

ESTIMATIVA DA DEMANDA FERROVIÁRIA APRESENTADA PELO COMPLEXO SOJA: UM ESTUDO PARA A ESTRADA DE FERRO NORTE-SUL (EFNS)

LEANDRO BERNARDINO CARVALHO; JOSÉ EDUARDO HOLLER BRANCO; JOSÉ VICENTE CAIXETA FILHO.

ESALQ/USP, PIRACICABA, SP, BRASIL.

lb.carvalho@yahoo.com.br

APRESENTAÇÃO ORAL

COMERCIALIZAÇÃO, MERCADOS E PREÇOS AGRÍCOLAS

ESTIMATIVA DA DEMANDA FERROVIÁRIA APRESENTADA PELO COMPLEXO SOJA: Um estudo para a Estrada de Ferro Norte-Sul (EFNS)

Grupo de Pesquisa: 1 – Comercialização, Mercados e Preços Agrícolas

Resumo

A Estrada de Ferro Norte-Sul, planejada para ligar Senador Canedo (GO) ao Porto de Itaqui (MA), constituirá uma importante alternativa de transporte para o escoamento da produção das áreas de fronteira agrícola, principalmente das regiões produtoras de grãos de Tocantins, do sul do Maranhão e Piauí. É bastante evidente que esta ferrovia propiciará uma diminuição de custos para o escoamento da safra destas regiões, que se revelam carentes de infraestrutura, e alavancará a competitividade da produção agroindustrial local. No entanto, os projetos de ferrovias envolvem elevados montantes de investimentos e longo prazo de maturação, sendo de grande importância a estimativa de carga com potencial para movimentação através do trecho ferroviário, já que a quantidade de carga captável pela ferrovia determinará a viabilidade daquele projeto. Com este propósito, este artigo apresenta um modelo linear de otimização de fluxos em rede aplicado para a estimativa de demanda de carga captável pela Estrada de Ferro Norte-Sul, considerando os produtos do complexo soja. Os resultados do modelo apontaram um total de 1,1 milhão de toneladas dos produtos soja, farelo de soja e óleo de soja, com potencial para ser transportado através da ferrovia, ao considerar um custo de transporte de R\$ 0,04/t.km. O método documentado neste artigo pode ser aplicável na avaliação de outras malhas ferroviárias e mostrou-se bastante importante para o planejamento de sistemas de transporte, pois além de uma técnica para previsão da

quantidade de carga captável em cada trecho da ferrovia, permite a análise dos principais centros geradores e os pontos de transbordo com maior potencial.

Palavras-chaves: Demanda, Transporte, Ferrovia, Soja, Modelagem

Abstract

North-South Railroad, planned to connect the city of Senador Canedo (GO) to Itaqui Port (MA), must be an important alternative for the transportation of the grain production in frontier areas, mainly in areas like State of Tocantins, South of Piauí and South of Maranhão. It is clear that this railroad will reduce the transportation costs of grain production of this region, which require urgently more investments in infra-structure, and will increase the competitiveness of the local agro-industrial production. However railroad projects require high level of investments and the returns are perceptible just in long time. For this reason is very important the estimative of the rail line freight demand, therefore the viability of the project will be determinate by the quantity of load captive by the railroad. With this propose, this article presents a linear model of net flow optimization applied to estimate the freight demand by the North-South Railroad, considering the products of soybean industry. The models results showed a quantity around of 1,1 million ton of the products soybean grain, soybean bran and soybean oil with potential to be transported by the railroad, considering a transport cost of R\$ 0,04/t.km. The method documented in this article can be applicable to evaluate the freight demand of other railroad and showed be an important tool to give support for the strategic planning of transport systems, because it allows the analysis of the main origins, the potential locals for the yards, beside a technique to forecast the load in each railroad section.

Key Words: Demand, Transport, Railroad, Soy, Modeling

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é responsável por cerca de 26% da produção mundial de soja, com a safra de 2004 estimada ao redor de 49 milhões de toneladas. O país é o segundo maior produtor e exportador mundial de soja em grão, farelo e óleo de soja. O complexo soja, que reúne a cadeia produtiva de soja em grão, farelo e óleo é um dos principais itens da Balança Comercial Brasileira e exportou cerca de US\$ 8 bilhões em 2004, colocando o país na liderança mundial nas exportações do setor em valor (CONAB, 2004).

Os produtos de origem agrícola, entre eles os grãos sólidos, possuem um baixo valor agregado. Desta forma, o valor do frete tem um grande impacto sobre o preço final desses produtos e, conseqüentemente, na comercialização dos mesmos.

Entretanto, a logística nacional de escoamento destas commodities não tem acompanhado de forma satisfatória esse desempenho. Estudos realizados pelo Grupo de Estudos de Integração de Política de Transportes (GEIPOT, 2004), apontaram que o Brasil tem um gasto adicional de R\$ 132 milhões ao ano somente em transporte de soja devido à má distribuição modal, onde as rodovias são responsáveis pelo transporte de, aproximadamente, 60% do total produzido – vide Figura 1. Além disso, a Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2004) relatou que o estado de preservação de 82% das rodovias brasileiras está entre péssimo e ruim.

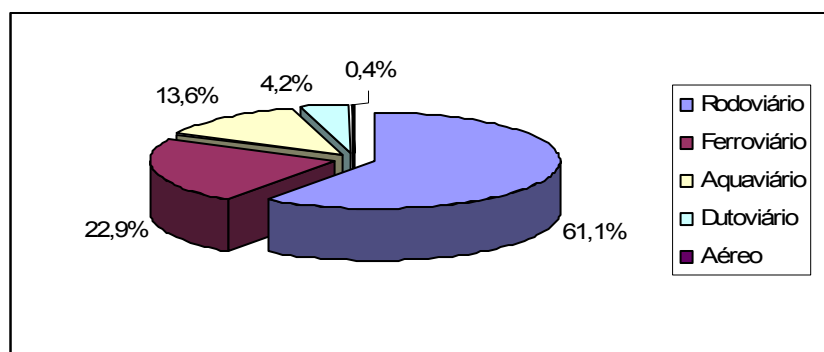


Figura 1. Matriz de Transporte de Cargas no Brasil (2005).

Fonte: ANTT (2005).

Mesmo não tão característicos do Brasil como o modal rodoviário, os demais modais também representam alguns entraves logísticos no escoamento de grãos em geral. Com relação ao modal hidroviário, não há no Brasil uma política hidroviária sólida, capaz de promover esse meio de transporte como uma solução viável para regiões de boa navegação. As instalações portuárias marítimas e fluviais apresentam-se precárias além de não proporcionar ligações satisfatórias e/ou convenientes com outros modais. No caso das ferrovias, embora boa parcela tenha sido privatizada, implicando num ganho, mesmo que contido, de investimento em ativos de infra-estrutura e de máquinas locomotivas, diversas distorções apareceram e ainda não foram corrigidas. Dentre elas, cita-se o “direito de passagem”. Várias empresas foram criadas, cada uma com sua respectiva área de domínio. Quando ocorre a necessidade de se passar por uma linha que não seja de propriedade de uma empresa, deve-se pagar uma espécie de pedágio, que encarece o preço do frete. Isso faz com que nem sempre o caminho mais curto possa ser o mais barato, o que reduz a eficiência o setor.

Contudo, um dos grandes entraves que o setor de transportes nacional enfrenta atualmente é a escassez de estudos e trabalhos com enfoque em indicadores, tanto de eficiência quanto de ineficiência, que auxiliem e balizem tomadas de decisões e investimentos públicos e privados para o setor – especialmente em relação ao modal ferroviário, por ser considerado um dos mais atrativos modais existentes (levando em consideração seu custo total) e, ao mesmo tempo, com, uma malha total abaixo da média de países que o possuem o mesmo perfil econômico e social que o Brasil.

Nesse sentido, ressalta-se a importância da existência de indicadores de demanda que apontem o excesso ou a escassez de oferta de serviços por determinado modal e, que auxiliem a tomada de decisão quanto à implantação ou desativação de determinado sistema logístico e de transporte.

Nesse contexto, torna-se evidente a busca de ferramentas que auxiliem as decisões referentes ao sistema de escoamento da produção agrícola e a época de comercialização da sua produção. A aplicação e difusão de mecanismos de auxílio à tomada de decisão, como modelagem e pesquisa operacional podem contribuir de maneira decisiva para a diminuição dos custos logísticos e também para a competitividade dos produtos nacionais, tentando assim minimizar os efeitos das lacunas da infra-estrutura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A Importância do Complexo Soja

Desde meados da década de 90 o Brasil tem acompanhado a substituição da pecuária pelo setor agrícola, destacando-se os produtos soja e algodão, muito embora o primeiro setor tenha apresentado extrema importância ao desenvolvimento nacional. Tal fato pode ser verificado em estudos desenvolvidos por Fuller (2002), onde observou que, historicamente a produção de soja brasileira era concentrada na região sul do país, próxima aos portos localizados na Costa Atlântica, distando entre 350 e 600 quilômetros das zonas produtoras. Entretanto, o mesmo estudo apontou que, passadas 2 décadas, a produção foi alocada para a região central do Brasil, mais especificamente para o Estado do Mato Grosso, tornando-o o epicentro da produção nacional.

Para Schnepf (2001) a importância da soja no Brasil pode ser verificada por meio da área colhida. Em suas pesquisas verificou-se que entre os anos de 1969 e 1971 a média da área colhida representava 2 milhões de hectares e entre os anos de 1989 e 1991 esse índice passou para 10 milhões de hectares. Esses dados enfatizam a crescente participação da soja brasileira no mercado internacional além de assegurar, em paralelo, o crescimento de 10% da produção nas últimas décadas.

Conforme dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC, 2004), a cultura da soja tem-se destacado no cenário econômico brasileiro na medida em que passou a representar cerca de 10% das exportações nacionais, significando um aumento na geração de divisas e no fornecimento interno de alimentos.

Cabe ressaltar que uma dos fatores de grande relevância para o incentivo ao crescimento das exportações de soja a partir de 1997 se refere à adoção da Lei Kandir. Figueiredo (2003) salienta que o efeito de tal lei beneficiou a exportação de grãos e demais produtos primários em detrimento das exportações de produtos com algum grau de processamento, como é o caso do farelo de soja. Assim, o incentivo ocorreu na forma de isenção do ICMS dos grãos destinados à exportação, aumentando a competitividade dos grãos brasileiros no mercado internacional.

Finalmente, devido sua relevância na produção nacional e regional, e também, de sua importância para a economia nacional e internacional, optou-se por enfatizar nessa pesquisa as *commodities* integrantes da cadeia do complexo soja, abordando aspectos relacionados ao seu escoamento e futura utilização do modal ferroviário que, infelizmente não apresenta um desenvolvimento equivalente ao de sua produção.

2.2. A Estrada de Ferro Norte-Sul (EFNS)

A Estrada de Ferro Norte-Sul, popularmente conhecida como Ferrovia Norte-Sul, foi, inicialmente projetada e elaborada visando fortalecer a infra-estrutura de transportes necessária ao escoamento da produção agropecuária e agro-industrial do cerrado setentrional brasileiro, que envolve o oeste da Bahia, sudoeste do Piauí, sul do Maranhão, o Estado do Tocantins e parte de Goiás.

Com, aproximadamente, 1638 quilômetros de extensão – entre trechos em operação e trechos planejados (vide Figura 2) – a Estrada de Ferro Norte-Sul, atualmente, disponibiliza a

maior parte de sua extensão sob a concessão da VALEC¹, possuindo, de forma geral, as seguintes principais características:

- **Bitola²:** 1,60 metros (conhecida como Bitola Larga);
- **Trechos:**

a) Norte: 461 km de extensão, cujo traçado, partindo da região de Colinas de Tocantins (TO), vai até à Estrada de Ferro Carajás (EFC), nas proximidades de Açailândia (MA) – o Trecho Norte encontra-se em operação somente entre os municípios de Estreito (TO) e Açailândia (MA);

b) Sul: 502 km de extensão, partindo da região de Porangatu (GO), interliga-se ao sistema ferroviário existente em Senador Canedo (GO) – o Trecho Sul encontra-se apenas em planejamento;

c) Intermediário: 675 km de extensão, interligando os trechos Norte e Sul através dos municípios de Porangatu (GO) e Colinas do Tocantins – o Trecho Intermediário encontra-se apenas em planejamento;

- **Ligação Portuária:** diretamente, a EFNS não possui acesso a portos marítimos, porém, interliga-se a Estrada de Ferro Carajás (EFC), nas proximidades de Açailândia (MA), que torna possível o acesso ao Porto de Itaqui (São Luis – MA).

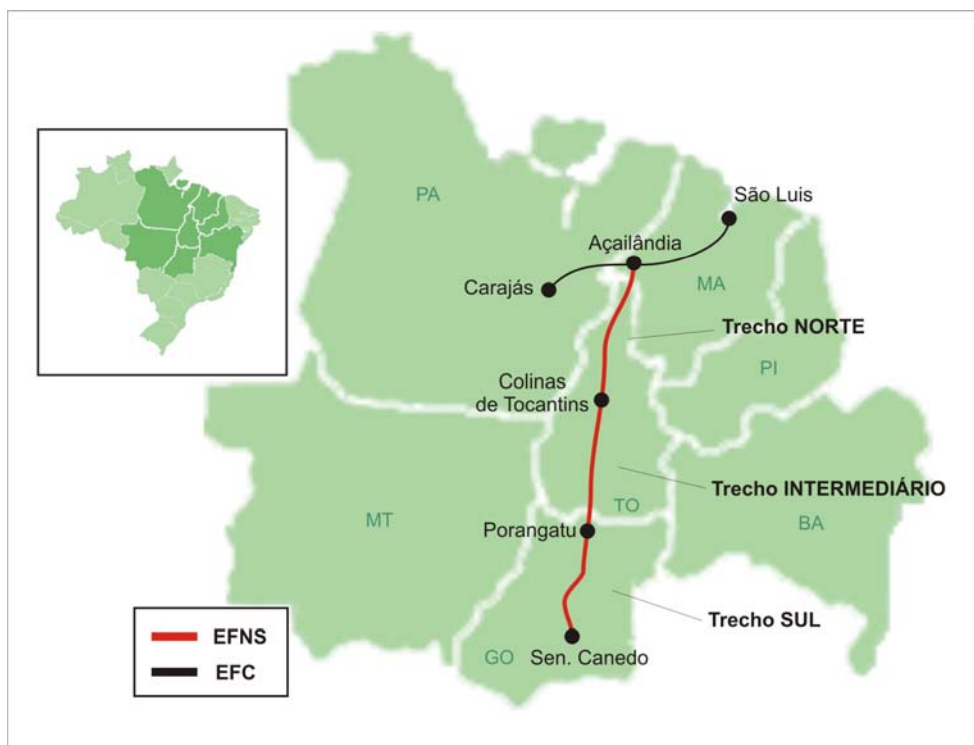


Figura 2. Divisão dos Trechos considerados na EFNS (2006).

Fonte: Elaborado pelos Autores.

2.3. Modelagem Matemática aplicada a Modelos de Transporte

¹ O direito de construção e administração de, aproximadamente, 60% do ramal da EFNS foi concedido a VALEC (Engenharia, Construções e Ferrovias S.A.) pelo Decreto de Concessão n.º 94.183 de 01/09/1987;

² Distância entre as faces internas dos boletos dos trilhos, tomada na linha normal a essas faces, 16 mm abaixo do plano constituído pela superfície superior do boleto.

Os problemas de transporte têm se tornados mais freqüentes em países industrializados e em desenvolvimento. O crescimento da demanda por serviços de transporte vem resultando em congestionamentos, atrasos e problemas ambientais. Além disso, a falta de investimento em infra-estrutura em algumas regiões vem acarretando a constituição de configurações deficientes de cadeias de suprimento. Este cenário requisita esforços, que devem voltar-se às atividades de planejamento e modelagem dos sistemas de transporte, visando maximizar a oferta deste tipo de serviço e minimizar seus custos, assim como, diminuir os impactos de seus "efeitos colaterais" (ORTÚZAR & WILLUMSEN, 1995). Existem dois grandes grupos de modelos que podem ser aplicados aos problemas de transporte:

- **Modelos Estáticos:** que consideram dados com informações de um único ponto no tempo;
- **Modelos Dinâmicos:** que são alimentados continuamente com dados referentes a diferentes períodos, com o intuito de fornecer certa flexibilidade e "sensibilidade" ao modelo frente às variações temporais de variáveis exógenas (ORTÚZAR & WILLUMSEN, 1995).

As técnicas de programação linear começaram a se difundir a partir da década de 40, com o desenvolvimento do método Simplex. Principalmente a partir da década de 80, novos algoritmos foram desenvolvidos e atualmente, com o avanço dos recursos computacionais, observa-se uma infinidade de softwares e algoritmos para a resolução de problemas de programação linear. A pesquisa operacional tem encontrado uma gama de aplicações na solução de problemas de transporte, principalmente, problemas que envolvem roteirização (CAIXETA-FILHO, 2001).

2.4. Modelos Aplicados ao Planejamento Estratégico de Redes Ferroviárias

Crainic et al. (1990a) argumentam que os modelos de equilíbrio geral são frequentemente utilizados para a estimativa de fluxos inter-regiões. Segundo os autores, estes modelos têm como variáveis endógenas os fluxos entre centros geradores de carga e centros de atração de carga e os preços a serem praticados em cada mercado de forma a maximizar a diferença entre receita e custo de transporte. Normalmente consideram um custo unitário de transporte fixo entre as possíveis origens e possíveis destinos.

Apesar de ser possível a identificação dos tipos de modais escolhidos entre os nós da rede de transporte, esta família de modelos não consideram os efeitos de atraso em função da intensidade de tráfego numa linha férrea nem os atrasos num ponto de transbordo. CRAINIC et al. (1990a) apresentam o modelo STAN, que consiste de um Modelo de Fluxo Inter-regional Multimodal Multiproduto (Multimodal Multiproduct Interregion Flow Model) e foi desenvolvido para o planejamento estratégico de uma rede de transporte. Este modelo tem uma função objetivo de custo não linear e considera os efeitos sofridos pelo tempo de trânsito dos veículos em função da intensidade de tráfego numa linha férrea e também os atrasos nos pontos de transbordo decorrentes do fluxo de transferência de cargas entre os modais.

O STAN trata-se de um modelo de minimização global do custo de transporte, e considera como critério de escolha dos embarcadores apenas o custo de transporte. Na opinião dos autores, este pressuposto é razoável quando se está trabalhando com o planejamento estratégico de uma rede de transportes de um país, e quando os produtos em sua maioria se tratam de commodities.

Este modelo foi aplicado em vários cenários reais, CRAINIC et al (1990b) apresentam os resultados da aplicação do STAN no planejamento da rede ferroviária brasileira, durante um estudo encomendado pelo antigo GEIPOT.

Fernandez et al. (2004), propõe um modelo para planejamento estratégico de uma rede ferroviária. Segundo os autores, os modelos mais conhecidos aplicados com este propósito são o FNEM (Freight Network Equilibrium Model), desenvolvido por Friez et al. (1978) e o STAN (Strategic Transportation Analysis Model) desenvolvido por Crainic et al. (1990). O primeiro não leva em consideração características peculiares de um sistema ferroviário, enquanto o segundo apresenta uma descrição mais detalhada das operações envolvidas no transporte ferroviário e são introduzidos no modelo alguns fenômenos importantes característicos de uma operação ferroviária, como atrasos nos pátios ferroviários e atrasos nas linhas ferroviárias, decorrentes do aumento da intensidade de tráfego na rede. Também, o STAN apresenta uma abordagem da questão relacionada à movimentação de vagões vazios. Entretanto, este modelo não leva em conta o itinerário, a frequência e os tipos de vagões utilizados. Neste sentido, Fernandez et al. (2004) propõem um modelo que consiga permitir uma análise mais detalhada do itinerário, dos vagões e da formação de comboios. Trata-se de um modelo de equilíbrio, gerado a partir de uma matriz O-D que considera centros geradores de vagões vazios, centros geradores de vagões carregados e centros de demanda de vagões, cujos tipos e quantidade variam em função da carga a ser transportada entre os pares O-D.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Zoneamento Adotado

Para o presente estudo foi definida como área de influência a região constituída pelos estados vizinhos ao eixo ferroviário considerado, ou seja, estados do Pará, Mato Grosso, Tocantins, Goiás (incluindo o Distrito Federal), Piauí, Bahia e Maranhão – vide Figura 3.

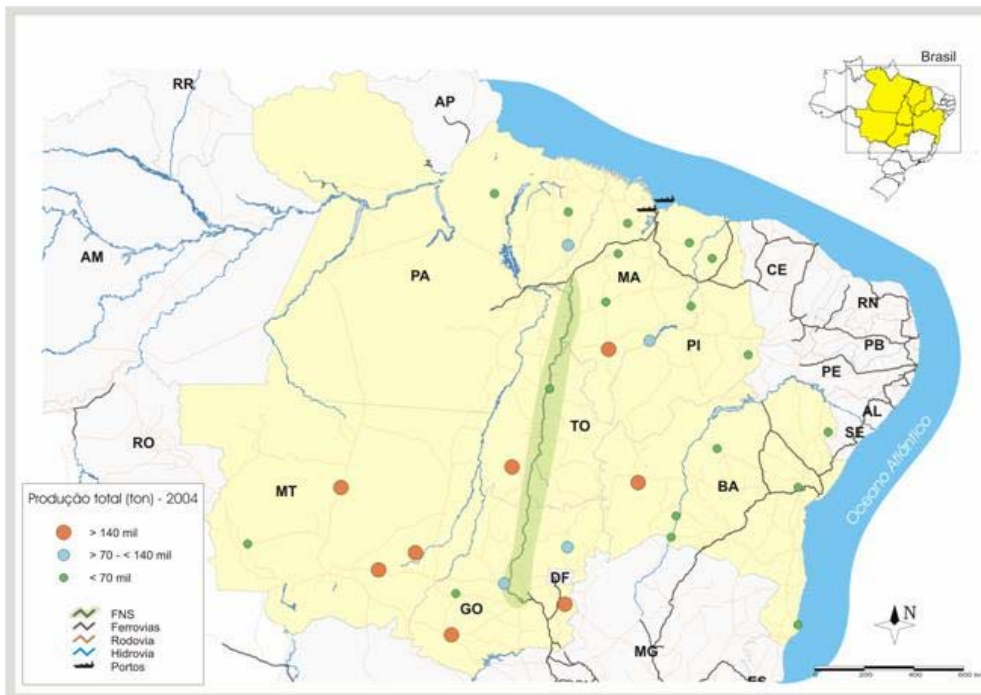


Figura 3. Área de Influência Considerada.
Fonte: GISMAPS/ESALQ-LOG³.

Posteriormente a definição da área de influência, realizou-se uma divisão espacial dos Estados em subunidades menores, denominadas Mesorregiões, com base na divisão espacial proposta pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), que estabeleceu uma proposta de divisão regional em função de critérios sócio-econômicos. Para cada mesorregião, foi escolhido um município para representar o centróide daquela subdivisão espacial, adotando-se como critério de escolha o município de maior PIB (Produto Interno Bruto), declarado pelo IBGE (2003). As localidades escolhidas como centróides foram utilizadas para fins de cálculo das distâncias entre centros de atração de carga, centros de demanda de carga e entre estes e os pontos de transbordo.

3.2. Especificação dos Dados

Os dados referentes ao complexo soja (soja em grão, farelo e óleo de soja), utilizados como parâmetros do modelo matemático, foram coletados seguindo as seguintes especificações:

- **Produção de soja:** utilizou-se os dados de produção de soja declarados pelo levantamento de safras agrícolas denominado Produção Agrícola Municipal 2004, realizado pelo IBGE. As informações são disponibilizadas em nível municipal e foram agregadas para mesorregião;
- **Consumo de soja:** partindo da quantidade total de soja processada no Brasil em 2004, informada pela Associação Brasileira da Indústria de Óleos Vegetais (ABIOVE), o consumo municipal foi estimado através do fracionamento do consumo de soja nacional para os municípios, de forma proporcional à capacidade instalada de

³ Imagem elaborada por Vitor Vencowski (GISMAPS) em parceria com o Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG).

processamento de soja de cada município, informada por estudo da Safras & Mercados (2003), para posterior agregação em consumo de cada mesorregião;

- **Produção de farelo:** a produção nacional de farelo, informada pela ABIOVE (2004), foi fracionada em produções municipais, sendo ponderada pela proporção da capacidade instalada de processamento de soja em cada município em relação à capacidade nacional (Safras & Mercados, 2003);
- **Consumo de farelo:** o consumo de farelo municipal foi estimado a partir da desagregação do consumo nacional para consumo municipal, respeitando à proporção do tamanho do rebanho de bovinos, suínos e aves de corte de cada município em relação ao total brasileiro. O tamanho do rebanho foi determinado pelo número de animais (bovinos, suínos e aves de corte) declarado na Produção Pecurária Municipal (2004);
- **Produção de óleo de soja:** a produção nacional de óleo de soja em 2005 foi obtida através de informações publicadas pela ABIOVE (2005) e foi desagregada para produção municipal de maneira proporcional à capacidade instalada de processamento municipal de soja;
- **Consumo de óleo de soja:** o consumo nacional de óleo (ABIOVE, 2005) foi fracionado em consumo municipal de óleo, sendo ponderado pela proporção da população de cada município em relação à população brasileira, declarada pelo Censo Demográfico 2000, do IBGE;
- **Exportação e Importação:** coletados, para os todos os produtos considerados no estudo (soja, farelo de soja e óleo de soja), junto a Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), para o ano de 2005.

3.3. Estimativas dos Valores do Frete Rodoviário

Foi elaborado um modelo geral, conforme a equação (1), o qual permitiu estimar os valores de frete rodoviário, a partir de valores negociados de frete em 2004, fornecidos pelo SIFRECA (Sistema de Informação de Fretes). Para isso, foi utilizado um modelo de regressão linear, estimado pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

$$Y = \alpha_i + \beta_i X_i + \varepsilon \quad (1)$$

- **Onde:**

Y corresponde ao valor do frete rodoviário, realizado no ano de 2004, em Reais por tonelada (R\$/t), para o produto i ;

i corresponde ao produto, sendo $j = 1, 2, \dots, 13$ para soja, milho, farelo de soja, algodão, arroz, calcário, trigo, açúcar, fertilizantes, álcool, óleo de soja, derivados de petróleo e minério, respectivamente;

α_i é o termo referente à constante relativa ao frete rodoviário, produto i ;

β_i é o coeficiente referente às distâncias relacionadas ao frete rodoviário, para o produto i ;

X_i corresponde à distância rodoviária, em quilômetros, para cada produto i ;

ε é o vetor de erro aleatório.

Os valores dos coeficientes das variáveis utilizadas, bem como os respectivos valores dos testes t e demais especificações para o modelo de estimativa de fretes rodoviários, podem ser observados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Coeficientes obtidos para as variáveis do modelo de frete rodoviário e respectivos testes t.

Produto	Variáveis Exógenas	Coeficientes	Teste t
Soja	Constante	12,320	5,26*
	distância	0,077	42,40*
Farelo de Soja	Constante	14,26	7,09*
	distância	0,071	38,72*
Óleo de Soja	Constante	31,260	13,09*
	distância	0,063	39,62*

Fonte: ESALQ-LOG

Elaborado a partir de dados do SIFRECA.

* Denota significância ao nível de 1%.

Observou-se, a partir do teste t dos dados da Tabela 8.1, que todas as variáveis (no caso, a distância para cada produto) se mostraram explicativas no modelo, para o valor do frete rodoviário. Assim, uma vez explicativas, elas mostraram-se estatisticamente diferentes de zero a um nível de significância inferior ao limite estipulado para este estudo de 5% de significância.

3.4. Formulação Matemática do Modelo de Otimização de Programação Linear

Além da determinação das quantidades de produtos ofertadas nos centróides geradores de carga e quantidades de produtos demandas pelos centróides de atração de carga, foi considerada a existência de uma rede de transporte multimodal ligando os centróides escolhidos. Esta rede de transporte é uma representação simplificada da rede viária atual brasileira, estabelecida com base nas distâncias físicas reais que conectam as localidades adotadas como centróides das mesorregiões. Com o auxílio de um modelo linear de otimização, foi simulado o comportamento dos fluxos de produtos entre as regiões geradoras de carga e as regiões de atração de carga, através da rede viária. A somatória dos fluxos indicados pela solução do modelo para movimentação através dos ramos da rede pertinentes a representação da malha da Estrada de Ferro Norte-Sul indica a demanda de carga captável pela ferrovia. O critério de otimização considerado pelo modelo é o custo mínimo global de transporte de produtos entre os centróides geradores de carga e os centróides de atração de carga.

Para solução deste tipo de problema, escolha das alternativas de modalidades de transporte e rotas entre os centróides que resulte no menor custo global de transporte, foi adotado um modelo de transportes referenciado na literatura como Modelo de Fluxo de Custo Mínimo Multiproduto (*Multicommodity Minimum Cost Flow Problem*), vide Figura 4.

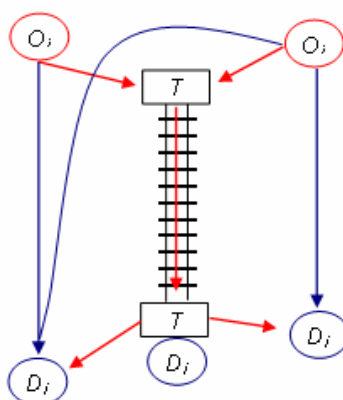


Figura 4. Representação do Modelo de Fluxo de Custo Mínimo Multiproduto.

Fonte: Adaptado de AHUJA (1993).

O problema citado pode ser adaptado para a otimização de fluxos de cargas através de uma rede de transporte multimodal, onde:

- Arcos (O,D) - Correspondem às ligações rodoviárias entre os nós O_i (centróides geradores de carga) e os nós D_j (centróides de atração de carga);
- Arcos (O,T) - Correspondem às ligações rodoviárias entre os nós O_i (centróides geradores de carga) e os nós T_k (pontos de transbordo);
- Arcos (T, T) - Correspondem às ligações ferroviárias entre os pontos de transbordos T_k . Estes arcos também podem representar outras alternativas de transporte, como, por exemplo, um trecho hidroviário ou até uma alternativa que envolva mais de um modal;
- Arcos (T,D) - Correspondem às ligações rodoviárias entre os pontos de transbordos T_k e os centróides de atração de carga D_j ;

O objetivo do modelo é minimizar o custo total de transporte para o deslocamento das cargas ofertadas pelos centróides O_i e demandadas pelos centróides de atração de cargas D_j . A somatória dos fluxos alocados para os arcos (T,T) correspondentes aos trechos da Estrada de Ferro Norte-Sul indicam a quantidade de carga com aptidão para movimentação através da ferrovia.

Para o contexto deste trabalho, foram feitas algumas adaptações do Modelo de Fluxo de Custo Mínimo Multiproduto, sendo proposta a estrutura matemática apresentada a seguir:

Minimizar o custo logístico total expresso por:

$$\sum_{o=1}^n \sum_{d=1}^m X_{od} \times FX_{od} + \sum_{o=1}^n \sum_{t_1=1}^r Y_{ot_1} \times FY_{ot_1} + \sum_{o=1}^n \sum_{t_1=1}^r \sum_{t_2=1}^q Z_{ot_1 t_2} \times FZ_{t_1 t_2} + \sum_{o=1}^n \sum_{t_2=1}^q \sum_{d=1}^m W_{ot_2 d} \times FW_{t_2 d} \quad (2)$$

sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{d=1}^m X_{od} + \sum_{t_1=1}^r Y_{ot_1} \geq OFERTA_o, \text{ para todo } o \quad (3)$$

ou seja, a somatória dos fluxos do produto p originados a partir do centro gerador de carga o através de rota rodoviária com destino aos centros de atração de carga mais a somatória dos fluxos de produto p originados a partir do centro gerador de carga o e deslocados até pontos de transbordo iniciais t_1 com destino para os centros de atração de carga, deve ser igual à oferta do produto p pelo centro gerador de carga o . Esta restrição garante que a oferta do centro gerador de carga o do produto p seja respeitada.

$$\sum_{o=1}^n X_{od} + \sum_{o=1}^n \sum_{t_2=1}^q W_{ot_2d} = DEMANDA_d, \text{ para todo } d \quad (4)$$

ou seja, a somatória dos fluxos do produto p originados a partir dos centros geradores de carga através de rotas rodoviárias com destino ao centro de atração de carga d mais a somatória dos fluxos do produto p originados a partir dos centros geradores de carga através das rotas que envolvam um modal alternativo ao rodoviário (ferroviário e/ou hidroviário) para o centro de atração de carga d devem ser igual à demanda do produto p pelo centro de atração de carga d . Esta restrição garante que a demanda do centro de atração de carga d pelo produto p seja atendida.

$$Y_{ot_1} = \sum_{t_2=1}^q Z_{ot_1t_2}, \text{ para todo } o \text{ e } t_1 \quad (5)$$

ou seja, o fluxo do produto p originado a partir do centro gerador de carga o e deslocado até o ponto de transbordo inicial t_1 deve ser igual à somatória dos fluxos entre o ponto de transbordo inicial t_1 até os pontos de transbordo finais t_2 , com origens em o . Esta restrição visa garantir a continuidade e o balanço dos fluxos de produto p com origem em o que passam pelo ponto de transbordo t_1 .

$$\sum_{o=1}^n \sum_{t_1=1}^r Z_{ot_1t_2} = \sum_{o=1}^n \sum_{d=1}^m W_{ot_2d}, \text{ para todo } o \text{ e } t_2 \quad (6)$$

ou seja, a somatória dos fluxos do produto p originados a partir do centro gerador de carga o que passam pelos pontos de transbordo iniciais e que se dirigem a um determinado ponto de transbordo final t_2 deve ser igual à somatória dos fluxos do produto p originados no centro gerador de carga o que passam pelo ponto de transbordo final t_2 com destino aos centros de atração de carga. Esta restrição visa garantir a continuidade e o balanço dos fluxos de produto p com origem em o que passam pelo ponto de transbordo t_2 .

$$\sum_{d=porto}^{porto} X_{od} + \sum_{t_2=1}^q \sum_{d=porto}^{porto} W_{ot_2d} \geq EXPORTAÇÃO_o, \text{ para todo } o \quad (7)$$

ou seja, a somatória dos fluxos do produto p originados a partir do centro gerador de carga o que se dirigem diretamente aos centros de atração de carga (considerando apenas os portos) mais a somatória dos fluxos de produto p originados a partir do centro gerador de carga o e que passam pelos pontos de transbordo finais t_2 com destino para os centros de atração de carga (também considerando apenas os portos) deve ser maior ou igual à exportação do produto p a partir do centro gerador de carga o . Esta restrição garante que a fração da oferta do produto p no centro gerador de carga o destinada para exportação seja alocada para centróides que sejam portos.

$$\sum_{o=\text{porto}}^{\text{porto}} \sum_{d=1}^s X_{od} + \sum_{o=\text{porto}}^{\text{porto}} \sum_{t_2=1}^q W_{ot_2d} \geq \text{IMPORTACAO}_d, \text{ para todo } d \quad (8)$$

ou seja, a somatória dos fluxos do produto p originados a partir do centro gerador de carga o (considerando apenas os portos) que se dirigem diretamente a um determinado centro de atração de carga d mais a somatória dos fluxos do produto p originados a partir do centro gerador de carga o (considerando apenas os portos) e que passam pelos pontos de transbordo finais t_2 com destino para o mesmo centro de atração de carga d deve ser maior ou igual à importação do produto p por este centro de atração de carga d . Esta restrição garante que a fração da demanda por um produto p pelo centro de atração de carga d que foi atendida através de importação tenha como origem centróides que sejam portos.

Os significados mais específicos dos parâmetros e variáveis consideradas nesse modelo matemático:

X_{od} : fluxo do produto p originado a partir do centro gerador de carga o com destino ao centro de atração de carga d ;

FX_{od} : valor do frete (R\$/t) para o transporte do produto p originado a partir do centro gerador de carga o até centro de atração de carga d ;

Y_{ot_1} : fluxo do produto p originado a partir do centro gerador de carga o deslocado até o ponto de transbordo inicial t_1 ;

FY_{ot_1} : valor do frete (R\$/t) para o transporte do produto p originado a partir do centro gerador de carga o até o ponto de transbordo inicial t_1 ;

$Z_{ot_1t_2}$: fluxo do produto p originado a partir do centro gerador de carga o que passa entre o ponto de transbordo inicial t_1 e o ponto de transbordo final t_2 ;

$FZ_{t_1t_2}$: valor do frete (R\$/t) para o transporte do produto p entre o ponto de transbordo inicial t_1 e o ponto de transbordo final t_2 ;

W_{ot_2d} : fluxo do produto p originado a partir do centro gerador de cargas o e passando pelo ponto de transbordo final t_2 com destino ao centro de atração de carga d ;

FW_{t_2d} : valor de frete (R\$/t) para o transporte do produto p entre o transbordo final t_2 e o centro de atração de carga d ;

$OFERTA_o$: nível de oferta do produto p observado no centro gerador de carga o ;

$DEMANDA_d$: nível de demanda do produto p observado no centro de atração de carga d ;

$EXPORTAÇÃO_o$: nível de exportação do produto p observado no centro gerador de carga o ;

$IMPORTAÇÃO_d$: nível de importação do produto p observado no centro de atração de carga d .

sendo:

o : índice referente aos centros geradores de carga;

d : índice referente aos centros de atração de carga;

t_1 : índice referente aos pontos de transbordo iniciais para modais alternativos ao rodoviário (ferroviário e/ou hidroviário);

t_2 : índice referente aos pontos de transbordo finais para modais alternativos ao rodoviário (ferroviário e/ou hidroviário);

n : índice referente ao número total de centros geradores de carga;

m : índice referente ao número total de centros de atração de carga;

r : índice referente ao número total de pontos de transbordo iniciais para modais alternativos ao rodoviário (ferroviário e/ou hidroviário);

q : índice referente ao número total de pontos de transbordo finais para modais alternativos ao rodoviário (ferroviário e/ou hidroviário).

Portanto, para fins de identificação dos fluxos ferroviários – objeto principal deste estudo – os principais resultados do modelo deverão dizer respeito aos valores que a variável Z_{o,t_1,t_2} (fluxo do produto p originado a partir do centro gerador de carga o e se movimentando entre o ponto de transbordo ferroviário inicial t_1 e o ponto de transbordo ferroviário final t_2 venha a assumir.

3.5. Cenários em Análise

Com intuito de detalhar e subdividir a análise dos resultados alcançados em função do cenário econômico atual e nas alternativas logísticas já existentes para a região geográfica e para a ferrovia em estudo, optou-se por desmembrar o tratamento dos 1.638 km projetados para a FNS nos seguintes cenários (vide Figura 5), abaixo detalhados:

- **Cenário 1:** que corresponde à situação atual, envolvendo os 225 km construídos de Açailândia (MA) a Aguiarnópolis (TO), dos quais, 200 km se referem ao trecho de Açailândia (MA) a Porto Franco (MA), já em operação;
- **Cenário 2:** que acrescenta ao trecho considerado no Cenário 1 a expansão da FNS de Aguiarnópolis (TO) até Palmas (TO);
- **Cenário 3:** que acrescenta ao trecho considerado no Cenário 2 a expansão da FNS a partir de Palmas (TO) até Senador Canedo (GO), nas proximidades de Goiânia (GO).

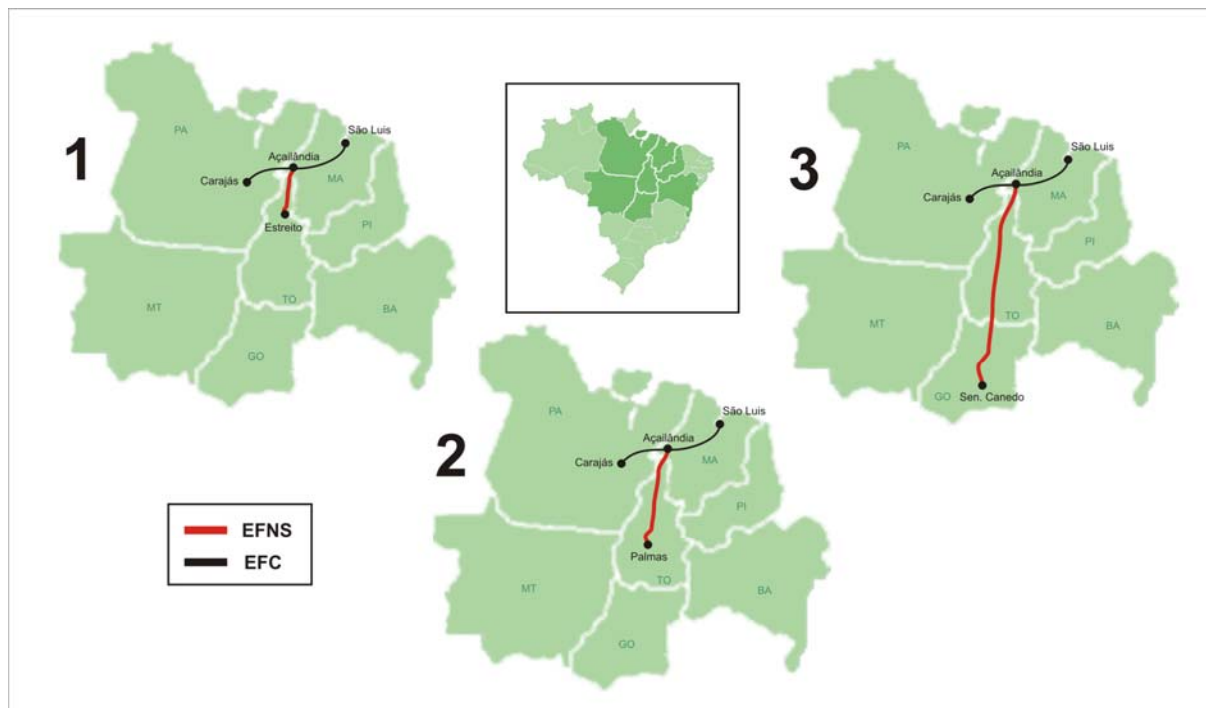


Figura 5. Cenários Considerados para a Análise.

Fonte: Elaborado pelos Autores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo terá como enfoque a análise dos resultados apresentadas pelo modelo de otimização proposto para avaliar a demanda de carga captável pela Estrada de Ferro Norte-Sul (EFNS). Primeiramente, serão apresentados os fluxos observados referentes aos produtos Soja, Óleo e Farelo de Soja que apresentaram potencial para serem transportadas através do trecho ferroviário considerado em cada cenário, para cada faixa de frete ferroviário. Numa segunda etapa, será analisado o fluxo agregado, ou seja, o fluxo total das cargas consideradas neste estudo, e analisada a variação do volume de carga captável decorrente de uma possível extensão da EFNS até o município de Senador Canedo, em Goiás.

A quantidade de carga com aptidão para movimentação através da EFNS foi estimada com base nos fluxos entre os pontos de transbordo associados a esta ferrovia indicado pelo modelo matemático de otimização. Os resultados obtidos para a EFNS, quando se considera a operação desta entre Senador Canedo e Açailândia e um momento ferroviário de R\$/t.km 0,04, apontam uma demanda captável do produto soja próxima de 1.032 mil toneladas. Todo este fluxo tem como destino o Porto de Itaqui, caracterizando-se, portanto, como movimentação de carga para exportação. A maior parte da demanda captável, considerando o produto soja, tem como origem a mesorregião Sul Maranhense (55%), sendo que este volume corresponde a 75% da produção desta mesorregião. Parte do fluxo (26%) tem origem na mesorregião Oriental do Tocantins e 16% origina-se na mesorregião Ocidental do Tocantins. O restante do volume indicado pelo modelo para movimentação através do trecho ferroviário é procedente da mesorregião Baixo Amazonas (PA).

Quanto à produção de soja no Estado da Bahia, que se concentra na mesorregião Extremo-Oeste Baiano, o modelo indicou um grande volume destinado às indústrias

presentes na mesma mesorregião, sendo o excedente movimentado através dos portos de Salvador e Ilhéus, como carga de exportação.

O produto Farelo só apresentou carga captável pela EFNS nas condições do Cenário 2, que considera o trecho ferroviário entre Açailândia e Palmas, e nas condições do Cenário 3 (EFNS ligando Açailândia a Senador Canedo). Os fluxos deste produto têm como principal destino a cidade de Palmas, que apresenta uma demanda significativa por farelo devido à importante atividade pecuária local.

A Tabela 2 contém as quantidades desagregadas das cargas captáveis pela ferrovia por tipo de produto, Soja, Farelo de Soja e Óleo de Soja, apontadas pelo modelo para movimentação através da EFNS, considerando diferentes valores de momento ferroviário (R\$/t.km).

Tabela 2. Carga captável (1.000 t) de Soja, Farelo de Soja e Óleo de Soja pela EFNS em função do valor do momento ferroviário R\$/t.km.

MOMENTO (R\$/t.km)	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
	Soja (Grãos)	Farelo de Soja	Óleo de Soja	Soja (Grãos)	Farelo de Soja	Óleo de Soja	Soja (Grãos)	Farelo de Soja	Óleo de Soja
0,020	1.032	0	0	1.032	89	0	1.032	174	0
0,025	1.032	0	0	1.032	89	0	1.032	174	0
0,030	1.032	0	0	1.032	0	0	1.032	90	0
0,035	1.016	0	0	1.032	0	0	1.032	90	0
0,040	1.016	0	0	1.016	0	0	1.032	77	0
0,045	1.016	0	0	1.016	0	0	1.032	76	0
0,050	1.016	0	0	1.016	0	0	1.032	41	0
0,055	367	0	0	370	0	0	1.032	17	0
0,060	367	0	0	370	0	0	1.032	0	0
0,065	367	0	0	370	0	0	370	0	0
0,070	367	0	0	370	0	0	370	0	0
0,075	367	0	0	363	0	0	363	0	0
0,080	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Resultados do Estudo.

Note-se que nos Cenários 1 e 2 ocorre uma queda brusca do volume movimentado pelo trecho ferroviário quando se considera momentos ferroviários superiores a R\$/t.km 0,050, quando a ferrovia demonstra-se menos atrativa que o modal rodoviário para as principais rotas. Considerando as hipóteses estabelecidas para o Cenário 3, é observada uma diminuição do volume transportado pela ferrovia apenas a partir do momento ferroviário R\$/t.km 0,06. Este comportamento pode ser explicado pelo aumento de competitividade do trecho ferroviário quando este se estende até Senador Canedo, situação em que algumas pontas rodoviárias, distância rodoviária que liga os centróides geradores de carga até o ponto de transbordo, têm seus percursos diminuídos.

Ao analisar os resultados concernentes ao Cenário 3, verifica-se um maior volume de farelo indicado para movimentação através do trecho ferroviário, isto se deve à aproximação da ferrovia a importantes regiões de moagem de soja, como o Sul e Sudeste Goiano. A Figura

6 ilustra a quantidade total de carga estimada para o trecho ferroviário nas condições do Cenário 3, e a sensibilidade desta demanda em função da variação do frete ferroviário.

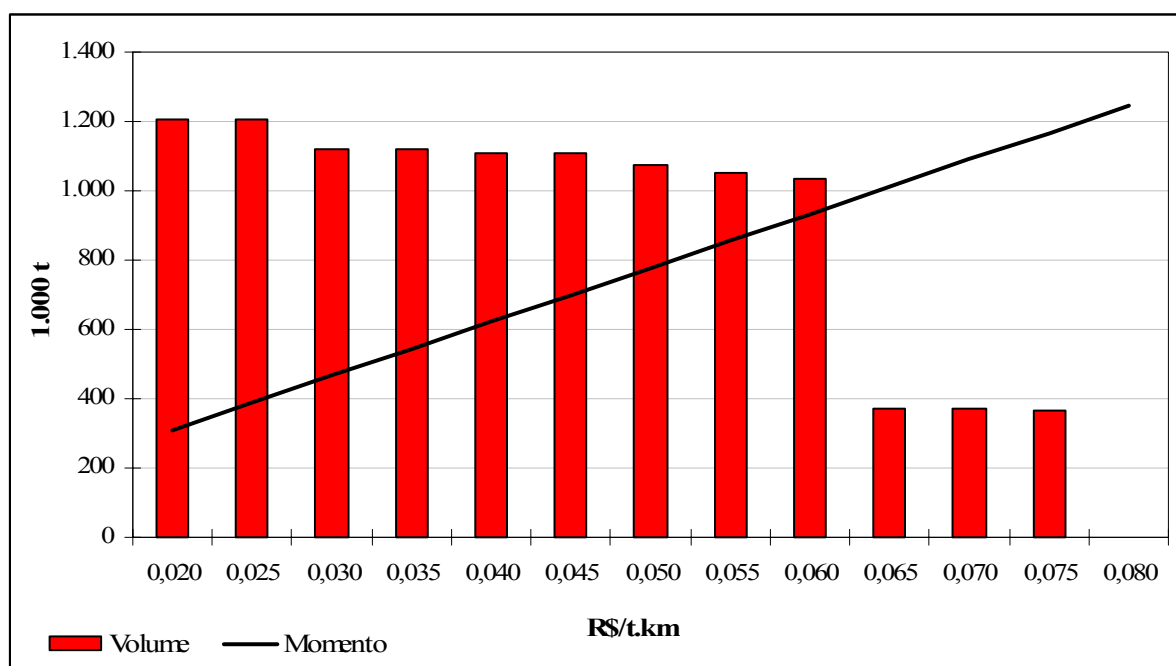


Figura 6. Variação no volume movimentado pela EFNS e variação do momento ferroviário (Cenário 3).

Fonte: Resultados do Estudo.

Os resultados indicaram como principais alternativas de escoamento dos produtos do complexo soja produzidos no Estado de MT e GO as rotas ferroviárias com destino ao porto de Santos (Alto Araguaia/Santos e Goiânia/Santos), algumas rotas com destino a Paranaguá, como Maringá/Paranaguá e também a rota hidroviária Porto Velho/Itacoatiara. Estes são os principais produtores de soja da região de influência inicial e também os estados que concentram a maior parte da capacidade instalada das indústrias processadoras de soja e, portanto, grandes produtores de farelo de soja e óleo de soja.

Verifica-se que os resultados não demonstram uma variação da quantidade de carga captável significativa quando são contrastados os cenários 2 e 3, ao focalizar os resultados referentes aos produtos do complexo soja. No caso destes produtos os resultados sugerem que, em relação ao trecho ferroviário entre Açailândia e Palmas, a expansão da linha ferroviária até Senador Canedo não implicaria grande aumento da quantidade de carga captável. Os centros produtores do complexo soja próximos a Senador Canedo revelaram maior aptidão para escoarem sua produção através de outras alternativas de transporte, principalmente através das alternativas com destino ao Porto de Santos (vide Tabela 3).

Quanto à produção de soja e derivados na Bahia, o modelo indicou um grande volume destinado às indústrias presentes na mesorregião Extremo-Oeste Baiano, sendo o excedente movimentado através dos portos de Salvador e Ilhéus, destinado para exportação.

Tabela 3. Fluxo verificado nas principais alternativas Ferroviárias e Hidroviárias consideradas, em 1.000 t.

Origem	Pontos de Transbordo 1	Pontos de Transbordo 2 (Destino)			
		Santos (SP)	Itacoatiara (AM)	São Luiz (MA)	Palmas (TO)
Arenópolis (GO)	Goiânia (GO)	21,74	0	0	0
Balsas (MA)	Estreito (MA)	0	0	646,64	0
Bom Jesus do Tocantins (TO)	Estreito (MA)	0	0	227,87	0
Conquista D'Oeste (MT)	Vilhena (RO)	0	56,19	0	0
Cristalina (GO)	Catalão (GO)	174,53	0	0	0
Formoso do Araguaia (TO)	Palmas (TO)	0	0	134,74	0
Itaberaí (GO)	Goiânia (GO)	40,29	0	0	0
Jataí (GO)	Chapadão do Sul (MS)	1.593,92	0	0	0
Santana do Araguaia (PA)	Palmas (TO)	0	0	7,04	0
São João D'Aliança (GO)	Catalão (GO)	41,69	0	0	0
Jataí (GO)	Alto Araguaia (MT)	1.091,72	0	0	0
Cristalina (GO)	Catalão (GO)	117,81	0	0	0
Itaberaí (GO)	Goiânia (GO)	39,78	0	0	0
Cristalina (GO)	Goiânia (GO)	0	0	0	14,78
Jataí (GO)	Goiânia (GO)	0	0	0	75,52
TOTAL		3.121,48	56,19	1.016,29	90,30

Fonte: Resultados do Estudo.

O modelo indicou como principal carga captável pela EFNS o produto Soja, em ordem de importância, produzida em Balsas (mesorregião Sul Maranhense) e nas mesorregiões Ocidental do Tocantins e Oriental do Tocantins. Atualmente, o trecho em operação da EFNS tem como principal carga embarcada a soja em grão com origem na região de Balsas. Os resultados referentes ao Cenário 1 mostraram-se bastante próximos dos fluxos observados em 2004 no trecho ferroviário que se encontra em operação, que, segundo ANTT (2004), foi da ordem de 900 mil t, o que indica uma aproximação dos resultados do modelo com a quantidade realmente embarcada.

Quanto aos demais produtos, a capacidade instalada de processamento de soja no Maranhão e Tocantins ainda é relativamente pequena. As principais regiões produtoras de farelo e óleo na região de influência considerada revelaram maior potencial para deslocamento das cargas via as alternativas ferroviárias com destino a Santos.

É importante ressaltar, que os resultados apresentados levam em consideração um cenário estático e não incorporam possíveis aumentos da produção de soja da região em função da expansão da fronteira agrícola ou como consequência dos estímulos econômicos subsequentes da implantação da linha ferroviária. Neste sentido, mostram-se de grande valia análise da demanda de carga pela ferrovia em outros horizontes de tempo, pois a área de influência da ferrovia envolve uma região de fronteira agrícola com grande potencial para expansão da área plantada e que pode ser acelerado em decorrência da implantação da ferrovia.

5. CONCLUSÃO

Atingindo os objetivos propostos pelo trabalho, o modelo matemático de programação linear, de forma geral, mostrou-se bastante útil e eficaz no que diz respeito à estimativa de demanda apresentada pelos produtos integrantes do complexo soja em relação à Estrada de Ferro Norte-Sul (EFNS). A vantagem da utilização de um modelo linear consiste da garantia que este oferece quanto ao alcance de uma solução ótima. Os principais modelos referenciados na literatura que foram aplicados para este propósito são modelos não lineares e demandam uma série de calibrações de parâmetros e equações que muitas vezes não estão disponíveis ou não se revelam suficientemente confiáveis. Neste sentido, o uso de modelos lineares mostrou-se uma importante ferramenta para estudos desta natureza, por revelar-se de fácil aplicação e ser mais flexível quanto à escassez de dados necessários para a formulação de modelos mais completos que podem ser, do ponto de vista teórico, mais atrativos.

Por um lado, os resultados do modelo evidenciaram a existência de um mercado de transporte em competição perfeita para a região analisada – por exemplo, o principal fluxo identificado pelo modelo refere-se à movimentação de soja (grão) para exportação originada na mesorregião Sul Maranhense (MA), com embarque em Estreito (TO) e destino o Porto de Itaqui (MA) e, atualmente, o principal fluxo praticado no trecho corresponde ao fluxo fornecido pelos resultados do modelo. De outro lado, os resultados fornecidos pelo modelo utilizado indicaram que o aumento da extensão do trecho ferroviário de Estreito (TO) para Senador Canedo (GO) – de um cenário pouco abrangente (Cenário 1) para um cenário bastante abrangente (Cenário 3) - teve pouco impacto no volume de carga captável em relação ao volume captável pelo trecho entre Palmas (TO) e Açailândia (MA) – Cenário 2.

Um segundo ponto observado a partir dos resultados fornecidos pelo modelo foi a grande influência que rotas alternativas para o escoamento da produção da região apresentaram. Notou-se que as alternativas ferroviárias de transporte com destino aos Portos de Santos (SP) e alternativas multimodais via Itacoatiara (AM) mostraram-se bastante competitivas com o trecho analisado.

É de grande importância, também, ressaltar a participação individual dos produtos integrantes do complexo soja nos resultados obtidos a partir do modelo matemático utilizado, ou seja, ao se fazer um análise, separadamente, dos resultados observados por cada um dos três produtos integrantes do complexo (soja em grão, farelo e óleo de soja), logicamente, chegamos a conclusões distintas para cada um deles. Dentre os produtos anteriores, o único que apresentou aptidão para uso do trecho, além da soja em grão (produto típico das ferrovias), foi o farelo, notado através de um fluxo indicado pelo modelo com destino a Palmas (TO).

Portanto, conclui-se que a estimativa de demanda de cargas com aptidão para a movimentação através do modal ferroviário é de fundamental importância para o planejamento estratégico da rede ferroviária, já que a sustentabilidade de projetos ferroviários está atrelada ao volume potencial de cargas que seria transportado através da rede de ferrovias. Os resultados podem, também, auxiliar agentes públicos na priorização de investimentos voltados à malha ferroviária, se tornando um importante indicador de demanda de subsídios para dimensionar o processo de expansão da rede ferroviária, que atualmente se revela claramente insuficiente.

Por fim, resumidamente, estes tipos de resultados poderiam apontar novos mercados com potencial de cargas e auxiliar no planejamento estratégico das concessionárias ferroviárias.

Os resultados obtidos a partir dos dados e modelo utilizados proporcionam, também, algumas conclusões distintas daquelas comentadas até aqui. Por exemplo, ao se realizar uma

avaliação mais específica sobre os resultados observados, alguns pontos abordados no processamento dos dados pelo modelo poderiam ser modificados e, até certo ponto, melhorados, o que, por sua vez, acarretariam resultados distintos dos observados neste estudo. Portanto, segue alguns pontos e sugestões de assuntos para balizar trabalhos e estudos futuros relacionados ao setor ferroviário:

- Definir uma abordagem maior para os produtos relacionados no estudo, dando uma ênfase maior para produtos com uma maior afinidade ferroviária;
- Considerar no escopo do trabalho tendências de investimentos futuros relacionados ao processo ferroviário como um todo (por exemplo, instalação de novos terminais de transbordo, renovação de material rodante etc.);
- Considerar, também, no escopo do trabalho os investimentos futuros por parte dos usuários das ferrovias (por exemplo, instalação de fábricas ao redor do trecho, aumento da área de produção agrícola etc.);
- Utilizar-se de pesquisa junto a agentes (embarcadores e concessionárias) envolvidos com o setor ferroviário, de modo a identificar novas e importantes variáveis influentes nas tomadas de decisões que afetam as decisões de embarcadores na hora da decisão pelo modal de transporte.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DOS TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). Disponível em: <http://www.antt.gov.br>. Acessado em: 25/04/2006.

AHUJA, R. K. **Network flows: theory, algorithms and applications**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1993, 846 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). Disponível em: <http://www.abiove.com.br>. Acessado em: 22/04/2006.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transportes , administração de materiais e distribuição física**. Tradução de Hugo T. Y. Yoshizaki. São Paulo, Atlas, 1995.388p.

CAIXETA-FILHO, J. V. **Pesquisa Operacional – Técnicas de Otimização Aplicadas a Sistemas Agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001, 169p.

CAIXETA-FILHO, J.V;GAMEIRO,A.H. **Logística e Transporte em Sistemas Agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001, 217p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 15 mar. 2006.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). Disponível em: <http://www.cnt.org.br>. Acesso em: 01 mar 2006.

CRAINIC, T. G.; FLORIAN, M. & LEAL, J. E. **A model for the strategic planning national freight transportation by rail**. Transportation Science, v. 24, n. 1, 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES (GEIPOT). Disponível em : <http://www.geipot.gov.br>. Acesso em: 26 mar 2006.

FERNANDEZ, L. J. E.; DE CEA, J. C.; SOTO, O. A. **A multi-modal supply-demand equilibrium model for predicting intercity freight flows**. *Transportation Research Part B*, v.37, p. 615-640, 2003.

FULLER, S.; YU TUN-HSIANG; , L.; LALOR, A.; KRAJEWSKI, R. **Transportation developments in South America and their effect on international agricultural competitiveness**. Disponível em: <http://www.trb-agtrans.org/pdf/TRB2003-000883.pdf>. Acesso em: 18 mar 2006.

GRUPO DE PESQUISA E EXTENSÃO EM LOGÍSTICA AGROINDUSTRIAL (ESALQ-LOG). Disponível em: <http://log.esalq.usp.br>. Acesso em: 18 abr 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 03 mai 2006.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (MDIC). Disponível em: <http://www.desenvolvimento.gov.br>. Acesso em: 16 mar 2006.

ORTÚZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. Inglaterra: Wiley, 1995, 2 ed., 438p.

SCHNEPF, R.D.; DOHLMAN, E.; BOLLING, C. **Agriculture in Brazil and Argentina: developments and prospects for major field crops**. Disponível em: <http://www.ers.usda.gov/publications/wrs013>. Acesso em: 23 abr 2006.

SECRETARIA DO COMÉRCIO EXTERIOR (SECEX). Disponível em: <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>. Acesso em: 18 mai 2006.

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO DE FRETES (Sifreca). Disponível em: <http://sifreca.esalq.usp.br>. Acesso em: 23 jun 2006.