ADRIANA KANASHIRO DA COSTA OEST MOLLER

**Otimização de investimentos no transporte ferroviário de soja no estado do
Mato Grosso**

São Paulo

2020

ADRIANA KANASHIRO DA COSTA OEST MOLLER

**Otimização de investimentos no transporte ferroviário de soja no estado do
Mato Grosso**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. André Bergsten
Mendes

São Paulo
2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 14 de janeiro de 2020

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Moller, Adriana Kanashiro da Costa Oest

Otimização de investimentos no transporte ferroviário de soja no estado do Mato Grosso / A. K. C. O. Moller – versão corr. -- São Paulo, 2020.
67 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

1. Investimentos nacionais 2. Otimização matemática 3. Ferrovias
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica II. t.

MOLLER, A. K. C. O. **Otimização de investimentos no transporte ferroviário de soja no estado do Mato Grosso**. 2020. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus.

Em seguida, a todos aqueles que, ao longo do desenvolvimento deste trabalho, me apoiaram e entenderam minha ausência nos eventos sociais, pessoais e profissionais.

Não tenho palavras para agradecer ao meu esposo Frederik, sempre presente e atencioso. Obrigada pelos diversos momentos em que você foi pai e mãe ao mesmo tempo, cuidando da nossa família, enquanto este meu outro filho nascia.

À minha filha Melissa, que nasceu em meio a esse turbilhão de acontecimentos e nos trouxe tantas alegrias.

Aos meus pais, Mitsuko e Geraldo, que fizeram muitos sacrifícios para que os filhos tivessem acesso àquilo com o que eles mesmos nunca puderam sonhar. Em especial, ao meu pai, que nunca poupou esforços para me motivar a ir mais longe e que, mesmo não estando aqui para ver esse trabalho concluído, sei que, de onde está, vibra e comemora conosco todas as vitórias – grandes e pequenas.

Ao professor André, que, nestes anos, me concedeu muito mais do que orientação acadêmica. Foi psicólogo, *coach* motivacional e conselheiro em muito mais momentos do que ele mesmo imagina. Seu direcionamento me tirou de bicos sem saída e me colocou de volta na rota certa para que este trabalho fosse concluído.

Aos colegas da Rumo, que fomentam minha paixão pela ferrovia. Foram inúmeras e construtivas conversas no café que me permitiram desde compreender o problema de pesquisa até fazer evoluir a metodologia e aprimorar a definição dos parâmetros. Além destes, a todos os colegas que participaram, de alguma forma, dessa jornada.

Por fim, a todas as pessoas que, mesmo sem se darem conta do que estavam fazendo, não me deixaram desistir.

RESUMO

MOLLER, A. K. C. O. **Otimização de investimentos no transporte ferroviário de soja no estado do Mato Grosso**. 2020. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Considerando a insuficiência da malha logística atual para o escoamento da soja mato-grossense em direção aos portos, busca-se determinar os investimentos ótimos do ponto de vista do investidor privado detentor de uma parte da malha ferroviária, considerando especialmente os eventuais impactos no custo de transporte ocasionados pela entrada de novas soluções logísticas previstas para os próximos anos. A modelagem desenvolvida utiliza conceitos de programação linear e de transporte em redes orientadas. Seu objetivo é determinar o menor custo para atendimento da meta de transporte ferroviário, seja pela expansão da malha, seja pela concessão de subsídios. Foram realizadas análises sobre 45 cenários, visando determinar a sensibilidade da modelagem quanto aos principais fatores que podem alterar as relações de escolha do melhor fluxo. Estes fatores são: efeitos da entrada de novas soluções logísticas na disponibilidade da produção e no custo de transporte, efeitos da estimativa de custo de implantação das novas instalações, impactos da variação da meta de transporte a alcançar, e, por fim, consequências da estruturação dos investimentos em grupo. As análises apresentadas apontam que, além da definição da meta de transporte, também os efeitos das novas alternativas logísticas e os custos para implantação da extensão da malha são os principais fatores que alteram o equilíbrio entre a decisão pela implantação de novos terminais ferroviários e pela concessão de subsídios.

Palavras-chave: Investimentos nacionais. Otimização matemática. Ferrovias.

ABSTRACT

MOLLER, A. K. C. O. **Optimization of railroad investments in soybean transportation in the state of Mato Grosso - Brazil**. 2020. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Having as background the insufficiency of the logistics network of Mato Grosso for exportation of soybean, it is sought to determine the optimum range of investments in the rail network. This decision sees from the point of view of the private investor holding part of the rail network, especially when taking into account the possible impacts of new logistics solutions and its impact on the cost of transportation. The developed model uses concepts of linear programming and transportation in oriented networks to determine the lowest cost to meet a railway transport target, either through the expansion of the current network or through the use of a subsidy commercial policy. Analyzes were carried out on 45 scenarios to determine the sensitivity of the modeling regarding the main factors that can alter the decision of the best flows: the effects of the entry of new logistics solutions on the availability of the production and the cost of transportation, the effects of the estimated cost of implementation for the new facilities, and the impacts of the variation of the transportation target to be achieved, and, finally, the consequences of the structuring of group investments. The discussions showed that, in addition to the definition of the transportation target, also the effects of the new logistic alternatives and the costs to implement the extension of the network are the main factors that alter the balance between the decision for the implantation of new rail terminals and the granting of subsidies.

Keywords: National investments. Mathematical optimization. Railroads.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da produção de soja e milho 2ª safra nos estados brasileiros entre 1977 e 2017	12
Figura 2 – Rotas e opções logísticas para escoamento da produção agrícola do Mato Grosso (MT).....	16
Figura 3 – Representação esquemática de rede de transporte.....	30
Figura 4 – Localização da demanda e terminais	39
Figura 5 – Diagrama explicativo da construção dos cenários sem a entrada de competidores	51
Figura 6 – Diagrama explicativo da construção dos cenários com a entrada de competidores	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução da representatividade dos estados do Mato Grosso (MT), do Paraná (PR) e do Rio Grande do Sul (RS) na produção nacional de soja e de milho safrinha (1976-2016)	13
Gráfico 2 – Resultado da alocação de fluxos: consolidação por terminal ao longo do período de análise	47
Gráfico 3 – Evolução do custo médio de transporte sem a entrada de competidores por agrupamento de cenário	55
Gráfico 4 – Evolução do custo médio de transporte para o modelo competitivo por agrupamento de cenário.	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo dos artigos relevantes a esta modelagem.....	26
Quadro 2 – Cenários analisados sem a entrada de competidores.....	52
Quadro 3 – Cenários analisados com a entrada de competidores.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado da captação de fluxos em milhões de toneladas por origem nos diferentes períodos.	40
Tabela 2 – Resultado da captação de fluxos em milhões de toneladas por origem e por terminal nos diferentes períodos.	42
Tabela 3 – Resultado da alocação de fluxos: consolidação por terminal ao longo do período de análise	46
Tabela 4 – Competitividade dos terminais: percentual da movimentação relativa à captura de carga onde a ferrovia não é naturalmente competitiva.	46
Tabela 5 – Resultados consolidados sem a entrada de competidores	53
Tabela 6 – Agrupamento dos cenários e resultados da análise sem a entrada de competidores	54
Tabela 7 – Resultados da análise com a entrada de competidores	60
Tabela 8 – Agrupamento dos cenários e resultados da análise com a entrada de competidores	62
Tabela 9 – Consolidação dos resultados para os cenários sem a entrada de competidores	67
Tabela 10 – Consolidação dos resultados para os cenários com entrada de competidores	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	MOTIVAÇÃO	11
1.2	O PROBLEMA	17
1.3	OBJETIVOS A SEREM ATINGIDOS	18
1.4	SEQUÊNCIA E CONTEÚDO DOS CAPÍTULOS	19
2	REVISÃO DA LITERATURA	20
3	MODELAGEM MATEMÁTICA	28
3.1	DESCRIÇÃO INICIAL DO PROBLEMA	28
3.2	PARÂMETROS	32
3.3	VARIÁVEIS DE DECISÃO	33
3.4	FUNÇÃO OBJETIVO	34
3.5	RESTRIÇÕES	34
3.6	DESCRIÇÃO DO MODELO	35
3.7	CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM PROPOSTA	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	38
4.2	ANÁLISES SEM A ENTRADA DE COMPETIDORES	48
4.3	ANÁLISES COM VARIAÇÃO DE CUSTO E DEMANDA A PARTIR DA ENTRADA DE COMPETIDORES	57
6	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICE A – RESULTADOS	67

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo contém uma apresentação inicial do problema que motiva este trabalho. Nele, se discorre sobre os seguintes tópicos:

- i. a motivação do trabalho (item 1.1);
- ii. o enunciado da situação a ser modelada (item 1.2);
- iii. os objetivos a serem atingidos (item 1.3);
- iv. o conteúdo dos capítulos e o encadeamento entre eles (item 1.4).

1.1 MOTIVAÇÃO

É notável que a crise econômica enfrentada pelo país nos últimos anos dificulta o acesso ao capital e faz com que o processo de tomada de decisão por investimentos se torne mais relevante e mais crítico. O cenário de recessão econômica – e instabilidade política –, aliado à escassez de crédito, gera dois efeitos imediatos no tomador de decisão. De um lado, a escolha por investimentos assertivos e eficientes fica mais urgente, devido à expectativa de que a geração de riqueza, de bens e de serviços por meio da aplicação de capital possa reverter o cenário de recessão. De outro, a crise, que cobra por investimentos imediatos, constrange ainda mais a tomada irresponsável de riscos.

Dentre as áreas que mais carecem de investimentos, está o setor de infraestrutura, especialmente o modal ferroviário. O processo de privatização desse setor no Brasil ocorreu no final da década de 1990. Devido ao hiato transcorrido desde então, a maioria das concessões privadas passa atualmente por uma fase de extrema carência de reinvestimentos. As necessidades de investimentos mais pungentes são aquelas direcionadas a: (i) solucionar problemas surgidos com o crescimento das cidades ao redor da linha ferroviária ou (ii) atender um novo perfil de demanda, diferente daquele existente – e mesmo previsto – no momento das licitações. É o caso, por exemplo, da demanda por transporte ferroviário para exportação de produtos agrícolas (especialmente soja e milho) do centro do país em direção aos portos. Este

problema em específico é explicado detalhadamente a seguir.

A sequência apresentada na Figura 1 demonstra, de acordo com levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017), como a localização média da produção de grãos no Brasil mudou desde a década de 1970. Observa-se que, com o passar das décadas, a média geométrica ponderada – representada pelo ponto vermelho – desloca-se em direção ao centro do país.

Figura 1 – Evolução da produção de soja e milho 2ª safra nos estados brasileiros entre 1977 e 2017

Fonte: CONAB (2017). Elaboração própria.

Em adição ao que pode ser inferido da Figura 1, o Gráfico 1 mostra os percentuais relativos a cada estado¹ na produção de soja e de milho safrinha em relação ao total brasileiro. Nota-se que, ao final da década de 1970, mais de 80% da produção brasileira de soja e de milho safrinha estava concentrada em dois estados: Paraná (PR) e Rio Grande Sul (RS). Passados 20 anos, já no final da década de 1990, o RS respondia por menos de 15% e o estado do MT já alcançava a produção do PR, cada um responsável por aproximadamente 25% da safra naquele período. Mais recentemente, nas safras dos anos 2010, nota-se a estagnação do RS em 10% e do PR em 20% e a soberania do MT em concentrar 30% da produção brasileira de soja e de milho safrinha.

Gráfico 1 – Evolução da representatividade dos estados do Mato Grosso (MT), do Paraná (PR) e do Rio Grande do Sul (RS) na produção nacional de soja e de milho safrinha (1976-2016)

Fonte: CONAB (2017). Elaboração própria.

A partir das informações constantes em CONAB (2017), conclui-se que houve forte aumento da produção de grãos em latitudes acima dos estados de São Paulo (SP) e Mato Grosso do Sul (MS).

¹ Para favorecer a visualização, os valores referentes aos demais estados, menos expressivos e menos interessantes para este trabalho, foram ocultados.

Por outro lado, é notável que a disponibilidade de infraestrutura para exportação não acompanhou a revolução que se deu “da porteira para dentro”. Existe uma demanda reprimida por transporte de longa distância para a exportação de *commodities* agrícolas, que pode vir a ser atendida com a implantação de investimentos no setor ferroviário. A constatação desse gargalo é o que motiva a realização deste trabalho e o que o justifica. Desde então, faz-se necessário esclarecer que os investimentos que serão analisados neste trabalho são aqueles relativos à oferta de infraestrutura de escoamento em direção aos portos, envolvendo principalmente o sistema ferroviário, mas também o rodoviário e o hidroviário.

No que tange à tomada de decisão pela execução de investimentos em infraestrutura, este trabalho pressupõe a existência de perfis com objetivos distintos. Cabe ressaltar que a premissa de existência desses perfis de tomadores de decisão leva a assumir alguns padrões para o rol de investimentos em infraestrutura. Alguns desses investimentos serão fomentados por políticas públicas, como é o caso da licitação da subconcessão da Ferrovia Norte-Sul², entre Porto Nacional (TO) e Estrela d'Oeste (SP), que adiciona uma opção logística de escoamento através do estado de Goiás (GO) e saindo do país tanto pelo Arco Norte³ (Maranhão – MA) quanto pelo porto de Santos (SP). Outros dos investimentos serão decididos por investidores privados, a exemplo da construção da chamada Ferrogrão⁴, ferrovia paralela ao traçado da rodovia BR163, que se mostra uma alternativa ferroviária para atendimento do norte do estado do MT, com saída para Arco Norte, em direção ao porto de Miritituba, no Pará (PA). Em outras palavras, se os gargalos e deficiências na disponibilidade de infraestrutura para exportação são conhecidos atualmente, o cenário futuro é indefinido, haja vista que são muitos os agentes tomadores de decisão responsáveis pela implantação dos planos de crescimento dessa infraestrutura.

Sob a ótica do produtor, o surgimento de novos caminhos logísticos para a exportação se traduz em possibilidades de diminuir os custos de transporte, o que, por sua vez, pode incentivar o aumento da produção no médio e longo prazo. Por

² Leilão realizado em 28 de março de 2019 na B3, teve como vencedora a Rumo Multimodal, com outorga de R\$2,719 bilhões. Fonte: <<https://www.ppi.gov.br/ferrovia-ef-151-sp-mg-go-to-ferrovia-norte-sul>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

³ “O Arco Norte [...] compreende portos ou estações de transbordos dos estados de Rondônia, Amazonas, Pará, Amapá e Maranhão. A região é vista como fundamental para parte do escoamento dos grãos de Mato Grosso.” Fonte: <<http://portaldaestrategia.infraestrutura.gov.br/spntt/288-arco-norte-1.html>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

⁴ Fonte: <<https://www.ppi.gov.br/ef-170-mt-pa-ferrograo>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

outro lado, do ponto de vista do investidor privado, a chegada de uma rota alternativa pode representar mudanças nos fluxos ou nos custos existentes, isto é, na forma como os pontos produtores são atendidos. Por exemplo, a implantação de uma rota alternativa por um concorrente pode fazer com que o detentor de uma rota existente tenha que aumentar seus custos (ou, em outras palavras, diminuir sua margem ou rentabilidade) para se manter competitivo. Este último ponto altera a forma como a tomada de decisão pela implantação de um determinado investimento é realizada, já que a entrada de outras soluções que competem diretamente pela captura da carga altera a viabilidade econômica de tal investimento.

Contudo, antes de abordar as possibilidades de investimento e as novas opções logísticas, é importante contextualizar a infraestrutura atual para escoamento da carga produzida no Mato Grosso. Nesse sentido, a Figura 2 mostra as principais rotas logísticas brasileiras atualmente, bem como a mancha de produção de soja e de milho. Primeiramente, nota-se uma concentração da produção no estado do Mato Grosso, corroborando o contexto já descrito anteriormente. Com relação às rotas para exportação, nota-se em especial três opções ao norte e duas opções ao sul. As alternativas em direção ao Arco Norte incluem o uso de rodovias até um intermediário hidroviário, para, então, acessar um porto exportador. As opções ao sul incluem também o uso rodoviário para acesso ao sistema ferroviário ou, ainda, a alternativa puramente rodoviária até os portos exportadores – Santos (SP) e Paranaguá (PR).

Deste modo, ao considerar as projeções de demanda, qual seja, da produção de soja⁵ no estado do Mato Grosso impulsionada pelos decrescentes custos para exportação, este trabalho tem por objetivo determinar quais investimentos são ótimos na perspectiva de um investidor privado (detentor de um conjunto de terminais ou de uma parte da malha ferroviária), considerando adicionalmente os diferentes cenários de opções (e de custos) de escoamento desta soja (isto é, pela entrada de projetos de investimentos implantada por concorrentes).

⁵ Ressalta-se que, ao longo deste trabalho, considerar-se-á apenas o produto soja especialmente porque este tem maior relevância para a tomada de decisão por investimentos. Entretanto, aconselha-se a expansão da aplicação da modelagem futuramente também para o transporte do milho, com a devida consideração das suas peculiaridades na construção dos parâmetros de produção e custo de transporte.

Figura 2 – Rotas e opções logísticas para escoamento da produção agrícola do Mato Grosso (MT)

Fonte: MTPA (2017).

Para tanto, é necessário ter uma clara visão dos impactos de cada projeto não somente na competição com as soluções logísticas existentes, mas também nas interferências que podem vir a surgir com a implantação simultânea de dois ou mais projetos, inclusive com a viabilização de projetos de investimento de rotas concorrentes. Deste modo, as principais saídas pertinentes ao modelo aqui proposto são: (i) ordenar o portfólio de projetos de infraestrutura e (ii) sinalizar os fretes ótimos para atender o interesse do investidor privado.

Vale ressaltar que a modelagem em discussão neste trabalho considera a otimização do ponto de vista do investidor privado, detentor de poder de decisão sobre uma pequena parcela da rede de transporte originada no Mato Grosso. Assim, o que se visa é minimizar os custos de transporte para atender a um volume determinado. Além disso, o modelo também leva em consideração os efeitos nos custos de transporte ocasionados por novas soluções logísticas viabilizadas pela entrada de novos competidores no mercado ou pelo desenvolvimento de novas soluções a partir

da execução de uma política pública de incentivo de melhoria da matriz de transporte do centro do país para os portos.

Cumprir destacar ainda que, para fins de verificação da metodologia proposta, o escopo desse estudo é reduzido à produção de soja no estado do Mato Grosso, haja vista que é este o estado mais representativo na demanda por escoamento da oleaginosa para fins de exportação. Além disso, pelo mesmo motivo, o trabalho está limitado às projeções para os próximos 10 anos e visa especificamente os projetos que afetam o sistema ferroviário entre Rondonópolis (MT) e o porto de Santos (SP).

Por fim, é necessário pontuar que, ainda que o cenário de uma única instância isolada se aproxime de uma modelagem trivial – e de fato, o seja –, o problema aqui exposto se mostra complexo, pois incorpora o comportamento do mercado em relação à possível entrada de novas opções logísticas ao longo do tempo no que tange à composição de custos e à localização da demanda. Assim, a incerteza quanto ao momento de entrada destes arcos e quanto ao seu impacto no sistema torna a tomada de decisão por investimentos na infraestrutura de escoamento da soja do Mato Grosso um intrincado desafio aos modelos de transporte.

1.2 O PROBLEMA

Considerando a demanda dos centros produtores de soja no estado do Mato Grosso visando a exportação para os próximos 10 anos, busca-se determinar o conjunto de medidas a serem tomadas por uma concessionária ferroviária para alcançar uma meta de crescimento de volume movimentado em sua rede, considerando os efeitos simultâneos a longo prazo de possíveis alterações no mercado, tais como:

- i. a entrada de novas opções logísticas concorrentes e o comportamento dos fluxos nas diferentes rotas de escoamento;
- ii. a possibilidade de a concessionária em questão aplicar descontos nas tarifas vigentes para algumas origens específicas visando compensar a falta de competitividade natural de sua solução frente aos custos dos competidores naqueles pontos;

- iii. a viabilidade da extensão da ferrovia e da construção de novos terminais de transbordo para aumentar a captação em regiões atualmente não atendidas pela ferrovia;
- iv. a perspectiva de mudança no perfil da demanda em função da expansão da infraestrutura, que pode viabilizar a cultura da soja para exportação em áreas atualmente pouco significativas nesse setor.

Em linhas gerais, o problema consiste em minimizar os custos (consolidados na forma de investimento em novos terminais de transbordo ou na concessão de descontos em determinadas rotas) para atingir as metas de volume constantes no planejamento estratégico da concessionária.

1.3 OBJETIVOS A SEREM ATINGIDOS

Este trabalho tem por objetivo desenvolver uma modelagem que possa mimetizar o comportamento a longo prazo do mercado produtor de soja para exportação no estado do Mato Grosso, visando o planejamento estratégico de uma concessionária ferroviária que pode alterar sua política de frete e/ou investir na construção de novos terminais intermodais para aumentar sua penetração no mercado.

Com relação à produção agrícola, os polos produtores são agrupados neste trabalho em 30 regiões, das quais 15 representam municípios que hoje já são atendidos pela solução que inclui o uso da ferrovia e 15 representam locais onde a produção poderia ser captada se houvesse reposicionamento da solução ofertada pela ferrovia, já que, nestas áreas, a alternativa ferroviária não é naturalmente a mais competitiva.

Definido este agrupamento dos centros produtores, são apresentados, então, dois módulos de análises.

O primeiro deles consiste em uma análise simplificada cujo objetivo é testar preliminarmente a modelagem retirando algumas complexidades da realidade que se busca reproduzir. A principal característica a ser “simplificada” é o uso de custos paramétricos constantes ao longo de todo o período analisado, assim como o uso de

projeções de demanda com crescimento constante e igual para todas as regiões. Será ignorado, portanto, o efeito da entrada de novos competidores nesse mercado – que afetariam tanto os custos como a disponibilidade de carga captável. O horizonte de planejamento será de 10 anos.

O segundo módulo consiste em um conjunto de análises nas quais, mantendo o agrupamento dos centros produtores, foram consideradas algumas características reais de mercado. Uma delas é a possibilidade da entrada de outras opções logísticas que afetam o custo percebido pelo produtor, alterando a precificação da solução ferroviária e, portanto, o custo de transporte que é enxergado por esta para atender a uma meta de volume. Além dos parâmetros de custos, outro fator considerado nesse módulo foi a entrada de novos competidores, que também altera a projeção de demanda esperada nos diversos pontos de origem.

1.4 SEQUÊNCIA E CONTEÚDO DOS CAPÍTULOS

Neste trabalho, são apresentados, no capítulo 2 (REVISÃO DA LITERATURA), os principais conceitos envolvendo localização de instalações e alocação de demanda, projeto de redes (*network design*) – com destaque para modelos de projetos de rede competitiva –, otimização periódica, modelagem não linear, comportamento de demanda para determinação de fluxo em rede, cenários de planejamento e programação estocástica.

No capítulo 3 (Modelagem matemática), o problema é retratado em sua forma simplificada, permitindo aplicar e resolver uma modelagem de programação linear e multiperíodo, para determinar o melhor pacote de investimentos para a concessionária ferroviária diante dos possíveis comportamentos de mercado na próxima década. Ao final desse capítulo, é apresentada uma lista com as principais limitações desta abordagem simplificada.

No capítulo 4 (Resultados e discussões), são apresentados os resultados dos diversos cenários gerados para discussão.

Em seguida, no capítulo 5 (Conclusão), são apresentadas as conclusões sobre o impacto de cada parâmetro na modelagem.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Oriundo da área de pesquisa operacional e de modelos de transportes, o artigo de revisão apresentado por Plastria (2001) expõe o problema da localização de instalações competitivas em três aspectos: competição, mercado e espaço de decisão.

O aspecto da competição é introduzido com o objetivo de incorporar no modelo que decide pela melhor localização de novas instalações para atender a um determinado mercado o fato de que outras instalações já existem previamente e de que estas competem entre si e também com os novos entrantes. De acordo com o autor, a competição pode ser de três tipos: (i) estática, na qual a entrada de novos competidores não altera a dinâmica da competição, como é o caso dos modelos de curto prazo em que a reação dos competidores não é observada; (ii) competição com previsão, na qual existe modelagem da reação dos competidores em um modelo sequencial; e (iii) modelos dinâmicos e equilíbrio competitivo, em que a dinâmica de resposta dos concorrentes altera as relações competitivas e pode atingir um estado de equilíbrio. Com relação ao problema deste trabalho, considerou-se de maneira simplificada que a competição é “semiestática”, pois: (i) a resposta dos competidores à entrada das soluções sob gestão da concessionária ferroviária não é enxergada pelo modelo; e, por outro lado, (ii) a entrada de soluções competitivas afeta a dinâmica do mercado captável pela ferrovia, diminuindo a carga acessível e aumentando o custo percebido pela ferrovia para fazer frente à competição e capturar de volta esse volume.

No que tange as particularidades do mercado, isto é, da demanda, Plastria (2001) as descreve por meio de quatro características: (i) localização, sendo esta pontual ou regional; (ii) elástica ou inelástica, sendo responsiva com relação à rede e/ou com cenários estocásticos de demanda; (iii) padrão de escolha, que reflete a tomada de decisão do cliente, que pode ser determinística (sendo atendido pela instalação mais próxima e de acordo com regras para caso de empate) ou probabilística, (com a divisão da demanda de acordo com a atratividade da oferta de soluções); e (iv) função de atração, que traduz para o modelo a relação da distância entre o cliente e a instalação. Para fins deste estudo, foram consideradas localizações pontuais que optam pela alternativa de menor frete e, portanto, sem repartição da

demanda – conceito também conhecido por “*winner takes all*”.

Por fim, Plastria (2001) define o espaço de decisão em quatro dimensões: (i) espaço de localização, que pode ser discreto, em rede ou contínuo; (ii) número de novas instalações; (iii) projeto, em termos de capacidade e/ou outras especificações; e (iv) objetivo, que pode ser maximizar captura de mercado ou de lucro, ou, ainda, ter caráter multiobjetivo. Na abordagem deste estudo, o espaço de decisão é discreto e foi considerado um número restrito de possibilidades de novas instalações, inclusive sem alteração das especificações de capacidade ou de localização. Quanto ao objetivo, optou-se aqui pela captura de um determinado volume com minimização do custo de transporte.

Plastria (2001) ainda expõe em detalhe duas modelagens diferentes para entender a divisão da demanda. Ambas são abordagens de localização de instalação com competição estática, sendo uma delas a determinística e outra a probabilística. Esta última interessa a este estudo em especial ao apresentar o “modelo de Huff” para determinar o percentual da demanda que será atribuído a cada rota em função da atratividade entre o nó de demanda e a instalação. Esta função de atratividade é inversamente proporcional à distância. Ressalta-se que, ainda que este trabalho trate especificamente de repartição determinística, a possibilidade de adotar abordagem diferente aumentaria a complexidade do modelo e, possivelmente, melhoraria a acurácia dos resultados obtidos. Embora tal abordagem não tenha sido aqui implementada, fica registrada a possibilidade de aprofundamento do estudo.

O artigo de Aboolian, Berman e Krass (2007) apresenta uma modelagem que reproduz as principais características dos problemas de localização competitiva e de projeto de novas instalações, dentre as quais se pode citar: canibalização da demanda, aumento de mercado captável e trocas entre projeto e localização. Esses fatores são analisados por meio de cenários e de instâncias reduzidas, para ilustrar o impacto das decisões tomadas. No caso do problema específico deste estudo, a questão da canibalização da demanda não foi abordada diretamente, ainda que esse efeito tenha sido observado nos resultados dos cenários estudados.

O modelo apresentado por Aboolian, Berman e Krass (2007) também leva em consideração a resposta do mercado em termos de aumento da demanda captável de acordo com a melhoria do atendimento (também denominado demanda elástica), além da alocação de demanda através de função probabilística relacionada à distância. Ambas as características diferem do modelo apresentado neste estudo.

No que se refere à alocação de demanda, Aboolian, Berman e Krass (2007) abordam na função objetivo por meio da medida de utilidade e de atratividade. A atratividade está relacionada à percepção do cliente com relação aos fatores de projeto da instalação (tamanho, facilidade de acesso etc.) que não estão relacionados à distância. A utilidade, por sua vez, é a composição entre a atratividade e a distância (ou custo) entre a instalação e o cliente. Este é um modelo cuja função objetivo é não linear e sua resolução é apresentada por meio de uma aproximação linear, bem como por meio de algoritmos heurísticos para cenários discretos e limitados de soluções (configurações de instalações) possíveis. Interessante notar que, neste trabalho, a simplificação da alocação da demanda na função objetivo permitiu fugir de abordagens heurísticas e de aproximações lineares.

No caso da modelagem da alocação da demanda, ReVelle (1986) faz uma abordagem interessante ao introduzir o conceito de esfera de influência para os problemas de localização de novos depósitos em uma rede preexistente. O problema analisado é comum no comércio de serviços ou no varejo, setores nos quais o cliente prioriza o atendimento mais próximo e nos quais se deseja observar o impacto de um novo entrante nas designações existentes por meio de uma modelagem de programação linear inteira. Uma contribuição relevante desta modelagem é considerar, na função objetivo, a possibilidade de um nó ter sua demanda atendida ao mesmo tempo por um novo entrante e por um depósito existente, quando estes estão exatamente à mesma distância do nó. Neste caso, a demanda original é dividida igualmente entre os depósitos equidistantes. Essa mesma abordagem foi reproduzida neste estudo, não na modelagem em si, mas na construção das tabelas de parâmetros – mais especificamente, nas curvas de projeção de produção agrícola por origem. Nesse sentido, as origens onde existem soluções com fretes próximos aos da solução que inclui a utilização da ferrovia foram representadas por dois nós cuja soma da produção equivale à projeção da produção do município. Um dos nós foi alocado na rede dos municípios atualmente atendidos pelo modal ferroviário e o outro no conjunto de nós cuja demanda pode vir a ser capturada pela rede de transporte da ferrovia.

Ainda no assunto de localização de depósitos em rede competitiva, o artigo de Beresnev (2013) traz uma abordagem de programação linear inteira em dois níveis (*bilevel*), que representam o tomador de decisão e a resposta do mercado/competidor em termos de preços e localização, com a peculiaridade de levar em consideração o comportamento dos pontos captáveis de demanda que podem escolher o atendimento

por um ou por outro depósito de acordo com vários critérios (não apenas o menor custo/distância ou impedância). A modelagem proposta é resolvida por meio de algoritmo *branch-and-bound*, ao invés da varredura exaustiva do campo de soluções possíveis. De acordo com os resultados mostrados, essa opção permite encontrar soluções ótimas em tempos abaixo de 15 minutos para instâncias complexas (da ordem de 25 variáveis do tipo 1 ou 0). Essa abordagem não foi utilizada neste estudo, mas poderia representar uma evolução natural do modelo, na busca por retratar melhor os efeitos de mercado e, assim, aperfeiçoar o modelo e a confiabilidade dos resultados.

Outra contribuição relevante sobre projeto de rede e localização competitiva de depósitos com previsão de reação dos competidores é a de Saidani, Chu e Chen (2012). Trata-se de um estudo voltado a um problema recorrente na indústria varejista. Nele, a reação dos competidores, modelada por meio de aproximação polinomial e de alocação de demanda, é realizada por uma função gravitacional probabilística, com distribuição entre as opções disponíveis seguindo o modelo de Huff.

No que concerne ao estudo da infraestrutura logística dos produtos do agronegócio brasileiro, destaca-se o artigo de Amaral, Almeida e Morabito (2012), no qual é usado um modelo de fluxos em rede multinível com o objetivo de determinar a localização de terminais intermodais para o escoamento da soja destinada à exportação. Nesta modelagem, cada modal é representado por um grafo orientado em um nível, e os terminais intermodais representam arcos que interligam os diferentes níveis. O problema apresentado considera simultaneamente resolver a questão da localização de instalações e a da alocação de fluxo, pois busca minimizar os custos de transporte da soja para exportação planejando a instalação de terminais intermodais tendo em conta as restrições de conservação de fluxo, a quantidade de terminais possíveis de instalar e a capacidade de transbordo. Em cenários reduzidos (conjunto de origens inferior a 15, 2 destinos, 3 níveis modais e entre 20 e 40 localizações possíveis para novos terminais), foi utilizado satisfatoriamente o software livre GNU GLPK 4.8. para encontrar a solução ótima dentro de intervalos computacionais razoáveis (inferiores a 1 minuto). Interessante notar que a resolução de instâncias robustas (com conjunto de origens e destinos com 450 pontos cada) foi realizada através de heurística e comparada com software AMPL/CPLEX. O problema deste trabalho é diferente pois não se propõe aqui definir os fluxos alocados em cada rota logística para o escoamento da carga de exportação, o que simplifica a criação

das tabelas de parâmetros – especialmente as projeções de custo dos arcos que representam os fretes ofertados aos produtores.

Em Loureiro (1996), é apresentado um modelo de projeto de rede (*network design*) multiproduto e multimodal cujo objetivo é ser uma ferramenta de planejamento para priorização de investimentos, em um enunciado que se aproxima bastante do problema que se busca resolver neste estudo. A formulação exposta naquele trabalho também possui dois níveis de rede e é não linear. A alocação de fluxos é realizada pela função *logit*, uma função que traz um caráter estocástico à atribuição de fluxos em função dos custos e tempos de viagem. O uso de uma rede em dois níveis (*bi-level*) busca separar em cada nível a tomada de decisão, sendo que o gestor público que avalia a execução de investimentos o faz em um ritmo diferente do ente privado que seleciona a melhor opção para seu atendimento no curtíssimo prazo. O autor cita, no entanto, que a principal desvantagem dessa abordagem é a descontinuidade da percepção de ganho pelo usuário quando da decisão pela implantação do investimento na rede, o que pode levar para um sistema que converge muito lentamente. A natureza combinatória dos problemas de projeto de rede é desdobrada na necessidade de resolução de uma quantidade muito grande de pequenos problemas de alocação. Uma abordagem comumente utilizada é o desenvolvimento de heurísticas para determinar os melhores conjuntos a serem testados, por meio de técnicas como geração de colunas.

No que tange à modelagem de investimentos em infraestrutura visando ao atendimento de políticas públicas, cita-se a contribuição do trabalho de Mendes et al. (2012) sobre a competitividade da hidrovía Tapajós-Teles Pires, desenvolvida no âmbito do convênio FINEP. O modelo que ele apresenta volta-se ao escoamento da produção agrícola do norte do estado do Mato Grosso por meio de transporte multi ou monomodal e visa determinar investimentos ótimos no corredor da hidrovía em questão. É apresentada uma modelagem de fluxo em rede multiperíodo a partir de um portfólio de investimentos com custos e ganhos (de capacidade e de custo) conhecidos. É interessante notar que foi considerada a possibilidade de implantação de projetos de investimentos em arcos já existentes na rede de infraestrutura atual, de modo que a implantação de um projeto poderia ou diminuir o custo unitário e/ou aumentar a capacidade disponível no arco, de acordo com cada projeto. O modelo apresentado neste estudo é uma adaptação do modelo discutido por Mendes et al. (2012), sendo que as principais diferenças do contexto do problema e as decorrentes

adaptações são detalhadas no capítulo 3 (MODELAGEM MATEMÁTICA).

Em um artigo mais recente, Bilir, Ekici e Ulengin (2017) apresentam os resultados de um modelo de otimização de rede competitiva que considera múltiplos objetivos em termos de maximização de lucro, maximização de vendas e minimização de riscos. Além disso, é interessante notar a abordagem escolhida, que considera a demanda capturável como variável a ser determinada em função do preço e da função de utilidade entre o depósito e o centro produtor. Como resultado da aplicação do modelo a um caso real, buscou-se comparar os resultados do modelo de objetivo único (para cada objetivo isoladamente) e do modelo de múltiplos objetivos. Desta forma, notou-se que a função objetivo simplificada pode resultar em valores de demanda sub-ótimos. Nesse artigo, também é apresentada uma análise de sensibilidade para testar o comportamento do modelo sob diferentes coeficientes para a elasticidade de preço, para o impacto da qualidade de atendimento e para probabilidades de falta de atendimento, que são ponderados na função objetivo. Ressalta-se que essa se trata de uma análise em único período.

A seguir, é apresentado um quadro resumo (Quadro 1) com as principais características dos modelos observados na literatura.

Observa-se uma brecha no campo da pesquisa envolvendo o planejamento estratégico de um ente privado, considerando um horizonte de projeção de médio a longo prazo e, portanto, multiperíodo, que utiliza uma alocação simplificada para manutenção do uso da programação linear.

Quadro 1 – Resumo dos artigos relevantes a esta modelagem

(continua)

Autor(es)	Problema	Modelagem	Observações
Amaral, Almeida e Morabito (2012)	Localização e alocação de fluxos.	Fluxo em rede multinível com variáveis binárias para localização de instalações intermodais e variáveis não negativas de fluxo.	Alocação de fluxo para minimização do custo global.
Aboolian, Berman e Krass (2007)	Localização competitiva e problema de projeto.	Não linear com cenários discretos. Resolução por meio aproximação linear e de heurísticas.	Alocação de demanda por meio de modelo gravitacional em função da atratividade e da utilidade. Demanda elástica em função da utilidade.
ReVelle (1986)	Localização competitiva de depósito em rede já estabelecida.	Máxima captura da esfera de influência em rede.	Demanda repartida nas diferentes esferas de captura.
Beresnev (2013)	Localização competitiva com dois níveis de programação discreta.	Generalização do modelo clássico de localização de depósito, no qual a tomada de decisão é influenciada pelo comportamento do mercado.	Alocação por meio de ordenação que mimetiza as preferências dos consumidores e determina as regras de captura de demanda.
Saidani, Chu e Chen (2012)	Localização e projeção da instalação competitiva considerando reações dos concorrentes já existentes no mercado.	Máxima captura em localização e projeto de depósito.	Alocação de demanda por meio de modelo gravitacional baseado na modelagem probabilística de Huff.

Autor(es)	Problema	Modelagem	Observações
Loureiro (1996)	Modelagem de opções de investimentos para rede de transporte multimodal.	Fluxo em rede multiproduto e multimodal. <i>Bi-level</i> e não linear.	Alocação de fluxos por meio de função logit, uma função para trazer um caráter estocástico à atribuição de fluxos em função dos custos e dos tempos de viagem.
Mendes et al (2012)	Competitividade de corredor hidroviário em relação a opções de investimentos de diminuição de custo e de aumento de capacidade em arcos existentes da rede.	Fluxo em rede multimodal e multiperíodo.	Modelo com foco em determinar investimentos para aumento do <i>market share</i> , que reflete o atendimento de política pública por meio da limitação do orçamento previsto.

(conclusão)

Fonte: elaboração própria.

3 MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem proposta utiliza-se unicamente de programação linear e dos conceitos relativos ao fluxo em uma rede orientada, conforme detalhamento a seguir.

3.1 DESCRIÇÃO INICIAL DO PROBLEMA

A modelagem proposta a seguir é baseada no Relatório Técnico referente à análise da competitividade da hidrovía Tapajós-Teles Pires (Mendes et al., 2012). As adaptações e melhorias implementadas são detalhadas no item 3.7 (CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM PROPOSTA).

Para todas as instâncias da modelagem, considerou-se uma rede orientada $R=(N,A)$, onde N é o conjunto de nós e A é o conjunto de arcos. Para fins de simplificação, foi considerado o escoamento de apenas um produto nesta rede, a partir dos nós de oferta (fontes produtoras) e em direção aos nós de demanda (polo exportador), passando por nós intermediários (equivalentes a nós de transbordo entre modais). Ressalta-se que os nós não são capacitados e que a restrição de capacidade de escoamento ocorre apenas nos arcos, isto é, não há limitação de fluxo máximo nos nós intermediários (terminais de transbordo), apenas nos arcos. Adicionalmente, cumpre esclarecer que os nós devem permanecer balanceados, ou seja, a soma da movimentação à esquerda do nó deve ser igual à soma da movimentação à direita do nó. Exceção feita para os nós na extremidade da rede, tanto do lado “produção” como do lado “exportação”. Do lado “produção”, o fluxo de saída em cada nó (e em cada período) deve ser menor ou igual à capacidade produtiva daquela origem. Do lado “exportação”, o fluxo de chegada deve ser igual à meta estipulada para cada intervalo temporal. Os custos de transporte em cada arco são conhecidos.

Desta forma, o problema básico consiste em determinar o fluxo de mínimo custo na rede, atendendo às restrições de oferta (produção a ser exportada) e de demanda (meta de quantidade a ser exportada pela ferrovia), respeitando as capacidades dos arcos. São considerados parte da rede apenas os nós que

representam terminais ou sistemas sob controle da concessionária ferroviária, bem como os nós que representam fontes produtoras com oferta captável (atual ou potencialmente). Em outras palavras, não estão representados nesta rede os nós relativos aos competidores da ferrovia e nem se deseja determinar os fluxos referentes a essas alternativas logísticas. No entanto, cumpre destacar que os valores de custo relacionados a esses competidores (e a eventuais novos entrantes) foram considerados na construção dos parâmetros de custo futuro da solução ferroviária. Isso mimetiza um movimento responsivo de aumento de custo por meio da aplicação de um desconto para o produtor exportador, para que este permaneça movimentando sua carga através da ferrovia.

Na Figura 3, é apresentada uma estrutura simplificada da rede em questão.

Figura 3 – Representação esquemática de rede de transporte

Legenda:

Fontes produtoras:

- Regiões onde a ferrovia é competitiva
- Regiões potencialmente captáveis através de desconto ou investimento

Terminais de transbordo:

- Terminais existentes
- Terminais em projetos de investimento
- Sistema ferroviário

Polo exportador:

- Porto de exportação

Arcos:

- Rotas relativas aos clientes atuais atendidos por terminais existentes
- - Rotas relativas a clientes que poderiam ser atendidos pelos terminais existentes através de descontos
- - Rotas relativas ao atendimento por novos terminais para clientes atuais e potenciais

Fonte: elaboração própria.

Tendo como base essa rede (Figura 3), considerou-se que, num determinado horizonte de projeção, a companhia deseja cumprir com uma meta de penetração de mercado na região do estado do Mato Grosso, sem, contudo, determinar a partir de quais municípios esse volume será atendido. Os nós das fontes produtoras são divididos em dois grupos: (i) regiões onde a ferrovia é competitiva e onde, portanto, os fretes oferecidos pela concessionária já são percebidos como a melhor opção de escoamento; (ii) regiões potencialmente captáveis, que representam uma produção

que não é transportada pela ferrovia, pois nessas áreas existem opções de escoamento menos custosas que o transporte ferroviário do ponto de vista do produtor. Esta produção potencial pode migrar para o atendimento ferroviário por meio da execução de projetos de investimento que permitam que a solução oferecida pela ferrovia se torne mais interessante economicamente para o produtor exportador.

Também são conhecidos os projetos de investimento à disposição da companhia para que se atinja a meta. Estes podem ser de dois tipos: (i) investimentos no aumento da malha ferroviária, com a construção de terminais de transbordo mais próximos das fontes produtoras ainda não atendidas pela solução ferroviária; (ii) adoção de política de subsídios para aumentar a competitividade das soluções que utilizam a malha ferroviária em estudo, ao conceder descontos sobre o frete cobrado do cliente potencial. Neste último caso, cumpre destacar que o desconto entra na modelagem como um custo adicional para a concessionária, ou seja, a decisão pela aplicação de um subsídio em uma determinada rota é percebida pelo sistema como um aumento de custo proporcional à diferença de frete entre a solução mais competitiva para aquela origem e o frete ofertado pela solução ferroviária naquele ponto.

Em termos de modelagem, cumpre esclarecer que as rotas potenciais (arcos) têm capacidade nula no instante zero, de forma que estes caminhos não sejam percebidos pelos pontos produtores a menos que se decida por implantar um investimento (terminal ou subsídio) que, então, libere capacidade nesses arcos, permitindo, assim, alocar fluxos.

Nesse sentido, nota-se que essa modelagem se diferencia daquela apresentada no estudo da hidrovia (Mendes et al., 2012), principalmente por tratar na função objetivo apenas o interesse privado de otimização de fluxos e de custos em sua própria rede, sem observar o sistema como um todo (definindo fluxos para todas as rotas possíveis) nem modelar a tomada de decisão do produtor em relação às interações entre as diferentes opções de escoamento.

Há algumas premissas em relação à execução desses projetos:

- i. A disponibilização da capacidade em um arco só acontece com o término do projeto.
- ii. Uma vez iniciado, o projeto não é interrompido.
- iii. Cada arco é afetado unicamente por um projeto, mas um projeto pode afetar

vários arcos.

- iv. Os projetos que não envolvem a construção de terminais têm seu início imediato, isto é, no ano de implantação. Além disso, são válidos apenas para aquele período.

A seguir, são apresentados os parâmetros (seção 3.2), as variáveis (seção 3.3), a função objetivo (seção 3.4) e as restrições da modelagem (seção 3.5), seguidos pela descrição do modelo e de suas equações (seção 3.6) e das diferenças com relação ao modelo da hidrovía (Mendes et al., 2012) (seção 3.7).

3.2 PARÂMETROS

N	conjunto de nós;
N^C	conjunto de nós das regiões onde a ferrovia é competitiva;
N^P	conjunto de nós das regiões potencialmente captáveis;
N^R	demais nós da rede (terminais de transbordo, polo exportador);
	$N = N^C \cup N^P \cup N^R$
i	índice do conjunto N , N^C ; N^P
A	conjunto de arcos $A = \{(i, i') : i, i' \in N\}$;
a	cada arco (i, i') será numerado 1 até $ A $; o índice a será usado para identificá-los;
$A^-(i)$	conjunto de arcos que chegam ao nó $i \in N$;
$A^+(i)$	conjunto de arcos que saem do nó $i \in N$;
N^T	extensão do horizonte de planejamento;
t, g	índices do período, $t, g : 1 \dots N^T$;
c_a^t	custo unitário de transporte no arco a no período t ;
u_a	capacidade máxima de transporte do arco a , no início do período de planejamento; igual a 0 quando se trata de arcos de projetos
θ_i^t	oferta/demanda do nó i , no período t (se $\theta_i^t > 0$, então nó i é nó de oferta; se $\theta_i^t = 0$, então nó i é nó de transbordo; se $\theta_i^t < 0$, então nó i é

	nó de demanda);
Prj	conjunto de projetos de investimentos, sendo:
Prj^I	subconjunto de projetos relativo aos projetos de investimentos em implantação de novos terminais
Prj^S	subconjunto de projetos relativo aos projetos de subsídio
	$Prj = Prj^I \cup Prj^S$;
k	índice do conjunto Prj ;
$Imp(k,a)$	parâmetro binário: 1, se o projeto k impacta o arco a ; 0, em caso contrário;
$Proj(a)$	conjunto de projetos de investimentos relativos ao arco a : $Proj(a) = \{k \in Prj : Imp(k,a) = 1\}$
$C(k)$	custo de realização do projeto k ;
$b(k)$	período mais cedo para início do projeto k , caso seja realizado;
$f(k)$	período mais tarde para início do projeto k , caso seja realizado;
$d(k)$	duração do projeto k ;
$Pd(k)$	conjunto de projetos predecessores do projeto k ;
T, U	constantes “grandes”;
ψ_a^k	capacidade do arco a , após a conclusão do projeto k ;
$m(k,g,t)$	parâmetro binário: 1, se o projeto k , iniciado no período g , estiver concluído no instante t ; 0, em caso contrário.

3.3 VARIÁVEIS DE DECISÃO

x_a^t	fluxo no arco a , no período t (variável real, não negativa);
y_t^k	1, se o projeto k for iniciado no instante t ; 0, em caso contrário (variável binária);
$\omega_a^{k,t}$	capacidade no arco a , no período t , pela realização do investimento k (variável real, não negativa);
$\bar{\theta}_i^t$	oferta alocada no nó $i \in N^P$, no período t (variável real, positiva).

3.4 FUNÇÃO OBJETIVO

min Φ

$$\Phi = \sum_a \sum_t x_a^t c_a^t + \sum_a \sum_{k \in Proj(a)} \sum_t c(k) y_t^k \quad (1)$$

3.5 RESTRIÇÕES

$$\sum_{a \in A^+(i)} x_a^t - \sum_{a \in A^-(i)} x_a^t = \theta_i^t \quad \forall i \in \mathbf{t} \quad (2)$$

$$\sum_{a \in A^+(i)} x_a^t - \sum_{a \in A^-(i)} x_a^t = \bar{\theta}_i^t \quad \forall i \in N \setminus N^P, t \quad (3)$$

$$\bar{\theta}_i^t \leq \theta_i^t \quad \forall i \in N \setminus N^P, t \quad (4)$$

$$\sum_{t=b(k)}^{f(k)} y_t^k \leq \sum_{t=b(k')}^{f(k')} y_t^{k'} \quad \begin{array}{l} \forall i \in N \setminus N^P, t \in Prj^l, \\ \forall i \in N \setminus N^P, t \in Pd(k), \end{array} \quad (5)$$

$$\sum_{t=b(k)}^{f(k)} y_t^k \leq \sum_{t=b(k')}^{f(k')} y_t^{k'} (t + d(k')) - \left(1 - \sum_{t=b(k)}^{f(k)} y_t^k \right) \mathbf{T} \quad \begin{array}{l} \forall i \in N \setminus N^P, t \in Prj^l, \\ \forall i \in N \setminus N^P, t \in Pd(k), \end{array} \quad (6)$$

$$\omega_a^{k,t} \geq \psi_a^k - \left(1 - \sum_{g=b(k)}^{f(k)} (y_g^k m(k, g, t)) \right) \mathbf{U} \quad \forall i \in N \setminus N^P, t \quad (7)$$

$$\omega_a^{k,t} \leq \psi_a^k + \left(1 - \sum_{g=b(k)}^{f(k)} (y_g^k m(k, g, t)) \right) \mathbf{U} \quad \forall i \in N \setminus N^P, t \quad (8)$$

$$\omega_a^{k,t} \leq \left(\sum_{g=b(k)}^{f(k)} (y_g^k m(k, g, t)) \right) \mathbf{U} \quad \forall i \in N \setminus N^P, t \quad (9)$$

$$x_a^t \leq u_a + \sum_{k \in \text{Prj}^I \cap \text{Proj}(a)} \omega_a^{k,t} + \sum_{k \in \text{Prj}^S \cap \text{Proj}(a)} \psi_a^k \cdot y_t^k \quad \forall i \in N \setminus N^P, t \quad (10)$$

$$x_a^t \geq 0 \quad \forall i \in N \setminus N^P, t \quad (11)$$

$$\omega_a^{k,t} \geq 0 \quad \forall i \in N \setminus N^P, t \quad (12)$$

$$\bar{\theta}_i^t \geq 0 \quad \forall i \in N \setminus N^P, t \quad (13)$$

$$y_t^k \in \{0,1\} \quad \forall i \in N \setminus N^P, t \quad (14)$$

3.6 DESCRIÇÃO DO MODELO

A função objetivo (1) minimiza o custo associado ao transporte dos pontos de oferta aos pontos de demanda ao longo de todos os períodos na rede, considerando o custo de transporte dos diferentes fluxos e o aumento de custo total imposto pela realização de investimentos.

A restrição (2) expressa o balanço de fluxo nos nós da rede. Importante notar

que é convencionado que a demanda (meta de exportação) seja um parâmetro negativo, enquanto a oferta (produção de soja para exportação) tenha valores positivos. Nos nós intermediários, o resultado da soma dos arcos que saem do nó, subtraindo os arcos que chegam no nó, deve ser igual a zero.

A restrição (3) se refere ao balanço de fluxo nos nós representando regiões produtoras, onde a oferta efetivamente captada em cada período é uma variável de decisão do modelo.

A restrição (4) limita a variável de oferta a ser captada em cada região produtora ao parâmetro de capacidade de produção de cada nó.

A restrição (5) impede que um projeto seja executado se um projeto predecessor não tiver sido realizado. Essa restrição é especialmente importante para os cenários em que se deseja saber se a construção de um terminal como extensão de outro já previsto é viável.

A restrição (6) faz com que um projeto se inicie apenas após a conclusão de todos os seus projetos predecessores obrigatórios.

As restrições (7), (8) e (9) garantem que a capacidade referente ao projeto k esteja disponível no arco a após a realização do projeto.

A restrição (10) garante que o fluxo no arco a respeite a capacidade do arco considerando os efeitos da realização de investimentos no arco (novos terminais ou subsídios).

As restrições (11) a (14) definem o domínio das variáveis de decisão.

3.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM PROPOSTA

Ainda que o modelo apresentado guarde muitas semelhanças com a modelagem apresentada por Mendes et al. (2012) no âmbito do estudo da hidrovia, é importante registrar as principais diferenças de contexto e as adaptações realizadas para este estudo.

Primeiramente, destaca-se que a pesquisa de Mendes et al. (2012) tratava da otimização de investimentos dentro de um contexto de atendimento da política pública, isto é, que buscasse as melhores oportunidades para disponibilizar ao produtor o menor custo de transporte mediante a realização de investimentos em infraestrutura.

Por outro lado, no modelo desenvolvido neste trabalho, o foco principal é o suporte ao gestor privado que tem à sua disposição uma série de projetos. Nesse sentido, a minimização de custos a que se refere a função objetivo está relacionada apenas ao balanço entre o custo do investimento e o fluxo que esse investimento traz para a rede.

Em segundo lugar, o estudo de Mendes (2012) considerava dois possíveis impactos advindos da implantação de projetos de investimentos nos arcos existentes da rede de infraestrutura atual, de modo que a implantação de um determinado projeto poderia (i) diminuir o custo unitário de um ou mais arcos ou (ii) aumentar a capacidade disponível no arco. No cenário analisado para a ferrovia, no entanto, os projetos de investimento apenas liberam capacidade nos arcos, disponibilizando o uso de um arco ainda não usado pela rede, sem que nenhum projeto altere o custo do arco propriamente dito. Importante notar que, para o caso de novos terminais, o custo dos arcos é baseado na distância até os centros produtores potenciais, normalmente mais distantes dos terminais de transbordo atuais. Para os projetos de “subsídio”, o custo enxergado pelo modelo – e, portanto, pela concessionária – leva em consideração a distância até os terminais atuais e um adicional referente ao desconto que deve ser percebido na origem. Este adicional é proporcional à diferença entre o frete ofertado pela solução ferroviária e o menor frete percebido pelo centro produtor.

Interessante notar que o modelo apresentado, ainda que contenha muitas simplificações, considera diversas complexidades intrínsecas ao caso que se deseja estudar como será detalhado no capítulo 4 (resultados e discussões).

Neste sentido, nota-se que, ao permitir que o modelo perceba os custos de cada arco em cada período, o surgimento de um novo competidor no mercado (isto é, a entrada de uma nova opção logística para escoamento da soja) é percebido pelo sistema ao obrigar o aumento dos custos (por meio da concessão de subsídios) para manter a captação dos clientes potenciais. Essa competição pode ser enxergada inclusive quando se trata de nós de demanda que já são clientes da ferrovia, ao incluir nos custos destes arcos já existentes eventuais descontos para garantir permanência da alocação desse nó, bem como a diminuição da produção captável disponível nesse nó ao longo do tempo

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A modelagem descrita no capítulo 3 (MODELAGEM MATEMÁTICA) foi implantada para ser resolvida por meio do software Gurobi em interface com o software Excel.

Antes de apresentar os diversos cenários simulados conforme seções 4.2 e 4.3, esta seção 4.1 do trabalho se dedica a esclarecer o que faz o modelo e quais análises podem ser feitas com base nos resultados extraídos de sua aplicação. Nesse sentido, faz-se necessário expor primeiramente quais são os parâmetros utilizados para alimentar a “modelagem”, para, então, apresentar os resultados.

Foram consideradas 30 fontes produtoras, sendo 15 regiões onde a ferrovia é competitiva e outras 15 regiões potencialmente captáveis (conforme exposto na seção 1.3), além de 3 terminais existentes, 3 projetos de terminais e a possibilidade de atendimento por meio de desconto para os 15 produtores captáveis através dos 3 terminais existentes, conforme demonstrado por meio da Figura 4.

Com relação aos parâmetros de entrada do modelo, cumpre ressaltar que foram utilizados valores estimados para os custos de transporte. Além disso, os incrementos em custos relativos aos descontos foram estimados a partir da diferença necessária para que a solução ofertada pela concessionária passasse a ser a mais vantajosa para o produtor. Os volumes potencialmente captáveis também foram estimados e alimentaram o modelo de maneira determinística. Além disso, os custos para implantação dos novos terminais foram ponderados de maneira simplificada, sem considerar desembolsos distribuídos ao longo do período de implantação ou efeitos de capital no tempo (em termos de custo do investimento).

Figura 4 – Localização da demanda e terminais

Fonte: elaboração própria.

Para fins ilustrativos da funcionalidade do modelo, são expostos a seguir (Tabela 1 e Tabela 2) os resultados considerando custos de transporte variando conforme a entrada de novos competidores, a meta de transporte agressiva e os custos de implantação de terminais reais.

Tabela 1 – Resultado da captação de fluxos em milhões de toneladas por origem nos diferentes períodos.

(continua)

[illegible]

21	Campo Novo do Parecis	501	246	257	269	282	296	310	326	343	360
22	Campos de Júlio	71	-	-	397	415	435	457	480	505	531
23	Gaúcha do Norte	408	436	464	155	180	209	241	413	444	477
24	Nova Ubiratã	373	289	303	319	154	162	171	824	871	920
25	Água Boa	350	373	398	424	451	480	511	543	575	609
26	Brasnorte	-	-	-	242	258	275	292	310	329	348
27	Tabaporã	-	-	-	413	352	375	398	651	689	731
28	Porto dos Gaúchos	-	284	303	323	130	139	148	465	493	522
29	Bom Jesus do Araguaia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	Sinop	246	289	303	319	227	239	252	455	481	509

(continuação)

Fonte: elaboração própria.

Tabela 2 – Resultado da captação de fluxos em milhões de toneladas por origem e por terminal nos diferentes períodos.

(continua)

Nó	Município	Terminal	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
1	Nova Mutum	Rondonópolis	971	1.020	1.071	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	1.124	1.181	1.240	1.302	1.367	1.435	1.507
2	Sorriso	Rondonópolis	905	951	998	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	1.048	1.101	1.156	1.213	1.274	1.338	1.405
3	Diamantino	Rondonópolis	792	831	873	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	917	962	1.010	1.061	1.114	1.170	1.228
4	Campo Verde	Rondonópolis	574	602	632	664	697	732	769	807	847	890
5	Primavera do Leste	Rondonópolis	541	568	597	627	658	691	725	762	800	840
6	Nova Ubiratã	Rondonópolis	521	547	574	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	603	633	665	698	733	770	808
7	Lucas do Rio Verde	Rondonópolis	453	476	499	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	524	551	578	607	637	669	703
8	Campo Novo do Parecis	Rondonópolis	380	399	419	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	440	462	486	510	535	562	590
9	Itiquira	Itiquira	347	364	382	401	421	442	464	488	512	538
10	Paranatinga	Rondonópolis	319	335	352	369	388	407	428	449	472	495
11	Ipiranga do Norte	Rondonópolis	293	308	323	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	339	356	374	393	412	433	455
12	Santa Rita do Trivelato	Rondonópolis	289	303	318	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	334	351	368	387	406	426	448

(continua)

Nó	Município	Terminal	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
13	Tapurah	Rondonópolis	288	303	318	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	334	350	368	386	405	426	447
14	Nova Maringá	Rondonópolis	276	289	304	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	319	335	352	369	388	407	428
15	São Jose do Rio Claro	Rondonópolis	263	276	290	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	304	320	336	352	370	388	408
16	Querência	Alto Araguaia	904	950	997	0	0	0	0	0	0	0
17	Sapezal	Rondonópolis	672	705	741	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	778	817	858	900	945	993	1.042
18	Sorriso	Rondonópolis	648	681	715	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	750	788	827	869	912	958	1.006
19	Canarana	Alto Araguaia	617	648	681	715	750	788	827	869	912	958
20	São Felix do Araguaia	Rondonópolis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Campo Novo do Parecis	Alto Araguaia	501	526	552	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	580	609	639	671	705	740	777
22	Campos de Júlio	Rondonópolis	71	74	77	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	477	501	526	552	579	608	639
23	Gaúcha do Norte	Alto Araguaia	408	429	450	21	21	22	24	25	27	27
24	Nova Uiratã	Rondonópolis	373	392	412	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	432	454	477	500	525	552	579
25	Água Boa	Alto Araguaia	350	367	386	405	425	447	469	492	517	543
26	Brasnorte	Nova Mutum	0	0	0	403	424	445	467	490	515	541

Nó	Município	Terminal	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
27	Tabaporã	Nova Mutum	0	0	0	360	378	397	417	438	460	483
28	Porto dos Gaúchos	Nova Mutum	0	0	0	341	358	376	394	414	435	457
29	Bom Jesus do Araguaia	Rondonópolis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Sinop	Rondonópolis	246	258	271	0	0	0	0	0	0	0
		Nova Mutum	0	0	0	285	299	314	330	346	364	382
Total Geral			12.002	12.602	13.232	13.894	14.590	15.321	16.084	16.887	17.736	18.624

(continuação)

Fonte: elaboração própria.

Observa-se nas Tabela 1 e Tabela 2 que o atendimento das origens onde a ferrovia não é naturalmente competitiva (municípios representados por nós cujos números estão entre 15 e 30) se dá desde o primeiro período e tem sua dinâmica alterada em função da entrada de novas opções logísticas. Por exemplo, o município de Querência (nó 16) é atendido pelo terminal de Alto Araguaia apenas até o período 3 (mediante a concessão de subsídios) mas não depois disso, haja vista que, a partir desse intervalo: (i) surgem novas opções logísticas mais interessantes para essa origem, fazendo com que esta carga não seja captada pela ferrovia e (ii) há capacidade no sistema ferroviário para atender a meta de captação por meio de um terminal mais próximo da origem da produção e, portanto, com custo de transporte menor.

Porém, mais do que a mudança na origem da carga transportada na ferrovia, nota-se que, nesse cenário simulado, altera-se o uso da capacidade dos terminais ferroviários, conforme mostrado por meio do Gráfico 2. Verifica-se um processo de *canibalização*, no qual a entrada de um novo terminal gera uma redistribuição da carga alocada sem, contudo, alterar drasticamente a origem desta captação. Em outras palavras, é possível dizer que, em função da localização do novo terminal e dos pontos de origem das cargas captáveis, o novo terminal tem custos mais atraentes principalmente para origens que já eram atendidas por um terminal da malha ferroviária, incorrendo em diminuição do custo de transporte, mas aumento da ociosidade do terminal existente, como detalhado por meio das tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Resultado da alocação de fluxos: consolidação por terminal ao longo do período de análise

Terminal	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Rondonópolis	8.875	9.318	9.784	1.660	1.743	1.830	1.922	2.018	2.119	2.225
Alto Araguaia	2.780	2.920	3.066	1.141	1.196	1.257	1.320	1.386	1.456	1.528
Itiquira	347	364	382	401	421	442	464	488	512	538
Sorriso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nobres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nova Mutum	0	0	0	10.692	11.230	11.792	12.378	12.995	13.649	14.333
Total	12.002	12.602	13.232	13.894	14.590	15.321	16.084	16.887	17.736	18.624

Fonte: elaboração própria.

Tabela 4 – Competitividade dos terminais: percentual da movimentação relativa à captura de carga onde a ferrovia não é naturalmente competitiva.

Terminal	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Rondonópolis (com desconto)	17%	18%	18%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Alto Araguaia (com desconto)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Itiquira (com desconto)	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nova Mutum (novo terminal)	-	-	-	32%	24%	24%	24%	47%	47%	47%

Fonte: elaboração própria.

Gráfico 2 – Resultado da alocação de fluxos: consolidação por terminal ao longo do período de análise

Fonte: elaboração própria.

Outro ponto a ser destacado, ainda no que se refere à alocação dos fluxos, é o fato da modelagem considerar uma abordagem do tipo “*winner takes all*”, isto é, onde a alternativa de menor custo recebe toda a carga (desde que haja capacidade disponível). Na prática, o que se observa no mercado é que há uma divisão da carga entre os melhores custos, já que não é possível quantificar exatamente todos os aspectos de uma negociação envolvendo a contratação de uma solução multimodal pelo produtor no momento do escoamento da produção de soja.

Nesse sentido, é importante verificar os dados apresentados na Tabela 4, que mostra, para cada terminal, o percentual relativo às cargas onde a ferrovia não é naturalmente a melhor alternativa. Complementando o que se observa no Gráfico 2, nota-se que, a partir da entrada do terminal de Nova Mutum, o terminal de Rondonópolis passa a captar apenas nas origens em que, sem dúvida, se apresenta como a melhor solução, isto é, sem a necessidade de conceder descontos para aumentar a sua competitividade frente às demais soluções logísticas. Nota-se também que, em todos os períodos em que está operando, o terminal de Nova Mutum captura carga que originalmente era atendida pelo terminal de Rondonópolis. Interessante também notar que o terminal de Alto Araguaia continua movimentando carga por meio

da concessão de descontos mesmo com a entrada no novo terminal. Esse movimento é justificado pela posição estratégica do terminal ao sul do estado do Mato Grosso, captando origens que estão a leste do eixo central Rondonópolis-Sorriso, já que estas cargas têm acesso dificultado ao centro do estado pela existência do Parque Nacional do Xingu.

Para fins de validação do modelo, foram simuladas algumas variações em termos dos parâmetros de entrada com o objetivo de avaliar o impacto nos resultados dessas alterações, especialmente no que se refere à decisão pela implantação de novos terminais. Desta forma, foram estudados 45 cenários, de acordo com as variações descritas nas seções 4.2 e 4.3. Cumpre destacar que foram analisados os resultados da variação de parâmetros em dois conjuntos. No primeiro deles, mais simples, não há alteração dos custos de transporte ao longo do tempo (seção 4.2). No segundo, por outro lado, estão presentes os efeitos ao longo do tempo da resposta à entrada de competidores e do consequente aumento de custo para fazer frente a essas novas alternativas logísticas (seção 4.3).

Como se verá ao longo da seção 4.2, os primeiros resultados indicam que, especialmente para metas de movimentação agressivas – por exemplo, que considerem 85% da produção esperada para as 30 origens consideradas e chegando a 22 milhões de toneladas anuais no décimo período—, é vantajosa a implantação de novos terminais já nos primeiros anos, mesmo para valores de investimento acima da realidade. No entanto, para metas mais conservadoras, o valor a ser investido para a implantação do terminal e a necessidade de reagir à presença de competidores tem grande peso na decisão pela expansão da malha ferroviária.

4.2 ANÁLISES SEM A ENTRADA DE COMPETIDORES

O primeiro conjunto de simulações considerou um crescimento de produção ao longo do período em análise a uma taxa constante (5% ao ano para todos os períodos) e igual para todos os centros produtores, além de valores fixos de frete nos arcos durante o horizonte temporal, isto é, sem a entrada de novos competidores que alterariam a dinâmica de competição.

Ainda neste primeiro subconjunto, diante da dificuldade em definir todos os

parâmetros com base em premissas confiáveis e para, inclusive, medir a sensibilidade do modelo quanto a mudanças das principais especificações, foram consideradas as seguintes variações possíveis:

- i. Quanto à meta de crescimento de atendimento ferroviário, podendo ser:
 - a) Conservadora: onde os volumes que se busca trazer para o sistema ferroviário representam 55% da produção total (aproximadamente 12 milhões de toneladas no último período);
 - b) Moderada: onde os volumes objetivados representam 70% da produção (aproximadamente 15 milhões de toneladas no último período);
 - c) Agressiva: onde os volumes almejados referem-se a 85% da produção, chegando a 19 milhões de toneladas a serem movimentadas no modal ferroviário no último período, sendo a produção nesse ano projetada em 22 milhões de toneladas.
- ii. Quanto ao valor de investimento para a implantação das extensões ferroviárias e de novos terminais:
 - a) Valor de investimento muito baixo ou nulo;
 - b) Valor de investimento próximo das estimativas reais (aproximadamente entre 2 e 4 bilhões de reais nominais, sem efeito de perda do valor monetário no tempo);
 - c) Valor de investimento superior às estimativas reais (aproximadamente 30% superiores – algo em torno de 3 a 6 bilhões de reais nominais).
- iii. Quanto à possibilidade de agrupar as extensões ferroviárias:
 - a) Comparativo das soluções individuais;
 - b) Considerando a possibilidade de agrupar o terminal mais distante a um dos outros dois terminais, de forma que o custo de implantação para o terminal mais distante considerasse apenas o incremento necessário para a extensão. Essa formulação permite testar a restrição (5) apresentada na seção 3.6 (descrição do modelo).

A definição desses cenários tem por objetivo compreender o impacto desses fatores no resultado da análise, isto é, como cada modificação nos dados de entrada – por mais simples que seja – altera a definição dos investimentos necessários para atingir eficientemente a meta de transporte. Nesse sentido, ao considerar custos muito

baixos para a construção das extensões ferroviárias, tira-se da análise financeira o custo de execução do investimento e obtém-se um cenário que mostra a competitividade natural das soluções logísticas disponibilizadas pelo investimento, que pode, então, servir como ponto inicial de comparação. O aumento gradativo dos custos de implantação busca definir faixas de viabilidade desse investimento frente a diferentes opções de execução do traçado ferroviário.

Ainda com relação aos investimentos na expansão da malha ferroviária, mostrou-se interessante analisar a possibilidade de executar ampliações faseadas, considerando que o custo para construir um terminal mais distante é incremental ao custo de implantação de um terminal intermediário.

Por fim, nota-se que a definição dos investimentos a serem realizados dependerá da agressividade da meta de transporte traçada, de modo que, quanto maior a disposição para aumentar o atendimento ferroviário, mais se viabiliza a decisão pela construção de terminais de captação de carga mais próximos dos pontos produtores.

Desta forma, foram analisados 21 cenários, conforme sumarizado na Figura 5 e no Quadro 2, nos quais se observam as diferentes combinações possíveis para os três conjuntos de parâmetros abordados no início deste capítulo. Inicialmente, nota-se que os cenários 1, 8 e 15 tendem a favorecer a implantação de terminais, já que os parâmetros utilizados resultam em baixo impacto na função objetivo quando da decisão pelo investimento. Por outro lado, existe maior propensão à concessão de descontos nos resultados obtidos a partir dos cenários 2 a 7, porque estes contemplam premissas mais conservadoras no que se refere às metas de volumes ferroviários a serem captadas no longo prazo.

Figura 5 – Diagrama explicativo da construção dos cenários sem a entrada de competidores

Quadro 2 – Cenários analisados sem a entrada de competidores

Cenário	Meta de captação ferroviária	Referência de investimento para implantação de novos terminais	Terminal de Sorriso como extensão
1	conservadora	Nulo	Não se aplica
2	conservadora	Real	Não se aplica
3	conservadora	Real	Do terminal de Nobres
4	conservadora	Real	Do terminal de Nova Mutum
5	conservadora	Superestimado	Não se aplica
6	conservadora	Superestimado	Do terminal de Nobres
7	conservadora	Superestimado	Do terminal de Nova Mutum
8	moderada	Nulo	Não se aplica
9	moderada	Real	Não se aplica
10	moderada	Real	Do terminal de Nobres
11	moderada	Real	Do terminal de Nova Mutum
12	moderada	Superestimado	Não se aplica
13	moderada	Superestimado	Do terminal de Nobres
14	moderada	Superestimado	Do terminal de Nova Mutum
15	agressiva	Nulo	Não se aplica
16	agressiva	Real	Não se aplica
17	agressiva	Real	Do terminal de Nobres
18	agressiva	Real	Do terminal de Nova Mutum
19	agressiva	Superestimado	Não se aplica
20	agressiva	Superestimado	Do terminal de Nobres
21	agressiva	Superestimado	Do terminal de Nova Mutum

Fonte: elaboração própria.

A seguir, na Tabela 5, são apresentados e discutidos os resultados referentes aos cenários apresentados na Tabela 4. Para permitir uma melhor comparação direta entre as variações analisadas, os resultados são apresentados de maneira consolidada por meio do uso de 4 indicadores: **custo médio total**, que representa a simples divisão do custo total (incluindo investimentos) para transporte pelo volume total transportado na rede em todos os períodos; **número de rotas com desconto** para atendimento de fontes produtoras onde a solução ferroviária não é a mais competitiva no último período analisado; **número de rotas para atendimento por meio dos novos terminais**, também no último período; e **número de terminais** que

serão implantados.

Tabela 5 – Resultados consolidados sem a entrada de competidores

Cenário	Custo médio total¹ R\$/ton	Rotas com desconto (ano 10)	Rotas novos terminais (ano 10)	Novos terminais
1	87,1	0	12	3
2	93,7	2	0	0
3	93,7	2	0	0
4	93,7	2	0	0
5	93,7	2	0	0
6	93,7	2	0	0
7	93,7	2	0	0
8	89,8	0	17	3
9	97	6	0	0
10	97	6	0	0
11	97	6	0	0
12	97	6	0	0
13	97	6	0	0
14	97	6	0	0
15	92,9	3	20	3
16	99,8	3	20	1
17	99,8	3	20	1
18	99,8	3	20	1
19	100	10	0	0
20	100	10	0	0
21	100	10	0	0

Fonte: elaboração própria.

Constata-se que, considerando as 21 variações de parâmetros avaliadas, os resultados obtidos podem ser compilados em apenas 7 grupos, conforme mostra a Tabela 6 a seguir, já que o resultado em termos de alocação de fluxos e de decisão de investimentos é exatamente igual em muitos dos cenários vistos. Da observação desse conjunto de resultados, é possível destacar, por exemplo, que os cenários 2 a 7 apresentam as mesmas saídas, ainda que tenham sido alimentados com

¹ Os valores foram normalizados para proteger eventuais informações competitivas dos dados reais.

parâmetros diferentes entre si, podendo, portanto, ser classificados em um único grupo. Na prática, ao olhar este grupo 2, pode-se concluir que, considerando a mesma meta de transporte ferroviário (moderada), não é viável a construção de um novo terminal ferroviário no horizonte estudado, bastando conceder subsídios a duas rotas onde atualmente o modal ferroviário não é competitivo.

Tabela 6 – Agrupamento dos cenários e resultados da análise sem a entrada de competidores

Grupo	Custo médio total ² R\$/ton	Rotas com desconto (ano 10)	Rotas novos terminais (ano 10)	Novos terminais	Cenário(s)
1	87,1	0	12	3	1
2	93,7	2	0	0	2, 3, 4, 5, 6 e 7
3	89,8	0	17	3	8
4	97,0	6	0	0	9,10,11,12,13 e 14
5	92,9	3	20	3	15
6	99,8	3	20	1	16,17 e 18
7	100	10	0	0	19, 20 e 21

Fonte: elaboração própria.

Com base na Tabela 6, percebe-se que, no horizonte temporal considerado, mesmo em cenários de meta de transporte agressiva, esta pode ser atendida mediante a concessão de subsídios, ou seja, sem a necessidade de realizar investimentos na expansão da malha ferroviária, como é o caso dos cenários do grupo 7.

Outra informação interessante sobre o perfil de produção considerado é que, no caso do grupo 6, mesmo com a implantação de um novo terminal, o atendimento da meta de transporte precisa ser complementado com a concessão de descontos.

Outra análise igualmente interessante consiste em observar o custo médio de transporte ao longo do horizonte de planejamento do modelo e os efeitos da entrada de novos investimentos – quando for o caso, para cada um dos grupos mostrados na Tabela 6. Reforça-se que, nesta etapa preliminar de análises, não foram consideradas mudanças nos custos de transporte ao longo do intervalo analisado devido à entrada de novos concorrentes. Consequentemente, é normal que, ao observar os custos de transporte a cada período (ver Gráfico 3**Erro! Fonte de referência não encontrada.**),

² Os valores foram normalizados para proteger eventuais informações competitivas dos dados reais.

se percebe que não há alteração no custo nos três primeiros anos em todos os conjuntos. Isso porque, mesmo quando há a decisão pela implantação de um terminal, este somente estará operacional e, portanto, com capacidade disponível para alocação de rotas, após o período de construção definido como três anos.

Gráfico 3 – Evolução do custo médio³ de transporte sem a entrada de competidores por agrupamento de cenário

Fonte: elaboração própria.

Interessante também notar que, ao restringir a análise apenas aos três primeiros anos, pode-se classificar os resultados em apenas três grupos de acordo com a meta de movimentação ferroviária. Isso porque, nesse espaço de tempo, o único fator que diferencia a alocação de fluxos e, portanto, a distribuição de custos de transporte, é a oferta de capacidade do sistema ferroviário, que, por sua vez, é definida pela meta de captação ferroviária.

Da mesma forma, os únicos períodos em que há mudança na curva de custos são aqueles em que há a implantação de terminais, e constata-se que isso se dá

³ Os valores foram normalizados para proteger eventuais informações competitivas dos dados reais.

unicamente nos períodos 4 e 5. Nota-se, desse modo, que o modelo construído não consegue identificar um marco temporal ótimo (do ponto de vista empresarial) para a construção de um terminal. Isso equivale a dizer que, uma vez que o modelo escolha pela implantação de um terminal de transbordo, a modelagem *sempre* decide fazê-la já no primeiro ano, de forma a entregar capacidade o quanto antes. Uma possível explicação para essa observação é a de que não há, na modelagem, a incorporação dos fatores corporativos que fariam adiar a implantação de uma expansão da malha – por exemplo, uma previsão na função objetivo de alguma penalidade em caso de ociosidade na malha ferroviária.

Assim, de maneira simplificada, as curvas mostradas no Gráfico 3 demonstram a redução de custos ocasionada pela disponibilização de novas rotas advindas da expansão da malha ferroviária. Por exemplo, para os cenários do grupo 7, não foi necessária a implantação de um novo terminal ferroviário para atendimento da meta (neste caso, considerada agressiva) já que os custos de implantação são significativos na função objetivo mas, por outro lado, considerando a mesma meta agressiva, a expansão da malha ferroviária se torna viável ao estimar custos reduzidos de implantação (grupo 6).

Por fim, interessante ressaltar que o estabelecimento da condição de custo baixo de implantação de novos terminais (ou seja, com peso praticamente zero na função objetivo) tem como propósito entender quais são os fluxos onde o modal ferroviário é naturalmente mais competitivo. No entanto, ao retirar da análise a condição de “custo baixo de implantação” (grupos 1, 8 e 15), que, na prática, representa uma condição impossível de atingir, nota-se que apenas um conjunto de cenários tem como resultado a decisão pela expansão da malha ferroviária. Nestes cenários, tem-se em comum apenas a meta de demanda agressiva e percebe-se que a opção pela instalação de um novo terminal de transbordo ocorre mesmo com superestimativa para a implantação.

Conclui-se, portanto, com relação aos três parâmetros analisados e com base nos resultados dos 21 cenários advindos da variação desses parâmetros, que o fator mais importante para confirmar a vantagem da expansão da malha ferroviária é a meta de transporte. Adicionalmente, observou-se que, haja vista os custos de implantação serem significantes, poucos são os cenários em que há viabilidade de expansão (em detrimento da concessão de descontos ao produtor) e que em nenhum cenário foi identificada a necessidade de implantação de mais de um terminal ferroviário.

4.3 ANÁLISES COM VARIAÇÃO DE CUSTO E DEMANDA A PARTIR DA ENTRADA DE COMPETIDORES

O segundo subconjunto de simulações considerou um crescimento de produção mais moderado nos centros produtores que atualmente são atendidos pela ferrovia e mais agressivo onde o modal ferroviário é menos competitivo, além de refletir valores de frete nos arcos que aumentam ao longo do tempo. Ambas as aproximações têm por objetivo mimetizar o comportamento do mercado frente à entrada de novos competidores que alteram a dinâmica de competição, especialmente as saídas para o Arco Norte e sua influência no médio-norte mato-grossense.

Além disso, com relação aos cenários do item 4.2 resumidos na Figura 5, fez-se necessário a criação de mais três cenários nos quais o valor de investimento para a implantação de novos terminais fosse inferior ao considerado, conforme se observa na Figura 6, a seguir. A lista exaustiva dos 24 cenários a serem analisados neste modelo é apresentada no Quadro 3, também na sequência.

Figura 6 – Diagrama explicativo da construção dos cenários com a entrada de competidores

Quadro 3 – Cenários analisados com a entrada de competidores

Cenário	Meta de captação ferroviária	Referência de investimento para implantação de novos terminais	Terminal de Sorriso como extensão
1	Conservadora	Nulo	Não se aplica
2	Conservadora	Real	Não se aplica
3	Conservadora	Real	Do terminal de Nobres
4	Conservadora	Real	Do terminal de Nova Mutum
5	Conservadora	Superestimado	Não se aplica
6	Conservadora	Superestimado	Do terminal de Nobres
7	Conservadora	Superestimado	Do terminal de Nova Mutum
8	Moderada	Nulo	Não se aplica
9	Moderada	Real	Não se aplica
10	Moderada	Real	Do terminal de Nobres
11	Moderada	Real	Do terminal de Nova Mutum
12	Moderada	Superestimado	Não se aplica
13	Moderada	Superestimado	Do terminal de Nobres
14	Moderada	Superestimado	Do terminal de Nova Mutum
15	Agressiva	Nulo	Não se aplica
16	Agressiva	Real	Não se aplica
17	Agressiva	Real	Do terminal de Nobres
18	Agressiva	Real	Do terminal de Nova Mutum
19	Agressiva	Superestimado	Não se aplica
20	Agressiva	Superestimado	Do terminal de Nobres
21	Agressiva	Superestimado	Do terminal de Nova Mutum
22	Conservadora	Subestimado	Não se aplica
23	Moderada	Subestimado	Não se aplica
24	Agressiva	Subestimado	Não se aplica

Fonte: elaboração própria.

De maneira semelhante ao que foi observado nas instâncias sem a entrada de competidores, aqui também é possível notar uma repetição nos padrões de resultado (Tabela 7). Mesmo com alterações nos parâmetros de entrada, foram encontrados 8 grupos de resposta (Tabela 8).

Tabela 7 – Resultados da análise com a entrada de competidores

(continua)

Cenário	Meta de captação ferroviária	Referência de investimento	Terminal de Sorriso como extensão	Custo médio total (R\$/ton)	Rotas com desconto (ano 10)	Rotas novos terminais (ano 10)	Novos terminais
1	conservadora	Nulo	Não se aplica	87,2	0	14	3
2	conservadora	real	Não se aplica	93,9	3	0	0
3	conservadora	real	Do terminal de Nobres	93,9	3	0	0
4	conservadora	real	Do terminal de Nova Mutum	93,9	3	0	0
5	conservadora	superestimado	Não se aplica	93,9	3	0	0
6	conservadora	superestimado	Do terminal de Nobres	93,9	3	0	0
7	conservadora	superestimado	Do terminal de Nova Mutum	93,9	3	0	0
8	moderada	Nulo	Não se aplica	89,8	0	18	3
9	moderada	real	Não se aplica	96,9	7	0	0
10	moderada	real	Do terminal de Nobres	96,9	7	0	0
11	moderada	real	Do terminal de Nova Mutum	96,9	7	0	0
12	moderada	superestimado	Não se aplica	96,9	7	0	0
13	moderada	superestimado	Do terminal de Nobres	96,9	7	0	0
14	moderada	superestimado	Do terminal de Nova Mutum	96,9	7	0	0
15	agressiva	Nulo	Não se aplica	93	3	20	3
16	agressiva	real	Não se aplica	100	11	0	0
17	agressiva	real	Do terminal de Nobres	100	11	0	0
18	agressiva	real	Do terminal de Nova Mutum	100	11	0	0
19	agressiva	superestimado	Não se aplica	100	11	0	0

Cenário	Meta de captação ferroviária	Referência de investimento	Terminal de Sorriso como extensão	Custo médio total (R\$/ton)	Rotas com desconto (ano 10)	Rotas novos terminais (ano 10)	Novos terminais
20	agressiva	superestimado	Do terminal de Nobres	100	11	0	0
21	agressiva	superestimado	Do terminal de Nova Mutum	100	11	0	0
22	conservadora	subestimado	Não se aplica	93,9	3	0	0
23	moderada	subestimado	Não se aplica	96,3	0	18	1
24	agressiva	subestimado	Não se aplica	98,4	3	20	1

(continuação)

Fonte: elaboração própria.

Tabela 8 – Agrupamento dos cenários e resultados da análise com a entrada de competidores

Grupo	Custo médio total R\$/ton	Rotas com desconto (ano 10)	Rotas novos terminais (ano 10)	Novos terminais	Cenários
1	87,2	0	14	3	1
2	89,8	0	18	3	2, 3, 4, 5, 6, 7, 22
3	93	3	20	3	8
4	93,9	3	0	0	9, 10, 11, 12, 13, 14
5	96,3	0	18	1	15
6	96,9	7	0	0	16, 17, 18, 19, 20, 21
7	98,4	3	20	1	23
8	100	11	0	0	24

Fonte: elaboração própria.

Inicialmente, é possível descrever os agrupamentos em 3 tipos. Os grupos 1,3 e 5 representam aqueles em que não há custo significativo de implantação de novos terminais, de forma que todos os três terminais são construídos o mais breve possível (cenários 1, 8 e 15). Os níveis de custo médio variam entre os cenários apenas em função da meta de transporte, que define o volume a ser captado. Logo, quanto mais agressiva a meta, maior o volume objetivado e maiores são os custos médios de transporte. O segundo tipo se refere aos cenários de 2 a 22, organizados nos grupos 2, 4 e 6 também de acordo com a meta de movimentação ferroviária. Ou seja, mesmo para metas mais agressivas, não foi possível escolher pela implantação de terminais ferroviários mais ao norte do estado do Mato Grosso. Por fim, os grupos 7 e 8, que representam, respectivamente, os cenários 23 e 24, têm em comum o fato de se considerar subdimensionado o custo de execução da expansão ferroviária, incentivando a decisão pela sua implantação. Entretanto, é interessante notar que, mesmo com custo de implantação relativamente baixo, não houve incentivo suficiente para a implantação quando se considera uma meta de atendimento ferroviário mais conservadora. Outro ponto interessante é que a construção do terminal de Sorriso como extensão do terminal de Nova Mutum não foi testada como cenário para o caso de valores de investimentos inferiores às estimativas atuais (na casa de dois bilhões de reais).

Com relação aos resultados obtidos com a entrada de competidores, nota-se

que, se não fosse pela inclusão dos cenários 23 e 24, não se verificaria a viabilidade da expansão da malha ferroviária. Uma explicação para esse fato é que, ao considerar a entrada de novos competidores, o custo para aumento da captação nesse novo mercado mais competitivo não viabiliza a execução de altos valores de investimento. Nesse sentido, é plausível supor que restringir a análise a dez períodos consecutivos seja pouco para mensurar corretamente o equilíbrio entre a concessão de subsídios e a decisão por novos terminais.

No Gráfico 4, a seguir, nota-se que o aumento de custo devido à entrada de competidores no longo prazo é visível em todos os cenários simulados.

Outra informação importante é que, considerando a meta de transporte mais conservadora, é compreensível que o modelo não tenha optado pela construção de um novo terminal. Afinal, por almejar um volume menor, a área de captação natural não é tão impactada por novos entrantes. Isso é diferente, por exemplo, do comportamento que se observa no grupo 6 (meta agressiva), onde se nota um significativo salto de custo de transporte nos últimos anos do intervalo considerado.

Gráfico 4 – Evolução do custo médio¹ de transporte para o modelo competitivo por agrupamento de cenário.

Fonte: elaboração própria.

¹ Os valores foram normalizados para proteger eventuais informações competitivas dos dados reais.

6 CONCLUSÃO

Pela observação dos resultados analisados, conclui-se que a implantação da modelagem apresentada para definir a estratégia de atendimento da meta de transporte ferroviário no âmbito do tomador de decisão privado apresenta vantagens. Destaca-se, dentre estas, o fato de permitir incorporar o comportamento do mercado frente à entrada de novos competidores e refletir na escolha dos investimentos e nos eventuais impactos competitivos dessas novas soluções.

Apresentou-se um primeiro conjunto de cenários nos quais não há a entrada de competidores e este conjunto foi, então, comparado a um segundo conjunto de cenários semelhantes nos quais foram consideradas as variações de volume e de custo devido às novas soluções logísticas. Por meio dessa série de procedimentos, foi possível concluir que o modelo é capaz de mensurar corretamente estas ameaças quando da decisão pela implantação de novos terminais.

A modelagem apresentada é robusta o suficiente para assegurar confiabilidade nos resultados obtidos e, ao mesmo tempo, leve o suficiente para permitir análises rápidas e ajustes pontuais para a geração de diversos cenários. Tendo isso em vista, conclui-se que o estudo de sensibilidade do modelo trouxe importantes resoluções para o problema.

Por fim, considerando o aperfeiçoamento da modelagem, destacam-se os seguintes pontos para futuros aprofundamentos. Primeiramente, o uso de métrica para alocação de fluxos diferente do modelo simplificado “*winner takes all*”, para permitir que a demanda seja particionada entre as melhores opções de escoamento (em termos de custo) em algum modelo semelhante ao modelo gravitacional. Adicionalmente, pode ser interessante implementar uma lógica para previsão de crescimento nos nós produtores em resposta à melhoria da infraestrutura e à oferta de soluções de transporte mais interessantes do ponto de vista do produtor/exportador.

REFERÊNCIAS

- ABOOLIAN, R.; BERMAN, O.; KRASS, D. Competitive facility location and design problem. **European Journal of Operational Research**, v. 182, n. 1, p. 40-62, 2007.
- AMARAL, M.; ALMEIDA, M.; MORABITO, R. Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 19, n. 2, p. 717-732, 2012.
- BERESNEV, V. Branch-and-bound algorithm for a competitive facility location problem. **Computers & Operations Research**, v. 40, n. 8, p. 2062-2070, 2013.
- BILIR, C.; EKICI, S. O.; ULENGIN F. An integrated multi-objective supply chain network and competitive facility location model. **Computers & Industrial Engineering**, v. 108, p. 136-148, 2017.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Série histórica das safras**, 2017. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 1 jun. 2017.
- LOUREIRO, C. F. G. **Modeling investment options for multimodal transportation networks**. Tese (Ph.D.) – The University of Tennessee, 1996.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL (MTPA). **Corredores logísticos estratégicos: complexo de soja e milho**, 2017. Disponível em: <https://infraestrutura.gov.br/images/2017/05/Relatorio_Corredores_Logisticos_Volume1_VersaoI_Soja_Milho.pdf>. Acesso em: 25 dez. 2019.
- PLASTRIA F. Static competitive facility location: an overview of optimization approaches. **European Journal of Operational Research**, v. 129, n. 3, p. 461-470, 2001.
- REVELLE, C. The maximum capture or “sphere of influence” location problem: Hotelling revisited on a network. **Journal of Regional Science**, v. 26, n. 2, p. 343-358, 1986.
- SAIDANI, N.; CHU, F.; CHEN, H. Competitive facility location and design with reactions of competitors already in the market. **European Journal of Operational Research**, v. 219, n. 1, p. 9-17, 2012.
- MENDES, A. B. et al. **Avaliação da Competitividade da Hidrovia Tapajós-Teles Pires**. FINEP, 2012.

APÊNDICE A – RESULTADOS

Tabela 9 – Consolidação dos resultados para os cenários sem a entrada de competidores

(continua)

Cenário	Meta de captação ferroviária	Referência de investimento	Terminal de Sorriso como extensão	Custo médio total R\$/ton	Rotas com desconto (ano 10)	Rotas novos terminais (ano 10)	Novos terminais	Grupo
1	Conservadora	Nulo	Não se aplica	87,1	0	12	3	1
2	Conservadora	Real	Não se aplica	93,7	2	0	0	2
3	Conservadora	Real	Do terminal de Nobres	93,7	2	0	0	2
4	Conservadora	Real	Do terminal de Nova Mutum	93,7	2	0	0	2
5	Conservadora	Superestimado	Não se aplica	93,7	2	0	0	2
6	Conservadora	Superestimado	Do terminal de Nobres	93,7	2	0	0	2
7	Conservadora	Superestimado	Do terminal de Nova Mutum	93,7	2	0	0	2
8	Moderada	Nulo	Não se aplica	89,8	0	17	3	3
9	Moderada	Real	Não se aplica	97	6	0	0	4
10	Moderada	Real	Do terminal de Nobres	97	6	0	0	4
11	Moderada	Real	Do terminal de Nova Mutum	97	6	0	0	4
12	Moderada	Superestimado	Não se aplica	97	6	0	0	4
13	Moderada	Superestimado	Do terminal de Nobres	97	6	0	0	4
14	Moderada	Superestimado	Do terminal de Nova Mutum	97	6	0	0	4
15	Agressiva	Nulo	Não se aplica	92,9	3	20	3	5

Cenário	Meta de captação ferroviária	Referência de investimento	Terminal de Sorriso como extensão	Custo médio total R\$/ton	Rotas com desconto (ano 10)	Rotas novos terminais (ano 10)	Novos terminais	Grupo
16	Agressiva	Real	Não se aplica	99,8	3	20	1	6
17	Agressiva	Real	Do terminal de Nobres	99,8	3	20	1	6
18	Agressiva	Real	Do terminal de Nova Mutum	99,8	3	20	1	6
19	Agressiva	Superestimado	Não se aplica	100	10	0	0	7
20	Agressiva	Superestimado	Do terminal de Nobres	100	10	0	0	7
21	Agressiva	Superestimado	Do terminal de Nova Mutum	100	10	0	0	7

(continuação)

Fonte: elaboração própria.

Tabela 10 – Consolidação dos resultados para os cenários com entrada de competidores

(continua)

Cenário	Meta de captação ferroviária	Referência de investimento	Terminal de Sorriso como extensão	Custo médio total R\$/ton	Rotas com desconto (ano 10)	Rotas novos terminais (ano 10)	Novos terminais	Grupo
1	Conservadora	Nulo	Não se aplica	87,2	0	14	3	1
2	Conservadora	Real	Não se aplica	93,9	3	0	0	2
3	Conservadora	Real	Do terminal de Nobres	93,9	3	0	0	2
4	Conservadora	Real	Do terminal de Nova Mutum	93,9	3	0	0	2
5	Conservadora	Superestimado	Não se aplica	93,9	3	0	0	2
6	Conservadora	Superestimado	Do terminal de Nobres	93,9	3	0	0	2
7	Conservadora	Superestimado	Do terminal de Nova Mutum	93,9	3	0	0	2
8	Moderada	Nulo	Não se aplica	89,8	0	18	3	3
9	Moderada	Real	Não se aplica	96,9	7	0	0	4
10	Moderada	Real	Do terminal de Nobres	96,9	7	0	0	4
11	Moderada	Real	Do terminal de Nova Mutum	96,9	7	0	0	4
12	Moderada	Superestimado	Não se aplica	96,9	7	0	0	4
13	Moderada	Superestimado	Do terminal de Nobres	96,9	7	0	0	4
14	Moderada	Superestimado	Do terminal de Nova Mutum	96,9	7	0	0	4
15	Agressiva	Nulo	Não se aplica	93	3	20	3	5
16	Agressiva	Real	Não se aplica	100	11	0	0	6
17	Agressiva	Real	Do terminal de Nobres	100	11	0	0	6
18	Agressiva	Real	Do terminal de Nova Mutum	100	11	0	0	6
19	Agressiva	Superestimado	Não se aplica	100	11	0	0	6

Cenário	Meta de captação ferroviária	Referência de investimento	Terminal de Sorriso como extensão	Custo médio total R\$/ton	Rotas com desconto (ano 10)	Rotas novos terminais (ano 10)	Novos terminais	Grupo
20	Agressiva	Superestimado	Do terminal de Nobres	100	11	0	0	6
21	Agressiva	Superestimado	Do terminal de Nova Mutum	100	11	0	0	6
22	Conservadora	Subestimado	Não se aplica	93,9	3	0	0	2
23	Moderada	Subestimado	Não se aplica	96,3	0	18	1	7
24	Agressiva	Subestimado	Não se aplica	98,4	3	20	1	8

(continuação)

Fonte: elaboração própria.