato Grosso?*; e (ii) *qual o impacto do uso da multimodalidade nas movimentações de soja do Mato Grosso para exportação?*

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Em uma análise comparativa do setor de transportes, o modal rodoviário é aquele com maior participação no Brasil, tanto no transporte de cargas, quanto no de passageiros. Ao considerar o transporte regional de cargas (em milhões de TKUs), tal modal representa aproximadamente 61,1% da matriz de transporte do país, seguido pelo ferroviário (20,7%), pelo aquaviário (13,6%), pelo dutoviário (4,2%) e, por fim, pelo aéreo (0,4%), segundo dados do Geipot (2001 *apud* CNT, 2014). Esta distribuição, no entanto, gera enormes problemas de produtividade devido às dimensões continentais do Brasil. Comparativamente, países de dimensões similares ou até maiores, como os EUA, a Austrália e a China, transportam, respectivamente, 26%, 24% e 8% de sua carga pelo modal rodoviário (FLEURY, 2003).

No Brasil, de acordo com dados da CNT (2016), os 1,7 milhões de quilômetros de rodovias nacionais são dispostos da seguinte maneira: 12,24% pavimentados, 78,6% não-pavimentados e 9,16% planejados (rodovias em projeto de construção). Dentre as rodovias pavimentadas, aquelas com pista dupla representam apenas 5,2% do total, enquanto as de pista simples representam 93,9%, e pistas em obras de duplicação, 0,8%. A CNT também classifica as rodovias quanto sua qualidade, isto é: dos 100.763 quilômetros de rodovias nacionais utilizados para tal pesquisa, 12,54% são ótimas, 30,23% boas, 34,84% regulares, 16,09% ruins e 6,29% péssimas.

A densidade da malha ferroviária brasileira é de 25 km de rodovias pavimentadas para cada 1000 km<sup>2</sup> de área. Em 10 anos (de 2005 a 2015), a malha rodoviária federal pavimentada brasileira expandiu apenas 14,7%, algo bastante distinto da expansão da frota de veículos rodoviário (aumento de 118,7%). Em comparação com outros países dos BRICS (grupo de

países formado por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), tem-se que a China possui 359,9 km de rodovias pavimentadas para cada 1000 km<sup>2</sup> de área e a Rússia, 54,3 km de rodovias pavimentadas para cada 1000 km<sup>2</sup> de área, sendo que o território russo é duas vezes maior que o brasileiro.

Dados do Ministério dos Transportes mostram que as principais mercadorias transportadas (TU<sup>1</sup>) pelo modal ferroviário até setembro de 2014 foram: minério de ferro, soja, açúcar, carvão mineral, grãos, milho, farelo de soja, óleo diesel, celulose, produtos siderúrgicos e ferro gusa (Ministério dos Transportes, 2014).

O modal hidroviário, apesar de pouco aproveitado, também apresenta potencial elevado para o transporte de cargas, em função das condições geográficas e naturais do Brasil. Os grandes rios presentes no território nacional (como o Amazonas, Paraná e São Francisco, por exemplo) comportam, naturalmente, o tráfego de embarcações com grandes cargas. Entretanto não há o investimento necessário para tornar este modal mais representativo no transporte de grãos e outras cargas. Fialho (1993 *apud* SANTANA e TACHIBANA, 2004, p. 82):

"apresenta um enfoque mais econômico à questão, se lamentando com o aparente não compromisso ou mesmo descaso com que o Brasil, que possui dimensões continentais e uma significativa hidrografia, não tem desenvolvido a navegação interior como seria desejável ou poderia."

Nos termos de eficiência energética, conforme Correa e Ramos (2010), os modais hidroviário e ferroviário são mais adequados para o transporte de cargas de baixo valor agregado a longas distâncias (soja, milho, farelo de soja, etc), devido à capacidade de maximizar a eficiência de consumo de combustível por tonelada transportada. De acordo com Coeli (2004) o modal rodoviário consome quatro vezes mais combustível que o modal ferroviário para o transporte de mesma carga, o que evidencia o ganho econômico do uso desse modal para transporte de cargas a longas distâncias. E segundo Caixeta *et al.* (1998) o modal ferroviário consome mais de duas vezes o que um conjunto de barcas consome, considerando mesma distância e quantidade transportada.

De acordo com Tupy e Yamaguchi (1998), a produtividade pode variar de acordo com as diferenças tecnológicas, a eficiência dos processos e o ambiente analisado. No Brasil, o setor de transportes – de carga, principalmente – sofre com diversos gargalos que afetam diretamente a produtividade. Um dos gargalos mais repercutidos é o fato do sistema de transporte brasileiro ser muito dependente do modal rodoviário. O transporte de *commodities* através da diversificação de modais (hidroviário, rodoviário, ferroviário) chega a ter custos 20% inferiores com relação ao uso do modal rodoviário, restritivamente (TORRES, 2006 *apud* CORREA e RAMOS, 2010).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME, 2015), no ano de 2014 o setor de transporte consumiu 32,5% do total de energia demandada no Brasil. O modal rodoviário representou 92,6% do total, seguido pelos modais aéreo (4,3%), ferroviário (1,2%) e aquaviário (1,8%).

Em relação à oferta interna de energia, em 2014, 60,6% da energia foi originada de fontes não-renováveis, em comparação com 55,9% em 2005 (MME, 2015), ou seja, mesmo com o investimento em fontes renováveis ao longo dos anos, houve uma diminuição na participação dessas fontes na matriz energética nacional.

Conforme mostra a

Tabela 1, o modal aéreo possui a menor eficiência energética em relação aos outros modais de transporte. Por outro lado, normalmente ele não é utilizado no transporte de cargas de baixo valor agregado, como são caracterizadas as cargas do agronegócio. O modal rodoviário, o de maior uso no Brasil, é o segundo menos eficiente, sendo gastos 3,53 megajoules

---

<sup>1</sup> TU: Toneladas úteis

para o transporte de uma tonelada em um quilômetro. Na sequência aparecem o modal ferroviário e o modal hidroviário, sendo que o mais eficiente dentre os modais de transporte considerados é o dutoviário.

**Tabela 1.** Eficiência energética entre as modalidades de transporte de carga

<b>Modalidade</b>	<b>Ton-K m/1*</b>	<b>MJ/t.km</b>
Rodovia	25	3,53
Ferrovia	88	1,02
Hidrovia	98	0,93
Aerovia	2	40,70
Dutovia	120	0,74

\*Equivalência comparativa para quando as cargas têm a mesma densidade.

Fonte: Anciães *et al.* (1980 *apud* Correa e Ramos 2010 p. 451)

Tais relações evidenciam a importância da utilização do transporte multimodal para a movimentação de grãos, ou seja, cargas com baixo valor agregado. No entanto, os modais ferroviário e hidroviário do país possuem infraestrutura insuficiente para a realização do transporte de grãos, o que leva à necessidade da utilização quase que restrita do modal rodoviário, mesmo tratando-se de longas distâncias. Essa condição gera problemas quanto ao baixo aproveitamento do transporte, pois, ao utilizar apenas as estradas, há menos grãos transportados do que em uma composição ferroviária e/ou rodoviária. (ROESSING *et al.*, 2007). Para se obter uma maior eficiência energética e uma maior produtividade na movimentação é indicada a utilização do modal rodoviário somente para as conexões intermodais, ao enviar da origem à ferrovia ou à hidrovia.

Como exposto por Correa e Ramos (2010), há dois tipos de custos logísticos presentes no modo rodoviário que inferem na competitividade internacional da soja brasileira. O primeiro seria relacionado à inadequação do modal às particularidades do produto e às grandes distâncias percorridas. Já o segundo diz respeito à condição precária da malha rodoviária brasileira, a qual desde os anos 1980 reflete a escassez de recursos que acompanha as políticas públicas de infraestrutura. Ao analisar essa matriz de transporte de cargas brasileira no contexto histórico-político, Correa e Ramos (2010, p. 453) ressaltam que:

"a concentração logística no modal rodoviário tem sua raiz no período de desenvolvimento da indústria automobilística e dos baixos preços do petróleo, principalmente após a segunda metade da década de 50, quando, então, se observou a expansão dessa modalidade. "

O cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> no setor de transportes tem como base o consumo de energia, ou seja, de combustíveis. O uso mais eficiente desses combustíveis ou até mesmo o uso de combustíveis alternativos são opções já adotadas por alguns países desenvolvidos para reduzir suas emissões totais de CO<sub>2</sub>.

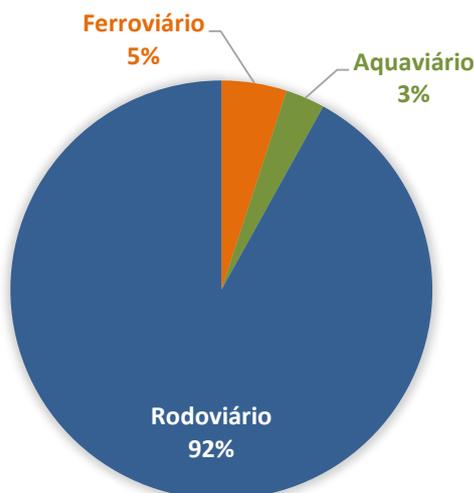
O setor de transportes, no Brasil, é o que tem maior participação na emissão total de CO<sub>2</sub>, com 46%, conforme publicação da *International Energy Agency* (2015) sobre as emissões de CO<sub>2</sub> proveniente da queima de combustíveis. Os dados estão sintetizados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Emissão brasileira de CO<sub>2</sub>, em milhões de toneladas, por setor

Setor	Emissão de CO <sub>2</sub>	Participação (%)
Transporte	208,1	46%
- Rodoviário	188,0	42%
Indústrias de manufatura e construção	100,5	22%
Eletricidade e produção de calor	76,6	17%
Outros usos de energia na indústria	28,5	6%
Outros setores	38,7	9%
- Residencial	17,9	4%
<b>Total</b>	<b>452,4</b>	<b>100%</b>

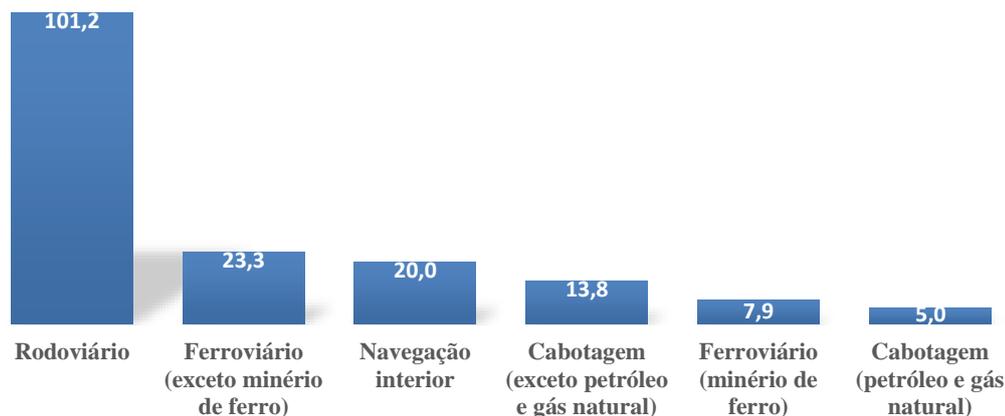
Fonte: *International Energy Agency*, 2015

No transporte de cargas, segundo a pesquisa CNT de navegação interior (CNT, 2013), o modal rodoviário é o que registrou a maior emissão dentre aqueles mais utilizados no Brasil, com 62,5 Mt de CO<sub>2</sub>, ou seja, 92% do total, conforme mostra a Figura 1. De modo complementar, a Figura 2 evidencia o nível bastante superior das emissões de CO<sub>2</sub> em grama por tonelada útil na operação de transporte, que é mais de quatro vezes superior do que o valor de referência do modal ferroviário.



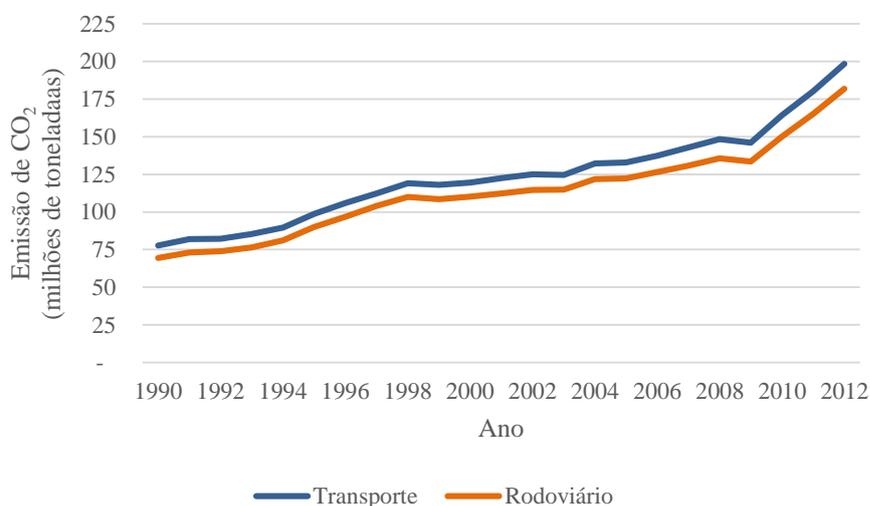
**Figura 1.** Distribuição da emissão de CO<sub>2</sub>, em Mt, do transporte de carga entre os modais rodoviário, ferroviário e aquaviário

Fonte: Pesquisa CNT de navegação interior, 2013



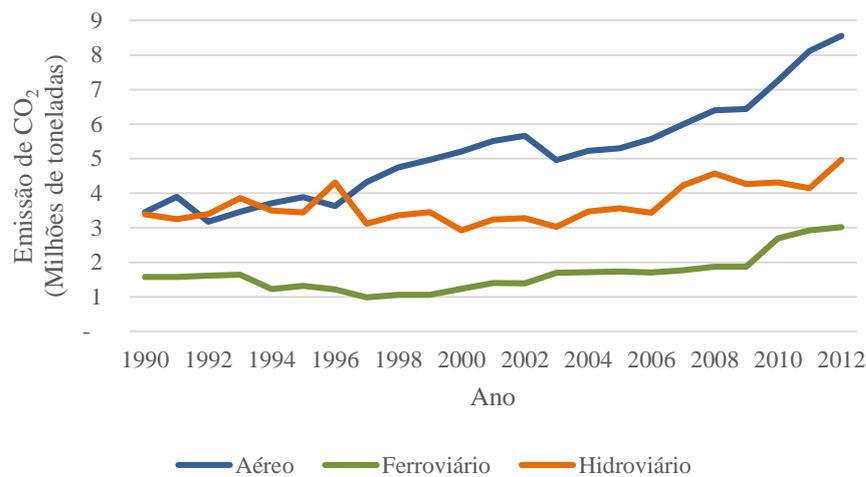
**Figura 2.** Fatores de emissão para cada modal de transporte, em gCO<sub>2</sub>/tku  
 Fonte: Pesquisa CNT de navegação interior, 2013

As estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, elaboradas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2014), demonstraram a existência da forte correlação entre as emissões totais de CO<sub>2</sub> do setor de transporte e as do modal rodoviário, conforme mostra a Figura 3. Nota-se a partir de tais dados uma incremento mais significativo nas emissões de CO<sub>2</sub> a partir do ano de 2009. Os dados também indicaram (Figura 4) uma quase equivalência de emissão dos modais aéreo e hidroviário no período até 1997, a partir de quando as do modal aéreo apresentaram crescimentos maiores do que a do hidroviário. Além disso, a Figura 4 também mostra que, em todo o período analisado, o transporte ferroviário no Brasil foi o que apresentou as menores emissões de CO<sub>2</sub>.



**Figura 3.** Emissões de CO<sub>2</sub>, em milhões de toneladas, do setor transporte ao todo e do transporte rodoviário, de 1990 a 2012.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do MCTI, 2014



**Figura 4.** Emissões de CO<sub>2</sub>, em milhões de toneladas, do transporte aéreo, ferroviário e hidroviário, de 1990 a 2012.

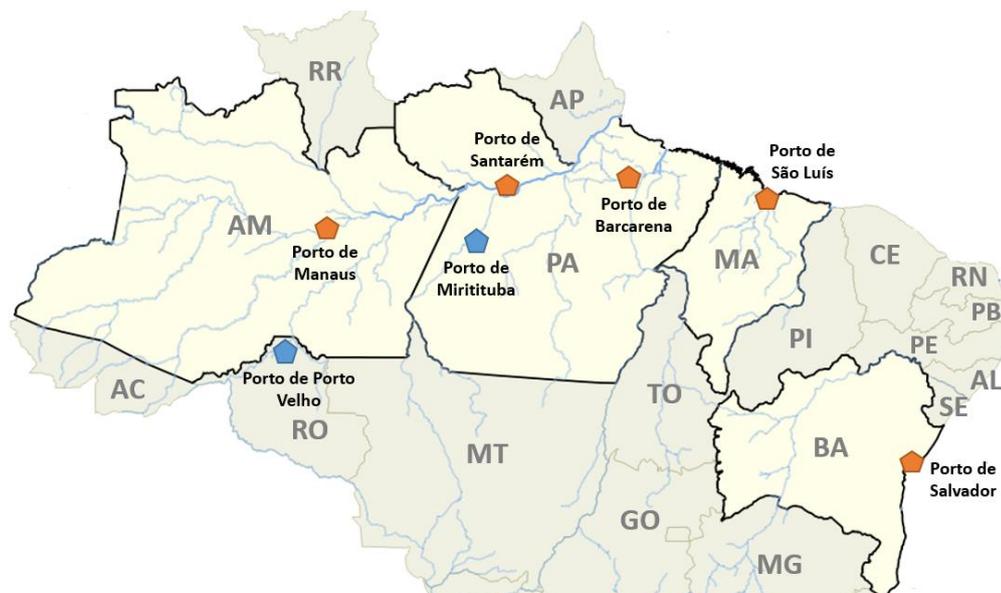
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do MCTI, 2014

Leal Júnior *et al.* (2015) estimaram o consumo de energia, em MJ/tkm, e a emissão de CO<sub>2</sub>, em kg/t.km, no setor de transporte, considerando alguns dos produtos mais representativos no Brasil. Para tanto, quatro cenários diferentes foram criados, desde uma mudança na proporção de utilização dos diversos modais de transporte, até a utilização de fontes alternativas, como o biodiesel. Chegaram à conclusão que é necessário o aumento da eficiência do transporte para que o Brasil seja mais competitivo e também menos emissor de gases do efeito estufa.

Foi verificada a participação dos veículos automotores na emissão de gases poluentes na atmosfera, sendo que quase 50% das emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio eram provenientes da combustão de motores a diesel ou a gasolina e em áreas congestionadas, o tráfego de veículos era responsável por aproximadamente 90% das emissões de CO, o que se constitui uma ameaça à saúde humana (MONTEIRO, 1998).

Por fim, Craig *et al.* (2013) analisaram o efeito ambiental da mudança do transporte norte-americano de cargas pelo modal rodoviário unicamente, para a intermodalidade, com o uso também de ferrovias. Deste modo, calcularam a intensidade de emissão de CO<sub>2</sub> para o transporte intermodal, obtendo-se valores desde 29 até 220 gramas por tonelada-milha, com a média de 67 gramas por tonelada-milha, o equivalente a 0,04163 kg CO<sub>2</sub>/t.km. Tal quantia é 46% menor do que as emissões do transporte exclusivo pelo modal rodoviário. Os autores chegaram à conclusão de que a intermodalidade é uma ótima solução para a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> no transporte, porém apenas para as chamadas *carbon market areas*, ou seja, aquelas áreas específicas localizadas em torno de terminais de transbordo rodoferroviários.

Em se tratando das logística de exportação de soja, os portos localizados nas regiões Norte e Nordeste do Brasil compõem o corredor de exportação conhecido como Arco Norte. Tal corredor é composto principalmente pelo Porto Velho (em Rondônia), Porto de Manaus (no Amazonas), Porto de Miritituba (no Pará), Porto de Santarém (no Pará), Porto de Barcarena (no Pará), Porto de São Luis (no Maranhão) e Porto de Salvador (na Bahia). A localização de tais portos está apresentada na Figura 5.



**Figura 5.** Portos do Arco Norte.

Fonte: elaborado pelos autores.

A exportação por esses portos apresenta tendência de crescimento pelo fato de estes apresentarem soluções logísticas mais competitivas em termos de custos. Dados da Secretaria do Comércio Exterior (SECEX, 2016) mostram que os portos de Barcarena e São Luís apresentaram crescimento nas exportações de soja, entre os anos de 2014 e 2015, na ordem de 100% e 61%, respectivamente. Cabe destacar também que as movimentações de grãos por esses portos está bastante atrelada à utilização do modal hidroviário (entre o Porto de Porto Velho e o Porto de Manaus, e entre o Porto de Miritituba e os portos de Salvador e Barcarena) e ao modal ferroviário (entre o terminal portuário de Porto Nacional (Tocantins) e o Porto de São Luís), o que contribui de forma decisiva para redução dos custos logísticos.

### 3. MATERIAL E MÉTODO

É apresentado nesta seção o método de análise empregado neste artigo, bem como os dados utilizados e as respectivas fontes de informação.

Dados de exportação de soja pelos municípios do Estado do Mato Grosso compõem a base das discussões deste trabalho. Através do sistema AliceWeb, da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX, 2016), foram obtidos os dados municipais de exportação de soja referentes ao ano de 2015, do estado do Mato Grosso. A partir de tais dados foram identificados todos os fluxos (município de origem e porto de destino) das exportações do Estado.

De modo complementar, também foram obtidas as distâncias rodoviárias para cada um dos fluxos identificados. Fez-se o uso da base de dados do Guia Quatro Rodas (2016), consolidando esta fonte como o padrão da distâncias rodoviárias da pesquisa. No tocante às distâncias ferroviárias, as informações foram obtidas junto à Pesquisa CNT de Ferrovias 2015 (CNT, 2015) e sites de notícias especializados. Por fim, quanto às distâncias hidroviárias não foram identificadas fontes que consolidassem o leque de informações necessárias. Dessa forma, foram realizadas estimativas com o uso do *software Google Earth*, as quais foram validadas com o auxílio de sites de notícias especializados.

Os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> compõem a gama de indicadores necessários para o atingimento dos objetivos do estudo. Para a quantificação das emissões totais da cadeia logística da soja no Mato Grosso, foram utilizados, em kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de soja transportada por quilômetro percorrido (Kg/t.km), os seguintes fatores: 0,11917 para o modal rodoviário; 0,0346

para o ferroviário; e 0,018 para o hidroviário (PMBC, 2013 *apud* LEAL JUNIOR, I. C. et al, 2015).

Após a consolidação dos dados, foram realizados, conforme a Equação (1), no *software* Excel, os cálculos das emissões de CO<sub>2</sub> de cada fluxo de exportação de soja do Mato Grosso ( $E_{jk}$ ), baseado na distância ( $D$ ), na quantidade de carga exportada por fluxo ( $Q_{jk}$ ) e nos fatores e emissão de CO<sub>2</sub> de cada modal de transporte ( $Fe_i$ ).

$$E_{jk} = \sum (Fe_i * D * Q_{jk}) \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:

$E_{jk}$  = Emissão total de CO<sub>2</sub> por município de origem  $j$  e por município de destino  $k$  em kg;

$Fe_i$  = Fator de emissão de CO<sub>2</sub> do modal de transporte  $i$ , em kg/t.km;

$D$  = Distância percorrida, em km;

$Q_{jk}$  = Quantidade de soja exportada por município de origem  $j$  e por município de destino  $k$ , em t.

As soluções logísticas do transporte de soja do Mato Grosso consideradas para a realização dos cálculos, de acordo com cada porto de destino, foram:

- Porto de Santos (SP): (i) transporte exclusivamente pelo modal rodoviário; (ii) utilização do modal ferroviário, através do terminal de transbordo rodoferroviário de Rondonópolis (MT); e (iii) utilização do modal hidroviário, pelo terminal de transbordo rodo-hidroviário de São Simão (GO).
- Portos de Barcarena (PA) e Santarém (PA): (i) transporte exclusivamente rodoviário; e (ii) transporte rodo-hidroviário, através do terminal de transbordo de Miritituba (PA).
- Porto de Itacoatiara (AM): (i) transporte exclusivamente rodoviário; e (ii) transporte rodo-hidroviário, através do terminal de transbordo de Porto Velho (RO).
- Porto de Paranaguá (PR): (i) transporte exclusivamente rodoviário; e (ii) transporte rodoferroviário, através do terminal de transbordo de Londrina (PR).
- Porto de Vitória (ES): transporte exclusivamente rodoferroviário, através do terminal de transbordo de Araguari (MG).
- Porto de São Luís (MA): (i) transporte exclusivamente rodoviário; e (ii) transporte rodoferroviário, através do terminal de transbordo de Colinas do Tocantins (TO).
- Portos de Imbituba (SC), Rio Grande (RS), Salvador (BA) e São Francisco do Sul (SC): transporte exclusivamente rodoviário.

A partir dessas possibilidades de exportação e respectivas configurações de fluxos de transporte, foram criados quatro diferentes cenários (1, 2, 3.1 e 3.2) para a comparação das emissões de gás carbônico, sendo que: no cenário 1 o transporte única e exclusivamente realizado pelo modal rodoviário para cada um dos portos de destino; no cenário 2 o transporte é realizado considerando a multimodalidade; no cenário 3.1 o transporte é única e exclusivamente pelo modal rodoviário, porém sem a utilização dos portos do Arco Norte (os fluxos originalmente exportados pelos portos de Barcarena, Itacoatiara, São Luís, Santarém, Itaituba e Salvador são realocados para os portos de Santos (SP) e Paranaguá (PR)); e no cenário 3.2 o transporte é realizado considerando a multimodalidade, também sem a utilização dos portos do Arco Norte.

Para os cenários 2 e 3.2, a porcentagem de uso de cada modal alternativo ao rodoviário (ferroviário e hidroviário) foi definida de acordo com a Tabela 3, baseado em entrevistas telefônicas realizadas com agentes representativos no que diz respeito à exportação de soja do Mato Grosso.

**Tabela 3.** Porcentagem de uso dos modais ferroviário e hidroviário nos cenários 2 e 3.2

<b>Porto de destino</b>	<b>Ferrovário</b>	<b>Hidroviário</b>
Santos	70%	11%
Barcarena/Santarém	-	80%
Itacoatiara	-	100%
São Luís	80%	-
Paranaguá	35%	-

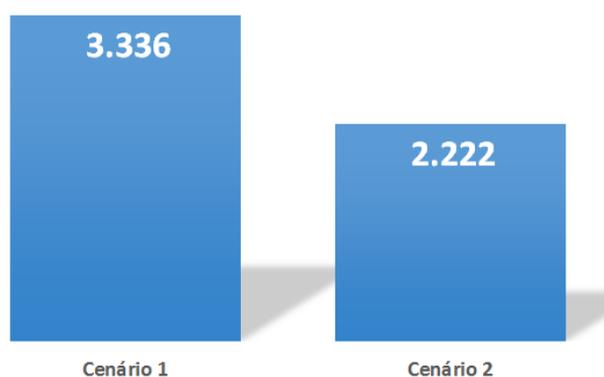
Fonte: Elaborado pelos autores.

Com base nos cálculos de emissão de CO<sub>2</sub> e nos diferentes cenários considerados para as soluções logísticas, foram realizadas análises comparativas e também análises de sensibilidade, a fim de serem avaliados os resultados. Os resultados estão apresentados na próxima seção.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para fins didáticos, a exposição dos resultados e discussões derivadas serão apresentadas em forma de comparativo entre os cenários analisados.

De modo inicial, a análise comparativa entre os cenários 1, com o transporte unicamente realizado pelo modal rodoviário, e 2, com o uso da multimodalidade, indica uma redução de 33% das emissões de gás carbônico nas movimentações de soja de todo o estado do Mato Grosso, como consequência do uso de modais de transporte alternativos ao transporte rodoviário. No cenário que faz referência à utilização exclusiva do modal rodoviário, as estimativas apontam para uma emissão total de CO<sub>2</sub> na atmosfera da ordem de 3,3 bilhões de quilogramas. O uso da multimodalidade reduziu as emissões em mais de 1,1 bilhões de quilogramas de CO<sub>2</sub>, conforme demonstra a Figura 5. Nota-se um impacto bastante significativo na redução das emissões de CO<sub>2</sub> a partir do uso na multimodalidade no transporte de soja do Mato Grosso.



**Figura 6.** Emissões totais de CO<sub>2</sub>, em milhões de kg, dos cenários 1, rodoviário direto e 2, com multimodalidade.

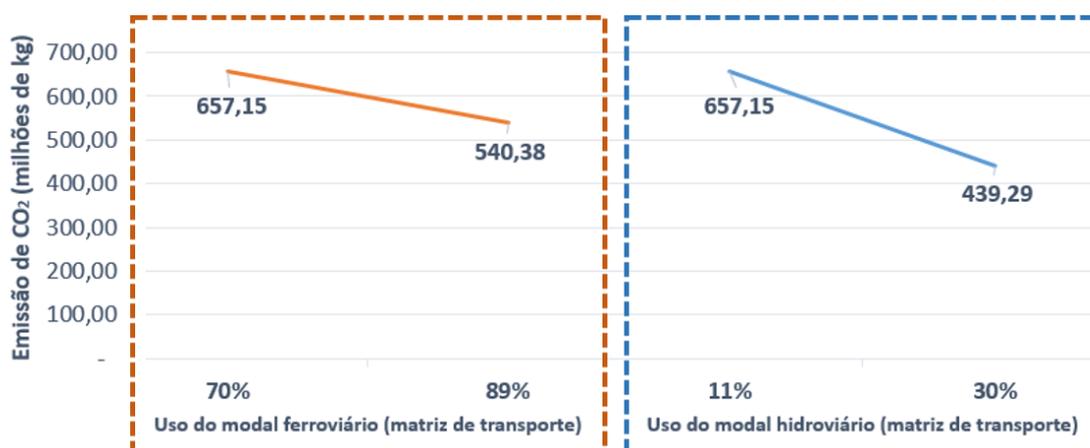
Fonte: elaborado pelos autores.

De modo a explorar melhor as análises oriundas do cenário 2, fez-se o uso de uma análise de sensibilidade que demonstra que um possível aumento na capacidade de exportação do terminal de transbordo rodoferroviário de Rondonópolis (MT), ou seja, um consequente aumento da participação deste modal de 70% para 89% no transporte de soja ao porto de Santos ocasionaria uma diminuição de 18% das emissões totais de CO<sub>2</sub> desse corredor de exportação. Nesse caso, o adicional do volume de carga captado pela ferrovia faz referência as

movimentações anteriormente atreladas ao modal rodoviário. Nessa situação, as emissões seriam reduzidas na ordem 116,77 milhões de quilogramas de CO<sub>2</sub>.

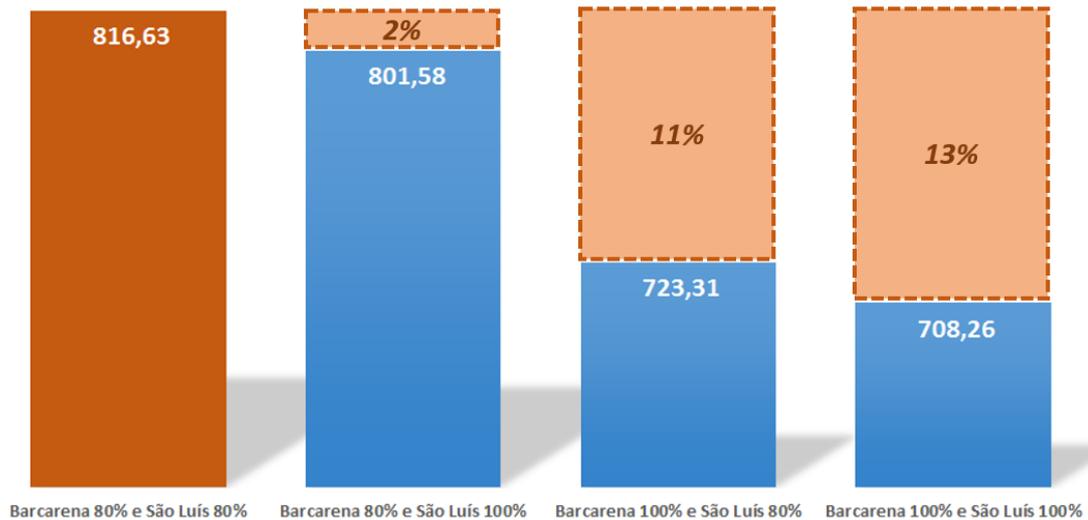
A mesma análise é proposta para o uso do modal hidroviário. Um aumento de 11% para 30% de participação da hidrovía pelo terminal rodo-hidroviário de São Simão (carga anteriormente alocada no modal rodoviário) seria responsável pela diminuição de 33% das emissões de CO<sub>2</sub> nesse corredor de transporte, o equivalente a 217,86 milhões de quilogramas de CO<sub>2</sub>.

As análises de sensibilidade descritas são apresentadas na Figura 7. Tal análise evidencia o benefício ambiental proveniente de uma maior priorização do modal hidroviário em relação ao rodoviário e ferroviário nas exportações do Mato Grosso pelo porto de Santos.



**Figura 7.** Análise de sensibilidade das emissões de CO<sub>2</sub>, em milhões de kg, do corredor de exportação de soja para Santos (priorização do uso da ferrovia e priorização do uso da hidrovía).  
Fonte: Elaborado pelos autores.

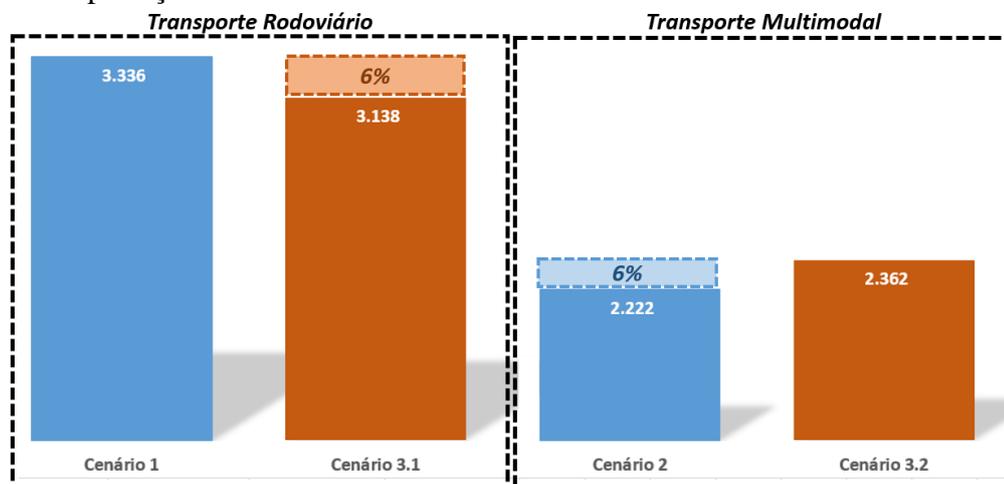
Fazendo a mesma análise de sensibilidade para o caso das exportações de soja pelos portos do Arco Norte. Das movimentações totais para este corredor de transporte, os portos de São Luís e de Barcarena fazem o uso da multimodalidade. Conforme apresentado na Figura 8, a realização de 100% das movimentações ao porto de São Luís pelo modal ferroviário ocasionaria uma diminuição de 2% das emissões totais de CO<sub>2</sub> desse corredor de exportação. De modo similar, o aumento do uso da hidrovía Tapajós de 80% para 100% no transporte de soja até os portos de Barcarena e Santarém seria responsável pela diminuição de 11% das emissões do corredor. Ambas as situações, portanto, determinariam uma redução de 13% de emissão de CO<sub>2</sub> no transporte pelo Arco Norte. Confirma-se, portanto, os benefícios da priorização da multimodalidade nas exportações pelos portos do Arco Norte, havendo ainda, para os municípios exportadores do Mato Grosso, potencial para reduzir em 108,37 milhões de quilogramas de CO<sub>2</sub> as emissões totais desse corredor.



**Figura 8.** Emissões de CO<sub>2</sub>, em milhões de kg, considerando diferentes parâmetros de utilização dos portos de Barcarena (PA) e São Luís (MA).  
Fonte: elaborado pelos autores.

Conforme informações da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), o modal hidroviário possui menores custos operacionais e de infraestrutura, e maior eficiência energética. Além disso, um comboio composto de várias barcaças equivale, em volume transportado, a 54 vagões ou 210 caminhões. Deste modo, maiores investimentos em hidrovias como a Tietê-Paraná e a Tapajós seriam mais efetivos tanto para questões ambientais, quanto econômicas.

Na situação atual, com o emprego da multimodalidade, porém em um cenário sem o uso do corredor do Arco Norte para a exportação de soja do Mato Grosso, as emissões totais de CO<sub>2</sub> do Mato Grosso sofreriam um aumento de 6%. Por outro lado, se todo o transporte fosse realizado somente por rodovias, as emissões seriam reduzidas em 6% sem o uso dos portos do Arco Norte, havendo, portanto, maior eficiência ambiental nas exportações pelos portos do Sul e Sudeste (Figura 9). Tal consideração evidencia que a utilização dos portos do Arco Norte é ambientalmente vantajosa quando se utiliza da multimodalidade para o transporte de grãos. A utilização de modais alternativos ao rodoviário para a exportação de soja pelos portos do Arco Norte é, portanto, fundamental para que sejam obtidos ganhos ambientais ao longo do processo logístico de exportação.



**Figura 9.** Emissões de CO<sub>2</sub>, em milhões de kg, considerando os cenários 1 e 2 em azul, com os portos do Arco Norte e 3.1 e 3.2 em vermelho, sem os portos do Arco Norte.  
Fonte: elaborado pelos autores.

De modo a fundamentar esta análise, a Tabela 4 apresenta os dez municípios que mais reduziram a emissão de CO<sub>2</sub>, em números absolutos, com a introdução da multimodalidade (cenário 2) frente ao transporte exclusivamente rodoviário (cenário 1). Os três municípios que mais reduziram a emissão de CO<sub>2</sub> foram Sorriso (MT), Matupá (MT) e Sinop (MT). Esses três municípios apresentaram uma redução média de mais de 150 milhões de kg de CO<sub>2</sub>, sendo a grandeza dos respectivos ganhos ambientais proporcionais à utilização dos modais alternativos de transporte e à quantidade de carga exportada. É bastante evidente, portanto, o ganho ambiental que a multimodalidade proporciona ao município de Sorriso (MT), localizado na principal região produtora de soja do país.

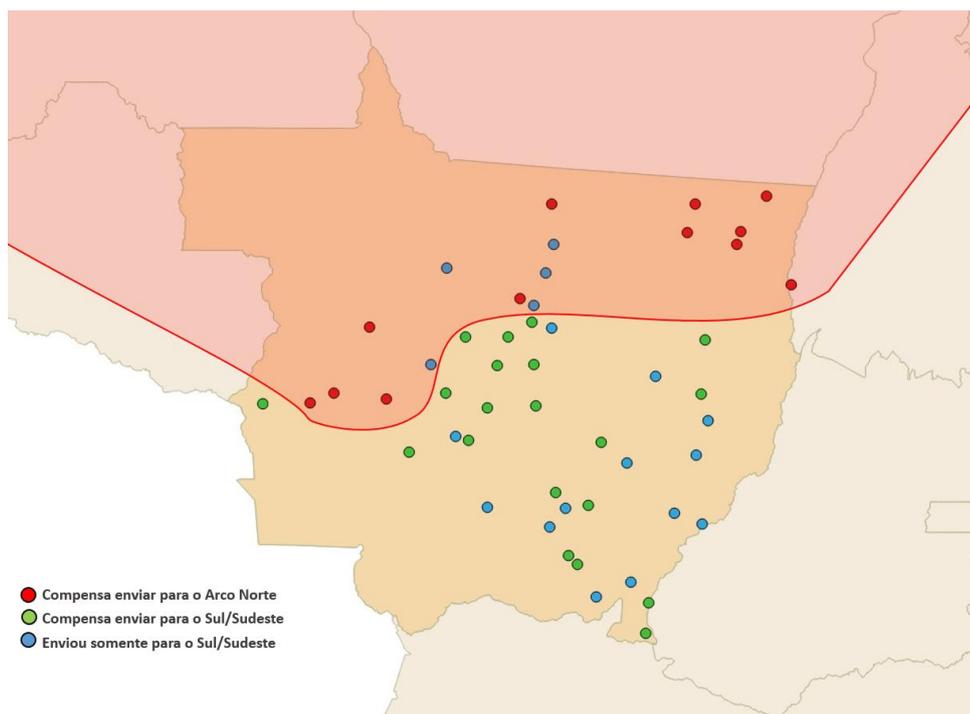
**Tabela 4.** Municípios que mais reduziram a emissão de CO<sub>2</sub> com a multimodalidade, em kg.

<b>Ranking</b>	<b>Município</b>	<b>Quantidade reduzida (kg)</b>
1	Sorriso (MT)	203.503.031
2	Matupá (MT)	129.943.898
3	Sinop (MT)	128.588.057
4	Nova mutum (MT)	65.956.891
5	Diamantino (MT)	51.478.851
6	Primavera do Leste (MT)	51.096.409
7	Sapezal (MT)	48.346.434
8	Campo Novo do Parecis (MT)	45.377.621
9	Campos de Júlio (MT)	39.972.227
10	Lucas do Rio Verde (MT)	38.829.041

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos.

Em números relativos, a partir da utilização da multimodalidade, o município de Sorriso (MT) obteve uma redução de 35% nas emissões de gás carbônico, em comparação a uma situação em que todo o transporte fosse realizado pelo modal rodoviário. Matupá (MT) obteve redução de 59% e Sinop (MT), de 47%.

Com base nas emissões de CO<sub>2</sub> do transporte de soja até o porto de destino e nos parâmetros considerados para os cenários apresentados (cenário 2 e cenário 3.2), têm-se a Figura 10. Esta apresenta, dos 50 municípios exportadores de soja no ano de 2015, aqueles que seriam mais energeticamente eficientes se tivessem como destino das exportações os portos do Arco Norte (municípios destacados em pontos vermelhos) e os portos do sul e sudeste, ou seja, Santos e Paranaguá (municípios exportadores destacados em verde). De todos os municípios exportadores, 18 deles exportaram soja apenas a partir dos portos do Sul e Sudeste, ou seja, sem a utilização dos portos do Arco Norte (municípios destacados em azul). A área destacada em tom avermelhado faz referências as regiões mato-grossense em que a exportação pelos portos do Arco Norte é ambientalmente benéfica, ou seja, emitem menor quantidade de CO<sub>2</sub> na cadeia de transporte.



**Figura 10.** Classificação dos municípios exportadores de soja do Mato Grosso quanto à melhor solução logística em termos de minimização do impacto ambiental do transporte.

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos

A utilização da infraestrutura logística multimodal com destino aos portos do Arco Norte resultou na redução nas emissões em doze municípios produtores, como em Vila Rica (MT) e Matupá (MT). Tais municípios estão destacados em vermelho. O município de Vila Rica (MT), no nordeste do estado, obteve uma redução de 62% nas emissões ao direcionar o transporte de sua produção exclusivamente para os portos do Arco Norte. Por outro lado, em vinte outros municípios, como Pedra Preta (MT), Rondonópolis (MT) e Alto Araguaia (MT), o potencial de redução das emissões de CO<sub>2</sub> está na cadeia logística de exportação está atrelado às movimentações pelos portos tradicionais – portos da região Sul e Sudeste. Tomando o exemplo do município de Pedra Preta (MT), localizado no sudeste do estado, este reduziu em 63% suas emissões com o transporte exclusivo para portos do sul e sudeste.

Dos municípios que não movimentaram sua produção através do Arco Norte em 2015 (pontos destacados em azul na Figura 9), cinco deles se encontram na área na qual haveria menor emissão de CO<sub>2</sub> pela utilização desses portos, o que indica que a movimentação pelo corredor Sul/Sudeste ainda tem sido preferida, mesmo não sendo a mais vantajosa do ponto de vista energético. Tal fato evidencia a necessidade de maiores investimentos na estrutura logística desses portos para que haja uma maior capacidade de escoamento através deles e, com isso, maior rentabilidade e melhor distribuição da produção deste estado, o que geraria também uma menor sobrecarga dos portos do sul e sudeste.

## 5. CONCLUSÕES

Tendo em vista a análise dos resultados, conclui-se que ocorre uma redução significativa das emissões de gás carbônico do estado do Mato Grosso quando há a utilização das soluções logísticas multimodais, o que comprova a relevância do uso combinado entre diferentes modais para a composição da matriz brasileira de transportes. O benefício ambiental trazido pela utilização de modais alternativos ao rodoviários no transporte de soja do Mato Grosso é observada tanto nas movimentações dos corredores tradicionais de exportação (principalmente

os portos de Santos (SP) e Paranaguá (PR)), quando nas movimentações para os portos do Arco Norte. Respondendo a questão (ii) (*qual o impacto do uso da multimodalidade nas movimentações de soja do Mato Grosso para exportação?*) proposta no início desse artigo, as estimativas apontam para uma redução da ordem 33% nas emissões totais da cadeia logística do Mato Grosso, a partir da utilização da multimodalidade.

Paralelamente a isso, o modal hidroviário apresenta-se como aquele que possui a maior eficiência energética nas movimentações de exportação de soja. Deste modo, maiores investimentos na infraestrutura das principais hidrovias de escoamento do Mato Grosso, isto é, nas hidrovias do Tietê-Paraná e do Tapajós, tornam-se essenciais na estratégia ambiental da logística de comercialização de grãos do estado.

É possível também constatar que a utilização dos portos do Arco Norte para a exportação de soja só é ambiental benéfica apenas se forem utilizadas soluções logísticas multimodais para o transporte de carga. As estimativas evidenciaram que a redução das emissões de CO<sub>2</sub> a partir da exportação de soja do Mato Grosso pelos portos desse corredor de exportação chega a ser superior à 60% nos municípios localizados na região norte do Estado. Responde-se, nesse caso, à questão (i) (*qual o impacto dos portos do Arco Norte nas emissões de CO<sub>2</sub> da cadeia logística de exportação de soja do Mato Grosso?*) dessa proposta no início dessa pesquisa, evidenciando a elevada importância ambiental da priorização de investimentos para esses portos. Em uma situação extrema, em que apenas o modal rodoviário seja o utilizado nas movimentações para esses portos, os portos das regiões Sul e Sudeste do Brasil (principalmente o Porto de Santos) aumentam a sua área de influência no que diz respeito à redução das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

A busca pela sustentabilidade na cadeia de exportação de soja do Mato Grosso, além da minimização dos custos de transporte, é atrelada com aspectos ambientais e sociais. Focando na questão ambiental, a contribuição principal deste trabalho reside no fato de este evidenciar o potencial de redução das emissões de CO<sub>2</sub> na logística a partir da maior utilização dos portos do Arco Norte para as exportações de soja do Mato Grosso.

Por fim, como limitações do trabalho são destacados:

- i. A utilização da base de dados da Secretaria do Comércio Exterior (SECEX, 2016), para a identificação dos volumes de exportação municipais do Mato Grosso. Apesar de serem dados oficiais, atenta-se ao fato da possibilidade de ocorrências de vieses na análise a partir dos indicadores ali existentes.
- ii. Consideração do mesmo fator de emissão rodoviário para as movimentações pelos portos do Sul/Sudeste e para os portos do Arco Norte. O fato de as rodovias de acesso aos portos do Norte e Nordeste do país serem consideradas de piores condições em comparação com as rodovias dos eixos tradicionais de exportação, pode acarretar um nível maior de emissão de CO<sub>2</sub> nos fluxos rodoviários do Arco Norte. Tal fato faz com que essa análise evidencie o potencial total de redução de emissão de CO<sub>2</sub> (melhor cenário possível) em comparação com os portos tradicionais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Pesquisa CNT de Navegação Interior 2013**. Brasília, 2013.

BRASIL. Confederação Nacional do Transporte. **Plano CNT de Transporte e Logística 2014**. Brasília, 2014.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2ª edição, Brasília, 2014.

- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional 2015: Análise Energética e Dados Agregados**. Brasília, 2015.
- BRASIL. Ministério dos Transportes. **Transporte ferroviário**. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/transporte-ferroviario-relevancia.html>>. Acesso em: junho/2016
- BRASIL. Confederação Nacional do Transporte. **Anuário CNT do Transporte 2016**. Brasília, 2016.
- BRASIL. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Situação atual da hidrovía Tietê-Paraná**. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/palestras/palestrajulho2012.pdf>>. Acesso em: julho/2016.
- CAIXETA FILHO, J. V. (Org.) et al. **Competitividade no agribusiness: a questão do transporte em um contexto logístico**. Piracicaba, FEALQ, 1998. (Relatório técnico referente ao convênio FEALQ - Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz / FIA – Fundação Instituto de Administração, apoiado pelo IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada)
- COELI, C. C. de M. **Análise da demanda por transporte ferroviário: o caso do transporte de grãos e farelo de soja na Ferronorte**. Tese de Mestrado (Administração) – Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2004. 136f.
- CORREA, V. H. C.; RAMOS, P. A Precariedade do Transporte Rodoviário Brasileiro para o Escoamento da Produção de Soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas, **RESR**, Piracicaba, SP, vol. 48, nº 02, p. 447-472, abr/jun 2010.
- CRAIG, A. J.; BLANCO, E. E.; SHEFFI, Y. Estimating the CO<sub>2</sub> intensity of intermodal freight transportation. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, Cambridge, v. 22, p. 49-53, julho 2013.
- FLEURY, P. F. Gestão estratégica do transporte. In: FIGUEIREDO, K.F.; FLEURY, P.F.; WANKE, P. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos**. São Paulo: Editora Atlas, 2003a.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion: highlights**. Paris, 2015
- LEAL JUNIOR, I. C. et al. Análise da matriz de transporte brasileira: consumo de energia e emissão de CO<sub>2</sub>. **UNIABEU**, Belford Roxo, v. 8, n. 18, jan/abr 2015.
- MONTEIRO, A. G. **Estratégia de redução de emissões de poluentes no setor de transportes por meio de substituição modal na região metropolitana de São Paulo**. 1998, 114 p. Tese para obtenção de grau de mestre em ciências em planejamento energético – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.
- ROESSING, A. C.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. de F. Perfil da infra-estrutura de transportes para o escoamento da soja no Brasil. In: XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 45, Londrina, Paraná: Universidade Estadual de Londrina, 22 a 25 de jul. 2007.
- SANTANA, W. A; TACHIBANA, T. Caracterização dos elementos de um projeto hidroviário, vantagens, aspectos e impactos ambientais para a proposição de metodologias técnico-ambientais para o desenvolvimento do transporte comercial de cargas nas hidrovias brasileiras, **ENGEVISTA**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 3, p. 75-85, dezembro 2004.
- TUPY, O.; YAMAGUCHI, L. C. T. Eficiência e produtividade: conceitos e medição. **Agricultura de São Paulo**, Sao Paulo, v.45, n.2, p. 39-51, 1998.