

SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE POTENCIAIS DE COMMODITY AGRÍCOLA POR MEIO DE ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Tássia Faria de Assis E-mail: tassiafa@hotmail.com

Breno Tostes de Gomes Garcia

Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Resumo: O estudo apresentado nesse artigo tem o objetivo de selecionar alternativas de transporte de *commodities* contidas em planos de investimento governamentais, para melhoria ou implantação de infraestrutura que sejam competitivas com alternativas atuais, por meio de análise de decisão multicritério. Para a avaliação do problema foi elaborado um procedimento. Os métodos utilizados para a avaliação e seleção de alternativas potenciais para o escoamento da produção de soja do Estado do Mato por meio da utilização do acesso da Hidrovia Tapajós e Teles Pires, foram o AHP e ELECTRE I. Os indicadores selecionados foram o valor do frete, tempo em trânsito, emissão de CO₂, por meio de valores quantitativos e confiabilidade e flexibilidade por meio de característica qualitativa. A aplicação do procedimento foi satisfatória, pois foi possível encontrar alternativas potenciais, no qual, os portos de destino se localizam na região norte do país, sendo competitivas com as alternativas atuais.

Palavras-chave: Multicritério, AHP, ELECTRE, commodity e transporte.

SELECTION OF POTENTIAL TRANSPORT ALTERNATIVES OF AGRICULTURAL COMMODITY BY MEANS OF MULTICRITERARY DECISION ANALYSIS

Abstract: The study presented in this article aims to select commodity transportation alternatives contained in investment plans for improvement or implementation of infrastructure that are competitive with current alternatives, through multi-criteria decision analysis. For the evaluation of the problem was an elaborate procedure. The methods used for the evaluation and selection of potential alternatives for the disposal of soybean production in Mato State through the use of access Waterway Tapajós and Teles Pires, were the AHP and ELECTRE I. The indicators selected were the freight, transit time, CO₂ emissions through quantitative values and reliability and flexibility with qualitative characteristic. The application of the procedure was satisfactory because it was possible to find potential alternatives bound for the ports of the northern region competitive with current alternatives.

Keywords: Multicriteria, AHP, ELECTRE, commodity and transport.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o país mais qualificado para atender a demanda por produtos originados de recursos naturais renováveis e não-renováveis, assumindo a posição de destaque no cenário mundial. Mas a criação de novos corredores de exportação, incluindo os modos de transportes ferroviário, hidroviário e o complexo portuário, com saída para os portos do Norte e Nordeste, bem como a recuperação dos já existentes, diminuindo assim os custos de transporte, terá um papel fundamental na consolidação da liderança do Brasil no agronegócio mundial (CARAMURU, 2011).

Para os produtores de *commodities* agrícolas, a infraestrutura adequada é essencial, pois, tem uma variedade de efeitos benéficos sobre a sociedade, tais como os referentes à disponibilidade de bens, à extensão dos mercados, à concorrência, aos custos das mercadorias, à especialização geográfica e à renda da terra (MARTINS e CAIXETA – FILHO, 2014).

A infraestrutura para as empresas de *commodities* possibilitam vantagens de custo relevantes, no qual o sistema de transporte em ferrovias e navegação, e o setor de energia constituem segmentos em que as empresas se vêem envolvidas, destinando recursos

substanciais.

Além das questões de custo há uma preocupação crescente com os impactos ambientais, e o setor de transporte de cargas é considerado um dos setores do segmento de transporte que emitem mais gases contribuintes com o efeito estufa no Brasil, além de gerar emissões de ruídos, e causar impactos na implantação, operação e na área de influência indireta (GONÇALVES et al, 2013).

O estudo apresentado tem como objetivo, a partir da elaboração de um procedimento, selecionar alternativas de transporte de commodities inclusas em planos de investimento para melhoria ou implantação de infraestrutura que sejam competitivas com alternativas atuais, por meio de análise de decisão multicritério.

2. MÉTODO DE ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

O conceito acerca da análise multicritério surgiu a partir da década de 80, cujo objetivo é evidenciar as preferências dos atores envolvidos no problema em questão, proporcionando maior clareza no processo de ordenação das alternativas consideradas (MOTTA, LIMA e MACHADO,1992).

A avaliação dos transportes é essencialmente caracterizada pela análise dos conflitos dos juízos de valor entre o técnico, socioeconômico, ambiental e político. Os autores Tsamboulas *et al.* (1999) afirmam a dificuldade de determinar uma solução que não seja ambígua, impossibilitando mais de uma solução para um dado problema no que se refere ao processo de planejamento de transportes. Desta forma, como este processo é multirrelacionado, sua caracterização será sempre na busca de soluções aceitáveis (TSAMBOULAS, YIOTIS e PANOU,1999).

O método de análise multicritério tem por objetivo fornecer um conjunto de ferramentas, tanto quanto fornecendo uma forma mais flexível de lidar com os feitos multidimensionais qualitativos das iniciativas de transportes. Contudo, isto não significa que este método possa ser utilizado em todas as situações sem dificuldades (TSAMBOULAS, YIOTIS e PANOU,1999).

Para os autores Macedo *et al.* (2010), o objetivo do método multicritério é tomar decisões a partir da descrição dos critérios, dado que cada critério tem suas alternativas e seus respectivos pesos. Estes pesos é que definem a melhor decisão a ser tomada (MACEDO, NASCIMENTO e KUWAHARA, 2010).

O método de análise multicritério subdivide-se em Método de Programação Matemática Multiobjetivo (MPMM) e Método de Análise de Decisão (MAD) (MACEDO, NASCIMENTO e KUWAHARA, 2010).

No presente artigo será dada ênfase ao MAD, pois, esta técnica possibilita a redução dos riscos de manipulação no processo decisório e da obtenção de julgamentos consistentes.

2.1. Método de Análise de Decisão (MAD)

O MAD auxilia o tomador de decisão em obter a solução satisfatória, dado as alternativas de solução, considerando os aspectos qualitativos e quantitativos. Entende-se por tomador de decisão ou decisor, o indivíduo ou grupo de indivíduos que tem o poder final e a responsabilidade dos resultados obtidos a partir de sua decisão (MACEDO, NASCIMENTO e KUWAHARA, 2010; LIEGGIO JR, GRANEMANN e DE SOUZA, 2012).

As características deste método são apresentadas da seguinte forma; “(i) as restrições

são implícitas; (ii) as alternativas de solução são representadas explicitamente; e (iii) as soluções constituem um conjunto discreto” (KUWAHARA, 2008).

Em problemas de tomada de decisão cujas características estejam intimamente relacionadas ao MAD, as alternativas são concretas e finitas. A partir disto, os métodos conhecidos, segundo levantamento bibliográfico para este estudo, são; ELECTRE (*Elimination et Choix Traduissant La Réalité*); PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method*); TOPSIS (*Technique Order Preference by Similarity to Ideal Solution*); TODIM: (Tomada de Decisão Interativa e Multicritério); AHP (*Analytical Hierarchy Process*) (RODRIGUES, MARTINS e MONTEIRO, 2014) (LEAL JR, 2010).

O método mais utilizado para solucionar os problemas de transportes é o AHP – do inglês, *Analytical Hierarchy Process* -, pois, proporciona ao decisor a hierarquização das alternativas de solução mais adequadas. O decisor atribui um grau de importância ao realizar a comparação paritária entre as alternativas e os critérios, utilizando a escala fundamental de Saaty, que varia de 1 a 9. A partir disto, é calculado o peso associado a cada alternativa e a cada critério do problema (JAVID, NEJAT e HAYHOE, 2014).

Nos trabalhos encontrados na literatura pode-se observar a aplicação do método ELECTRE na solução de problemas no âmbito dos sistemas de transportes. Os autores Bojković, Anić e Pejčić-Tarle (2010) utilizaram uma variação do método ELECTRE I para o desenvolvimento de uma solução que proporcione a evolução da sustentabilidade no sistema de transporte considerando indicadores de alguns países europeus. Ka (2011) apresentou uma comparação entre o uso dos métodos *Fuzzy* – AHP e o método ELECTRE no processo de seleção da localização de porto seco na China. Os autores Antúm e Alcón (2014) realizaram um ranqueamento de projetos logísticos em programas de políticas públicas com o intuito de estabelecer uma gestão de logística territorial competitiva numa região do México utilizando o método ELECTRE IV.

O método PROMETHEE foi encontrado em poucas referências. Contudo, é possível citar a aplicação deste método no trabalho de Brito, Cavalcante e Fittipaldi (2006), que utilizaram o PROMETHEE II para priorização de trechos de gasodutos a partir dos níveis hierárquicos de riscos. Os autores Beynon e Wells (2008) aplicaram o método PROMETHEE para classificar uma preferência às emissões de gases de um conjunto de veículos a motor.

O método TOPSIS foi aplicado no trabalho de Souza e Nassi (1995) com o intuito de criar uma solução para o problema de roteamento em um sistema de ônibus fretado cujo objeto é minimizar o tempo de viagem dos usuários, da distância percorrida e maior precisão no horário de chegada. Os autores Nooramin *et al* (2012) utilizaram os métodos TOPSIS e AHP para selecionar o guindaste.

3. PROCEDIMENTO PROPOSTO PARA A ESCOLHA DE ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE DE *COMMODITY*

Nessa seção é proposto e descrito o passo a passo das etapas do procedimento (Figura 1), como ferramenta de auxílio para a escolha de alternativas de transporte, com enfoque principal para o transporte de *commodity*. No qual visa promover a identificação de novas alternativas competitivas.

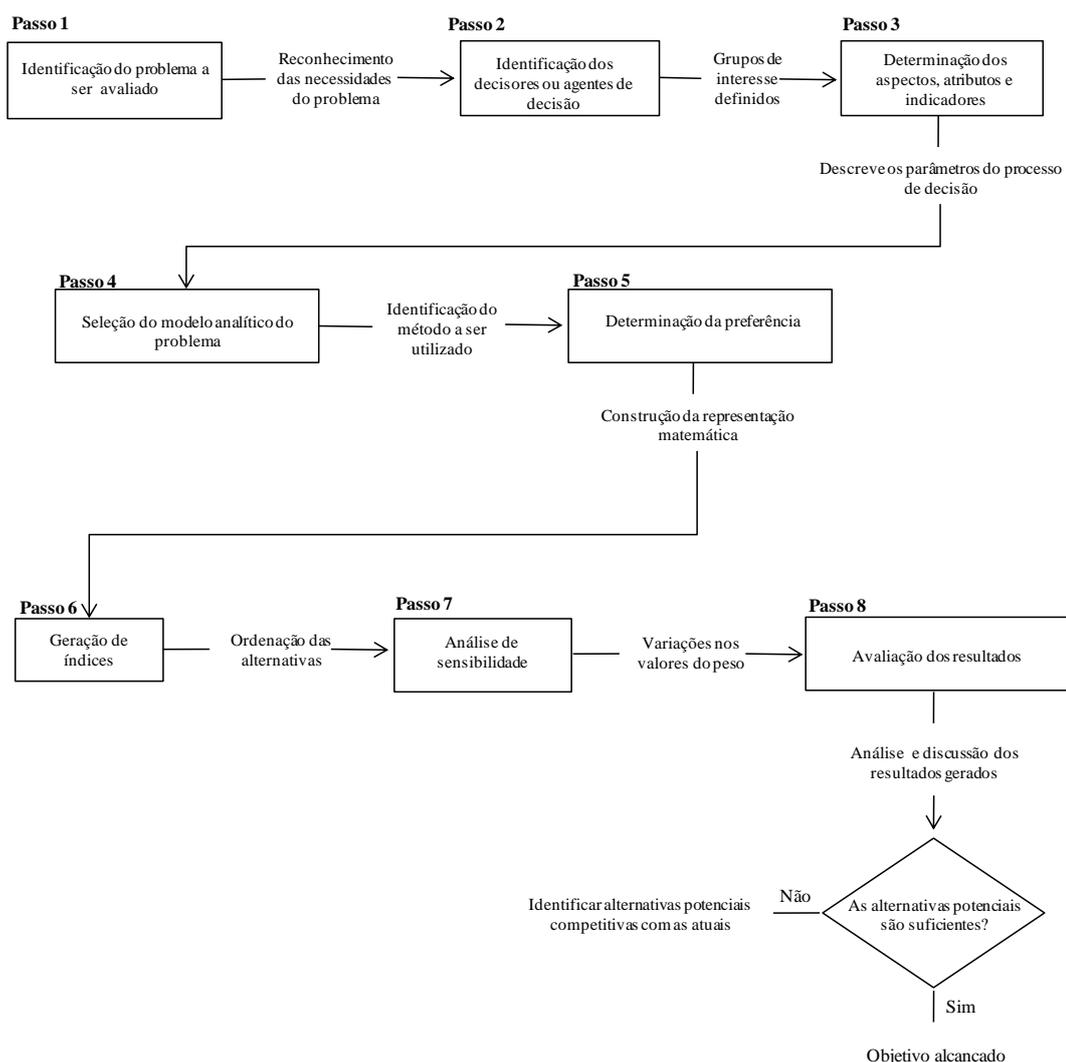


Figura 1: Procedimento proposto para identificação de alternativas de transporte potenciais

No passo 1 é realizada a identificação do problema a ser avaliado. O problema nessa etapa deve ser descrito e abordado de maneira clara e objetiva. No caso que envolve a finalidade do procedimento, é necessário que haja interesse em identificar alternativas potenciais que necessitem de investimento em infraestrutura.

No passo 2 é identificado o decisor, ou seja, busca-se determinar a visão de quem será realizada a avaliação do problema, podendo ser pela visão do poder público, empresa transportadora, produtor, sociedade, ou outros atores.

Após definido o problema e identificado o perfil do decisor, é preciso definir os critérios de avaliação, e esses incluem a determinação dos aspectos, atributos e indicadores que farão parte do processo de avaliação do problema no passo 3.

No passo 4, o método de Análise de Decisão Multicritério é determinado de acordo com as características do problema abordado.

Após o método ser selecionado, no passo 5 são definidos os graus de preferências por meio de modelos matemáticos originados dos métodos selecionados.

No passo 6, é realizada a geração de índices que são responsáveis pelo processo de

ordenação das alternativas avaliadas.

A análise de sensibilidade é realizada no passo 7, no qual, há o processo de variação dos pesos definidos por meio dos graus de preferência.

No passo 8 é realizada a análise dos resultados, onde se identifica se as alternativas potenciais propostas são competitivas, e de acordo com os critérios avaliados aptas a avaliação de investimento. Se sim, conclui-se a avaliação do problema, mas, se não satisfazer a necessidade da avaliação são apresentadas novas opções de alternativas que sejam potenciais.

4. APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO

Nessa seção é realizada a aplicação do procedimento proposto, com detalhamento dos passos originados no procedimento.

4.1. Identificação do problema a ser avaliado

A identificação do problema tem a finalidade de abordar a necessidade de avaliação de estudo, justificando o motivo pelo qual aplicar o procedimento proposto.

4.1.1. Contextualização do problema

Devido à alta competitividade no ambiente global, o Brasil necessita atender rapidamente as demandas por infraestrutura nas vias de transportes responsáveis pela mobilidade dos produtos, de forma integrada com a cadeia logística. No qual, um dos objetivos seria garantir maior eficiência ao sistema, reduzir custos logísticos e equilibrar a matriz de transporte (Figura 2). Pois no Brasil, a matriz de transporte de carga é predominantemente vinculada ao uso do modo de transporte rodoviário (PNLT, 2012).

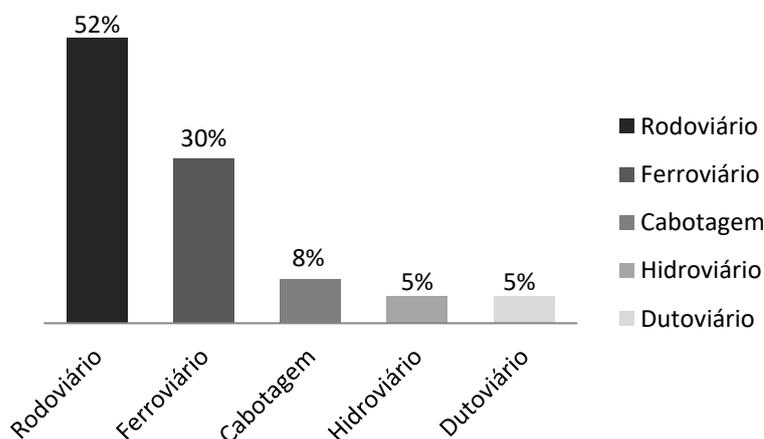


Figura 2: Distribuição dos modos de transporte de carga na matriz brasileira
Fonte: PNLT (2012)

Nesse sentido programas governamentais como, o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), Plano Nacional de Logística de Transportes (PNLT), Plano Nacional de Logística Portuária (PNLP), Programa Nacional de Logística Integrada (PNLI), Empresa de Planejamento e Logística (EPL), Plano Hidroviário Estratégico (PHE), e Plano Nacional de Integração Hidroviária (PNIH), foram criados a fim de fomentar a geração de investimentos em projetos de infraestrutura visando o escoamento da produção de maneira mais competitiva (CFA, 2013).

Sendo assim, Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental – EVTEA são realizados para promover a implantação de vias rodoviárias, ferroviárias, hidroviárias, dutos; instalação de portos e terminais, entre outros.

Com enfoque na questão apresentada o problema é estruturado de acordo com a necessidade de propor alternativas potenciais que serão aptas de participarem de um EVTEA.

4.1.2. Local de aplicação do problema

O local de aplicação do problema tem como base o Estado do Mato Grosso que tem acesso aos rios Tapajós, Teles Pires, e Juruena, o qual se encontra em andamento a elaboração do EVTEA para avaliar a implantação da Hidrovia (Figura 3).



Figura 3: Localização da Hidrovia

Segundo o Projeto do Centro Oeste Competitivo (2013), da movimentação de 45 milhões de toneladas referentes à exportação e importação de produtos da região Centro Oeste, a qual pertence o Estado do Mato Grosso, o maior índice de participação dos portos marítimos corresponde aos portos de Santos (SP) e Paranaguá (PR), representando 67% da movimentação total como pode ser observado na Figura 4.

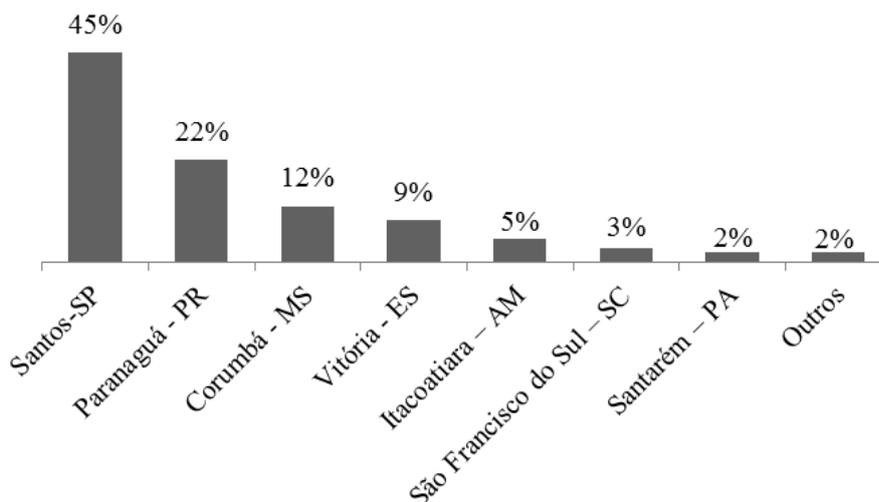


Figura 4: Relevância dos portos marítimos para a exportação da região do Centro Oeste
Fonte: Centro Oeste Competitivo (2013).

O que gera a necessidade de avaliar o problema que envolve a avaliação de alternativas de transporte com destino os portos localizados na região Norte do Brasil, que tenham acesso a Hidrovia e que sejam competitivas com alternativas atuais destinadas aos portos de Santos e

Paranaguá.

4.1.3. Produto

No Estado do Mato Grosso agronegócio é a base da economia. A agropecuária representa quase 30% do PIB estadual, com forte integração externa. O Estado do Mato Grosso foi um dos estados brasileiros que apresentou maior presença no mercado internacional com exportações de *commodities*, principalmente grãos (SEPLAN, 2011).

Entre os grãos produzidos no Estado do Mato Grosso que totalizaram cerca de 52 milhões de toneladas, há destaque para a produção de soja que foi de cerca de 28 milhões de toneladas, representando mais de 50% da produção do estado na safra de 2014/2015 (CONAB, 2015). O que foi um fator de decisão na escolha do produto a ser avaliado.

4.1.4. Problema

A partir de dados disponibilizados pelo IMEA – Instituto Mato Grossense de Economia Agropecuária, são apresentadas as alternativas de transporte responsáveis pelo escoamento da produção de soja do Estado do Mato Grosso na Figura 5.

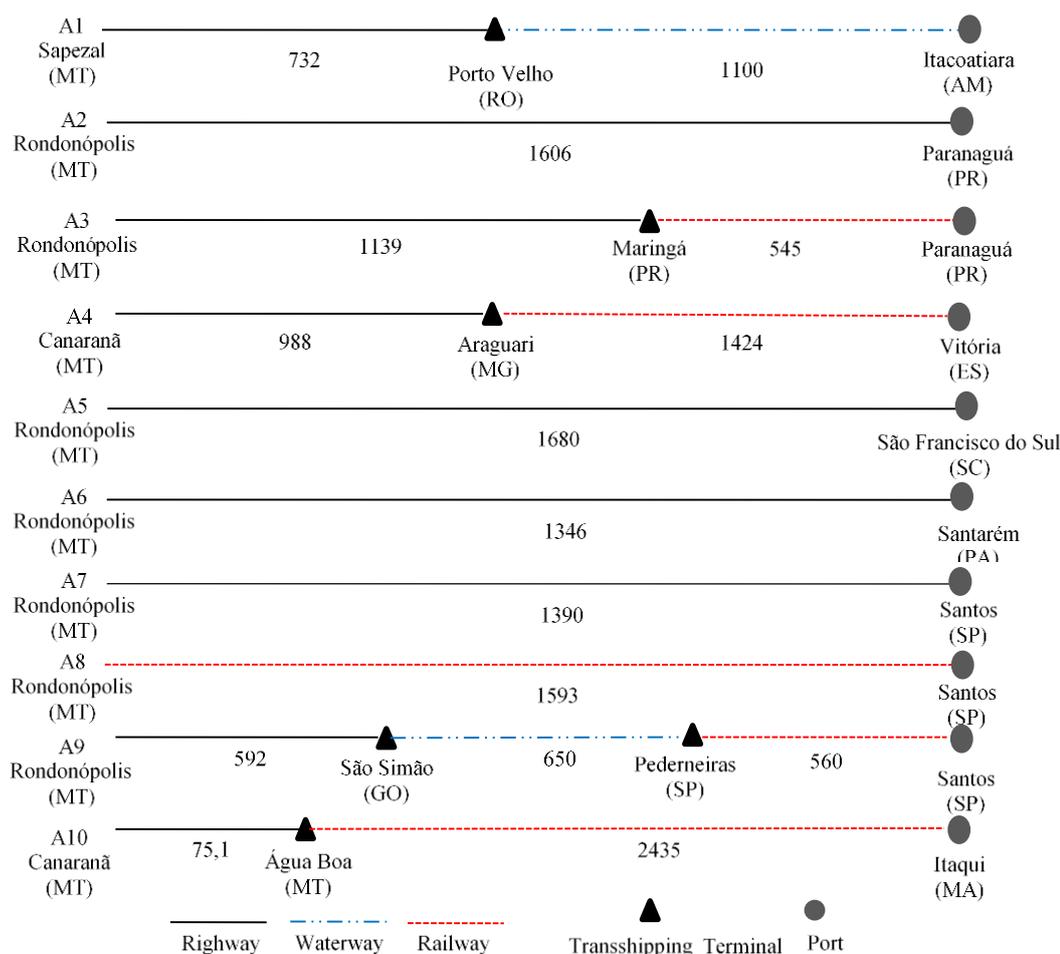


Figura 5: Alternativas atuais de transporte de soja e distâncias percorridas em km

Devido à necessidade de oferecer alternativas competitivas com as alternativas atuais, são elaboradas alternativas potenciais baseados principalmente no portfólio de projetos contidos no PNLT – MT (2011). As alternativas são descritas na Figura 6.

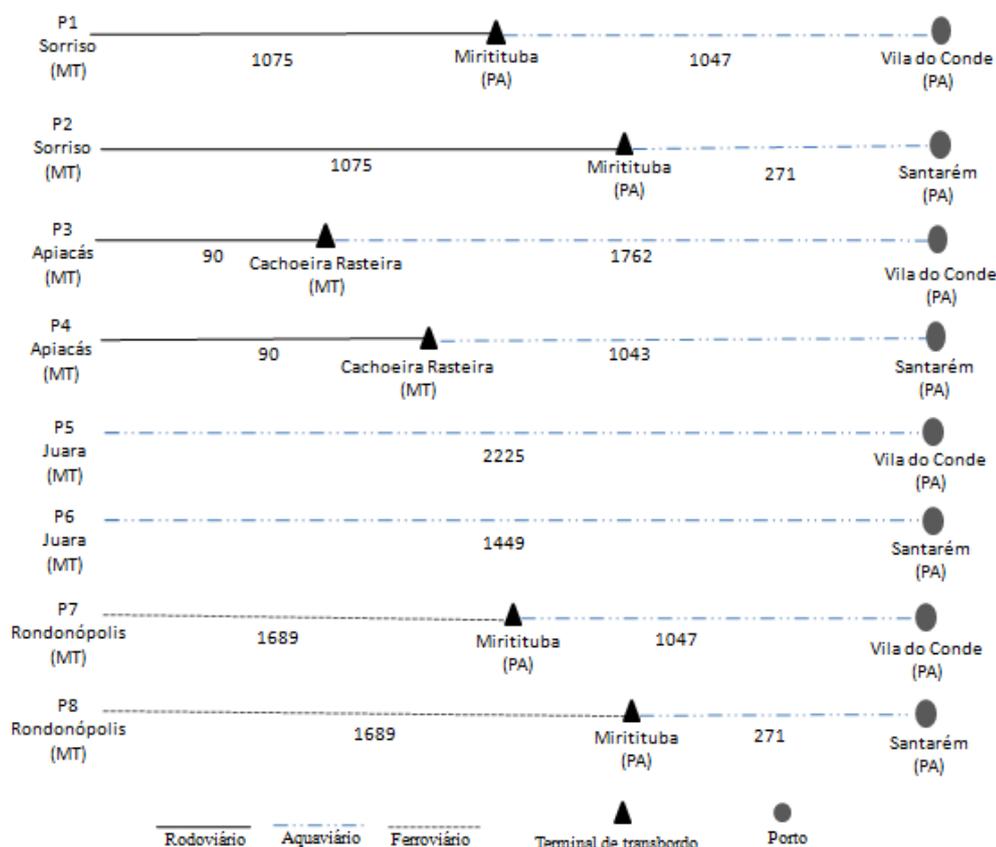


Figura 6: Alternativas potenciais de transporte de soja e distâncias percorridas em km

Dentre os projetos contidos nos portfólios das rodovias, ferrovias, hidrovias e portos, no o estudo destaca as intervenções a serem geradas por implementações de infraestruturas.

Nesse grupo de estudo contido no portfólio há a inclusão de implantação da Hidrovia do Tapajós Teles Pires e implantação do terminal de grãos em Cachoeira Rasteira.

Atualmente o rio Tapajós é navegável no trecho entre a Cachoeira de São Luís do Tapajós até a sua Foz no Município de Santarém (PA), e com a implantação dessas eclusas e outras obras de infraestrutura como, obras de dragagem, derrocagem e sinalização/balizamento de aproximadamente 1.600 km entre: Itaituba/PA até a divisa PA/MT (Rio Tapajós); divisa PA/MT e Juruena/MT (Rio Juruena); e, divisa PA/MT e Itaúba/MT (Rio Teles Pires) será possível a navegação e o escoamento utilizando-se a via hidroviária (PNLT MT, 2011).

A ETC de Miritituba, distrito do Município de Itaituba (PA) faz parte de projetos de empreendimentos privados como de empresas da Terfron, Cargill, e Bunge que se encontra em operação. A ETC é considerada por essas empresas como localização estratégica, em que, permite uma ação combinada dos modos rodoviários pela Transamazônica e BR-163/MT e hidroviário pelas hidrovias Tapajós-Amazonas.

O uso do modo de transporte ferroviário potencial proposto refere-se à expansão da linha ferroviária da ALL – Malha Norte, também conhecida como Ferronorte, em sentido

paralelo a BR 163 entre os Municípios de Rondonópolis (MT) e Miritituba (PA). A extensão proposta não está inserida na lista de estudos do portfólio. Mas considerando a necessidade de avaliar a integração entre os modos de transporte ferroviário e hidroviário.

5.1. Identificação dos decisores ou agentes de decisão

De acordo com a necessidade de investimento que viabilize alternativas potenciais, a visão do problema é focada no poder público.

O poder público tem a função de proporcionar medidas que sejam eficientes e que sejam capazes de contribuir positivamente para a competitividade para produtores e empresas transportadoras de produtos como *commodity*.

5.2. Determinação dos aspectos, atributos e indicadores

Os critérios de decisão são denominados como aspectos e os subcritérios são denominados como atributos e indicadores.

5.2.1. Aspectos

Os aspectos determinados para avaliar o problema foram o econômico, operacional e ambiental, pois o escoamento da produção de soja é ofertado em grandes volumes e percorrem longas distâncias entre os pontos de origem e destino, o que demanda cuidados com a minimização de custos, satisfação dos clientes quanto às questões operacionais e minimização do impacto ambiental que será gerado para a sociedade pelo uso do modo de transporte.

5.2.2. Atributos

Dentre os atributos de aspecto econômico, o atributo custo foi considerado o mais importante, uma vez que quando as vantagens são comparadas entre o Brasil e seus competidores internacionais, o custo é uma vantagem para o Brasil, porém, ao mesmo tempo esta importante vantagem diminui a partir do momento em que o produto sai das porteiras das fazendas e entra no problemático sistema de transporte brasileiro (KUSSANO e BATALHA, 2012).

O atributo considerado de maior importância para as empresas transportadoras é o custo, seguido pelo tempo de transporte, pontualidade e frequência (HANSSEN, MATHISEN e JORGENSEN, 2012). A partir dessa referência os atributos de aspectos operacionais foram selecionados os atributos tempo, confiabilidade e flexibilidade.

O transporte responde por cerca de 21 por cento das emissões de gases de efeito estufa em todo o mundo e foi previsto que esta proporção aumentaria significativamente para certas regiões, como a Europa e a América Latina (GORHAM, 2002). Sendo assim, a emissão de GEE é o atributo selecionado para a avaliação.

5.2.3. Indicadores

A árvore de decisão (Figura 7) foi elaborada a partir dos atributos e aspectos selecionados. E os indicadores selecionados foram a valor do frete, tempo em trânsito e emissão de CO₂ com características quantitativas, perdas e danos, qualidade do serviço e frequência com características qualitativas.

O valor do frete foi selecionado, pois segundo Afonso (2006) os principais insumos formadores de seu preço são, os combustíveis, o salário médio e as despesas com prêmios de seguro por tonelada, no qual as características do serviço é a distância média de transporte em quilômetro e tamanho médio do carregamento dos veículos em toneladas, sendo assim, é considerado o indicador que mais se adéqua ao estudo abordado.

Os fretes rodoviário, ferroviário e hidroviário foram obtidos de dados internos fornecidos pelo APROSOJA em 2014. Referem-se à movimentação de grãos do Estado do Mato Grosso para os portos Nacionais que tiveram movimentação de soja.

O frete do modo rodoviário apresenta-se na Tabela 1.

Tabela 1: Frete dos modos de transporte no trecho nacional

Distância (km)	Frete Rodoviário (R\$/t)
100	15,98
200	31,96
300	47,94
400	63,92
500	79,90
600	75,30
700	87,85
800	100,40
900	112,95
1000	125,50
1500	173,40
2000	213,60

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da APROSOJA (2014)

O frete ferroviário é estimado em R\$ 90 para cada 1000 km por tonelada transportada e o frete hidroviário em R\$ 45 para cada 1000 km por tonelada (APROSOJA, 2014).

Os fretes das alternativas de rota foram calculados a partir dos valores dispostos na Tabela 1e a partir dos fretes ferroviário e hidroviário, e são apresentados por meio da Tabela 4.

De acordo com o enfoque envolvido no estudo, o indicador quantitativo tempo apresenta-se em função do tempo em trânsito (Tabela 4) por meio da velocidade operacional praticada por cada modo de transporte.

A emissão de CO₂ (Tabela 2) foi obtida a partir do consumo de combustível do ciclo diesel, por meio de fatores de ajuste de acordo com o MMA – Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (2014).

De acordo com a resolução da ANP (2011), define-se “óleo diesel B8 a B20 como misturas que contenham de 8% a 20%, em volume, de biodiesel em óleo diesel A, para comercialização conforme a especificação estabelecida no Regulamento Técnico ANP nº 1/2011”.

Mediante a legislação vigente deve-se adotar a composição do diesel a ser utilizada.

Tabela 2: Fatores de emissão de CO₂ para veículos do ciclo Diesel

Tipo de Combustível	Fator de emissão de CO₂ (kg/l)	Composição da gasolina (%)
Óleo Diesel	2,603	92
Biodiesel	2,431	8

Fonte: MMA (2014)

Os fatores de consumo de combustível do ciclo diesel são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Fatores de consumo de combustíveis

Consumo de combustível (l / 1000 t.km)		
Rodoviário	Ferrovário	Hidroviário
15,4	5,7	4,1

Fonte: CNT (2013)

A partir dos dados levantados tem-se os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Indicadores das alternativas atuais e potenciais até os Portos Nacionais

Alternativas	Origem	Modo	Destino	Frete Total (R\$/t)	Tempo Total (dias)	Emissão de CO ₂ (kg/t)
A1	Sapezal (MT)	Rodoviário	Porto Velho (RO)	138,1	5,9	40,9
		Hidroviário	Itacoatiara (AM)			
A2	Rondonópolis (MT)	Rodoviário	Paranaguá (PR)	171,5	2,2	64,0
A3	Rondonópolis (MT)	Rodoviário	Maringá (PR)	178,5	2,2	53,5
		Ferrovário	Paranaguá (PR)			
A4	Canaranã (MT)	Rodoviário	Araguari (MG)	246,5	6,0	60,4
		Ferrovário	Vitória (ES)			
A5	Rondonópolis (MT)	Rodoviário	São Francisco do Sul (SC)	179,4	2,3	67,0
A6	Sorriso (MT)	Rodoviário	Santarém (PA)	155,6	1,9	53,7
A7	Rondonópolis (MT)	Rodoviário	Santos (SP)	160,7	1,9	55,4
A8	Rondonópolis (MT)	Ferrovário	Santos (SP)	137,0	1,7	23,5
		Rodoviário	São Simão (GO)			
		Hidroviário	Pederneiras (SP)			
A9	Rondonópolis (MT)	Ferrovário	Santos (SP)	149,8	4,5	38,8
		Rodoviário	Água Boa (MT)			
		Hidroviário	Itaqui (MA)			
A10	Canaranã (MT)	Rodoviário	ETC	221,5	3,6	38,9
		Ferrovário	Miritituba (PA)			
P1	Sorriso (MT)	Rodoviário	Porto de Vila do Conde (PA)	163,0	6,7	54,0
		Hidroviário	ETC			
P2	Sorriso	Rodoviário	ETC	137,8	3,5	

Alternativas	Origem	Modo	Destino	Frete Total (R\$/t)	Tempo Total (dias)	Emissão de CO ₂ (kg/t)
	(MT)		Miritituba (PA)			45,7
		Hidroviário	Porto de Santarém (PA)			
P3	Apiacás (MT)	Rodoviário	Cachoeira Rasteira (MT)	79,6	7,5	22,3
		Hidroviário	Porto de Vila do Conde (PA)			
P4	Apiacás (MT)	Rodoviário	Cachoeira Rasteira (MT)	53,0	4,5	14,7
		Hidroviário	Porto de Santarém (PA)			
P5	Juara (MT)	Hidroviário	Porto de Vila do Conde (PA)	82,3	9,3	23,6
P6	Juara (MT)	Hidroviário	Porto de Santarém (PA)	53,6	6,0	15,4
P7	Rondonópolis (MT)	Ferrovário	ETC Miritituba (PA)	158,8	2,3	27,8
		Hidroviário	Porto de Santarém (PA)			
P8	Rondonópolis (MT)	Ferrovário	ETC Miritituba (PA)	184,0	5,5	36,0
		Hidroviário	Porto de Vila do Conde (PA)			

5.3. Seleção do modelo analítico do problema

Os métodos de análise de decisão multicritério que serão utilizados como ferramenta para a avaliação do problema são o Analytic Hierarchy Process – AHP e o Elimination et Choix Traduisant La Réalité – ELECTRE.

O método AHP é aplicado na primeira etapa da análise do problema para atribuir graus de importâncias entre os critérios e subcritérios selecionados. Na segunda etapa do problema é aplicado o método ELECTRE I com a finalidade de selecionar as alternativas envolvidas no problema.

5.4. Determinação da preferência

A determinação da preferência foi definida por meio da aplicação de um questionário para especialistas de transporte que têm a visão do poder público.

5.4.1. AHP

Para a aplicação do método AHP é realizado um processo de medida global para cada uma das alternativas, de forma a priorizá-las ou classificá-las na etapa final do processo. Para isso são seguidas as etapas pertencentes a elaboração do método.

5.4.1.1. Matriz de comparação

Para a realização da elaboração da matriz de comparação denominada por matriz dominante ou matriz de decisão, foi utilizada a escala de Saaty, a qual é descrita na Tabela 5.

Tabela 5: Escala Fundamental de Saaty

Escala numérica	Escala de Importância	Descrição
1	Mesma importância	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Fraca importância de uma sobre a outra	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente uma atividade em relação à outra.
5	Essencial ou forte importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática
9	Absoluta importância	A evidência favorecendo uma atividade sobre a outra é a mais alta ordem de afirmação
2,4, 6 e 8	Valores intermediários entre dois julgamentos sucessivos	Quase se deseja um maior compromisso

A matriz dominante ou de decisão do problema foi gerada para cada combinação par a par, a partir da Equação 1, por meio da árvore de decisão formada pelos critérios apresentados na Figura 7.

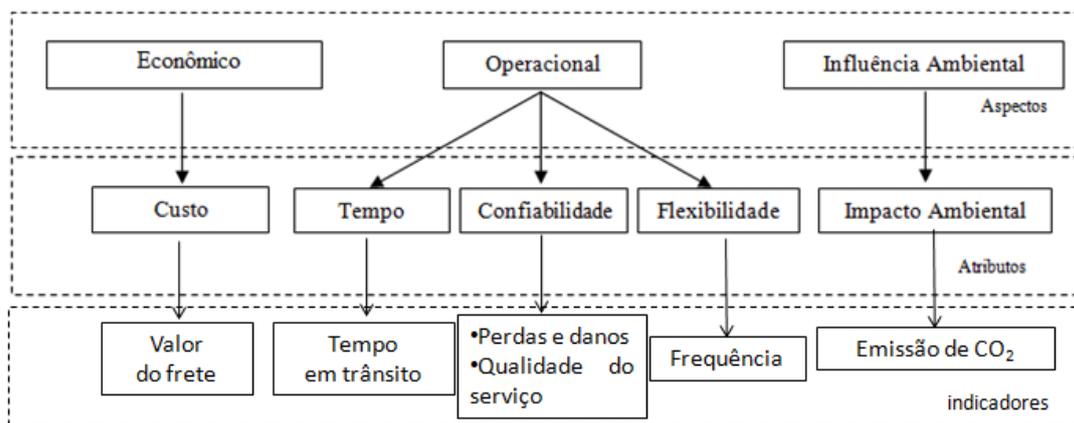


Figura 7: Árvore de decisão do problema

$$A = (a_{ij}) = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{Equação 1}$$

Em que,

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$$

$i, j = 1, 2, \dots, n$, e

T= matriz transposta

A sigla a_{ij} é determinada pela

Equação 2.

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad \text{Equação 2}$$

Os resultados obtidos da matriz de comparação são normalizados a partir da Equação 3.

$$\sum_{i=1}^n \bar{v}_i(A_j) = 1, \quad j = 1, \dots, n \quad \text{Equação 3}$$

Em que,

$$\bar{v}_i(A_j) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \quad j=1, \dots, n \quad \text{Equação 4}$$

5.4.1.2. Vetor de prioridade

O vetor prioridade foi estimado pelo método do auto vetor direto, o qual é representado pela Equação 5.

$$\bar{v}_k(A_i) = \sum_{j=1}^n \bar{v}_j \frac{(A_j)}{n} \quad i = 1, \dots, n \quad \text{Equação 5}$$

5.4.1.3. Medida de inconsistência

A medida de inconsistência é calculada pela Equação 6.

$$A_W = \lambda_{max} \times W \quad \text{Equação 6}$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \frac{[A_w]_i}{w_i} \quad \text{Equação 7}$$

5.4.1.4. Medida de consistência

A medida de consistência é obtida pelas Equações 8 e 9.

Em que, λ_{max} é consistente se e somente se $\lambda_{max} \geq n$.

$$IC = \frac{(\lambda_{max}-n)}{n-1} \quad \text{Equação 8}$$

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Equação 9}$$

O valor de IR é tabelado de acordo com os valores mostrados na Tabela 6.

Tabela 6: Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n

n	2	3	4	5	6	7
IR	0,0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32

Os valores de RC também são tabelados e apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Valores de RC

n	2	3	4	>4
RC	0	≤ 0,05	≤ 0,09	≤ 0,10

5.4.2. ELECTRE

O método ELECTRE é utilizado para gerar a hierarquização das alternativas sendo definido pelo índice de concordância e pelo índice de discordância.

5.4.2.1. Índice de concordância

O índice de concordância pode ser calculado pela Equação 10.

$$C_{i,k} = \sum_{j \in C(x_i, x_k)} w_j \quad \text{Equação 10}$$

5.4.2.2. Índice de discordância

O índice de discordância pode ser calculado pelo índice de discordância, como apresentado na Equação 11.

$$d_{i,k} = \left(\frac{1}{d}\right) \max(u_j(x_i) - u_j(x_k)) \quad \text{Equação 11}$$

5.5. Geração de índices

Os pesos foram gerados pelo método AHP e os fatores de dominância pelo método ELECTRE.

5.5.1. AHP

Os índices gerados pela aplicação do método AHP entre os critérios avaliados são apresentados na Figura 8. Os índices foram utilizados para unificar os dados dos aspectos operacionais de característica quantitativa e qualitativa e auxiliar na aplicação do método ELECTRE.

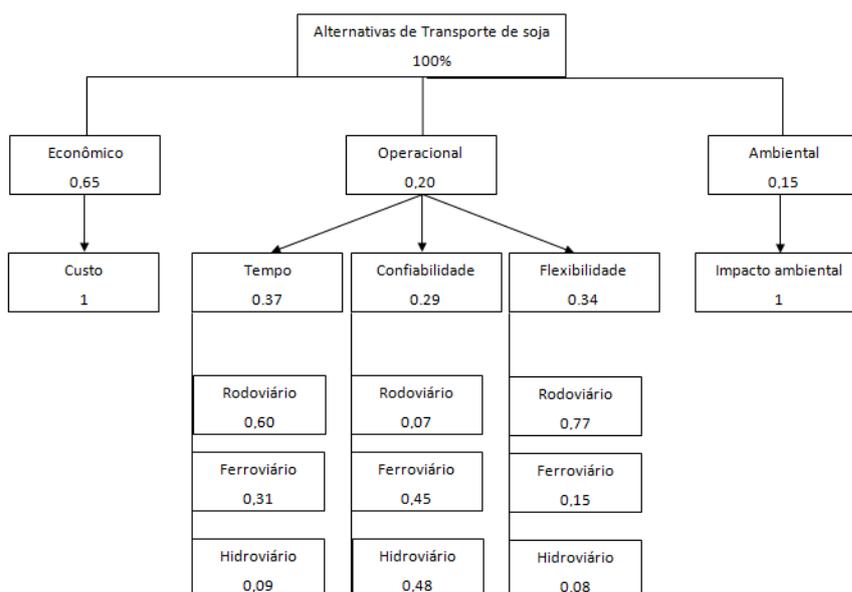


Figura 8: Pesos obtidos pela aplicação do AHP

5.5.2. ELECTRE

A partir da determinação dos pesos encontrados na aplicação do método AHP, foi realizada a matriz de concordância e discordância, o qual foi possível determinar a relação de dominância entre as alternativas.

No processo de seleção das alternativas, são identificadas por meio de hierarquização, as alternativas com maior número de dominância em relação às outras. E é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8: Tabela com a determinação das preferências

Alternativas	Número de dominância	Hierarquia de preferências	
A1	10	P4	1
A2	3	P6	2
A3	2	A8	3
A4	0	P3	4
A5	1	P2	5
A6	6	P7	6
A7	5	A1	7
A8	13	P5	8
A9	10	A9	9
A10	1	A6	10
P1	3	A7	11
P2	11	A10	12
P3	12	P8	13
P4	17	A2	14
P5	6	P1	15
P6	15	A3	16
P7	8	A5	17
P8	2	A4	18

5.6. Avaliação dos resultados

A partir dos resultados gerados pode-se observar que, as alternativas potenciais propostas são suficientes para cumprir com o objetivo do procedimento elaborado, uma vez que as alternativas potenciais P4 e P6 – ambas destinadas ao porto de Santarém no Estado do Pará – se mostraram com desempenho maior que a alternativa atual A8.

Sendo assim, como houve o atendimento da expectativa em promover a escolha de alternativas potenciais aptas a participarem de EVTEA ou outras análises de investimento, a execução do procedimento pode ser finalizada.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a formação dos grafos, foi possível estabelecer a relação de dominância entre as alternativas.

Entre as alternativas atuais, a alternativa A8 que tem como origem o Município de Rondonópolis (MT) e destino o porto de Santos (SP), por meio do modo de transporte ferroviário se destaca entre as demais e justifica a sua alta participação no escoamento da produção de soja. Uma vez que o modo de transporte ferroviário é dotado de características favoráveis quanto aos aspectos, atributos e indicadores selecionados.

A alternativa A7 que apresenta a mesma origem e o mesmo destino que a alternativa A8, chama atenção pelo seu menor número de dominância, mesmo que a distância percorrida entre os trechos seja menor, o que retrata a desvantagem do uso do modo de transporte rodoviário em relação ao modo de transporte ferroviário na visão dos especialistas.

Pode – se observar que a alternativa A6 que tem como destino o porto de Santarém (PA) localizado na região Norte do Brasil, por percorrer o trecho entre a origem e o destino exclusivamente pelo modo de transporte rodoviário, não se caracteriza em uma alternativa de desempenho satisfatório, reforçando a necessidade de proposta de alternativas intermodais onde haja maior interação com os modos de transporte ferroviário e hidroviário.

A alternativa A4 apresentou um destaque negativo entre as alternativas avaliadas demonstrando que nem sempre a integração entre os modos de transportes são favoráveis, pois a localização do Município de origem pode influenciar o desempenho da alternativa.

A relação entre as alternativas potenciais e as atuais são favoráveis principalmente para as alternativas P4 e P6 que são favorecidas respectivamente pelo uso dos modos de transportes rodo - hidroviário e hidroviário com destino ao porto de Santarém. A alternativa P4 que utiliza o modo de transporte rodoviário, em um pequeno trecho tem a vantagem de estar localizada em um Município mais próximo, o que ressalta a necessidade de haver um planejamento quanto a escolha da localização.

Dentre as alternativas potenciais com destino ao porto de Vila do Conde, a alternativa P3 se destacou, o que amplia as opções de ofertar a produção de soja para a região Norte do Brasil.

A alternativa P7 embora não tenha apresentado um desempenho muito satisfatório, pode ser considerada uma alternativa com localização de transbordo estratégica, uma vez que, há instalação de terminais graneleiros no Município de Miritituba (PA).

7. CONCLUSÕES

Define-se que a partir do objetivo proposto de selecionar alternativas de transporte de *commodity*, por meio da aplicação no escoamento da produção de soja, foi possível selecionar alternativas de transportes potenciais competitivas favorecendo o escoamento da produção para portos localizados na região norte do Brasil.

A aplicação do método AHP e ELECTRE para selecionar as alternativas propostas foi satisfatória, pois indicou de forma coerente com as características de cada sistema a dominância entre as alternativas.

Devido aos pontos positivos observados em determinadas alternativas potenciais, orienta-se que seja realizado EVTEA nas alternativas P4, P6, P3 e P7, a fim de avaliar a viabilidade de empreendimento de infraestrutura.

Para estudos futuros sugere-se que seja ampliada a quantidade de aspectos, atributos e indicadores tanto de característica qualitativa quanto quantitativa para avaliar o comportamento dos desempenhos das alternativas. Assim como, é importante também avaliar o ponto de vista de tomadores de decisão diferentes dos avaliados no estudo presente.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AFONSO, H. C. A. G. **Análise dos custos de transporte da soja Brasileira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) Instituto Militar de Engenharia. 2006.

APROSOJA. Disponível em: < <http://www.aprosoja.com.br>>. 2014.

ANTÚN, J. P., ALARCÓN, R. **Ranking projects of Logistics Platforms: A methodology based on the ELECTRE multicriteria approach**. Procedia - Social and Behavioral Sciences. n.160 pp. 5 – 14. 2014.

BEYNON, M. J. e e WELLS, P. **The lean improvement of the chemical emissions of motor vehicles based on preference ranking: A PROMETHEE uncertainty analysis**. The International Journal of Management Science. Omega. vol. 36. pp. 384 – 394. 2008.

BOJKOVIĆ, N. ANIĆ, I. e PEJČIĆ-TARLE, S. **One solution for cross-country transport-sustainability evaluation using a modified ELECTRE method**. Ecological Economics. n. 69. pp. 1176 – 1186. 2010.

BRITO, A. J. M., Cavalcante, C. A. V., Fittipaldi, E. H. D. **Priorização de gasodutos em hierarquia de riscos: Uma abordagem multicritério**. XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil. 2006.

CARAMURU. Apresentação CARAMURU ALIMENTOS “ **A hidrovía que garante competitividade e sustentabilidade**. 2011. Disponível em: <<http://portal.antaq.gov.br>>.

CENTRO OESTE COMPETITIVO. **PROJETO CENTRO OESTE COMPETITIVO**. Disponível em: <<http://www.macrologistica.com.br>>. 2013.

CFA – Conselho Federal de Administração. **Plano Brasil de Infraestrutura Logística PBLog**. Uma abordagem sistêmica. Brasília. 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Safras. **Séries Históricas**. Acessado em Janeiro de 2015. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br>>.

GONÇALVES, C. M. ; HOSSMANN, M. H. S. ; ASSIS, T. F. ; REIS, M. M. ; AMORIM, J. C. C. **Estudo de Caso: Escolha do Sistema Modal para o Escoamento da Soja com Origem em Lucas do Rio Verde (MT) e Destino no Porto de Santos (SP) Minimizando os**

Impactos Ambientais. In: XXVII Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2013, Belém. Anais Congresso Anual da Anpet, 2013.

GORHAM, R. The Global Initiative on Transport Emissions A Partnership of the United Nations and the World Bank. Division for Sustainable Development Department of Economic and Social Affairs. United Nations. 2002.

HANSSSEN, T.- E. S., JORGENSEN, F. Transportation policy and road investments. Transport Policy. vol. 40. pp. 49-57. 2015.

KA, B. Application of Fuzzy AHP and ELECTRE to China Dry Port Location Selection. The Asian Journal of Shipping and Logistics. vol. 27. n. 2. pp. 331-354. 2011.

KOENIG, J. G. Indicators of urban accessibility: theory and application. Transportation Research. vol.9. n. 2. pp. 145 – 172.

KUSSANO, M. R., BATALHA, M. O. Custos logísticos agroindustriais: avaliação do escoamento da soja em grão do Mato Grosso para o mercado externo. Gest. Prod., São Carlos, v. 19, n. 3, pp. 619 - 632. 2012.

KUWAHARA, N. Planejamento integrado do setor de transporte de carga na amazônia: metodologia de análise e hierarquização de alternativas de investimentos em infraestrutura de transportes. 2008. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, 2008.

LEAL JR, I. C. 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. 2010.

LIEGGIO JR, M., GRANEMANN, S. R., e SOUZA, O. A. Aplicabilidades da análise multicritério às problemáticas de decisão no transporte rodoviário de produtos perigosos: uma perspectiva teórica. Journal of Transport Literature, vol. 6, n. 2, pp. 197-217. 2012.

MARTINS, R. S., CAIXETA-FILHO, J. V. Evolução histórica da gestão logística do transporte de cargas. In: CAIXETA-FILHO, J. V., MARTINS, R. S. Gestão Logística do Transporte de Cargas. 1. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A. 2014. p. 15 – 31.

MOTTA, J.P. L., LIMA, M. P., e MACHADO, N. M. Conflitos: Rodovia e Meio Ambiente. O Caso da RJ 165, Paraty (RJ) – Cunha (SP). Serviços de Estudos e Impactos Ambientais. 1992.

MACÊDO, C. S; DO NASCIMENTO, J. C., e KUWAHARA, N. Estudo comparativo da análise hierárquica com multiobjetivo para seleção de projetos públicos de investimento em infraestrutura de transporte. TRANSPORTES, v. 18, n. 2, p. 46-52, junho 2010.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por veículos automotores rodoviários. Relatório Final. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Departamento de Mudanças Climáticas. Gerência de Qualidade do Ar. 2014.

NOORAMIN, A. S., SAYAREH, J., MOGHADAM, M. K., e ALIZMINI, H. R. **TOPSIS and AHP techniques for selecting the most efficient marine container yard gantry crane.** vol. 49. n. 2. pp. 116 – 132. 2012.

PNLT. **Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do PNLT.** Relatório Final. 2012.

PNLT – MT. **Portfólio dos Projetos por Unidades da Federação - Versão 2011.**

RODRIGUES, F. H; MARTINS, W. C., e MONTEIRO, A. B. F. C. **O Processo de decisão baseado em múltiplos objetivos: O uso do Método de Análise Hierárquica na Tomada de Decisão sobre investimentos.** In: ROGERS, M; BRUEN, M; MAYSTRE, L. **The ELECTRE Methodology. ELECTRE and Decision Support.** Springer US. p. 45 – 85. 2000.

ROXANA, J., JAVIDA,N, ALI, N., KATHARINE, H. **Selection of CO₂ mitigation strategies for road transportation in the United States using a multi-criteria approach.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. vol. 38, pp. 960-972. 2014.

SEPLAN – Secretaria de Estado de Planejamento e Coodenação Geral. **Plano Plurianual 2012 - 2015.** Governo do Estado de Mato Grosso. Secretária de Estado de Planejamento e Coodenação Geral.

SOUZA, A. T. P., NASSI, C. D. **Uma contribuição à solução do problema de roteamento com múltiplos objetivos.** Transportes. 1995.

TSAMBOULAS, D; YIOTIS, G.S; E PANOU, K.D. **Use of multicriteria methods for assessment of transport projects.** Journal of Transportation Engineering, n. 125, pp. 407-414. 1999.