

APLICAÇÃO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE NO ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE ROTA PARA A EXPORTAÇÃO DA SOJA DA REGIÃO NORTE DO MATO GROSSO

Tássia Faria de Assis, Instituto Militar de Engenharia - E-mail: tassiafa@hotmail.com
Daniel Neves Schmitz Gonçalves, Instituto Militar de Engenharia – E-mail: daniel.schmitz.jf@gmail.com
Márcio Almeida D'Agosto, Universidade Federal do Rio de Janeiro – E-mail: dagosto@pet.coppe.ufrj.br
José Carlos Cesar Amorim, Instituto Militar de Engenharia – E-mail: jcamorim@ime.eb.br
Marcelino Aurélio Vieira da Silva, Instituto Militar de Engenharia – E-mail: mauvsil@ime.eb.br

Resumo: Este trabalho visa apresentar os resultados de um estudo destinado à análise de sustentabilidade através de análise de sensibilidade das alternativas de rota existentes e potenciais para escoamento da soja com origem no município de Rondonópolis, no Estado do Mato Grosso, com destino portos para exportação. Para esta análise foram escolhidos três indicadores de sustentabilidade, sendo eles: frete, tempo médio de viagem e emissão de CO₂. O estudo possibilitou o esclarecimento sobre a escolha da rota mais utilizada para o escoamento de soja por meio do porto de Santos. Dos resultados obtidos, pode-se observar que, nas alternativas de rota que utilizaram os modos de transporte ferroviário e/ou hidroviário na maior parte do percurso apresentaram menor emissão de CO₂ e menor valor de frete.

Palavras-chave: soja; transporte de carga; indicadores de sustentabilidade; análise de sensibilidade.

APPLICATION OF SUSTAINABILITY INDICATORS IN THE STUDY OF ALTERNATIVES ROUTE FOR THE EXPORT OF THE NORTHERN REGION OF SOYBEAN STATE OF MATO GROSSO

Abstract: This paper presents the results of a study designed to measure sustainability through sensitivity analysis of existing and potential alternatives to disposal of soybeans originating in Rondonópolis city in the state of Mato Grosso, bound for ports and export route. For this analysis, three indicators of sustainability were chosen, namely: freight, average travel time and CO₂ emissions. The study enabled the clarification on the choice of the most widely used route for the flow of soybeans through the port of Santos. From the results obtained, it can be observed that the alternative route that used the railways and / or waterways mode in most of the route had lower CO₂ emissions and reduced shipping amount.

Keywords: soybean; cargo transport; sustainability indicators; sensitivity analysis.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa a aplicação de indicadores de sustentabilidade para a análise de desempenho medidas através da análise de sensibilidade de alternativas de rota para o escoamento da soja proveniente do Estado do Mato Grosso com origem no Município de Rondonópolis e como destino principais portos utilizados para exportação de commodities.

Além das rotas existentes, serão analisadas as rotas potenciais viabilizadas com o uso da Hidrovia Tapajós Teles - Pires. Ainda que existam diversos indicadores relevantes para medir a sustentabilidade, as comparações serão realizadas em função das distâncias percorridas por meio de análise de sensibilidade de indicadores de sustentabilidade correspondendo aos valores de frete, tempo médio de viagem e emissão de CO₂.

Os setores, agroindustrial e de transportes, representam uma parcela significativa do PIB brasileiro, o que facilmente credencia seus representantes como interlocutores qualificados para tratar de questões sobre sistema de transportes. Nesse sentido, seja qual for o modo de transporte ou a combinação de modos que se utilize, deve ser esperada uma

movimentação mais lógica e racional de produtos agrícolas ao longo do sistema de transporte nacional (Ribeiro *et al.*, 2001).

Um dos tópicos mais preeminente no transporte ao longo das últimas décadas é a idéia de sustentabilidade do sistema de transporte. O transporte apresenta impactos econômicos, ambientais e sociais. A maioria das análises para avaliar as utilidades dos projetos de transportes concentra-se em um conjunto relativamente estreito de preocupações econômicas e financeiras, tais como custo de capital, custos de operação e manutenção associados a um projeto com ausência de desenvolvimento sobre o custo dos componentes de sustentabilidade (LANE e SHERMAN, 2013).

Este trabalho está dividido em seis seções, incluindo esta introdução. A seção dois apresenta o referencial teórico, seguido pelo procedimento utilizado na seção três. Na seção quatro o procedimento é aplicado, sendo os resultados e discussões apresentados na seção cinco. Por fim a conclusão e sugestões para estudos futuros estão na seção seis.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Conceito de sustentabilidade

O desenvolvimento sustentável compreende encontrar uma solução em que coexistam diversos interesses sociais, econômicos e ambientais, não de forma preservacionista, mas sim de modo a causar o menor impacto possível pela intervenção humana e satisfazer as funções para a qual foi planejada (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

Um sistema de transporte ambientalmente sustentável é aquele que não prejudica a saúde dos habitantes ou ecossistemas naturais e preenche as necessidades de deslocamentos de pessoas e cargas com o uso de recursos renováveis abaixo dos níveis de regeneração ou com o uso de fontes não renováveis abaixo das taxas de desenvolvimento de recursos substitutos renováveis (OECD, 1999).

Entre o crescimento econômico e ambiental, surgiram, por parte dos investigadores de várias áreas de conhecimento, os três pilares do desenvolvimento sustentável: o econômico, que se traduz pela procura de um novo contexto de eficácia, desenvolvimento e construção sustentável econômica; o ambiental, que significa que o desenvolvimento deve contribuir para preservar, melhorar e valorizar o ambiente; o social, que revela que o desenvolvimento deve partir das necessidades humanas e responder à objetivos de equidade social (WCED, 1987).

2.2. Fatores de sustentabilidade

Apesar das variações em relação ao conceito de sustentabilidade, há pontos comuns entre as diversas definições. Um destes pontos é o desenvolvimento sustentável conhecido como “espaço S” (CAMPOS, 2002) na Figura 1. Os fatores são: meio ambiente, sociedade e economia, onde a interseção destes elementos representa a sustentabilidade.

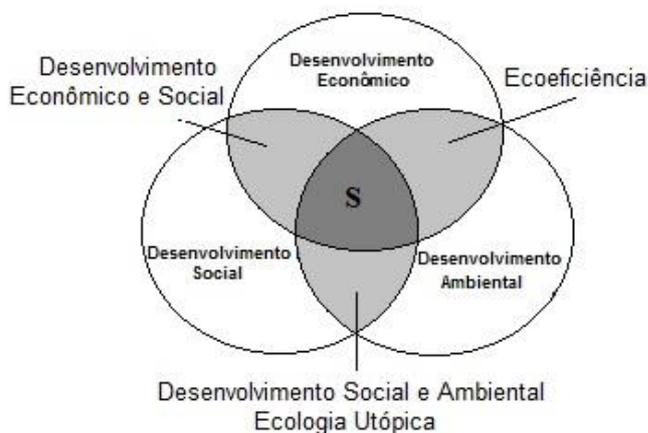


Figura 1. Representação gráfica do desenvolvimento sustentável
 Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2006) e Campos (2002)

Os fatores de sustentabilidade são representados por atributos e constituem uma direção para a criação de indicadores que os irão representar preferencialmente de forma quantitativa, podendo ser observados na Tabela 1.

Tabela 1- Indicadores de Desenvolvimento Sustentável

Aspetos	Atributos	Indicadores
Social	Saúde	Dados sobre doenças relacionadas com o transporte
		Número de dias com baixa qualidade do ar
	Segurança	Número de acidentes nas movimentações de carga
		Custo total com acidentes
	Poluição Sonora	Confiabilidade
		Intensidade total de ruído emitido pelos equipamentos de movimentação
		Intensidade total de ruído emitido pelos veículos que chegam ao porto
		Intensidade de ruído de equipamentos de movimentação
	Intrusão Visual	Proporção da população afetada por obstrução de visão
	Econômico	Oportunidades
Vitalidade da região circundante		
Congestionamento		Feitos sobre o emprego
		Veículos-quilômetros/comprimento da rodovia
Corrosão de edificações		Emissão de NOx ou SOx
Danos em Rodovias e pontes		HGV veículos-quilômetros
		Benefícios do utilizador de transporte
Rede total de benefícios líquidos do transporte	Benefícios do operador de transporte	
	Custos dos recursos	
	Custos externos	
	Custos de investimento	
Rede total de benefícios	Benefícios do utilizador de transporte	

Aspetos	Atributos	Indicadores
Ambiental	líquidos do uso do solo	Benefícios do operador de transporte Custos dos recursos Custos externos Custos de investimento
	Consumo de energia	Consumo Total de energia elétrica Consumo total de energia renovável
	Emissão de Gases do Efeito estufa	Emissão de gás CO ₂ Emissão de vapor de H ₂ O Emissão de gás metano Emissão de CFC
	Poluição Atmosférica	Emissão de hidrocarbonetos Emissão de aldeídos Emissão de gás CO Emissão de gases acidificantes (SO _x , NO _x) Emissão de materiais articulados
	Poluição da água e do Solo	Quantidade descartada de óleo pelos equipamentos de movimentação Descarte de lubrificantes Vazamento de produtos químicos Geração de resíduos sólidos Descarte de água de lastro Salinidade da água Emissões de NO _x Hidrocarbonetos em sedimentos Não atendimentos a normas referentes a resíduos sólidos Sedimentos com metais pesados Geração de esgoto (águas cinzas)
	Poluição Térmica	Quantidade de calor liberado Volume de efluentes superaquecidos descarregados no ambiente aquático
	Poluição Visual	Espaço ocupado pelos portos nas cidades Área total disponível
	Consumo de recursos naturais	Consumo de derivados de petróleo Consumo de materiais de construção Utilização/ocupação do território pelos transportes e atividades
	Consumo de Água	Consumo de água em operação Volume de água reutilizado
	Consumo de Material	Quantidade descartada provenientes de peças de reposição Consumo/descarte de aço, plástico, madeira, papel na operação.
	Geração de Lixo	Relação entre veículos jogados fora e veículos reciclados.

Fonte: Adaptado de Campos (2013) e World Business Council for Sustainable Development -WBCSD (2000).

2.3. Principais indicadores

Os indicadores podem proporcionar melhores decisões, e ações mais efetivas, por simplificar, clarificar e tornar a informação agregada acessível aos decisões políticos, além disso, podem ajudar a incorporar o conhecimento da ciência física e social na tomada de decisões, ajudar a medir e calibrar o progresso em direção as metas de desenvolvimento sustentável, fornece um aviso antecipado para evitar retrocessos econômicos, sociais e ambientais. E quando relacionados ao transporte de carga medir a proporção de cada um dos modos de transporte (rodoviário, ferroviário e fluvial) em sua totalidade em toneladas-kilômetros, e fornece informações sobre a importância relativa dos diferentes modos (UNITED NATIONS, 2007).

Dentre os aspectos econômicos, sociais e ambientais destacam-se pela literatura o custo relacionado com o frete, tempo médio de viagem e emissão de CO₂.

O atributo tempo pode ser considerado o segundo mais importante na logística de transporte de carga, atrás do custo monetário considerado o primeiro (REIS e LEAL JR, 2014).

Sobre o aspecto ambiental, o CO₂ é conhecido por ser o gás de efeito estufa mais importante em termos de impacto sobre o aquecimento global (UNITED NATIONS, 2007).

O transporte de carga no Brasil é exclusivamente dependente do modo rodoviário, as condições insatisfatórias do sistema têm onerado os produtos brasileiros com custos elevados de frete e manutenção de veículos, reduzindo sua competitividade (HELLER *et al.*, 2011).

2.3.1 Tempo médio de viagem

Dentre os indicadores relacionados aos fatores sociais o tempo médio de viagem pode ser considerado muito impactante para a sociedade.

Esse indicador é frequentemente considerado, combinado com a distância percorrida na forma de velocidade que se relaciona ao tempo médio gasto no percurso da origem até o destino, considerando o deslocamento porta a porta (LEAL JR, 2010).

O tempo médio de viagem é impactado pela intensidade e pelas variações no volume de tráfego em uma rede de transporte devido à diversidade dos operadores, dos veículos e dos modos de transporte e das necessidades e restrições envolvidas no negócio de transportes, características essas que estão associadas às condições de operação (TEIXEIRA FILHO, 2009). O tempo médio de viagem pode sofrer influências do tráfego que ocorre principalmente nas épocas de safra nas vias de acesso a portos, o que acarreta redução da qualidade de vida dos recursos humanos e da população circunvizinha, já que pode interferir no transporte de passageiro e individual.

2.3.2 Custo

Tem-se que o setor de transportes apresenta um papel crucial dentro do fator econômico global, impactando na competitividade da economia e na mobilidade de pessoas (GABRIELE *et al.*, 2013).

As operações de transporte adicionam valor de lugar aos produtos, e em geral elas representam o elemento mais importante do custo logístico, pois só o custo de transporte de mercadorias (produtos e matérias-primas) pode representar dois terços dos custos logísticos (BATALHA, 2011).

Do ponto de vista do transportador, os custos compreendem os custos médios totais de transporte (fixos e variáveis) mais as taxas adicionais (impostos, seguros etc). Do ponto de

vista do usuário/clientes, os custos são os valores de frete, que representam a receita recebida pelos transportadores (LEAL JR, 2010).

O mercado de frete rodoviário no Brasil, e em particular o de cargas agrícolas, não sofre nenhum tipo de controle pelo governo, significando que os preços são formados com base na livre negociação entre a oferta e a procura pelo serviço de transporte (RIBEIRO *et al.*, 2001).

O transporte hidroviário tem sido comparado com outras modalidades, mostrando vantagens em vários aspectos, especialmente no que se refere ao baixo valor do frete. Entretanto, ocorre que essa modalidade de transporte deve estar conjugada com outros modos para que os diversos pontos de origem e destino sejam atingidos. Assim, a comparação entre os modos de transporte ganha maior sintonia com a realidade quando se consideram as alternativas multimodais e unimodais disponíveis para a ligação entre um par de origem e destino (RIBEIRO *et al.*, 2001).

2.3.3 Emissões de gás de efeito estufa

No que se refere aos tipos de problemas ambientais, a poluição do ar (ou atmosférica), a poluição da água, a contaminação dos solos e subsolos, a poluição térmica, a contaminação radioativa e a poluição sonora se destacam (MATTOS, 2001).

Os gases de efeito estufa são liberados pela operação do transporte e sua emissão causa influência em todo o globo terrestre. Existem diferentes tipos de gases de efeito estufa, destacam-se o dióxido de carbono – CO₂, metano – CH₄, óxido nitroso – N₂O, vapor de água H₂O e clorofluorcarbonos – CFC, que em certos casos são tratados como poluentes atmosféricos globais, porém, na emissão de gases de efeito estufa pelos transportes, destaca-se o CO₂, que é emitido pela queima direta do diesel o combustível mais utilizado para os transportes de carga (LEAL JR, 2010 e SILVA, 2011).

A queima de combustíveis fósseis em todo o mundo é a principal causa das emissões de dióxido de carbono (CO₂), o principal gás de efeito estufa. Além de responsável pela emissão de grande quantidade de CO₂, o setor de transportes é um dos principais responsáveis pela poluição local, sendo este o segundo maior responsável, emitindo gases como o monóxido de carbono, os óxidos de nitrogênio, os óxidos de enxofre, os aldeídos e o material particulado (MATTOS, 2001 e ANDRADE e MATTEI, 2011). Os modos de transporte possuem variações relacionadas ao uso de energia e consequente emissão de gases de efeito estufa.

Os meios de transporte são responsáveis por cerca de 30% do consumo comercial de energia e cerca de 60% do consumo total mundial de petróleo líquido. Há uma rápida motorização, principalmente nos países em desenvolvimento, não havendo investimentos em quantidade suficiente para o adequado planejamento de transportes, nem tampouco para a gestão e infraestrutura para o tráfego (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

3. PROCEDIMENTO PROPOSTO E APLICAÇÃO

Nesta seção é apresentado o procedimento adotado na elaboração do trabalho proposto.

O fluxograma mostrado na Figura 2 indica as cinco etapas do procedimento proposto para analisar as alternativas de rota de transporte de carga.

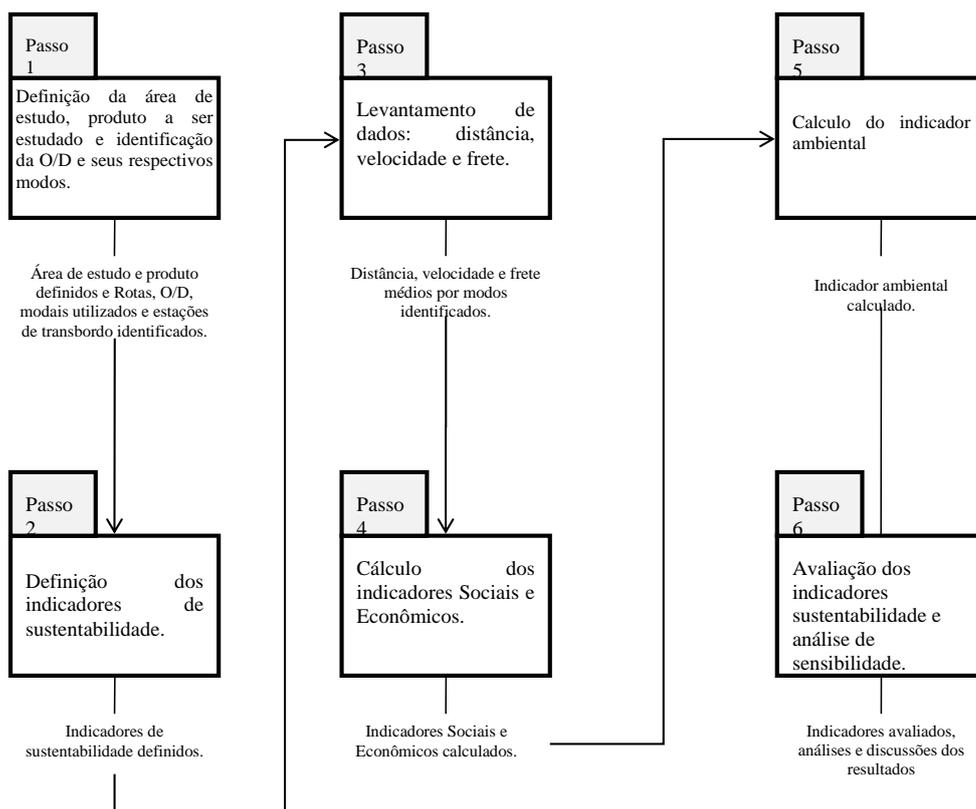


Figura 2 - Etapas do procedimento proposto

3.1. Definição da área de estudo, produto a ser estudado e identificação da O/D e seus respectivos modos

Na primeira etapa deve ser definida a área de estudo bem como o produto. A partir destas definições, serão identificadas as rotas utilizadas para o escoamento do produto por meio de dados adquiridos do governo, associações de produtores e outros institutos. Após a identificação e definição da origem e destino identificam-se os modos utilizados em cada rota e seus respectivos municípios onde é realizado o transbordo.

A área de estudo foi o Estado do Mato Grosso por ser o maior estado produtor da soja, o produto a ser estudado. O ponto de origem considerado para a análise foi o Município de Rondonópolis, e sua escolha tem como princípio o fato de o município ser considerado, uma das áreas de ocupação mais estabilizadas para a produção de soja e milho (IBGE, 2014), além de, possuir atualmente uma instalação de um terminal intermodal (extensão ferroviária pela ALL - América Latina Logística) inaugurado em meados de 2013. Os pontos de destino escolhidos foram os principais portos brasileiros, devido ao enfoque deste trabalho ser a exportação da soja produzida no Estado do Mato Grosso.

As alternativas de rotas analisadas e consideradas como existentes no presente trabalho foram obtidas a partir da fonte de dados do IMEA (2013), permitindo assim, identificar os modos de transporte utilizados para cada rota.

Além das alternativas de rotas mais utilizadas atualmente de acordo com a fonte de pesquisa referenciada, foram estabelecidas novas rotas potenciais, afim de, gerar ideias para possíveis investimentos futuros voltados para proporcionar escoamentos de soja do estado para pontos de destino menos utilizados atualmente. As alternativas atuais e potenciais estão discriminadas de acordo com o trecho e modo de transporte utilizado e podem ser observadas na Tabela 2.

3.2. Definição dos indicadores de sustentabilidade

Delimitado o tema, devem ser identificados os indicadores para cada fator de sustentabilidade, de acordo com o objetivo do estudo e a disponibilidade de dados.

A escolha dos indicadores de sustentabilidade foi baseada na literatura, na disponibilidade de dados a serem coletados e do enfoque do trabalho. Para o fator social, econômico e ambiental foram escolhidos respectivamente os indicadores tempo médio de viagem, frete médio e emissão de CO₂.

3.3. Levantamento de dados: Distância, velocidade e custo

Já identificadas as rotas utilizadas e seus respectivos modos, são identificadas as distâncias percorridas por cada modo anteriormente definidos, para isto é necessário o auxílio de um software de sistemas de informação geográfica (SIG). Deve-se buscar na literatura ou em levantamento de campo a velocidade média de cada modo, bem como o custo por rota, outros dados podem ser levantados, dependendo da necessidade e dos indicadores escolhidos.

As velocidades médias referentes a cada modo de transporte, sendo eles, rodoviário, ferroviário e hidroviário, com os respectivos valores 30, 35,6 e 20 km/h, foram utilizadas, para fins de cálculo do tempo médio de viagem para cada alternativa, e foram obtidas através das seguintes fontes: CNT (2004), FINEP (2012) e Corrêa e Guerreiro (2011).

As distâncias percorridas em cada alternativa de rota foram determinadas com o auxílio do software TransCAD © versão 5.0, e pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 - Distâncias percorridas para cada alternativa de rota

Alternativas	Destino	Modo	Distância (Km)	Distância Total (Km)
A1	Porto Velho (RO)	Rodoviário	1644	2744
	Itacoatiara (AM)	Hidroviário	1100	
A2	Paranaguá (PR)	Rodoviário	1606	1606
A3	Maringá (PR)	Rodoviário	1139	1684
	Paranaguá (PR)	Ferrovário	545	
A4	Araguari (MG)	Rodoviário	849	2273
	Vitória (ES)	Ferrovário	1424	
A5	São Francisco do Sul (SC)	Rodoviário	1680	1680
A6	Santarém (PA)	Rodoviário	2010	2010
A7	Santos (SP)	Rodoviário	1390	1390
A8	Alto Araguaia (MT)	Rodoviário	211	1544
	Santos (SP)	Ferrovário	1333	
A9	São Simão (GO)	Rodoviário	592	1802
	Pederneiras (SP)	Hidroviário	650	
	Santos (SP)	Ferrovário	560	
A10	Água Boa (MT)	Rodoviário	537	2972
	Itaqui (MA)	Ferrovário	2435	
P1	Apiacás (MT)	Rodoviário	643	2405
	Porto Vila do Conde (PA)	Hidroviário	1762	
P2	Apiacás (MT)	Rodoviário	643	1686

Alternativas	Destino	Modo	Distância (Km)	Distância Total (Km)
	Santarém (PA)	Hidroviário	1043	

As alternativas de rotas potenciais P1 e P2 adotadas neste trabalho, estão sendo considerado devido a previsão de navegabilidade na hidrovía Tapajós – Teles Pires de Itaituba até o trecho de Cachoeira Rasteira situada no município de Apicás. De acordo com o PNLT (2011), há uma projeção de estudo e execução de dragagem, derrocagem e sinalização/balizamento de aproximadamente 1.600 km entre: Itaituba/PA até a divisa PA/MT através do Rio Tapajós; divisa PA/MT e Juruena/MT através do Rio Juruena); e, divisa PA/MT e Itaúba/MT através do Rio Teles Pires, e além do projeto de navegabilidade, há também o projeto de implantação de um porto com terminal de grãos com localização em Cachoeira Rasteira no município de Apicás (MT), sendo ambos com previsão de implantação até o ano de 2015.

Os preços dos fretes do modo de transporte rodoviário utilizados como parâmetro para o cálculo do frete relacionado às alternativas analisadas foram obtidos por meio de fonte do IMEA (2013). Os preços dos fretes dos modos de transporte ferroviário e hidroviário foram obtidos através do Projeto Centro Oeste Competitivo (2011).

3.4. Cálculo dos indicadores Sociais e Econômicos

A partir da identificação das rotas, dos indicadores de sustentabilidade e do levantamento dos dados, é calculado os indicadores sociais e econômicos.

Os valores relacionados ao valor do frete foram obtidos através de uma regressão linear, desconsiderando-se para a finalidade de cálculo o peso da carga. O tempo médio de viagem (Equação 1) foi calculado com base na distância e a velocidade média de cada modo, considerando o tempo de transbordo, tempo de descanso do motorista, carga e descarga e eclusagem.

$$\text{Tempo médio de viagem} = \frac{\text{Distância percorrida}}{\text{Velocidade média}} \quad (1)$$

O resultado dos cálculos do valor do frete e do tempo médio de viagem pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 - Valor do frete e Tempo de viagem por alternativas

Alternativas	Valor do Frete Total (R\$/ton)	Tempo de Viagem (dias)
A1	214,4	4,6
A2	176,6	2,2
A3	169,9	2,2
A4	202,6	2,8
A5	183,6	2,3
A6	214,7	2,8
A7	188	1,9
A8	136,3	1,9
A9	144,4	2,8
A10	242,4	3,6
P1	133,6	4,6
P2	118,9	3,1

3.5. Cálculo do indicador ambiental

Definido o indicador ambiental, é mensurado o impacto do mesmo em relação a cada alternativa de rota, geralmente calculados com base no consumo energético.

O cálculo da emissão de CO₂ foi obtido através do consumo de combustível com classificação B5 (95% diesel e 5% biodiesel) definido pela ANP (Agência Nacional do Petróleo). A conversão para a emissão de CO₂ foi calculada com base nos valores de 2,71 e 2,43 para diesel e biodiesel respectivamente (COPPETEC, 2011). Os parâmetros referentes ao consumo de combustível foram obtidos por meio de fonte da CNT (2013) para os modos de transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário com os respectivos valores 15,4; 5,7 e 4,1 (l/ t.km). Os dados referentes aos cálculos podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Emissão de CO₂ gerada a partir do Consumo de combustível em cada alternativa

ALTERNATIVAS	Consumo de Combustível Total (l/ton)	Emissão Total de CO ₂ (kg/ton)
A1	29,83	80,3
A2	24,73	66,6
A3	20,65	55,6
A4	21,19	57,1
A5	25,87	69,7
A6	30,95	83,4
A7	21,41	57,6
A8	10,85	29,2
A9	14,08	37,9
A10	22,15	59,7
P1	17,13	46,1
P2	14,2	38,2

3.6. Avaliação dos Indicadores de sustentabilidade e análise de sensibilidade

Após quantificar os indicadores para os fatores social, econômico e ambiental para cada alternativa de rota, faz-se uma análise de sensibilidade afim, de verificar as melhores rotas para cada indicador ou suas combinações, observando qual seria o comportamento dos resultados do modelo.

Dentre as alternativas de rotas existentes e potenciais, verificou - se as relações entre os indicadores propostos, emissão de CO₂, valor do frete e tempo médio de viagem, avaliando-os em pares por meio de gráficos de dispersão conforme podem ser observados na Figura 5. Os gráficos das relações dos pares ficaram divididos em 4 quadrantes descritos a seguir: 1) quadrante inferior esquerdo: possui bom índice nos atributos do eixo x e y, apresentando menores valores em ambos os eixos. 2) quadrante superior direito: pior em ambos os eixos, pois possui maiores valores nos eixos x e y simultaneamente. 3) quadrante inferior direito: apresenta bom resultado para o eixo y, pois apresenta menores valores, e resultado ruim para o eixo x por apresentar valores maiores. 4) quadrante superior esquerdo: apresenta bom resultado para o eixo x e resultado ruim no eixo y. Os quadrantes, inferior direito e superior esquerdo são considerados neutros por apresentarem bons resultados para um eixo e resultados ruins para outro eixo.

A correlação entre os pares dos indicadores custo do frete e emissão de CO₂, valor do frete e tempo médio de viagem e tempo médio de viagem e emissão de CO₂ esta descrita e pode ser observada na Figura 3.

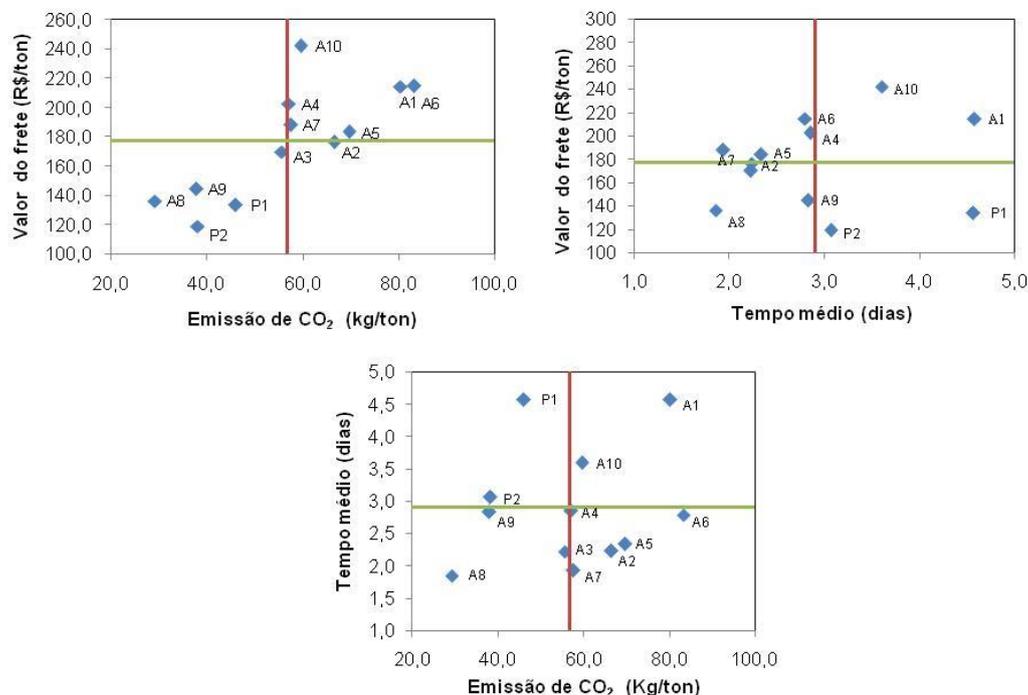


Figura 3 - Indicador geral para cada cenário

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção, apresenta-se a análise e a discussão dos resultados obtidos a partir da aplicação do problema proposto.

Por meio de uma análise dos dados referentes às tabelas da seção de aplicação do procedimento proposto pode-se observar que as distâncias percorridas por cada modo de transporte em cada alternativa demonstraram relação direta com a variação dos resultados dos indicadores. Sendo que quanto maior a participação intermodal, menor participação do modo de transporte rodoviário e menores distâncias percorridas do ponto de origem ao ponto de destino, tenderam a apresentar melhores resultados, exceto para o indicador tempo médio de viagem, pois apresenta melhor desempenho no modo de transporte rodoviário.

A distribuição das alternativas referentes ao par Emissão de CO₂ x Valor do frete, observado na Figura 3 indica que as alternativas A8, A9, P2, P1 e A3 localizadas no quadrante inferior esquerdo compreenderam as melhores opções de rota, uma vez que, demonstram menor índice de emissão de CO₂ e Valor de frete simultaneamente.

Na relação do par Valor do frete x Tempo médio de viagem, a distribuição das alternativas indica que as melhores rotas foram A8, A9 e A3 demonstrando menores índices de valor do frete e tempo médio de viagem.

Em relação ao par, dos indicadores Tempo médio de viagem x Emissão de CO₂, as alternativas com melhores índices foram a A8, A9 e A3 com menor tempo de viagem e emissão de CO₂.

Observando-se que as alternativas A8 e A9 que fazem a conexão da soja a ser exportada do Estado do Mato Grosso com o Porto de Santos, e alternativa A3 que estabelece a conexão com o Porto de Paranaguá no Estado do Paraná, mantiveram os melhores resultados nas correlações dos pares analisados, atribuiu-se neste trabalho duas novas alternativas de rota P1' e P2' (Figura 4) buscando novas estratégias destinadas à exportação com destino a região norte do país. Embora as alternativas citadas acima tenham sido consideradas como melhores, na atualidade os pontos de destino localizados nas regiões sul e sudeste se encontram sobrecarregados devido ao forte fluxo de carga.

A alternativa de rota sugerida P1' está estabelecida no trajeto a seguir: Rondonópolis – Apiacás via modo de transporte ferroviário – Porto de Vila do Conde via modo de transporte hidroviário. E a alternativa de rota P2', apresenta o trajeto a seguir: Rondonópolis – Apiacás via modo de transporte ferroviário – Porto de Santarém. Como sugestão, considera-se a expansão da ferrovia do município de Rondonópolis até o município de Apiacás localizado no norte do Estado do Mato Grosso devido ao seu acesso a hidrovia Tapajós.

A correlação entre os pares dos indicadores valor do frete e emissão de CO₂, valor do frete e tempo médio de viagem e tempo médio de viagem e emissão de CO₂ está descrita e pode ser observada na Figura 4.

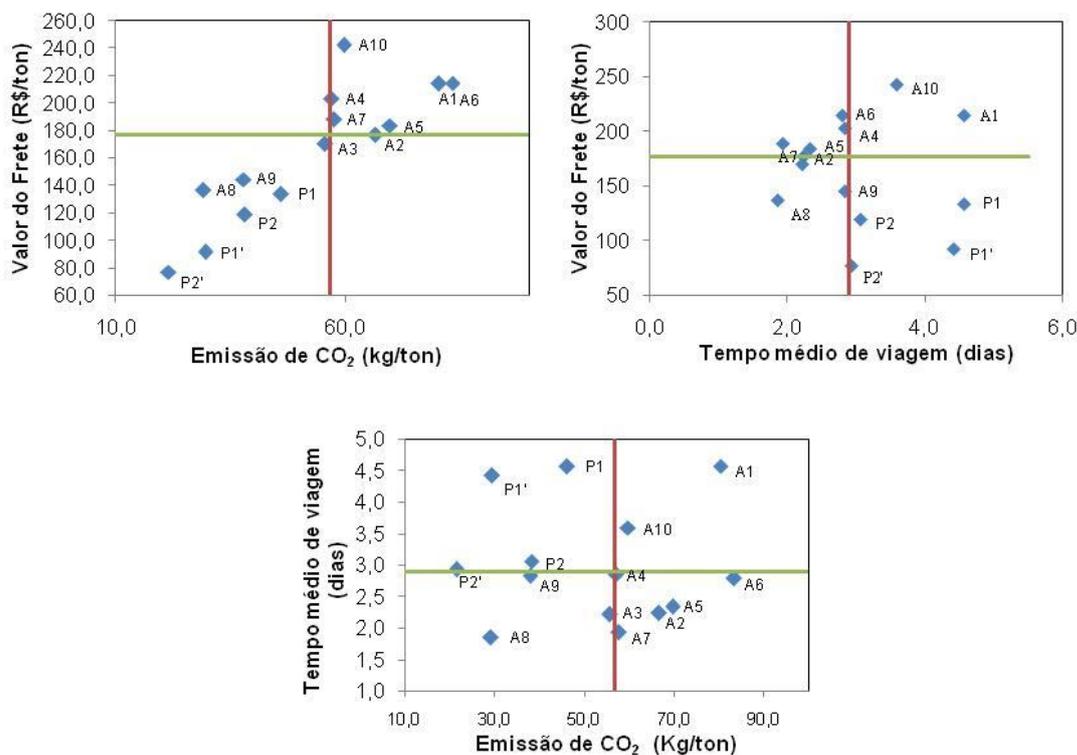


Figura 4 - Indicador geral para cada cenário

Considerando as novas hipóteses, as alternativas P1' e P2' apresentaram melhores resultados quando comparados às demais em relação ao par dos indicadores valor do frete x Emissão de CO₂. Porém, nos outros cenários seus resultados apresentaram-se menos favoráveis que A8.

4.1. Hierarquização das rotas para cada indicador

Com o objetivo de se obter uma classificação hierárquica, foi realizada uma normalização dos indicadores: valor do frete, tempo médio de viagem e emissão de CO₂ referentes as alternativas através da Equação 2.

$$Ia, t = \frac{\text{Menor valor do indicador}}{\text{Valor do indicador da alternativa a}} \quad (2)$$

Onde,

a = alternativa de transporte representada pelas rotas analisadas;

t = Valor do frete, tempo médio de viagem ou emissão de CO₂.

A classificação da hierarquização das alternativas existentes, potenciais e das novas hipóteses pode ser observada através da Tabela a seguir.

A classificação hierárquica das alternativas de rota da emissão de CO₂, tempo médio de viagem e valor do frete pode ser observada na Tabela 5.

Tabela 5 - Hierarquização dos indicadores por alternativa

Classificação	Alternativas	Frete	Alternativas	Tempo médio	Alternativas	Emissão Co ₂
1	P2'	1	A7	1	P2'	1
2	P1'	0,84	A8	1	A8	0,74
3	P2	0,65	A2	0,86	P1'	0,73
4	P1	0,58	A3	0,86	A9	0,57
5	A8	0,56	A5	0,83	P2	0,56
6	A9	0,53	A9	0,68	P1	0,47
7	A3	0,45	A4	0,68	A3	0,39
8	A2	0,44	A6	0,68	A4	0,38
9	A5	0,42	P2'	0,66	A7	0,37
10	A7	0,41	P2	0,61	A10	0,36
11	A4	0,38	A10	0,53	A2	0,32
12	A1	0,36	P1'	0,43	A5	0,31
13	A6	0,36	A1	0,41	A1	0,27
14	A10	0,32	P1	0,41	A6	0,26

Com a classificação do valor do frete, pode-se observar que, as alternativas P1', P2', P1 e P2 propostas neste trabalho apresentaram melhores índices que as demais e a justificativa que melhor a descreve, é o fato de ambas percorrerem o maior percentual do percurso pelo modo de transporte hidroviário e a realização de integração entre os modos de transportes com participações reduzidas do modo de transporte rodoviário.

No indicador tempo médio de viagem, as melhores alternativas apresentadas com o mesmo grau de importância na classificação possuem em seus percursos grande participação do modo ferroviário na integração com o modo rodoviário na alternativa A8, e participação total do modo rodoviário no percurso na alternativa A7, não favorecendo o uso do modo de transporte hidroviário, constatando um fator limitante que depende do grau de importância deste atributo aferido para a escolha da alternativa.

A classificação estabelece que, tanto as alternativas propostas quanto as existentes como P2', A8, P1' e A9 que utilizaram proporções significativas de integração dos modos de

transporte prevalecendo o uso dos modos hidroviários e ferroviários considerados menos emissores deste poluente, obtiveram melhores resultados.

A correlação entre os indicadores valor do frete, emissão de CO₂ e tempo médio de viagem (eixo z) da hierarquização das alternativas de rota podem ser observadas na Figura 5.

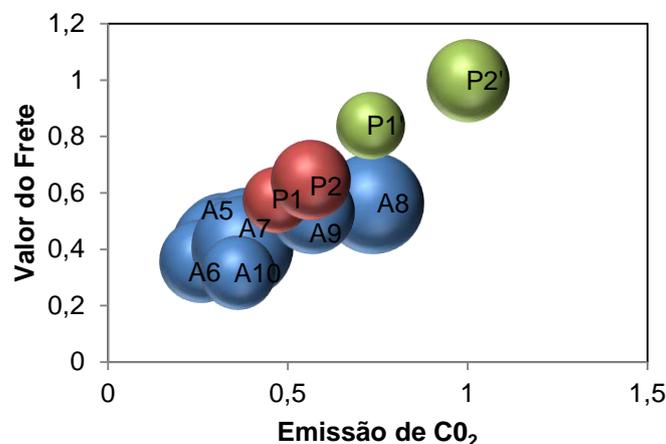


Figura 5 - Correlação entre os indicadores valor do frete, emissão de CO₂ e tempo médio de viagem normalizados

O indicador tempo médio de viagem está relacionado com o diâmetro da circunferência, sendo que, quanto maior seu tamanho mais próximo se torna do valor 1, e menor é o tempo médio de viagem gasto no percurso. Graficamente pode-se ressaltar que a emissão de CO₂ e o valor do frete em termos de hierarquização obtiveram melhores resultados com as alternativas P1 e P2, onde se apresentaram isentas do modo de transporte rodoviário, porém no que se diz respeito ao indicador tempo médio de viagem a alternativa A8 apresenta-se em vantagem.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho foi capaz de avaliar as alternativas de rotas utilizadas para a exportação de soja do Estado do Mato Grosso conforme o objetivo proposto e apresentar novas alternativas para possíveis investimentos futuros e estimular a diversificação dos trajetos destinados a esta finalidade no país, de acordo com a delimitação do estudo com os valores do frete, tempo médio de viagem, e emissão de CO₂.

A partir desta análise pode-se identificar a razão de as alternativas de rota, principalmente a A8, com destino o Porto de Santos (SP) ser a mais utilizada atualmente, já que a mesma apresenta ganhos em tempo, emissão de CO₂ e valor do frete. Cabe ressaltar que a expansão da malha ferroviária de Alto Araguaia até o município de Rondonópolis favorece ainda mais estes ganhos. Para esta alternativa estão previstos investimentos com o aumento da linha ferroviária até Cuiabá consequentemente favorecendo-a.

Além das correlações dos indicadores observados graficamente, as características de infraestrutura do destino é outro fator que também pode influenciar no processo de tomada de decisão, o que favorece ainda mais a escolha pela alternativa A8.

No que se refere a escolha de novas alternativas de rota deve-se buscar entender as limitações e particularidades características da região de estudo, como necessidade de investimento em infraestrutura (expansão de ferrovia, condições para navegabilidade, portuária), características ambientais, sociais e econômicas. Além de, contabilizar os impactos a serem gerados comparando-os às alternativas de rotas já existentes, considerando-se a

necessidade da oferta e demanda da soja principalmente no mercado de exportação que vem sendo o grande gargalo no país.

Como proposta para futuros estudos, podemos citar: escolha de outro município ou mesorregião de origem e inclusão ou substituição dos portos de destino; inclusão de outros indicadores de sustentabilidade (outros poluentes), segurança e confiabilidade.

A partir das análises gráficas, conclui-se, ainda, que além dos investimentos na hidrovia é necessário investimentos no porto de destino, pois, atualmente, esta influenciando no processo de tomada de decisão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. L. C., e MATTEI, L. *Consumo energético e emissões de CO₂: Uma análise do setor de transportes brasileiro*. XXXIX Encontro Nacional de Economia. ANPEC. Foz do Iguaçu, Paraná. 2011.

BATALHA, M.O. *Gestão Agroindustrial*. Grupo de Estudos e Pesquisas Agroindustriais. Editora: São Paulo. 3º ed. Vol 1. 2011.

CAMPOS, V.B. G. *Planejamento de Transportes: Conceitos e Modelos*. Rio de Janeiro: Editora Interciência. 2013.

Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. *Nosso Futuro Comum*. Editora: Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro. 2 ed. 1991.

Confederação Nacional de Transportes – CNT. *Pesquisa CNT da navegação interior*. Brasília. 2013.

CORRÊA, P. O; E GUERREIRO, E. D. R. *Viabilidade da operação de embarcação autopropelida e autocarregável para o transporte de contêineres na hidrovia Tietê – Paraná*. Tékhne e Lógos, Botucatu, SP, v.2, n.2. 2011.

HELLER, R. A. G, SOUSA JR, W.C, CURI, M. L. C. *Custos do transporte de carga no Brasil: rodoviário versus ferroviário*. Journal of Transport Literature, vol. 5, n. 1, pp. 50-64, Jan. 2011.

GABRIELE, P. D., BRANDÃO, L. C., TREINTA, F. T., MELLO, J. C. C. B. S., and CARVALHAL, R. *Comparação internacional da eficiência ambiental dos modos de transporte rodoviário e ferroviário*. Journal of Transport Literature, vol. 7, n. 1, pp. 212-229. 2013.

LANE, B. W, SHERMAN, C.P. *Using the Kaldor–Hicks Tableau to assess sustainability in cost–benefit analysis in transport: An example framework for rail transit*. Research in Transportation Business & Management, pp. 91-105. 2013.

LEAL JR. *Método de escolha modal para transporte de produtos perigosos com base em medidas de ecoeficiência*. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. 2010.

MATTOS, L. B.R. *A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa – O caso do município do Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. 2001.

Ministério das Cidades. *Gestão Integrada da Mobilidade Urbana*. Programa Nacional de Capacitação das Cidades. Secretaria Nacional de Transporte e Mobilidade Urbana (SEMOB). 2006.

REIS, S.A, LEAL, J. E. *Uso do conceito de hipercaminhos no transporte de carga: uma análise exploratória*. Journal of Transport Literature, vol. 8, n. 2, pp. 271-294. 2014.

RIBEIRO, B. A. M, COSTA, F. G, OLIVEIRA, J. C. V, CAIXETA FILHO, J.V, MARTINS, R. S. Sistemas de Gerenciamento de Transportes. Ed Atlas. Cap1. 2001.

SILVA, V. F.G. *Impactes da Mobilidade no Modelo Urbano: A Sustentabilidade do Transporte Público.* Tese de Doutorado, Universidade Nova de Lisboa, Portugal. 2011.

TEIXEIRA FILHO, J. L. L. *Análise da variabilidade do tempo de viagem como fator de impacto nos custos logísticos do transporte de carga.* Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. 2009.