UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE RIBEIRÃO PRETO DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO DAS ORGANIZAÇÕES

SAMIR KAZAN

Proposta de modelo para priorização de investimentos em infraestrutura de transporte de cargas: abordagem multicritério para problemas de fluxos em rede

Orientador: Prof. Dr. Márcio Mattos Borges de Oliveira

RIBEIRÃO PRETO - SP 2013

Prof. Dr. João Grandino Rodas Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Sigismundo Bialoskorski Neto Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto

> Prof. Dra. Sônia Valle Walter Borges de Oliveira Chefe do Departamento de Administração

SAMIR KAZAN

Proposta de modelo para priorização de investimentos em infraestrutura de transporte de cargas: abordagem multicritério para problemas de fluxos em rede

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Administração das Organizações.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Mattos Borges de Oliveira

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.

Kazan, Samir

Proposta de modelo para priorização de investimentos em infraestrutura de transporte de cargas: abordagem multicritério para problemas de fluxos em rede. Ribeirão Preto, 2013. 213 p.; 29,7 cm

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração das Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Administração das Organizações.

Orientador: Oliveira, Márcio Mattos Borges de

- 1. Infraestrutura de transporte. 2. Transporte de cargas.
- 3. Multimodalidade. 4. Análise de decisão multicritério.
- 5. Programação matemática. 6. Problema de fluxos em rede.

KAZAN, Samir. Proposta de modelo para priorização de investimentos em infraestrutura de transporte de cargas: abordagem multicritério para problemas de fluxos em rede

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Administração das Organizações.

Aprovado	em:
----------	-----

Banca Examinadora

Prof. Dr.	Instituição:
Julgamento:	Assinatura:
Prof. Dr.	Instituição:
Julgamento:	Assinatura:
Prof. Dr.	Instituição:
Julgamento:	Assinatura:

RESUMO

KAZAN, S. Proposta de modelo para priorização de investimentos em infraestrutura de transporte de cargas: abordagem multicritério para problemas de fluxos em rede. 2013, 107 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Administração das Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

A relevância da infraestrutura de transporte para incrementos em produtividade, induzindo ao desenvolvimento socioeconômico de determinada região é amplamente reconhecida. O Brasil, no entanto, apresenta sérias deficiências em relação à sua infraestrutura de transporte, oriundas de seu desenvolvimento histórico e da redução de níveis de investimentos públicos no setor nas últimas décadas. Estas deficiências traduzem-se em grande concentração no modal rodoviário para o transporte de cargas, menos eficiente do que os modais ferroviário e hidroviário, resultando em reduzida competitividade das organizações nacionais. Neste contexto, objetivou-se no presente trabalho a proposição de um modelo para avaliação e seleção de investimentos em infraestrutura de transporte de cargas, considerando-se seu caráter multidimensional. Para isso, foi proposta metodologia integrando os conceitos de análise de decisão multicritério e de programação matemática, representados pela teoria de utilidade multiatributo (Multi-Attribute Utility Theory - MAUT) e por problema de otimização de fluxos em rede (Minimum Cost Network Flow Problem - MCNFP), respectivamente. No desenvolvimento do modelo foram contemplados critérios de avaliação referentes às dimensões de análise financeira, operacional e ambiental. Posteriormente, foi considerada a aplicação de versões do modelo proposto com diferentes números de períodos de análise em caso ilustrativo, representativo da rede de transporte disponível e planejada da região Norte do Brasil. A aplicação das diversas versões do modelo proposto, de forma geral, apresentou resultados compatíveis com as teorias relacionadas à avaliação deste problema de decisão, incluindo indução à multimodalidade. Algumas versões do modelo apresentaram violações em algumas de suas restrições. Estes resultados adversos não foram plenamente eliminados, devido a limitações das ferramentas adotadas para aplicação. No entanto, foi possível a correção manual destas violações, resultando em soluções viáveis que, apesar de não serem consideradas ótimas, são mais completas do que soluções obtidas por meio de metodologias unidimensionais de análise. Por fim, foram apresentadas recomendações para condução de trabalhos futuros visando eliminação dos resultados adversos do modelo proposto e complementação de sua análise.

Palavras-chave: Infraestrutura de transporte; transporte de carga; multimodalidade; análise de decisão multicritério; programação matemática; problema de fluxos em rede.

ABSTRACT

KAZAN, S. A proposed model for prioritizing investments in freight transport infrastructure: multi-criteria approach for network flow problems. 2013, 107 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Administração das Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

The role of transport infrastructure in productivity increases leading to regional social-economic development is widely recognized. Brazil, however, has serious deficiencies in its transport infrastructure, rooted in the country's historical development and in the recent decades' reduction of public investment in the sector. These deficiencies can be observed in Brazil's strong focus on roads for cargo transportation, which besides being less efficient than rail and waterways, results in reduced competitiveness of national enterprises. In this context, the aim of this work was to propose a model for evaluating and selecting investments in freight's transportation infrastructure, considering its multidimensional character. It was proposed a methodology integrating the concepts of multi-criteria decision analysis and mathematical programming, represented by the Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) along with the Minimum Cost Network Flow Problem (MCNFP). The developed model included financial, operational and environmental analysis evaluation criteria. Subsequently, this study applied the proposed model into a case study of the transportation network, available and planned, of the Northern region of Brazil. Overall, the application of various versions of the proposed model yielded results consistent with related evaluation and decision making theories, including induction of multimodality. Some versions of the model presented some violations of its restrictions. These adverse results were not fully eliminated due to the limitations of the application tools utilized. It was possible, however, to manually correct these violations and obtain viable solutions that, while cannot be considered optimal, are more complete than those obtained by single dimension analysis. Finally, recommendations were made for future studies aiming at eliminating the proposed model's adverse outcomes, and complementing its analysis.

Keywords: Transport infrastructure; freight transportation; multimodality; multi-criteria decision analysis; mathematical programming; network flow problems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Interface do aplicativo PSP incorporada ao aplicativo Excel	70
Figura 2 – Rede dutoviária do Brasil	73
Figura 3 – Rede ferroviária do Brasil	74
Figura 4 – Rede hidroviária e de cabotagem do Brasil	75
Figura 5 – Rede rodoviária do Brasil	76
Figura 6 – Extrato das anotações para o mapeamento da rede de transporte	77
Figura 7 – Extrato do mapeamento da rede de transporte na região Norte do Brasil	78
Figura 8 – Áreas demarcadas para preservação no Brasil	92
Figura 9 – Visão parcial do modelo proposto: variáveis de fluxo	94
Figura 10 – Visão parcial do modelo proposto: restrições de variáveis de intervenção	102
Figura 11 – Visão parcial do modelo proposto: função objetivo	104
Figura 12 – Configurações finais do algoritmo de resolução adotado	106
Figura 13 – Simbologia para representação do fluxo de produtos na rede de transporte 1/2	109
Figura 14 – Simbologia para representação do fluxo de produtos na rede de transporte 2/2	110
Figura 15 - Simbologia para representação das estruturas selecionadas para intervenção na	a rede
de transporte	111
Figura 16 – Fluxo de produtos do modelo v4PmF	117
Figura 17 – Fluxo de produtos do modelo v4PmT	118
Figura 18 – Estruturas de intervenção do modelo v4PmF	119
Figura 19 – Estruturas de intervenção do modelo v4PmT	120
Figura 20 – Estruturas de intervenção do modelo v4PmF, sem correção de resultados	121
Figura 21 - Fluxo de produtos do modelo v3PmFa	124
Figura 22 – Fluxo de produtos do modelo v3PmFa-sI	125
Figura 23 – Fluxo de produtos do modelo v3PmTa	126
Figura 24 – Fluxo de produtos do modelo v3PmTa-sI	127
Figura 25 – Fluxo de produtos do modelo v3PmCOa	128
Figura 26 – Fluxo de produtos do modelo v3PmCOa-sI	129
Figura 27 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmFa	130
Figura 28 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmTa	131

Figura 29 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmCOa	132
Figura 30 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmTa, sem correção de resultados	134
Figura 31 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmCOa, sem correção de resultados	135
Figura 32 – Fluxo de produtos do modelo v3F	137
Figura 33 – Estruturas de intervenção do modelo v3F	138
Figura 34 – Estruturas de intervenção do modelo v3F, sem correção de resultados	139
Figura 35 – Fluxo de produtos do modelo v3PmFb	141
Figura 36 – Fluxo de produtos do modelo v3PmTb	142
Figura 37 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmFb	143
Figura 38 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmTb	144
Figura 39 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmFb, sem correção de resultados	145
Figura 40 – Fluxo de produtos do modelo v2PmF	148
Figura 41 – Fluxo de produtos do modelo v2PmF-sI.	149
Figura 42 – Fluxo de produtos do modelo v2PmT	150
Figura 43 – Fluxo de produtos do modelo v2PmT-sI.	151
Figura 44 – Fluxo de produtos do modelo v2PmCO	152
Figura 45 – Fluxo de produtos do modelo v2PmCO-sI	153
Figura 46 – Estruturas de intervenção do modelo v2PmF	154
Figura 47 – Estruturas de intervenção do modelo v2PmT	155
Figura 48 – Estruturas de intervenção do modelo v2PmCO	156
Figura 49 – Fluxo de produtos do modelo v2Fc1	160
Figura 50 – Fluxo de produtos do modelo v2Fc2	161
Figura 51 – Estruturas de intervenção do modelo v2Fc1	162
Figura 52 – Estruturas de intervenção do modelo v2Fc2	163
Figura 53 – Estruturas de intervenção do modelo v2Fc1, sem correção de resultados	166
Figura 54 – Estruturas de intervenção do modelo v2Fc2, sem correção de resultados	167

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Matriz de transportes: comparativo internacional 2005 (em % do total)	36
Gráfico 2 – Porcentagem de florestas destruídas com base em 1992 e como função da distânci	ia
de rodovias pavimentadas e não pavimentadas na Amazônia Brasileira	49
Gráfico 3 – Custo com frete do modal ferroviário	85
Gráfico 4 – Custo com frete do modal rodoviário	86
Gráfico 5 – Custo com frete em hidrovias	86
Gráfico 6 – Custo com frete em cabotagem	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos comparativos entre modais de transporte	38
Tabela 2 – Fretes para os diferentes modais de transporte (em R\$/tonelada)	38
Tabela 3 – Comparativo de custo de frete de soja no estado do Mato Grosso (em R\$/ton.km)	39
Tabela 4 – Velocidades medias por modal de transporte (km/h)	40
Tabela 5 – Visão parcial de dados do PNLT com foco em velocidade de vias	41
Tabela 6 – Capacidades de transporte de hidrovias do Brasil	42
Tabela 7 – Características operacionais relativas por modal de transporte	44
Tabela 8 – Custos de implantação de projetos de investimento em transporte (AFFUSO;	
MASSON; NEWBERY, 2003)	45
Tabela 9 – Custos de implantação de projetos de investimento em transporte (FAJARDO, 200	06)
	45
Tabela 10 – Custos de implantação de projetos de investimento em transporte (PETERSEN;	
TAYLOR, 2001)	46
Tabela 11 – Visão parcial de dados do PNLT com foco em custo de implantação de projetos d	le
investimento em transporte	46
Tabela 12 – Visão parcial de dados do PNLT com foco em arcos sujeitos a intervenções	47
Tabela 13 – Emissão de CO ₂ /TKU por modo de transporte (em g)	47
Tabela 14 – Zonas de degradação no entorno de infraestrutura de transporte (em km)	
Tabela 15 – Notação para o problema <i>multicommodity</i> tempo-espaço capacitado de fluxos em	
rede	59
Tabela 16 – Simulações de dimensionamento do modelo para 45 produtos e 4 períodos	65
Tabela 17 – Notação para o problema MOMTSFCNF proposto	67
Tabela 18 – Fluxo de veículos por nível de serviço rodoviário	80
Tabela 19 – Resultados da PNT 2011	81
Tabela 20 – Fatores de redução da velocidade média em função do nível de serviço	82
Tabela 21 – Valores projetados de investimentos em infraestrutura de transporte para a região	
Norte do Brasil (em bilhões de R\$)	88
Tabela 22 – Cenário otimista para área desmatada na implantação de infraestrutura de transpo	rte
	90

Tabela 23 – Cenário pessimista para área desmatada na implantação de infraestrutura de	
transporte	90
Tabela 24 – Notação para os modelos propostos	100
Tabela 25 – Cenários adotados para ponderação dos itens de avaliação	103
Tabela 26 – Dimensionamento de versões do modelo proposto	105
Tabela 27 – Codificação das versões do modelo proposto	113
Tabela 28 – Resultados sumarizados de modelos com 4 períodos quadrienais	116
Tabela 29 – Resultados sumarizados de modelos preliminares com 3 períodos quadrienais	, antes
de correção de erro em formulação	123
Tabela 30 – Resultados sumarizados de modelo final com 3 períodos quadrienais	136
Tabela 31 – Resultados sumarizados de modelos com 3 períodos quadrienais, após correça	ão de
erro em formulação	140
Tabela 32 – Resultados sumarizados de modelos preliminares com 2 períodos quadrienais	147
Tabela 33 – Resultados sumarizados de modelos finais com 2 períodos quadrienais	158
Tabela 34 – Participação modal no fluxo de produtos de modelos finais com 2 períodos	
quadrienais (em milhões de TKU e em porcentagem do total)	164

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Produtos da base de dados do PNLT classificados como granel vegetal	82
Quadro 2 – Produtos da base de dados do PNLT classificados como granal sólido	82
Quadro 3 – Produtos da base de dados do PNLT classificados como granel líquido	83
Quadro 4 – Produtos da base de dados do PNLT classificados como minério	83
Quadro 5 – Produtos da base de dados do PNLT classificados como outros produtos	83
Quadro 6 – Produtos da base de dados do PNLT classificados como carga geral	83

LISTA DE SIGLAS

AHIMOC Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental AHIMOR Administração das Hidrovias da Amazônia Oriental

AHITAR Administração das Hidrovias do Tocantins-Araguaia

AHP Analytic Hierarchic Process

AIMMS Advanced Interactive Multidimensional Modeling System

ANP Analytic Network Process

ANTAQ Agência Nacional de Transportes Aquáticos
ANTT Agência Nacional de Transportes Terrestres

AP Assignment Problem
CBA Cost Benefit Analysis

CD Compact Disc

CNF Capacitated Network Flow problem

CPLEX IBM ILOG CPLEX Optimization Studio

CSCMP Council of Supply Chain Management Professionals

CVRD Companhia Vale do Rio Doce

DEA Data Envelopment Analysis

EFES Economic Forecasting Equilibrium System

ELECTRE ELimination Et Choix Traduisant la REalité (ELimination and Choice

Expressing REality)

EUA Estados Unidos da América FCNF Fixed Charge Network Flow

FIPE Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas

GIS Geographic Information System

HCM Highway Capacity Manual

HDD Hard Disk Drive

KP Knapsack Problem
LP Location Problem

MATLAB Matrix Laboratory

MAUT Multi Attribute Utility Theory

MCDA Multi-Criteria Decision Analysis

MCNF Minimum Cost Network Flow problem

MOCO Multi Objective Combinatorial Optimization

MOMTSFCNF Multi Objective Multicommodity Time-Space Fixed Charge Network Flow

problem

MTSFCNF Multicommodity Time-Space Fixed Charge Network Flow problem

NFP Network Flow Problem

ND Network Design

PAC Programa de Aceleração do Crescimento

PL Programação Linear

PLI Programação Linear Inteira

PLIM Programação Linear Inteira Mista

PNL Programação Não Linear

PNLI Programação Não Linear Inteira

PNLT Plano Nacional de Logística e Transportes

PNT Pesquisa Nacional de Tráfego

PO Pesquisa Operacional

PPP Parceria Público-Privada

PROMETHEE Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations

PSP Premium Solver Platform

RAM Random Access Memory

SIFRECA Sistema de Informação de Fretes

S.A. Sociedade Anônima

Selic Sistema Especial de Liquidação e de Custódia

SPP Shortest Path Problem

SSD Solid State Drive

STP Spanning Tree Problem

TI Terras Indígenas

TIR Taxa Interna de Retorno

TKU Toneladas-quilômetros úteis

TODIM TOmada de Decisão Interativa Multicritério

TOPSIS Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

TP Transportation/Transshipment Problem

TRB Transportation Research Board

TSFCNF Time-Space Fixed Charge Network Flow

TSP Travelling Salesperson Problem

UCPI Unidade de Conservação de Proteção Integral

UCUS Unidade de Conservação de Uso Sustentável

UNF Uncapacitated Network Flow problem

VIKOR VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (Multi-Criteria

Optimization and Compromise Solution)

VPL Valor Presente Líquido

WEF World Economic Forum

LISTA DE SÍMBOLOS

CO Monóxido de carbono

CO₂ Dióxido de carbono

NO_x Óxidos de nitrogênio

 N_2O Óxido nitroso

SO₂ Dióxido de enxofre

SUMÁRIO

1	IN	TRODUÇAO	20
	1.1	Problema de pesquisa	24
	1.2	Objetivos	24
	1.3	Justificativa	26
	1.4	Estrutura do trabalho	27
2	RF	EVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
	2.1	Desenvolvimento econômico e infraestrutura de transporte	28
	2.2	Setor público e infraestrutura de transporte	31
	2.3	Logística	34
	2.3	3.1 Transportes, modais e multimodalidade	35
	2.4	Processo de tomada de decisão	50
	2.4	1.1 Métodos de análise de decisão multicritério	50
	2.5	Programação matemática e problemas de transporte	53
	2.5	5.1 Problemas de fluxos em rede	57
3	\mathbf{M}	ÉTODO	61
	3.1	Coleta e tratamento de dados	61
	3.2	Definição do modelo e das ferramentas de análise	64
	3.2	2.1 Definição do modelo	64
	3.2	2.2 Definição das ferramentas de análise	69
	3.3	Tratamento de dados	71
	3.3	3.1 Estrutura da rede de transporte	71
	3.3	3.2 Capacidade viária	78
	3.3	3.3 Balanço de fluxos dos nós da rede	82
	3.3	3.4 Custo com fretes	85
	3.3	3.5 Custo com investimentos	87
	3.3	3.6 Tempo de viagem	88
	3.3	3.7 Emissão de CO ₂	89
	3.3	3.8 Área de desmatamento	89
	3.3	3.9 Intersecção com áreas de preservação	91
	3.4	Desenvolvimento e aplicação do modelo	93
	3.4	1.1 Mensuração dos impactos das variáveis de fluxo	96
	3.4	1.2 Mensuração dos impactos das variáveis de intervenção	98

	3.4	.3 Modelos preliminares e final	99
	3.4	.4 Aplicação do modelo	
4	RE	SULTADOS	108
	4.1	Modelos com 7 períodos quadrienais	114
	4.2	Modelos com 4 períodos quadrienais	115
	4.3	Modelos com 3 períodos quadrienais	122
	4.4	Modelos com 2 períodos quadrienais	146
5	CO	ONCLUSÃO	168
6	RE	COMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	170
R	EFER	RÊNCIAS	173
A	NEXC	O A – Registros de informações do aplicativo PSP	186

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura de transporte tem papel determinante no desenvolvimento socioeconômico de um país. Um sistema de transportes eficiente proporciona reduções em tempo de viagens e em custos de transporte (CRAFTS, 2009), ampliando o acesso ao consumo de produtos e serviços (PADULA, 2007).

Melhorias em transporte afetam o movimento de bens e pessoas numa região, possibilitando aglomerações produtivas em regiões mais competitivas (MCCANN; SHEFER, 2004). Uma infraestrutura de transporte inadequada traz impactos negativos para acessibilidade e mobilidade, resultando em exclusão social, baixa segurança e desvantagens econômicas (KEELING, 2008).

Diversos autores estudaram as relações entre investimentos em infraestrutura de transporte, produtividade e crescimento econômico, como Fedderke e Bogetic (2009), Agenor (2008), Banister e Berechman (2001), Crafts (2009), Hong et al. (2011), Démurger (2001) e Khadaroo e Seetanah (2009). Todos os supracitados concluíram por uma influência positiva, discordando, contudo, da magnitude desta influência.

O Brasil, país de dimensões continentais, apresenta grande dependência de infraestrutura de transportes para sua integração e desenvolvimento socioeconômico regional.

No entanto, o desenvolvimento da infraestrutura de transportes no Brasil, devido a uma série de fatores, como "a pobreza do mercado interno [...], o lento processo de integração do país, e as profundas desigualdades inter-regionais de desenvolvimento" (GALVÃO, 1996, p. 206-207), ocorreu de forma não integrada, resultando em uma matriz de transportes concentrada no modal rodoviário (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2008; BRASIL, 2007; COSTA; PADULA, 2007; ERHART; PALMEIRA, 2006), em detrimento de outros modais menos custosos, como o ferroviário, hidroviário e dutoviário (PADULA, 2007).

Figueiredo, Fleury e Wanke (2003 apud WANKE; FLEURY, 2006) identificam a escolha dos modais de transporte como a principal decisão relativa ao transporte de cargas, seja na definição de políticas públicas de investimento em infraestrutura ou na prática gerencial de empresas privadas e estatais.

A comparação internacional das matrizes de utilização de transporte entre países de grande extensão territorial explicita a maior concentração no modal rodoviário na matriz de transporte do Brasil. No Brasil, o modal rodoviário condensa cerca de 60% do transporte de cargas, enquanto os modais ferroviário e hidroviário respondem por 26% e 14% do transporte, respectivamente. A Rússia, o Canadá e os Estados Unidos da América (EUA) apresentam maior concentração de transporte no modal ferroviário, com 81%, 46% e 43% respectivamente. Destes três países, o Canadá utiliza o modal rodoviário em maior proporção (43%), seguido pelos EUA (32%) e pela Rússia (8%). A Austrália concentra 53% de seu transporte de cargas no modal rodoviário, porém, o modal ferroviário tem participação expressiva nesta movimentação com 43% (BRASIL, 2007).

O setor público tem papel fundamental na promoção de iniciativas para incremento da infraestrutura de transportes, seja através de investimentos públicos diretos ou da indução da participação do setor privado, com a implantação das Parcerias Público-Privadas (PPP), oferta de linhas de financiamentos, regulamentação de contratos de exploração, entre outras ações (FRISCHTAK, 2008).

Outros autores destacaram a importância estratégica do Estado na promoção de políticas públicas por meio, por exemplo, do provimento de infraestrutura de transportes, estimulando e complementando as iniciativas do setor privado, sugerindo a transição da adoção da teoria econômica neoliberal predominante a partir da década de 1990, que defende atuação mínima do Estado, para a teoria econômica do novo-desenvolvimentismo (BRESSER-PEREIRA; GALA, 2010; ESTACHE, 2001; PADULA, 2007).

Reflexo desta política neoliberal, das restrições fiscais enfrentadas pelo setor público e da redução de sua capacidade de formulação, planejamento e execução de políticas públicas, evidencia-se nas últimas décadas uma redução nos investimentos públicos em infraestrutura de transportes no Brasil (COSTA; PADULA, 2007; FRISCHTAK, 2008), gerando degradação de suas condições e ineficiências ainda maiores relacionadas ao setor.

Todas essas ineficiências colocam o transporte entre os principais componentes do chamado "Custo Brasil", que compreende "[...] o conjunto de fatores que prejudicam a competitividade das empresas do país diante de empresas situadas em outros países" (MANCUSO, 2007, p. 137). Corroborando esta afirmação, o *World Economic Forum* (WEF) publicou relatório de competitividade global indicando que o Brasil ocupa a 64ª posição no

ranking global de infraestrutura, englobando itens de transporte, energia e telecomunicações. Analisando apenas os itens de infraestrutura de transporte o país ocupa posições ainda piores no ranking: 118° em qualidade de rodovias, 91° em qualidade de ferrovias, 130° em qualidade de infraestrutura portuária e 122° em qualidade de infraestrutura de transporte aéreo (WORLD ECONOMIC FORUM, 2011).

Conforme evidenciado por Araújo (2006), face às restrições orçamentárias enfrentadas pelo setor público, um planejamento de longo prazo de investimentos em infraestrutura de transporte no Brasil se faz necessário, considerando-se suas características regionais e objetivando minimizar as ineficiências atualmente observadas. Tal planejamento possibilitaria incremento da competitividade nacional e, consequentemente, desenvolvimento socioeconômico com maior integração regional.

Em consonância com o exposto acima, o governo brasileiro tem realizado esforços para adequação da infraestrutura de transporte do Brasil. No ano de 2007 foi apresentado o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT), que representou uma "retomada do planejamento de médio e longo prazo no setor" (BRASIL, 2007, p. 1). Compreendeu um extenso estudo da situação atual do setor de transportes do país, identificando e caracterizando suas principais ineficiências, suas regiões socioeconômicas, infraestrutura de transportes e oportunidades de melhoria. Este trabalho resultou na proposição de programa de ações e de investimentos em projetos em infraestrutura de transportes em um horizonte temporal de 15 anos (2008-2023). Alguns exemplos de projetos de infraestrutura de transporte considerados na análise incluem pavimentação e restauração de rodovias; construção de malha ferroviária; e recuperação, ampliação e construção de portos hidroviários.

Também em 2007 o governo brasileiro lançou o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) que, segundo o governo federal, previa "o planejamento e execução de grandes obras de infraestrutura social, urbana, logística e energética do país, contribuindo para o seu desenvolvimento acelerado e sustentável" (BRASIL, 2012b). No ano de 2011 foi anunciada a segunda fase do PAC, com a disponibilização de maior volume de recursos para execução das obras estruturantes do país.

Mais recentemente, grande número de reportagens relacionadas a conjuntos de ações e investimentos visando desenvolvimento da infraestrutura de transportes no país vêm sendo veiculadas nas diversas mídias. Como exemplos, temos as publicações referentes ao anúncio do

Plano Nacional de Logística Integrada, que prevê investimentos de R\$ 90 bilhões em 30 anos para o setor de transporte (CABRAL, 2012; CRUZ; AMORA, 2012; OTTA, 2012).

De acordo com Frischtak (2008), no entanto, apesar do PAC representar uma melhoria nas projeções de investimentos no setor de transporte, esta se mostra ainda insuficiente. Segundo ele, o PAC "[...] não tem por referência as necessidades da logística de transporte no país, o equilíbrio entre os modais e sua economicidade relativa" (FRISCHTAK, 2008, p. 330).

O mesmo autor continua avaliando a relevância do PNLT, mais amplo e integrado que o PAC e com perspectiva temporal mais adequada para a transformação necessária para o setor. Questiona, porém, sua eficácia devido a dois fatores considerados ausentes ao Ministério dos Transportes: necessidade de força política para concretização das ações propostas e disponibilidade de memória, acumulação de recursos e capacidade de execução (FRISCHTAK, 2008).

Como agravante, a avaliação dos impactos de investimentos públicos em infraestrutura de transporte caracteriza-se por sua complexidade, devido à quantidade de variáveis relacionadas e à multiplicidade de objetivos, por vezes conflitantes, dos diferentes grupos de interesse. Ademais, esta avaliação envolve critérios tanto quantitativos quanto qualitativos, estes últimos de difícil mensuração, e a ponderação da relevância de cada critério caracteriza-se por alto grau de subjetividade.

Outra dificuldade, Costa, D. e Padula (2007) argumentam, é que os mesmos fatores que contribuem para a redução dos investimentos públicos em infraestrutura de transportes também tornam a decisão de alocação de recursos mais sujeita a questões políticas em detrimento de questões técnicas e político-estratégicas.

Entre os métodos existentes para avaliação de projetos de investimento, o método de análise custo/benefício (*Cost/Benefit Analysis* – CBA) é um dos mais difundidos. Métodos unidimensionais de avaliação de projetos de investimento, como o CBA, não abrangem, entretanto, a natureza multidimensional dos projetos de investimento em infraestrutura de transporte. Para superar a limitação dos métodos unidimensionais, diversos autores recomendam a adoção de métodos de análise de decisão multicritério (*Multi-Criteria Decision Analysis* – MCDA) (CALISKAN, 2006; GAMPER; TURCANU, 2007; INIESTRA; GUTIERREZ, 2009; TENG; TZENG, 1996; TSAMBOULAS, 2007).

Prova da relevância desta metodologia traduz-se no elevado e crescente número de publicações relacionados à MCDA, com alguns exemplos a seguir. Bellos et al. (2010), Gamper e Turcanu (2007) e Medaglia et al. (2008) abordaram a aplicação de MCDA no setor público. Ho (2008) e Ehrgott e Gandibleux (2000) desenvolveram revisões bibliográficas com foco em MCDA e Carazo et al. (2011), Gabriel et al. (2006) e Yu et al. (2010) pesquisaram sua aplicação para seleção de projetos de investimento. Caliskan (2006), Iniestra e Gutierrez (2009), Macêdo et al. (2010), Silva, R. B. e Netto (2010), Teng e Tzeng (1996) e Tsamboulas (2007) desenvolveram estudos sobre adoção de MCDA na avaliação de projetos de investimentos específicos em transporte.

1.1 Problema de pesquisa

Face ao exposto acima, o problema de pesquisa que o presente trabalho pretende endereçar é apresentado a seguir:

• Como determinar quais projetos de investimento em infraestrutura de transporte de cargas devem ser selecionados e priorizados e qual deve ser seu cronograma de implantação dentro de uma perspectiva temporal de longo prazo, considerando recursos limitados, que promovam maiores benefícios em suas várias dimensões de análise?

1.2 Objetivos

O presente estudo apresenta como objetivo geral a proposição de modelo para seleção e priorização de projetos de investimentos em infraestrutura de transporte de cargas em perspectiva temporal de longo prazo, contemplando avaliação de seus impactos multidimensionais.

Como objetivos específicos o trabalho propõe:

- identificar e propor as dimensões e os respectivos critérios de avaliação de desempenho, para os objetivos de investimentos em projetos de infraestrutura de transporte de cargas;
- identificar e propor formas de mensuração do desempenho dos critérios de avaliação propostos para análise dos impactos decorrentes da seleção e implantação de projetos de investimento em infraestrutura de transporte de cargas;
- desenvolver modelo matemático contemplando uma rede de transporte multimodal, representada por um conjunto de nós e arcos e incluindo uma configuração em estado inicial e suas possibilidades de expansões, integrada a uma matriz origem/destino, representada por locais de oferta e de demanda de diversos tipos de produtos, que deverão ser distribuídos pela rede de transporte multimodal;
- desenvolver modelo de Programação matemática Linear Inteira Mista (PLIM¹), incorporando métodos de análise multicritério em sua função objetivo, sujeito a restrições de disponibilidade de recursos e de capacidades de fluxos dos arcos, representando as relações entre investimentos em infraestrutura de transporte e os fluxos de produtos entre locais de produção e de consumo, para avaliação dos impactos multidimensionais da implantação de projetos de investimento em infraestrutura de transporte de carga;
- formular o modelo como uma extensão do problema clássico de otimização de mínimo custo de fluxos em rede (Minimum Cost Network Flow MCNF²);
- desenvolver um caso ilustrativo de aplicação prática do modelo proposto, visando identificar sua efetividade para resolução do problema de seleção, priorização e definição de cronograma de implantação de projetos de investimento em infraestrutura de transporte de cargas.

_

¹ Maiores detalhamentos desta metodologia serão fornecidos na seção 2 do presente estudo, que abordará o seu referencial teórico.

² Maiores detalhamentos deste tipo de problema serão fornecidos nas seções 2 e 3 do presente estudo, que abordarão o referencial teórico e a metodologia proposta, respectivamente.

1.3 Justificativa

As inúmeras deficiências em infraestrutura de transporte encontradas no Brasil, conforme exposto na introdução deste trabalho, produzem impactos negativos na competitividade de suas instituições. Por outro lado, trazem oportunidades para o estudo de formas mais eficientes e eficazes de definição de políticas públicas para o setor. Neste contexto, podemos incluir a discussão de alternativas metodológicas para auxiliar a tomada de decisão de alocação dos escassos recursos públicos entre as alternativas de ações visando melhorias no sistema de transporte nacional.

Dado o caráter multidimensional dos impactos da infraestrutura de transporte em sua região de influência, a adoção de metodologia de avaliação multicritério no processo decisório que resultará em um programa de ações para o setor se mostra adequada. Ainda, conforme Hoffman e Ralphs (2011), no atual ambiente complexo e competitivo a opção entre a adoção de métodos tradicionais de planejamento ou de métodos que utilizam modelos matemáticos de maior complexidade para definição de um curso ótimo de ações pode determinar a sobrevivência das organizações.

Assim, o desenvolvimento de modelo para seleção, priorização e definição de cronograma de implantação de projetos de investimento em infraestrutura de transporte de cargas apoiado em técnicas de análise de decisão multicritério e de programação matemática pode auxiliar a confecção de políticas públicas para o setor, promovendo o desenvolvimento da região compreendida na análise e incrementando a competividade de suas organizações.

A existência de diversos estudos referentes à aplicação do método de PLIM para resolução dos problemas de mínimo custo de fluxos em rede (FAJARDO, 2006; HENNINGSSON; KARLSSON; RÖNNQVIST, 2006; IDZIKOWSKI et al., 2010; KLEEMAN et al., 2007; MURIEL; MUNSHI, 2004; ZHU et al., 2011), similares à metodologia aqui proposta, permite concluir que o presente trabalho é exequível.

Para o desenvolvimento do caso ilustrativo de aplicação do modelo proposto será necessária coleta de um grande volume de informações referentes, por exemplo, à uma rede de transportes multimodal (nós e arcos, sequenciamento, extensões e capacidades dos arcos, além de outras características) e à uma matriz origem/destino representando os nós de oferta e de

demanda da rede de transportes. Felizmente, no contexto do desenvolvimento do PNLT (BRASIL, 2007), o governo brasileiro compilou e disponibilizou uma extensa base de dados que dispõe da grande parcela das informações necessárias e, portanto, tornando oportuno o desenvolvimento do caso ilustrativo proposto.

Por fim, e de acordo com a constatação do autor, a aplicação integrada de métodos multicritérios e de técnicas de programação matemática linear inteira mista para resolução do tipo de problema proposto neste trabalho, o MCNF, foi pouco explorado no meio acadêmico, configurando-se, portanto, uma importante contribuição acadêmica do presente estudo.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente plano de pesquisa está estruturado da seguinte forma: (1) introdução, contemplando o problema de pesquisa, seus objetivos e as justificativas para condução do estudo; (2) referencial teórico, discorrendo sobre a produção científica nas áreas de conhecimento relacionadas ao tema; (3) metodologia, com classificação da pesquisa e descrição dos métodos empregados para coleta e tratamento de dados, desenvolvimento do modelo e sua aplicação; (4) resultados obtidos com a aplicação do modelo proposto; (5) conclusão, sumarizando os principais resultados alcançados; (6) recomendações para trabalhos futuros; e (7) apresentação das referências do estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão apresentadas as contribuições científicas sobre os principais tópicos que serão abordados no presente trabalho, com a intenção de auxiliar o entendimento do problema e identificação das metodologias alternativas para suporte ao desenvolvimento do presente estudo.

Inicia-se a seção com discussão sobre desenvolvimento econômico e produtividade, objetivando identificar a relevância de infraestrutura de transporte. Em seguida, é abordado o papel do setor público no provimento de infraestrutura de transporte, incluindo algumas ações recentes e a crescente participação do setor privado. As teorias referentes à área de logística, destacando a função transporte e seus desdobramentos, são apresentadas.

Posteriormente, discorre-se sobre as teorias do processo de tomada de decisão, com foco em problemas de decisão com objetivos múltiplos e a adoção de metodologias para análise de decisão multicritério. Por fim, são abordados tópicos de programação matemática e sua aplicação em problemas de transporte, especialmente em problemas de fluxos em rede.

2.1 Desenvolvimento econômico e infraestrutura de transporte

Conforme antecipado na introdução deste trabalho, o provimento de infraestrutura física adequada é reconhecido por diversos autores como um fator que proporciona ganhos em produtividade. Segundo Démurger (2001), além de estimular transações comerciais resultando em externalidades positivas para firmas e indústrias de uma determinada região, uma infraestrutura física adequada facilita a adoção de novas tecnologias, gerando progressos técnicos e, consequentemente, crescimento econômico.

Ainda, em seu estudo objetivando identificar as relações entre infraestrutura e crescimento econômico utilizando dados em painel de 24 províncias chinesas entre os anos de 1985 a 1998, Démurger (2001) conclui que a disponibilidade de infraestrutura apropriada potencializa transformações em áreas interioranas permitindo seu crescimento econômico, servindo como um importante instrumento para redução de desigualdades regionais. Os resultados do estudo da

autora permitiram sua conclusão pelos impactos positivos de infraestrutura no crescimento econômico da China, especialmente de infraestrutura de transporte. Outro autor que destacou que uma infraestrutura de transportes de qualidade é capaz de reduzir desigualdades sociais foi Keeling (2008), acrescentando sua influência na redução da pobreza e no incremento de competitividade.

Utilizando a mesma metodologia de dados em painel, Fedderke e Bogetic (2009) estudaram a relação entre infraestrutura e crescimento para o caso da África do Sul. Os autores propõem que investimentos em infraestrutura induzem investimentos privados na medida em que reduzem os custos de produção e abrem possibilidades de novos mercados. Desenvolvem estudo contemplando 19 medidas de infraestrutura e identificam que infraestrutura, notadamente de transporte, impacta positivamente de forma direta a remuneração do trabalho e de forma indireta os fatores de produtividade totais.

Analisando a decisão de alocação de recursos entre investimentos em infraestrutura e em saúde, Agénor (2008) expõe a complementaridade entre as duas aplicações. De acordo com o autor, tanto melhorias em saúde quanto em infraestrutura produzem ganhos de produtividade. Os resultados de seu estudo sugerem que, em situações em que os serviços de saúde já oferecem alta produtividade, investimentos em infraestrutura podem trazer maiores benefícios para o crescimento do que investimentos diretos em saúde.

Em outro estudo, McCann e Shefer (2004) investigaram as relações entre infraestrutura de transporte, localização de firmas, aglomeração e desenvolvimento regional. Os autores identificam uma característica comum de infraestruturas de transporte: originam externalidades. Entre estas externalidades os autores citam: redução de custos de provisão de bens com impactos em suas demandas; reversão de lucros maiores para a economia local; atração de novos *players* no mercado local devido ao incremento de sua demanda resultando, enfim, em incremento de valor de imóveis; e estímulo ao desenvolvimento de regiões menos favorecidas.

Crafts (2009) analisou a teoria e evidências práticas dos efeitos de investimentos em infraestrutura de transporte no crescimento econômico e em produtividade com foco no Reino Unido. Apresentou alguns dos seus efeitos em produtividade, como reduções em tempo de viagens refletidas em reduções de custos de transporte e alteração nos padrões de localização das organizações induzindo aglomerações produtivas.

De modo geral, infraestrutura de transporte influencia o desenvolvimento econômico, principalmente por meio de melhorias em produtividade de diversos fatores. Hong et al. (2011), também em estudo utilizando dados em painel para a China, sumarizam os principais fatores que provocam melhoria de produtividade por meio de investimentos em infraestrutura de transporte, repetindo e complementando outros autores: incremento na demanda por bens e serviços, redução de tempo e custo de viagens, incremento de acessibilidade, indução de produção local, redução de estoques, indução a investimentos privados externos, estímulo a aglomerações produtivas e incremento de produtividade do trabalho.

Adicionalmente, em recente relatório, o WEF (WORLD ECONOMIC FORUM, 2011) identificou a qualidade de infraestrutura como um dos principais entraves para melhorias das condições de competição das organizações do Brasil. Além dos estudos relatados acima, inúmeros outros trabalhos foram conduzidos visando evidenciar as relações entre infraestrutura e desenvolvimento econômico, sendo alguns específicos sobre infraestrutura de transporte (MUNNELL, 1992; BANISTER; BERECHMAN, 2001; KHADAROO; SEETANAH, 2009; SILVA, G. J. C. et al., 2009; SNIESKA; SIMKUNAITE, 2009; STRAUB; TERADAHAGIWARA, 2011; LUOTO, 2011).

Grande parte dos autores que abordaram as relações entre infraestrutura e desenvolvimento econômico utilizaram dados de investimentos públicos para estudo das influências da primeira no segundo, sugerindo que investimentos em infraestrutura devem ser coordenados e executados pelo setor público. Nesta linha, Crafts (2009) conclui que investimentos em infraestrutura de transportes contribuem para incremento de produtividade e crescimento econômico, porém, podem ser parcialmente corroídos com incremento necessário em tributação para financiamento das inversões.

Assim, no próximo tópico será abordada a atuação do setor público no provisionamento de infraestrutura de transporte.

2.2 Setor público e infraestrutura de transporte

É plausível imaginar que investimentos em infraestrutura de transporte são de responsabilidade do setor público. Como bem observou Frischtak (2008), este tipo de investimento é normalmente caracterizado por "[...] ser de considerável magnitude e longa duração, intensivos em capital e compostos de ativos duráveis com elementos de indivisibilidade e irreversibilidade, inclusive pelo seu caráter geralmente inamovível" (FRISCHTAK, 2008, p. 318). Ainda, o setor público, historicamente, demonstra maior preocupação com outra característica de investimentos em infraestrutura de transporte: seus potenciais impactos ambientais (SHORT; KOPP, 2005).

Frischtak (2008) continua argumentando que apesar de investimentos em infraestrutura sempre terem sido vistos como uma função do setor público, devido ao fato de produzirem bens públicos com a dupla função de promoção de investimento privado aliado aos interesses públicos, a atual conjuntura vem permitindo uma crescente participação do setor privado.

Reis (2008) complementou o ponto acima em trabalho em que analisa a história da economia brasileira, identificando o caráter de complementaridade entre investimentos públicos e investimentos privados, sendo os segundos induzidos pelos primeiros. Uma destas formas de indução é o investimento em infraestrutura, através da promoção de "[...] expansão e integração física do mercado interno" (REIS, 2008, p. 20).

Em estudo em que analisa o processo de privatização e regulamentação de infraestrutura de transportes da década de 1990, Estache (2001) afirma que a crise fiscal enfrentada por diversos países contribuiu decisivamente para a mudança de mentalidade quanto às responsabilidades do setor público. Os governos, obrigados a cortar gastos, negligenciaram as necessidades de modernização da infraestrutura de transportes, resultando em uma malha viária degradada, sendo forçados a buscar auxílio do setor privado para sua recuperação.

O Brasil não foi exceção. Os investimentos em infraestrutura de transporte dos governos Fernando Henrique Cardoso (FHC) e Lula não foram nem suficientes para manutenção e restauração da infraestrutura de transporte atual (COSTA; PADULA, 2007). Bresser-Pereira e Gala (2010) concordam com Estache (2001) sobre o papel da crise fiscal na derrocada da teoria estruturalista na América Latina, quando esta foi substituída pelos ideais neoliberais, como a

defesa do Estado mínimo e a desregulamentação financeira, que com a crise de 2008 "[...] se revelaram fatais para os próprios autores das receitas, [...]" (BRESSER-PEREIRA; GALA, 2010, p. 664), dando, enfim, origem ao chamado novo-desenvolvimentismo.

Contudo, apesar da expansão da participação do setor privado no provimento de infraestrutura de transporte, o setor público continua com papel decisivo. Segundo Estache (2001), o governo deve definir políticas e estratégias para o setor e financiar empreendimentos valiosos socialmente, mesmo que pouco atrativos à iniciativa privada.

O mesmo entendimento apresenta Gorman (2008) quando identifica que o governo deve coordenar o planejamento integrado de infraestrutura de transporte, visando eliminar ineficiências oriundas do planejamento segmentado desta infraestrutura. Como exemplo, Gorman (2008) cita o caso dos EUA, em que a infraestrutura rodoviária é operada pelo setor público enquanto a operação da infraestrutura ferroviária é de responsabilidade privada.

Similarmente, Costa, D. e Padula (2007) discorrem sobre os principais objetivos que devem ser almejados em programas para o setor de transporte, os chamados três *Is*: indução do desenvolvimento, interligação de mercados e irrigação econômica. A "iniciativa privada não tem interesse em projetos de infraestrutura de indução ao desenvolvimento – cabendo ao Estado este papel, por interesses sociais – mas pode ter interesse em projetos de interligação e irrigação", constatou Padula (2007, p. 60).

Retomando o exposto na introdução deste trabalho, e em consonância com a emergência da teoria do novo-desenvolvimentismo, o governo brasileiro vem se conscientizando de seu papel estratégico na formulação e indução de políticas públicas para o setor de transportes. Os recentes esforços evidenciados com a elaboração do PNLT e do PAC, em suas duas versões, caracterizam esta mudança conceitual. Com o PAC, o governo busca induzir maior participação do setor privado por meio de contratos de concessões e de outras formas de PPP, além de oferecer financiamentos em condições diferenciadas (BRASIL, 2012b).

Destaque deve ser dado ao PNLT que representou a retomada do planejamento estratégico e sistemático, de médio e longo prazos para o setor de transporte no Brasil (BRASIL, 2007). Dentre os objetivos deste estudo destacam-se:

- otimização e racionalização dos custos da cadeia logística brasileira;
- alteração da matriz de transportes do país;

- preservação ambiental, com controle dos usos do solo e respeito às áreas de restrições;
 - aumento de eficiência produtiva em áreas consolidadas;
 - indução ao desenvolvimento de áreas de expansão de fronteira agrícola e mineral;
 - redução de desigualdades regionais em áreas reprimidas; e
 - integração regional sul-americana.

O desenvolvimento do PNLT envolveu a construção de uma extensa base de dados nacional sobre produção, logística, transportes e suas inter-relações, e aplicação de ferramentas computacionais, resultando em "[...] modelagem estratégica multimodal e multiproduto, permitindo a simulação dos fluxos e custos de transporte de todas as origens a todos os destinos, levando em conta efeitos de substituição e complementaridade entre mercados espacializados" (BRASIL, 2007, p. 15).

O PNLT resultou em um programa de investimentos recomendados em infraestrutura de transporte para o Brasil, com horizonte de planejamento entre os anos de 2007 a 2023, em consonância com os objetivos propostos pelo estudo, relatados acima. O documento do PNLT expõe o procedimento metodológico utilizado para definição do programa de investimentos proposto, onde foi adotada a abordagem clássica do planejamento de transporte proposta por Bruton (1985 apud BRASIL, 2007), contemplando as seguintes etapas: (1) definição de metas e objetivos; (2) organização e inventário de dados; (3) análise das condições atuais; (4) previsões macroeconômicas para a região de estudo; (5) análise de alternativas futuras; e (6) definição de portfólios de projetos de curto e longo prazos.

A modelagem estratégica mencionada acima foi composta por duas outras modelagens, uma modelagem macroeconômica e outra modelagem de transporte. Sua aplicação condensou-se nas etapas 3 a 5 relatadas acima. Maiores detalhamentos da metodologia completa aplicada no PNLT podem ser encontradas em relatório complementar (BRASIL, 2010).

A modelagem macroeconômica foi utilizada para análise das interações macroeconômicas entre as microrregiões brasileiras com a variação simulada de custos de transporte entre elas. Esta modelagem traduz-se em um modelo computável de equilíbrio geral, o *Economic Forecasting Equilibrium System* (EFES), elaborado em conjunto entre a Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE) e a Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo (FEA USP) (BRASIL, 2007).

Segundo Haddad e Domingues (2001, p. 90), o EFES permite "[...] a geração de resultados desagregados para 42 setores e 80 produtos, consistentes com cenários macroeconômicos preestabelecidos". O resultante de sua aplicação é uma matriz origem/destino de produção e consumo para 80 tipos de produtos entre as 558 microrregiões nacionais.

Quanto à modelagem de transportes, discorre o PNLT (2007), adotou-se o modelo clássico de simulação de transporte em quatro etapas: geração de viagens, distribuição de viagens, divisão modal e alocação. A matriz origem/destino de produção e consumo obtida pela modelagem macroeconômica, assim como dados e parâmetros levantados em pesquisas de campo e estudos anteriores, foram utilizados na execução das etapas da modelagem de transporte.

Finalmente, a definição do portfólio de projetos de investimento envolveu a identificação de gargalos existentes por meio de levantamento inicial dos pontos críticos da rede de transporte nacional e de análise de carregamentos desta com a aplicação da modelagem estratégica, exposta acima. Desta forma, formatou-se uma lista de projetos de investimentos que deveriam ser considerados para análise, estimando-se seus respectivos custos de implantação. A avaliação dos projetos de intervenção propostos norteou-se nos conceitos de análise custo/benefício, com o cálculo de seus indicadores de viabilidade econômica, como a Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL) (BRASIL, 2010).

2.3 Logística

Observa-se atualmente crescimento da importância dos processos de logística nas organizações, seguindo colocação de Guenther e Farkavcová (2010, p. 318) de que "the relevance of logistic processes increases with economic growth". O termo logística envolve a projeção e administração de sistemas para controle de transporte e localização geográfica de materiais e de produtos inacabados e acabados no menor custo total (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2008).

Uma definição mais abrangente e comumente adotada para descrição de gestão de logística é a oferecida pelo *Council of Supply Chain Management Professionals* – CSCMP

³ Traduzido pelo autor como: "a relevância dos processos de logística aumenta com crescimento econômico"

(COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS, 2011), que a caracteriza como a parte da gestão da cadeia de suprimentos responsável pelo planejamento, implantação e controle eficientes e efetivos dos fluxos e armazenagens de produtos, serviços e informação entre os pontos de produção e de consumo, atendendo as necessidades dos clientes.

De forma geral, logística compreende atividades que visam garantir que o material correto, na quantidade adequada esteja disponível às organizações compradoras na localização e momento acordados, com custo apropriado e através dos serviços necessários (LIN; GEN; WANG, 2009). Nesta mesma linha de raciocínio, Gallo et. al (2010, p. 21) afirmam que "[...] uma logística eficiente traduz-se como uma cadeia, visando menor custo, tempo certo, qualidade, flexibilidade".

Segundo Bowersox et al. (2008) a gestão de logística contempla cinco funções principais: processamento de pedidos; estoques; transporte; armazenamento e manuseio de materiais e embalagens; e rede de instalações. O presente estudo se concentrará na função de transporte.

2.3.1 Transportes, modais e multimodalidade

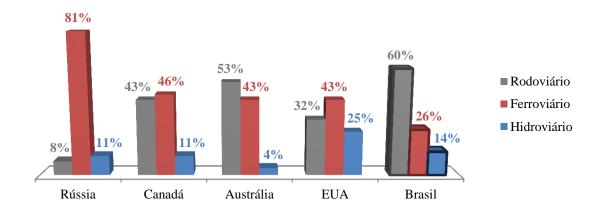
A função de transporte é majoritariamente associada às maiores parcelas de custos com operações de logística (GALLO et al., 2010; RIBEIRO; FERREIRA, 2002; WANKE; FLEURY, 2006) e, por isso, "[...] tem recebido considerável atenção dos administradores. Quase todas as empresas, grandes e pequenas, têm administradores responsáveis pelo transporte." (BOWERSOX et al., 2008, p. 31)

Bowersox et al. (2008) continua identificando as três principais dimensões de desempenho nos transportes: custo, velocidade e consistência. Ainda, o transporte apresenta como funcionalidades básicas a movimentação dos produtos transportados e o seu armazenamento.

O transporte pode desempenhar papel fundamental na estratégia competitiva das organizações, através da adequação dos serviços oferecidos aos requisitos dos clientes (CHOPRA; MEINDL, 2006 apud PETRAGLIA, 2009).

O transporte de cargas pode ser efetuado por cinco diferentes modais (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2008; FLEURY; WANKE; FIGUEIREDO, 2000; PETRAGLIA, 2009): rodoviário, ferroviário, hidroviário, dutoviário e aeroviário. A escolha de modais de transportes deve orientar-se pelas suas respectivas características de custos e de prestação de serviços, ou seja, de operação.

Segundo o PNLT (BRASIL, 2007), a matriz de transportes brasileira estava assim distribuída no ano de 2005: modal rodoviário com participação de 58%, ferroviário com 25%, hidroviário de 13%, dutoviário com 3,6% e modal aeroviário com participação de 0,4% dos transportes. Comparado a outros países de grandes dimensões territoriais, o Brasil apresenta grande concentração no modal rodoviário. O gráfico 1 abaixo apresenta comparativo internacional da matriz de transporte considerando apenas os modais rodoviário, ferroviário e hidroviário.



Fonte: adaptado de Brasil (2007).

Gráfico 1 – Matriz de transportes: comparativo internacional 2005 (em % do total)

De acordo com Rodrigue et al. (1993 apud FAJARDO, 2006) e Nazário (2000 apud FAJARDO, 2006), intermodalidade pode ser definido como um sistema logístico integrado utilizando dois ou mais modos de transporte mediante cobrança de uma única taxa, contemplando terminais de uso comum. Multimodalidade, argumentam os autores, define-se como o uso de dois ou mais modos de transporte, sem, no entanto, apresentarem toda a integração prevista na intermodalidade.

Segundo Gallo et al. (2010), "no Brasil, ainda existem uma série de barreiras que impedem que todas as alternativas modais, multimodais ou intermodais sejam utilizadas da forma

mais racional" (GALLO et al., 2010, p. 23), fato este decorrente dos investimentos insuficientes em conservação, ampliação e integração dos modais de transporte.

Com isso, existe um consenso entre diversos autores (ARAÚJO, 2006; COSTA; PADULA, 2007; ERHART; PALMEIRA, 2006; FAJARDO, 2006; PETRAGLIA, 2009; SANTOS; SANTOS; BERTO, 2009; VASCONCELOS; BASSO, 2008; WANKE; FLEURY, 2006) da necessidade de racionalização da matriz de transportes brasileira para ganhos de eficiência, competitividade e integração regional, incentivando a intermodalidade, com maior distribuição dos fluxos para os modais ferroviário e hidroviário, necessidade esta reconhecida também pelo governo nacional no último PNLT (BRASIL, 2007).

A seguir, serão apresentadas com maior detalhamento algumas das principais dimensões de análise dos modais e da infraestrutura de transporte: custos operacionais, outras características operacionais, investimentos e impactos ambientais.

2.3.1.1 Custos operacionais de transporte

De forma geral, em relação a custos operacionais de transporte, o modal aeroviário apresenta os maiores custos variáveis, decorrentes de gastos com combustível, mão de obra e manutenção; seguido do modal rodoviário, ferroviário, dutoviário e hidroviário, sucessivamente. Para custos fixos, relacionados a equipamentos, veículos, terminais e vias, os maiores valores são encontrados nos modais ferroviário, dutoviário e aeroviário, seguidos do hidroviário e do rodoviário (WANKE; FLEURY, 2006; GALLO et al., 2010). Entretanto, o modal rodoviário é considerado de custo fixo baixo, pois são desconsiderados os gastos com construção e manutenção das vias que, normalmente, é de responsabilidade do setor público.

Costa, D. e Padula (2007), no trabalho em que analisam a situação atual do setor de transportes no Brasil, com base em dados internacionais comparam os custos de transporte dos diferentes modais, apresentados na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Custos comparativos entre modais de transporte

Modo	US\$ centavos / ton.km
Aéreo	14,0
Rodoviário	4,0 – 5,0
Ferroviário	0,3 – 1,0
Dutoviário	0,1-0,3
Balsa e rebocador	0,12-0,18
Cargueiro	0,06 - 0,24
Navio graneleiro	0,02-0,04

Fonte: adaptado de Costa, D. e Padula (2007).

Em outro trabalho, a partir de dados do banco de dados do Sistema de Informação de Fretes (SIFRECA), da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), da Petrobrás Transporte S.A. (Transpetro) e de pesquisas de mercado, o documento do PNLT (BRASIL, 2007) apresenta tabela com valores de frete para grupos homogêneos de produtos relevantes, para diferentes modais e faixas de distância, descritos na tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Fretes para os diferentes modais de transporte (em R\$/tonelada)

Modo	Catagorio de Predutes	Distância Percorrida (km)				
Modo	Categoria de Produtos	100	200	400	500	
	Granéis vegetais	21,8	36,5	61,0	101,9	
	Granéis sólidos	17,8	28,1	44,4	69,9	
Ferrovia	Granéis líquidos	27,7	47,1	80,2	136,7	
removia	Minérios	19,0	30,2	47,9	76,0	
	Outros produtos	23,1	37,7	61,7	100,9	
	Carga geral	30,4	50,8	85,0	142,0	
	Granéis vegetais	31,5	53,7	91,7	156,7	
	Granéis sólidos	30,6	47,6	73,9	114,9	
Rodovia	Granéis líquidos	36,3	65,6	118,5	214,3	
Rodovia	Minérios	65,5	105,0	168,2	269,6	
	Outros produtos	41,0	65,6	105,2	168,5	
	Carga geral	41,0	65,6	105,2	168,5	
Hidrovia	Granéis vegetais e líquidos	18,3	20,3	50,3	83,4	
Dutovia	Granéis líquidos	23,9	39,7	65,9	109,3	
Cabotagem	Todos os produtos	100,1	116,0	134,4	155,6	

Fonte: adaptado de Brasil (2007).

Fajardo (2006) apresentou comparação de custos de frete de soja levantados entre os períodos de 1999 a 2001 para o centroide de Sinop-MT e custos de frete desta mesma commodity fornecidos pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD). Para o primeiro caso, a autora identificou linhas de tendência lineares com base em série de dados de fretes com diferentes distâncias e

pesos. Concluiu, porém, que a distância seria relevante apenas para o modal hidroviário, mantendo constantes os valores médios encontrados para os modais ferroviário e rodoviário. Esta comparação encontra-se descrita na tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Comparativo de custo de frete de soja no estado do Mato Grosso (em R\$/ton.km)

Modo	Frete Sinop-MT 1999-2001	Frete CVRD
Hidrovia	$F = 5 * 10^{-6} * d + 0.0194$	0,009
Ferrovia	0,03	0,016
Rodovia	0,05	0,056

Fonte: adaptado de Fajardo (2006).

Onde, F representa o custo de frete de soja e d representa a distância percorrida no transporte de soja.

Em sua análise da distribuição de investimentos públicos em infraestrutura de transporte nos EUA, Gorman (2008) identifica os custos operacionais de transporte dos modais rodoviário e ferroviário, em US\$ 0,0846 e US\$ 0,0667 por tonelada vezes quilômetro, respectivamente.

Outros estudos apresentaram custos de operação de transporte relacionados à manutenção viária (AFFUSO; MASSON; NEWBERY, 2003; GORMAN, 2008), manutenção de veículos (TZENG; LIN; OPRICOVIC, 2005) e armazenagem (PETERSEN; TAYLOR, 2001). Contudo, estes trabalhos ou contemplaram apenas um ou dois modais de transporte ou eram relacionados a regiões com características específicas diferentes da realidade brasileira e não serão abordados no presente estudo.

2.3.1.2 Outras características operacionais de transporte

As dimensões de análise operacional do transporte são: (a) tempo de entrega médio, relacionado à velocidade de deslocamento; (b) variabilidade do tempo de entrega, medida de consistência; (c) capacitação, referente aos tipos de produto que são comportados pelo modal e sua capacidade de transporte; (d) disponibilidade, medida pela difusão de sua presença; e (e) frequência, ou seja, o número de vezes que pode ser utilizada em determinado período (COYLE et al., 1994; BOWERSOX; CLOSS, 1996; FLEURY, 2003 apud WANKE; FLEURY, 2006).

Wanke e Fleury (2006) e Gallo et al. (2010) prosseguem discussão das características operacionais dos modais. Os tempos de viagens dos modais rodoviário e ferroviário dependem do estado de conservação de suas vias e de seus níveis de congestionamento. Normalmente, no entanto, o modal rodoviário é mais veloz do que o ferroviário, seguido do hidroviário e do dutoviário. O modal aeroviário é o mais veloz entre todos, porém, esta característica só traduz-se em menores tempos de viagem para longos percursos.

Os trabalhos de Petersen e Taylor (2001) e de Fajardo (2006) seguem as colocações acima, em trabalhos que constroem modelos de rede de transporte. Fajardo (2006) identificou as velocidades médias para rodovias pavimentadas e não pavimentadas, ferrovias e hidrovias. Petersen e Taylor (2001), apresentam uma tabela com descrição de arcos típicos de seu modelo, que compreende, entre outras informações, as velocidades médias de arcos representativos dos modais rodoviário, ferroviário e hidroviário. Os intervalos das velocidades descritas para os três modais citados no trabalho de Petersen e Taylor (2001) e as velocidades médias identificadas no trabalho de Fajardo (2006) estão sumarizadas na tabela 4 abaixo.

Tabela 4 – Velocidades medias por modal de transporte (km/h)

Modo	Petersen e Taylor (2001)	Fajardo (2006)
Rodovias	40,0	80,0
Rodovias Não Pavimentadas	-	40,0
Ferrovias	20,0-30,0	45,0
Hidrovias	5,0-12,0	12,5

Fonte: adaptado de Petersen e Taylor (2001) e Fajardo (2006).

Como mencionado na justificativa deste estudo, o desenvolvimento do PNLT (BRASIL, 2007) trouxe consigo o levantamento de uma extensa base de dados, que será apresentada com maior detalhe na seção que trata sobre as metodologias empregadas neste trabalho. Os dados compreendem a rede de transportes multimodal existente no território brasileiro, onde as estruturas viárias dos diversos modais de transporte e seus pontos de conexão são representados por um conjunto de arcos e nós.

Cada arco foi caracterizado por uma série de fatores, entre eles pela velocidade média de deslocamento. Na tabela 5 abaixo, apresenta-se uma visão parcial destes dados, com um exemplo para cada modal e supressão de algumas colunas. Existem, ao todo, mais de 16.000 registros de arcos na base de dados completa, que pode ser obtida por meio do sítio eletrônico do Ministério dos Transportes.

Modo	ID	•••	Nome	Sigla	•••	Distância (km)	•••	Velocidade (km/h)	•••
Rodoviário	111329			BR364	•••	223,61		80	
Ferroviário	117436		Ferrovia Transcontinental			127,63		30	
Hidroviário	111359		Rio Amazonas			155,74		12	
Dutoviário	117477					869,40		5	

Tabela 5 – Visão parcial de dados do PNLT com foco em velocidade de vias

Fonte: Ministério dos Transportes (BRASIL, 2011).

Em relação à consistência de tempos de entrega, o modal dutoviário é o mais vantajoso, tendo em vista que não está sujeito à condições climáticas e nem de níveis de trafego. Os modais rodoviário e ferroviário continuam dependentes das condições de conservação de vias e de níveis de congestionamento, sendo o primeiro, em geral, mais consistente que o segundo. Em seguida aparecem os modais hidroviário e aeroviário (WANKE; FLEURY, 2006; GALLO et al., 2010).

Gorman (2008) apresentou em seu trabalho estimativas de custos com congestionamentos para os modais rodoviário e ferroviário, em US\$ 0,0017 e US\$ 0,0003 por tonelada vezes milha respectivamente. Estes dados sugerem que o modal rodoviário está mais exposto a condições de congestionamento do que o modal ferroviário, que conta com um controle de tráfego mais rigoroso, devido às suas características estruturais.

A terceira dimensão, de capacitação, deve ser analisada, no mínimo, sob dois prismas: capacitação de veículos e capacitação de vias. Na capacitação de veículos, destaca-se o modal hidroviário que pode carregar centenas de milhares de toneladas e não apresentam restrições de tipos de produtos. O modal ferroviário é o segundo mais capacitado, seguido do rodoviário. O modal aeroviário apresenta restrições de tipos de produtos, que devem ser de pequeno a médio volumes, bem como o modal dutoviário, em que veículo se funde com a via e transporta apenas líquidos, gases e grãos (WANKE; FLEURY, 2006; GALLO et al., 2010).

O uso de um número menor de veículos no modal hidroviário, além de possibilitar redução do capital empregado no transporte, pode traduzir-se em custos menores com combustíveis e manutenção. Por outro lado, o grande porte destes veículos de maior capacidade torna seu percurso restrito, confrontado com a flexibilidade dos veículos de pequeno porte característicos do modal rodoviário.

Alguns estudos abordaram a capacitação de veículos dos diferentes modais de transporte. Fajardo (2006, p. 32-33) descreve a capacidade de transporte em toneladas de um veículo padrão

do modal rodoviário, em 29 toneladas; de dois veículos ferroviários, com 65 e 110 vagões e 4.000 e 5.600 toneladas de capacidade, respectivamente; e de 4 veículos hidroviários, com capacidades no intervalo de 2.000 a 18.000 toneladas. Batista (2006) identificou a capacidade de transporte de veículo padrão no modal ferroviário com 41 vagões em 3.300 toneladas.

Adicionalmente, a ANTT disponibiliza anualmente relatórios com informações sobre as vias férreas do território brasileiro concedidas ao setor privado para exploração econômica. Entre as informações constantes destes relatórios, estão os tipos de veículos utilizados e suas capacidades e as capacidades das vias férreas, em número de trens por dia, descriminados por trecho de percurso. Estes relatórios podem ser obtidos por meio do sítio eletrônico da ANTT.

Fialho (2010), a partir de dados obtidos junto à Agencia Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), identificou em seu estudo as capacidades de transporte de parte das principais hidrovias brasileiras: hidrovia do Madeira, hidrovia do Tapajós-Teles Pires, hidrovia do Tocantins-Araguaia, hidrovia do Parnaíba, hidrovia do São Francisco, hidrovia Tietê-Paraná, hidrovia do Paraguai-Paraná e hidrovias do Sul. A tabela 6 abaixo sumariza estas informações.

Tabela 6 – Capacidades de transporte de hidrovias do Brasil

Hidrovia	Capacidade de Transporte (ton/ano)
Madeira	21.000.000
Tapajós-Teles Pires	12.000.000
Tocantins-Araguaia	20.000.000
Parnaíba	2.000.000
São Francisco	8.000.000
Tietê-Paraná	14.000.000
Paraguai-Paraná	15.000.000
Sul	8.000.000

Fonte: adaptado de Fialho (2010).

Para análise da capacitação de vias do modal rodoviário a *Transportation Research Board*⁴ (TRB), instituição privada sem fins lucrativos situada nos EUA, publica o *Highway Capacity Manual*⁵ (HCM), que, de acordo com seus autores, apresenta uma coleção de técnicas para estimativa de capacidade e determinação do nível de serviço de facilidades de transporte rodoviário e urbano (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2000).

O HCM norteia-se pelos conceitos de fluxo de tráfego, de capacidade e de nível de serviço. De acordo com a *Transportation Research Board* (2000), a análise da capacitação de

⁴ Traduzido pelo autor como: "Conselho de Pesquisa em Transportes".

⁵ Traduzido pelo autor como "Manual de Capacidade Rodoviária".

vias tem como objetivo estimar o número máximo de pessoas ou veículos que podem transitar com segurança, e com a manutenção de um nível de serviço prescrito, por uma facilidade de transporte em um determinado período de tempo.

Ainda, o conceito de nível de serviço envolve a definição de intervalos de condições operacionais para cada tipo de facilidade de transporte e "[...] are related to the amount of traffic that can be accommodated at each service level" (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2000, p. 24). O nível de serviço (Level Of Service – LOS), portanto, é uma medida qualitativa que descreve as condições operacionais de uma estrutura viária, geralmente em termos de medidas de serviço como velocidade e tempo de viagem, liberdade para manobras, interrupções de tráfego e conforto e conveniência.

Os principais fatores que afetam a capacidade e o nível de serviço de facilidades de transporte são: (a) condições da via, como o número e largura de faixas, velocidade projetada, entre outras; (b) condições de tráfego, como os tipos de veículos e sua distribuição nas faixas; (c) condições de controle, principalmente para vias com interrupções e (d) tecnologia empregada, como a adoção de sistemas de transporte inteligentes (*Intelligent Transportation Systems* – ITS) (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2000).

Quanto à dimensão de disponibilidade, o modal rodoviário é o mais difundido, principalmente no Brasil. Em segundo, teoricamente, vem o modal ferroviário, dependendo, porém, da malha ferroviária existente em determinada região. A disponibilidade do modal hidroviário também é dependente da infraestrutura de portos, de terminais e sinalização disponíveis, e é normalmente superado pelo modal aeroviário neste quesito. Por último aparece o modal dutoviário, com a menor malha viária entre os modais (WANKE; FLEURY, 2006; GALLO et al., 2010).

Wanke e Fleury (2006) e Gallo et al. (2010) concluem analisando a dimensão da frequência, em que o modal dutoviário, por operar 24 horas por dia e 7 dias por semana, é o mais interessante. O modal rodoviário é o segundo melhor qualificado, seguido dos modais ferroviário, aeroviário e hidroviário.

Bowersox et al. (2008) resumem, na tabela 7 abaixo, as características operacionais relativas por modal de transporte, sendo as menores pontuações atribuídas às melhores

_

⁶ Traduzido pelo autor como "[...] estão relacionados à quantidade de tráfego que pode ser acomodada em cada nível de serviço".

alternativas. Os autores relatam que apesar de mais bem avaliado, o modal rodoviário apresenta restrições importantes de capacidade de transporte comparado aos modais ferroviário e hidroviário.

Tabela 7 – Características operacionais relativas por modal de transporte

Características Operacionais	Ferroviário	Rodoviário	Hidroviário	Dutoviário	Aéreo
Velocidade	3	2	4	5	1
Disponibilidade	2	1	4	5	3
Confiabilidade	3	2	4	1	5
Capacidade	2	3	1	5	4
Freqüência	4	2	5	1	3
Pontuação Acumulada	14	10	18	17	16

Fonte: adaptado de Bowersox et al. (2008).

2.3.1.3 Investimentos em infraestrutura de transporte

Os condicionantes de investimentos em infraestrutura de transporte são caracterizados por grande variabilidade, decorrente de questões, por exemplo, relacionadas aos materiais utilizados, às tecnologias disponíveis e às características topográficas da região de implantação, além dos itens considerados. Os trabalhos de Affuso, Masson e Newbery (2003), Fajardo (2006) e Petersen e Taylor (2001), apesar de adotarem unidades monetárias diferentes e em períodos diferentes, quando confrontados explicitam esta variabilidade.

Affuso, Masson e Newbery (2003) identificaram os custos de construção de novas vias rodoviárias e ferroviárias, além de custos de implantação de melhorias nestas estruturas viárias, com seus valores descritos em milhões de libras esterlinas do ano de 1999, de acordo com a tabela 8 a seguir.

Tabela 8 – Custos de implantação de projetos de investimento em transporte (AFFUSO; MASSON; NEWBERY, 2003)

Descrição	Custo (£ milhões/km)	
Implantação de rodovias com 2 faixas	3,95	
Alargamento de rodovias – de 1 para 2 faixas	2,88	
Alargamento de rodovias – de 2 para 3 faixas	5,67	
Alargamento de rodovias – de 3 para 4 faixas	8,45	
Alargamento de rodovias de alta velocidade –	9 96	
de 2 para 3 faixas	8,86	
Alargamento de rodovias de alta velocidade –	4,99	
de 3 para 4 faixas	4,33	
Melhorias em junções rodoviárias	22,49	
Implantação de ferrovias	7,00	
Melhorias em ferrovias	3,40	

Fonte: adaptado de Affuso, Masson e Newbery (2003).

Analisando o trabalho de Fajardo (2006), observa-se que os valores descritos por Affuso, Masson e Newbery (2003) são significativamente maiores para construção de novas vias dos modais rodoviário e ferroviário. Fajardo (2006) ainda contemplou em seu estudo custos para implantação de projetos específicos do modal hidroviário, conforme tabela 9 abaixo.

Tabela 9 – Custos de implantação de projetos de investimento em transporte (FAJARDO, 2006)

Descrição	Custo (US\$/km)	Custo (R\$)
Implantação de rodovias	150.000	-
Melhorias em rodovias	120.000	-
Implantação de ferrovias	1.000.000	-
Equipamento portuário de 1.000.000 toneladas	-	2.735.000
Implantação de trecho da hidrovia Tapajós-Teles Pires	-	57.542.000
Implantação de eclusa dos Tapajós	-	91.000.000
Implantação de trecho da hidrovia Tocantins-Araguaia	-	127.300.000
Implantação de eclusa do Tucuruí	-	600.000.000

Fonte: adaptado de Fajardo (2006).

Petersen e Taylor (2001) apresentaram custos de construção de três projetos específicos do modal ferroviário. Os valores, descritos na tabela 10 abaixo, são relativamente similares aos valores adotados por Fajardo (2006). Entretanto, os três projetos apresentam valores diferentes por quilômetro de construção.

Tabela 10 – Custos de implantação de projetos de investimento em transporte (PETERSEN; TAYLOR, 2001)

Descrição	Custo (US\$/km)
Implantação de ferrovia 1	772.481
Implantação de ferrovia 2	803.758
Implantação de ferrovia 3	525.682

Fonte: adaptado de Petersen e Taylor (2001).

Outra informação presente na base de dados desenvolvida na ocasião da elaboração do PNLT (BRASIL, 2007) refere-se ao portfólio de projetos de investimento em infraestrutura de transporte no território nacional. Os projetos de investimento, 339 ao todo, apresentam custos de implantação e foram categorizados em projetos de adequação, manutenção, recuperação, pavimentação, duplicação e construção, para cada modal de transporte. Os 339 projetos de investimento previstos no PNLT desmembram-se, por sua vez, em mais de 1.700 registros de arcos representativos das vias dos diferentes modais sujeitos a intervenções. Nas tabelas 11 e 12 a seguir apresentam-se exemplos de projeto de investimento e de respectivos arcos, consecutivamente.

Tabela 11 – Visão parcial de dados do PNLT com foco em custo de implantação de projetos de investimento em transporte

Descrição	Custo (R\$)	Código	
BR-401: Boa Vista/RR - Normandia/RR, Fronteira com	58.000	MTRP017	
Guiana, Conclusão dos 75 Km que faltam			
EF-354: Litoral Norte Fluminense/RJ - Muriaé/MG -			
Ipatinga/MG - Paracatu/MG - Brasília/DF - Uruaçu/GO -		FC1501	
Cocalinho/MT - Ribeirão Cascalheira/MT - Lucas do Rio	18.610.000		
Verde/MT Vilhena/RO - Porto Velho/RO - Rio Branco/AC -			
Cruzeiro do Sul/AC - Fronteira Brasil-Peru			
Hidrovia Teles Pires - Juruena/MT? Tapajós/PA 1043 Km			
(Incluindo a construção de rodovia de acesso) - R\$	1.428.750	HQ0027	
1.428.750, sendo 100% no Vetor Amazônico 50% no	1.420.730		
Périodo 2008/2011 e 50% no Período 2012/2015			

Fonte: Ministério dos Transportes (BRASIL, 2011).

Tabela 12 – Visão par	cial de dados do PNLT	com foco em arcos	sujeitos a intervenções

Modo	ID	•••	Nome	Sigla	•••	Distância (km)	•••	Código Projeto	•••
Rodoviário	112948			BR401	•••	68,77		MTRP017	
Ferroviário	117436		Ferrovia Transcontinental			127,63	:	FC1501	
Hidroviário	111430		Rio Tapajós			258,19		HQ0027	

Fonte: Ministério dos Transportes (BRASIL, 2011).

2.3.1.4 Impactos ambientais de transporte

Outra característica dos modais de transporte diz respeito aos seus impactos ambientais. Em relação à emissão de dióxido de carbono (CO₂), o modal aeroviário é o mais poluente, seguido do rodoviário, dos modais ferroviário e hidroviário, e do modal dutoviário (WANKE; FLEURY, 2006; GALLO et al., 2010).

Silva, R. B. (2008), a partir de dados divulgados pela ANTAQ, expõe a relação de emissão de CO₂/TKU⁷ para os modais rodoviário, ferroviário e hidroviário. Fialho (2010), em levantamento similar ao realizado por Silva, R. B. (2008), apresentou valores superiores de emissão de CO₂ por modal de transporte. A tabela 13 abaixo compara os valores obtidos pelos dois autores:

Tabela 13 – Emissão de CO₂/TKU por modo de transporte (em g)

Modo de transporte	Silva, R. B. (2008)	Fialho (2010)
Rodoviário	116,0	164,0
Ferroviário	34,0	44,1
Hidroviário	20,0	33,4

Fonte: adaptado de Silva, R. B. (2008) e Fialho (2010).

Affuso, Masson, Newbery (2003) identificaram os índices de emissão de trens movidos à diesel e à eletricidade e de carros não urbanos, em gramas por passageiro vezes quilometro, de diversos poluentes: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO_2), material particulado e compostos orgânicos voláteis.

⁷ TKU (toneladas-quilômetros úteis): quantidade em toneladas transportadas multiplicada pela quantidade de quilômetros rodados.

Adicionalmente, identificaram os custos monetários despendidos com barulhos e vibrações, qualidade do ar e mudança climática para os modais rodoviário e ferroviário.

Gorman (2008) apresentou os custos monetários, em US\$ por tonelada vezes milha, da emissão de gases de efeito estufa e da poluição gerada pelos modais rodoviário e ferroviário. De forma geral, estes dois trabalhos supracitados indicam que o modal rodoviário traz maiores impactos ambientais do que o modal ferroviário, em relação às suas características operacionais.

A partir de dados levantados do inventário de informações ambientais de serviços de transporte na Europa, mantido pelo *Centre for Life Cycle Inventories*⁸, Spielmann e Scholz (2005) apresentaram resultados normalizados dos impactos ambientais gerados pelos meios de transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário. Os dados foram apresentados em formato de gráfico e foram segregados entre itens de operação e itens de infraestrutura. O estudo contemplou mensuração dos impactos causados tanto pela liberação de resíduos quanto pelo uso da terra e dos recursos naturais.

Os autores analisaram diversos tipos de poluentes e explicitaram que o modal rodoviário apresenta os maiores danos ambientais, tanto para suas características operacionais quanto para as estruturais, com exceção aos materiais particulados grosseiros, em que o modal ferroviário apresenta o pior desempenho operacional. Os modais ferroviário e hidroviário se alternam em relação ao desempenho dos diversos poluentes, tendo o modal ferroviário pior desempenho na emissão de benzeno, zinco e cádmium, além do material particulado grosseiro citado, e o modal hidroviário com pior desempenho na emissão de óxidos de nitrogênio, de hidrocarbonetos nãometânicos, de poluentes que influenciam a mudança climática (incluindo CO₂, metano - CH₄ e óxido nitroso - N₂O) e de material particulado fino (SPIELMANN; SCHOLZ, 2005).

Além dos impactos ambientais causados pelas características operacionais dos modais de transporte, faz-se necessário ressaltar os potenciais impactos ambientais gerados pela implantação de novas vias dos diferentes modais. Eller, Junior, W. C. de S. e Curi (2011) sugerem que, para este caso, "[...] os custos ambientais são decorrentes do tamanho da área desmatada para implantação da via" (ELLER; JUNIOR, W. C. de S.; CURI, 2011, p. 56). De acordo com os autores, e a partir de informações de outros estudos, as áreas de desmatamento oriundas da

-

⁸ Traduzido pelo autor como: "Centro de Inventários de Ciclo de Vida". Esta instituição é mantida pelo governo federal da Suíça, por meio dos Institutos Federais Suíços de Tecnologia de Zurique (ETH Zurich) e de Lausanne (EPF Lausanne), do Instituto Paul Scherrer (PSI), dos Laboratórios Federais Suíços para Teste de Materiais e Pesquisa (Empa) e da Estação de Pesquisa Federal Suíça Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART).

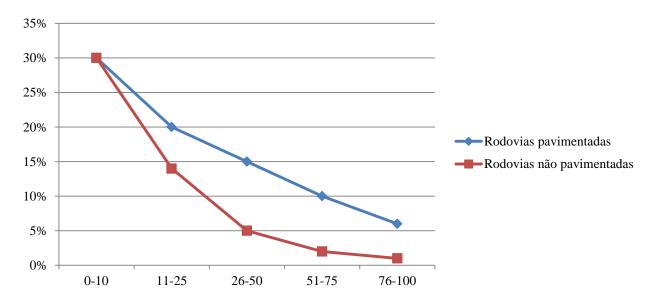
implantação de um quilometro de via para os modais rodoviário e ferroviário são respectivamente, de 856,0 e de 171,2 hectares (ha).

Laurance et al. (2001) investigaram o desmatamento na região Amazônica brasileira, caracterizando zonas de degradação de acordo com a distância em relação a intervenções em itens de infraestrutura, incluindo rodovias, ferrovias e hidrovias, entre outros itens. Apresentaram, também, gráfico com o percentual de desmatamento por faixa de distância em relação a rodovias pavimentadas e não pavimentadas, construído a partir de dados empíricos. A tabela 14 abaixo apresenta uma visão parcial das zonas de degradação por modal de transporte e o gráfico 2 a seguir representa o percentual de desmatamento de rodovias em função da distância destas.

Tabela 14 – Zonas de degradação no entorno de infraestrutura de transporte (em km)

		Cenário	Otimista		Cenário Não Otimista			
Modal	Degrad.	Degrad.	Degrad.	Não	Degrad.	Degrad.	Degrad.	Não
Wibuai	Pesada	Moder.	Leve	Degrad.	Pesada	Moder.	Leve	Degrad.
Rodovia	0-25	25-50	50-75	> 75	0-50	-	100-200	> 200
Ferrovia	0-10	10-25	25-50	> 50	0-25	25-50	50-100	> 100
Hidrovia	0-2	2-5	5-10	> 10	0-5	5-10	10-25	> 25

Fonte: adaptado de Laurance et al. (2001).



Fonte: adaptado de Laurance et al. (2001).

Gráfico 2 – Porcentagem de florestas destruídas com base em 1992 e como função da distância de rodovias pavimentadas e não pavimentadas na Amazônia Brasileira

2.4 Processo de tomada de decisão

A tomada de decisão é um processo natural e está constantemente permeando todas as atividades humanas, sejam elas de caráter pessoal ou profissional. Segundo Lachtermacher (2002, p. 4) a tomada de decisão pode ser descrita como "[...] o processo de identificar um problema ou uma oportunidade e selecionar uma linha de ação para resolvê-lo."

Simon (1955, 1956, 1957 apud CAMPITELLI; GOBET, 2010) argumentou, em oposição ao conceito de perfeita racionalidade dos atores econômicos oriunda da teoria de economia positiva dominante à época, que o sistema cognitivo limitado dos humanos e a complexidade do ambiente da decisão limitam sua racionalidade. A teoria da racionalidade limitada propôs que as pessoas satisfazem suas decisões através de critérios considerados adequados e não as maximizam. Ainda, a evolução dos critérios considerados em análise pode ser obtida através de conhecimento anterior do problema de decisão e/ou através da experiência do decisor.

Para Ragsdale (2004), tomar boas decisões é uma tarefa árdua. As dificuldades encontradas no processo decisório devem-se, fundamentalmente, à complexidade da decisão em questão, às incertezas associadas à decisão, à concorrência entre objetivos de decisão, e à existência de diferentes perspectivas e interesses na decisão (CLEMEN; REILLY, 2001).

Os principais elementos para análise de decisão, de acordo com Keeney (2004), podem ser categorizados em quatro passos: (1) estruturação do problema de decisão, que inclui a definição do problema de pesquisa e geração de objetivos e alternativas de decisão, (2) especificar as consequências das alternativas nos objetivos da decisão, (3) avaliar cada alternativa para classificação das melhores e piores e em qual amplitude, e (4) integrar a informação dos três passos anteriores para avaliar logicamente as alternativas.

2.4.1 Métodos de análise de decisão multicritério

Os problemas de decisão reais são caracterizados por elevada complexidade, oriunda da existência de incertezas, de múltiplos objetivos com subjetividades na definição de critérios de

avaliação, de alternativas de decisão concorrentes por recursos escassos e da existência de diferentes grupos interessados no resultado da decisão. Este também é o caso do problema de decisão de seleção de projetos de investimento em infraestrutura de transporte de carga. Para melhor representação deste tipo de problema evidencia-se, no meio acadêmico, a aplicação dos chamados métodos de análise de decisão multicritério (*Multi-Criteria Decision Analysis* – MCDA).

Os métodos de MCDA têm a característica de analisar diferentes alternativas lidando com vários interesses e prioridades, por meio de escalas de medida tanto quantitativas quanto qualitativas, buscando uma resposta comum a todos os interesses envolvidos. Estes métodos tornam claros os objetivos e a forma de avaliação das alternativas por meio de seu processo de formulação. Ainda, facilitam a participação dos interessados em determinado problema de decisão (GAMPER; TURCANU, 2007; TSAMBOULAS, 2007).

Os métodos mais difundidos de MCDA, de acordo com Gamper e Turcanu (2007), são: (a) métodos derivados da teoria da utilidade multi-atributo (*Multi Attribute Utility Theory* – MAUT), que buscam agregar vários atributos em uma mesma função que deve ser otimizada; (b) os métodos de *outranking* (classificação e ordenamento), que constroem e exploram uma relação sintetizada baseada na preferência dos decisores; e (c) métodos interativos de tentativa e erro, que avaliam um espaço de alternativas viáveis em técnica que envolve um diálogo com o decisor.

Vários métodos de *outranking* foram propostos, como o PROMETHEE, o ELECTRE, em suas várias versões, o Tomada de Decisão Interativa e Multicritério (TODIM), o VIKOR e o *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), entre outros. Porém, talvez o mais proeminente seja o método do processo hierárquico analítico (*Analytic Hierarquic Process* – AHP), desenvolvido por Saaty (1990). O AHP consiste em metodologia de mensuração baseada em comparação pareada de critérios e atributos de decisão para identificação de escalas de prioridade (SAATY, 2008).

Inúmeros artigos relacionados ao uso de MCDA em problemas de decisão foram publicados. Bellos et al. (2010), propuseram modelo para seleção de investimentos públicos suportado pela técnica de processo de rede analítico (*Analytic Network Process* - ANP), uma generalização do AHP. Buscando identificar a melhor alternativa entre veículos urbanos de transporte coletivo de passageiros alimentados por diferentes fontes energéticas, Tzeng et al.

(2005) propuseram modelo utilizando AHP para definição dos pesos dos critérios de análise e as técnicas TOPSIS e VIKOR para avaliação das alternativas.

Para seleção de locais alternativos para instalação de aterros sanitários no Texas, EUA, Chang et al. (2008) formularam modelo combinando a utilização de dados processados por sistema de informação geográfica (*Geographic Information Systems* – GIS) com a metodologia AHP. Um modelo para seleção de projetos de investimento em transporte baseado na teoria de mapas cognitivos e em AHP foi proposto por Caliskan (2006). Moshkovich et al. (2011), elaboraram modelo para avaliação de bens imóveis com base na metodologia TODIM.

Em problemas de transporte também são evidenciadas diversas publicações. Macêdo et al. (2010), apresentaram estudo comparativo da adoção do método AHP e do método de programação matemática multiobjetivo para seleção de projetos de investimento público em infraestrutura de transporte.

Em seu trabalho, Silva, R. B. (2008) visa desenvolver metodologia para seleção e priorização de investimentos em infraestrutura de transporte no Brasil. A metodologia proposta combina as técnicas Delphi, TOPSIS e AHP para análise do problema nas dimensões econômica, social e ambiental. Em trabalho semelhante, Tsamboulas (2007) propõe metodologia para avaliação de alternativas de investimento em infraestrutura de transporte transnacional, apoiado em método MAUT. Esse autor identifica limitação dos métodos MAUT relativa a subjetividade na determinação dos pesos dos critérios de análise e sugere adoção do AHP para sua mitigação.

Ho (2008), por sua vez, apresenta em seu estudo, compreendendo publicações entre os anos de 1997 a 2006, uma revisão de literatura da aplicação de modelos integrados de AHP com outras metodologias, tais como: programação matemática, análise SWOT, metas-heurísticas e análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA), entre outras. Conclui que o uso de AHP combinado com programação matemática ocorreu com maior frequência, com destaque para aplicação em problemas da área de logística.

2.5 Programação matemática e problemas de transporte

A utilização de modelos para análise do processo decisório e de resolução de problemas pode gerar uma variedade de benefícios, tais como: oferecimento de versão simplificada da realidade, que deve ser representativa; baixos custos de análise; disponibilidade de informação com maior agilidade; possibilidades de extrapolação da realidade; e promoção de maior entendimento e ideias sobre a questão em análise (RAGSDALE, 2004).

Um modelo pode ser definido como uma representação da estrutura essencial de determinado objeto ou evento do mundo real (STOCKBURGER, 2011). Lachtermacher (2002) apresenta os três tipos básicos de modelos: os modelos físicos, como maquetes, por exemplo; os modelos análogos, como mapas; e os modelos matemáticos, que representam as variáveis de decisão e seus relacionamentos através de expressões matemáticas visando determinado objetivo.

Os modelos matemáticos, por sua vez, podem ser prescritivos, preditivos ou descritivos. Nos modelos prescritivos, as relações entre as variáveis são conhecidas e tem-se conhecimento ou controle sobre os valores das variáveis independentes. Os modelos preditivos caracterizam-se pela indefinição ou desconhecimento das relações entre as variáveis dependentes e independentes, cujos valores são conhecidos ou controlados. Finalmente, nos modelos descritivos as relações entre as variáveis independentes são conhecidas, porém existe incerteza quanto aos valores que assumirão (RAGSDALE, 2004).

Richardson (1999, p. 117) apresenta as duas características principais de variáveis: "[...] (a) são aspectos observáveis de um fenômeno; (b) devem apresentar variações em relação ao mesmo ou a outros fenômenos". De acordo com este autor, as variáveis podem ser nominais, ordinais, intervalares ou de razão e são classificadas como dependentes, intervenientes e independentes.

Adicionalmente, os modelos matemáticos prescritivos frequentemente podem lidar com situações em que os recursos para obtenção de determinado objetivo são escassos, exigindo identificação da forma mais eficiente e eficaz de alocação entre as alternativas de decisão. De acordo com Lachtermacher (2002, p. 24), "[...] a área que estuda a otimização de recursos é denominada Programação Matemática".

Ragsdale (2004) prossegue identificando as principais características dos problemas de otimização. A primeira característica refere-se às decisões que serão tomadas, como a quantidade de cada produto que será produzida ou transportada de diversas localizações para outras. Uma segunda característica compreende as restrições apresentadas pelas alternativas de decisão, como limitações de matérias primas e capacidade de produção ou capacidades de transporte de produtos. A terceira característica comum de problemas de otimização é relacionada à existência de determinado objetivo para a decisão em análise, como a maximização de lucro na comercialização de produtos ou a minimização de custos de transporte destes produtos.

Alguns exemplos de aplicação de modelos de programação matemática, ou Pesquisa Operacional (PO), são listados a seguir (RAGSDALE, 2004): problemas de definição de mix de produtos; problemas de manufaturas; problemas de transporte; e problemas de planejamento financeiro.

Diversos autores (SILVA, E. M. et al., 1998; LACHTERMACHER, 2002; RAGSDALE, 2004; HILLIER; LIEBERMAN, 2006) discorreram sobre as fases envolvidas em estudos de PO, identificando, de forma geral, estruturas semelhantes envolvendo: (1) identificação do problema e coleta de dados, (2) formulação e implantação de modelo, (3) análise do modelo, (4) teste dos resultados, e (5) implantação da solução. A fase de teste dos resultados pode exigir alterações na formulação e implantação do modelo em questão. Esta abordagem será a adotada, com exceção à última etapa, de implantação da solução, para desenvolvimento do modelo proposto no presente trabalho.

Os relacionamentos entre as variáveis, as restrições e os objetivos de determinado problema de decisão podem ser descritos de forma diversa. Da mesma forma, os modelos de programação matemática representantes do problema de decisão podem envolver funções matemáticas lineares ou não lineares. Suas variáveis, em alguns casos, podem adotar valores fracionados ou apenas números inteiros.

Assim, uma diversidade de técnicas de pesquisa operacional foi desenvolvida para resolução dos diferentes problemas de decisão. Algumas destas técnicas são listadas a seguir: Programação Linear (PL), com apenas variáveis contínuas para funções objetivo e de restrições lineares; Programação Linear Inteira (PLI), que envolve apenas variáveis discretas e mantém estrutura linear; Programação Linear Inteira Mista (PLIM), contemplando variáveis contínuas e

discretas nas funções objetivo e de restrições lineares; Programação Não Linear (PNL), em que a função objetivo ou as funções de restrição são não lineares (RAGSDALE, 2004).

Os modelos de programação linear apresentam maior simplicidade (SILVA, E. M. et al., 1998) e "[...] procedimento de solução extraordinariamente eficiente, [...] para solucionar até mesmo problemas de programação linear de enormes dimensões" (HILLIER; LIEBERMAN, 2006, p. 26). No entanto, dependendo das características observadas do problema de decisão, bem como da complexidade pretendida para o modelo representativo, a formulação dos modelos pode requerer incorporação de termos que o caracterizam como um problema de programação inteira ou não linear, de resolução mais difícil.

Os problemas que envolvem variáveis discretas (PLI, PLIM, PNL Inteira – PNLI, etc.) são também denominados de problemas de otimização combinatória. Este tipo de problema se preocupa com a alocação eficiente de recursos para atingir determinados objetivos sendo que, pelo menos parte de seus recursos só pode ser divido em partes inteiras (HOFFMAN; RALPHS, 2011).

Abordagem comum em problemas de otimização combinatória é sua formulação como PLIM. Hoffman e Ralphs (2011) apresentaram a seguinte formulação geral para este tipo de problema:

$$\max \sum_{j \in B} c_j x_j + \sum_{j \in I} c_j x_j + \sum_{j \in C} c_j x_j \tag{1}$$

sujeito a:

$$\sum_{j \in B} a_{ij} x_j + \sum_{j \in I} a_{ij} x_j + \sum_{j \in C} a_{ij} x_j \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} b_i \qquad \forall i \in M, \qquad (2)$$

$$l_i \le x_j \le u_j \qquad \forall i \in N = B \cup I \cup C, \qquad (3)$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \in B, \qquad (4)$$

$$x_j \in \mathbb{Z} \forall j \in I, e (5)$$

$$x_j \in \mathbb{R}$$
 $\forall j \in C.$ (6)

O objetivo é encontrar o valor máximo da soma ponderada da equação (1), onde os coeficientes c_j , $j \in N$ são dados. B representa o índice de variáveis binárias; I representa o índice de variáveis inteiras, não restritas a valores binários; e C representa o índice de variáveis contínuas.

De acordo com Ehrgott e Gandibleux (2000), uma extensão dos problemas de otimização combinatória são os problemas que lidam com diferentes objetivos, classificados como otimização combinatória multiobjetivo (*Multi Objective Combinatorial Optimization* – MOCO). Sua formulação geral é bem parecida com a de otimização combinatória, sendo necessária introdução do vetor \mathbf{w}^q , onde o número de critérios $q \in Q$ é dado contemplando os pesos relativos a cada critério de análise do modelo, multiplicado às funções aditivas lineares representativas dos critérios de análise da função objetivo.

Hoffman e Ralphs (2011), Pedersen (2006) e Ehrgott e Gandibleux (2000) apresentaram alguns dos principais tipos de problemas de otimização combinatória, descritos abaixo. Adicionalmente, serão indicados estudos que abordaram alguns destes tipos de problemas. Ainda, considerável parte dos problemas descritos a seguir são representados por um gráfico, comumente definido como G = (N, A), em que N é um conjunto de nós e A é um conjunto de arcos, de dimensões $n \coloneqq |N|$ e $m \coloneqq |A|$. Para um arco $(i; j) \in A$, os nós i e j representam os nós de origem e de destino, respectivamente (PEDERSEN, 2006).

- problema de menor caminho (*Shortest Path Problem* SPP): consiste em encontrar em uma rede (gráfico), com vetores de peso para os arcos, o caminho ótimo. O PNLT adotou este tipo de problema como metodologia de resolução para seu modelo de transporte (BRASIL, 2010);
- problema de fluxos em rede (*Network Flow Problem* NFP): também denominado de problema de mínimo custo de fluxos em rede (*Minimum Cost Network Flow problem* MCNF), envolve a definição de estratégia ótima para distribuição de determinados produtos em uma determinada rede (gráfico) (CRUZ; SMITH; MATEUS, 1998; HAGHANI; OH, 1996; HENNINGSSON; KARLSSON; RÖNNQVIST, 2006; IDZIKOWSKI et al., 2010; KENNINGTON; NICHOLSON, 2010; KIM; PARDALOS, 1999; LIN; LIU, 2011; OGRYCZAK; STUDZINSKI; ZORYCHTA, 1989; ORTEGA; WOLSEY, 2003);
- problema de localização (*Location Problem* LP): utilizado para seleção de conjunto de locais ótimos para implantação de determinada facilidade, representados por nós ou arcos em uma rede (gráfico) por exemplo, sujeitos a um determinado requisito. Pode ser subdividido em três categorias: planares, em rede e discretos. Os problemas de localização em rede incorporam características de LP e de MCNF, sendo também

denominados de problemas de desenho de rede (*Network Design Problem* – ND). A adoção de uma forma específica deste último tipo de modelo será proposta no desenvolvimento do presente trabalho (ALBAREDA-SAMBOLA; DÍAZ; FERNÁNDEZ, 2005; MEDAGLIA et al., 2008; PAZOUR; MELLER; POHL, 2010);

- problema de alocação (*Assignment Problem* AP): é considerado para problemas de alocar determinada quantidade de recursos entre diferentes aplicações. Um exemplo seria a alocação de *n* trabalhadores a *m* tipos de trabalho (CORONADO-HERNÁNDEZ; PARDO-MORA; VALERO-HERRERO, 2011; GABRIEL et al., 2006; PASCUAL et al., 2011);
- problema de transporte e transbordo (*Transportation/Transshipment Problem* TP): são generalizações do AP. O problema de transbordo contempla nós de transbordo adicionais aos nós de demanda e de oferta dos problemas de transporte (CARAMIA; GUERRIERO, 2009);
- problema de árvore de ramificação (*Spanning Tree Problem* STP): busca encontrar entre todas as ramificações de uma rede (gráfico) a que apresenta o menor ou o maior valor, medido em termos de um vetor de pesos para os arcos;
- problema do vendedor viajante (*Travelling Salesperson Problem* TSP): envolve a busca pelo circuito ótimo em uma rede passando por *n* nós. É um dos problemas mais estudados de otimização combinatória (CABALLERO et al., 2007; LASHINE; FATTOUH; ISSA, 2006); e
- problema da mochila (*Knapsack Problem* KP): consiste na escolha de n itens para preenchimento de repositório com determinada capacidade objetivando maximização do valor do conjunto de itens do repositório, sendo que cada item apresenta medidas de volume/peso e de valor.

2.5.1 Problemas de fluxos em rede

Para Kim e Pardalos (1999), muitos problemas práticos relacionados a planejamento, localização, transporte, distribuição, comunicação, cronogramas de execução, investimento e

distribuição, estes últimos semelhantes aos problemas de desenho de rede (ND), podem ser formulados como modelos de PLIM. Formulados como PLIM, os problemas ND podem ser resolvidos com uso de qualquer tipo clássico de algoritmo *branch and bound* e de técnicas de relaxamento de PL (KIM; PARDALOS, 1999).

Os problemas de fluxos em rede (NF), englobando os ND, podem ser classificados em outros problemas mais específicos. Alguns destes problemas específicos são explorados por Costa, A. M. (2005) e Nicholson (2010):

- problema não capacitado de fluxos em rede (*Uncapacitated Network Flow problem* UNF): os fluxos em alguns arcos compreendem a incidência de custo fixo representando sua disponibilidade. Não apresenta restrições de fluxos nos arcos selecionados;
- problema capacitado de fluxos em rede (*Capacitated Network Flow problem* CNF ou *Fixed-Charge Network Flow problem* FCNF): além da incidência de custo fixo disponibilizando os fluxos em alguns dos arcos, apresenta restrições de capacidade de fluxos nos arcos selecionados;
- problema tempo-espaço capacitado de fluxos em rede (*Time-Space Fixed-Charge Network Flow problem* TSFCNF): preservam as mesmas características do FCNF, porém, preveem a decisão de localização e distribuição de fluxos em vários períodos.
 Normalmente, as variáveis de decisão são replicadas para os vários períodos de tempo considerados na análise, e devem ser conjuntamente otimizadas; e
- problema *multicommodity* tempo-espaço capacitado de fluxos em rede (*Multicommodity Time-Space Fixed-Charge Network Flow problem* MTSFCNF): extensão do TSFCNF, o MTSFCNF incorpora a possibilidade de tratamento de diferentes tipos de produtos a serem transportados na rede, sujeitos à restrições relacionadas ao tipo de produto.

Nicholson (2010) apresenta a formulação genérica para o MTSFCNF, explicitada abaixo. Antes, porém, será apresentado na tabela 15 abaixo um conjunto de notações para auxiliar o entendimento da formulação genérica proposta:

Tabela 15 – Notação para o problema *multicommodity* tempo-espaço capacitado de fluxos em rede

Representação	Descrição
N	Conjunto de nós na rede; $N = \{1,, n\}$
A	Conjunto de arcos na rede (i, j) , onde $(i, j) \in N$
T	Conjunto de períodos de tempo na rede; $T = \{0,, t\}$
\overline{N}	Conjunto de combinações nó-período ou pares (i, r) , onde $i \in N$ e $r \in T$
$ar{A}$	Conjunto de arcos na rede por período (i, r, j, s) , onde $(i, r), (j, s) \in \overline{N}$
K	Conjunto de commodities
G	Gráfico: $G = (\overline{N}, \overline{A})$
x	Variável de decisão de fluxo em arco
у	Variável binária para modelar se arco terá fluxo positivo ou não
М	Limite superior de fluxo em arco
C	Custo variável
f	Custo fixo
R	Requerimentos do nó
S	Conjunto de nós de oferta: $S \subset \overline{N}$
D	Conjunto de nós de demanda e de transbordo: $D \subset \overline{N}$

Fonte: adaptado pelo autor de Nicholson (2010).

O problema genérico de *multicommodity* tempo-espaço capacitado de fluxos em rede, ou MTSFCNF, pode ser assim definido:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,r,j,s) \in \bar{A}} c_{irjs}^k x_{irjs}^k + \sum_{(i,r,j,s) \in \bar{A}} f_{irjs} y_{irjs}$$
 (7)

sujeito a:

$$\sum_{(i,r,j,s)\in\bar{A}} x_{irjs}^k - \sum_{(i,r,j,s)\in\bar{A}} x_{jsir}^k = R_{ir}^k \qquad \forall (i,r)\in\bar{N}, k\in K$$
 (8)

$$\sum_{l \in \mathcal{L}} x_{irjs}^k \le M_{irjs} y_{irjs} \qquad \forall (i, r, j, s) \in \bar{A}$$
 (9)

$$\sum_{k \in \mathbb{Z}} x_{irjs}^k \le b_{irjs} \qquad \forall (i, r, j, s) \in \bar{A}$$
 (10)

$$x_{irjs}^k \ge 0 \qquad \qquad \forall (i, r, j, s) \in \bar{A} \qquad (11)$$

$$y_{irjs} \in \{0,1\}$$

$$\forall (i,r,j,s) \in \bar{A}$$
 (12)

O objetivo, então, é o de minimizar a soma dos custos variáveis e dos custos fixos, associados aos fluxos nos arcos e à abertura de arcos para fluxos positivos, respectivamente, para todas as commodities e todos os períodos de tempo contemplados, de acordo com a equação (7). A restrição representada pela equação (8) refere-se à conservação de fluxos de acordo com os

requerimentos de cada nó em todos os períodos. A equação (9) representa restrição referente à capacidade de fluxo de determinado arco, regulada pela disponibilidade de fluxo deste arco, devido à presença da variável binária. A equação (10) determina os limites superiores das variáveis contínuas x_{irjs}^k , enquanto a equação (11) apresenta as restrições de não negatividade destas mesmas variáveis. Finalmente, a equação (12) impõe a condição de integralidade para as variáveis discretas y_{irjs} .

Vários trabalhos abordaram problemas de fluxo em rede em programação matemática (COSTA, 2005; CRAINIC; FRANGIONI; GENDRON, 2001; CRUZ; SMITH; MATEUS, 1998; FRANGIONI; GENDRON, 2009; HENNINGSSON; KARLSSON; RÖNNQVIST, 2006; HEWITT; NEMHAUSER; SAVELSBERGH, 2010; IDZIKOWSKI et al., 2010; KENNINGTON; NICHOLSON, 2010; KIM; PARDALOS, 1999; MURIEL; MUNSHI, 2004; NICHOLSON, 2010; ORTEGA; WOLSEY, 2003).

Para resolução de problema de comunicação em rede, Kleeman et al. (2007) propõem modelo baseado em FCNF formulado como PLIM e aplicação de algoritmo genético, alcançando resultados considerados eficientes. Haghani e Oh (1996), apresentam formulação para o problema de larga escala de coordenação de operação de socorro em desastres com base em uma extensão do MTSFCNF, incorporando a questão da multimodalidade. Oferecem dois métodos de solução heurísticos, concluindo pela sua eficiência em todos os quesitos, exceto em tempo computacional.

Analisando a situação do transporte de soja no Brasil, Fajardo (2006) propôs modelo para seleção de investimentos de transporte minimizando os custos combinados de transporte de soja para exportação e de investimentos em transporte, formulando o modelo como um FCNF com técnicas de PLIM. O modelo proposto pela autora considerou o objetivo unidimensional (financeiro) e apenas um período e um tipo de produto.

3 MÉTODO

O estudo proposto pode ser caracterizado como uma pesquisa aplicada, quantitativa e descritiva. De acordo com Silva, E. L. e Menezes (2001), pesquisa aplicada gera conhecimento para solução de problemas específicos e pesquisa quantitativa envolve a quantificação dos dados, preocupando-se em traduzir em números opiniões e informações para sua classificação e análise (SILVA, E. L.; MENEZES, 2001). A pesquisa descritiva caracteriza-se pela descrição de fenômenos, identificando suas características e relações entre suas variáveis, possibilitando sua ordenação e classificação (RICHARDSON, 1999).

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos adotados, a pesquisa proposta neste estudo pode ser definida como: (a) bibliográfica, com a identificação de estudos científicos publicados; (b) documental, com a análise de documentos diversos como planos governamentais e relatórios setoriais e (c) laboratorial, na medida em que adotará sistemas computacionais para análise do problema.

O presente trabalho envolveu cinco fases distintas de execução: (1) coleta de dados; (2) definição do modelo e de ferramentas de aplicação; (3) tratamento de dados; e (4) desenvolvimento do modelo e aplicação em caso ilustrativo. A descrição dos procedimentos adotados em cada uma destas fases apresenta-se a seguir.

3.1 Coleta e tratamento de dados

A fase de coleta de dados permeou o desenvolvimento deste estudo durante grande parte de seu período de duração. Fez-se necessária coleta de dados e informações que possibilitassem tanto a estruturação e formulação do modelo proposto, quanto sua aplicação prática em caso ilustrativo, que permitiu mensurar a qualidade de seus resultados. A totalidade das informações adotadas para execução deste trabalho é proveniente de dados secundários.

Para estruturação e formulação do modelo, foram reunidas informações para identificação dos métodos disponíveis relacionados aos objetivos almejados no trabalho. No presente caso, a pesquisa se concentrou em estudos de metodologias de análise de decisão multicritério e de

programação matemática que, combinadas, compuseram o procedimento metodológico estrutural do modelo pretendido aqui.

Estas informações foram obtidas com auxílio de serviços de busca de trabalhos acadêmicos disponíveis na *internet*. Os três principais serviços de busca utilizados neste trabalho foram: o Google Acadêmico⁹, o *Scopus*¹⁰ e o *ScienceDirect*¹¹. Os trabalhos pesquisados foram organizados com o auxílio de aplicativo para gerenciamento de referências. No presente caso foi utilizado o *Mendeley Desktop* por ser um aplicativo gratuito, colaborativo, com interface amigável e recursos interessantes.

Cerca de 49 estudos coletados abordaram metodologias de análise de decisão multicritério. Destes, 28 estudos contemplaram o uso combinado desta metodologia com metodologias de programação matemática. Outros 55 estudos discorreram sobre a aplicação da metodologia de programação matemática em problemas relacionados à área de logística. Ao todo, foram analisados 91 trabalhos que trataram de métodos de programação matemática.

Dados referentes aos fatores impactantes do problema de decisão analisado, a decisão de investimento em projetos de infraestrutura de transporte de carga, e relacionados às formas de mensuração de seu desempenho foram levantados. Informações explicitando as principais relações entre as variáveis independentes e dependentes do modelo consolidaram os requisitos para conclusão da fase de estruturação e formulação do modelo de análise.

Além dos serviços de busca de trabalhos acadêmicos supra mencionados, foram pesquisados documentos das principais instituições relacionadas ao setor de transporte, entre elas a ANTT, a ANTAQ e o Ministério dos Transportes. Foram coletados e analisados 144 trabalhos relacionados à área de logística, sendo 22 trabalhos com foco na atuação do setor público, 3 estudos com foco em impactos ambientais, 13 trabalhos com foco em suas implicações econômicas e 55 estudos que adotaram técnicas de programação matemática, como mencionado acima. Os outros 51 estudos enfatizaram questões técnicas da área de logística.

Considerável parte dos trabalhos e documentos analisados trataram de questões não alinhadas aos objetivos do presente trabalho e, portanto, não foram utilizadas. Os estudos mais relevantes foram abordados no referencial teórico deste trabalho.

⁹ Disponível no seguinte endereço eletrônico: http://scholar.google.com.br/

¹⁰ Disponível no seguinte endereço eletrônico: http://www.scopus.com/home.url

¹¹ Disponível no seguinte endereço eletrônico: http://www.sciencedirect.com/

Para a fase de aplicação do modelo, foram necessárias informações para construção de um cenário do processo de tomada de decisão em questão. Estes dados podem ser extraídos de casos hipotéticos ou de situações reais. As principais informações para esta fase de execução compreendem: (a) uma estrutura de gráfico, contemplando nós e arcos, definida como G = (N, A), onde N representa um conjunto de nós e A um conjunto de arcos, com parte de sua estrutura podendo ser modelada como alternativas de implantação; (b) atributos de G, como dados relacionados ao balanço de fluxos em cada nó e às características operacionais de seus arcos; e (c) dados que permitam mensuração dos critérios sugeridos de avaliação.

O desenvolvimento do PNLT (BRASIL, 2007) pelo governo federal, como mencionado anteriormente, possibilitou a compilação de volume extenso de dados sobre o setor de transporte no Brasil. Toda esta base de dados foi georreferenciada, com o auxílio de aplicativo GIS. Entre os dados levantados e disponibilizados pelo PNLT estão informações sobre toda a infraestrutura de transporte multimodal nacional, com detalhes sobre extensão de segmentos, velocidade projetada, disposição geográfica, situação de conservação e características do terreno de instalação, capacidade projetada, pontos de pedágio, entre outros.

Adicionalmente, o mesmo documento produziu informações específicas compatíveis com a metodologia proposta neste estudo, como é o caso de uma matriz origem/destino com projeção de dados de produção e consumo de produtos para uma perspectiva temporal de longo prazo.

A disponibilidade desta base de dados do setor de transportes brasileiro trouxe a oportunidade de aplicação do modelo proposto neste trabalho com dados próximos da realidade vivenciada no Brasil. No entanto, caso estes dados não estivessem disponíveis, Zhu et al. (2011) apresenta, como alternativa, metodologia interessante para geração de instâncias de teste para problemas de otimização de fluxos em rede, com características semelhantes ao abordado aqui.

Para esta última etapa do projeto, de aplicação do modelo, foi necessário tratamento de grande volume de dados coletados. Normalmente, como são coletados de diversas fontes e para propósitos distintos, os dados precisam ser organizados e adequados às particularidades deste trabalho. A fase completa de tratamento de dados, incluindo todos os procedimentos adotados, será descrita posteriormente neste estudo.

3.2 Definição do modelo e das ferramentas de análise

3.2.1 Definição do modelo

A partir da análise do referencial teórico e da disponibilidade de dados observada após conclusão da fase de coleta de dados foi possível a definição do modelo, incluindo seu dimensionamento e quais dimensões de análise seriam contempladas e quais seriam descartadas por estarem incompletas ou incompatíveis aos objetivos previstos neste trabalho.

O modelo proposto neste trabalho, como sinalizado anteriormente, envolve técnicas de análise de decisão multicritério e de programação matemática. A estrutura básica do modelo se apoia fortemente nas técnicas de programação matemática, mais especificamente, aos problemas de fluxos em rede. O tipo de problema de fluxos em rede adotado no presente trabalho é o denominado problema multicommodity tempo-espaço capacitado de fluxos em transporte (Multicommodity Time-Space Fixed Charge Network Flow problem – MTSFCNF), caracterizado como um PLIM, apresentado no referencial teórico deste trabalho.

A base de dados do PNLT, conforme explicitado anteriormente, fornece informações da rede de transportes multimodal de todo o território nacional, perfazendo mais de 16.000 registros de arcos representativos de vias dos diferentes modais de transporte. A definição da região de abrangência adotada para o modelo impacta diretamente no seu tamanho, representado pelo número de variáveis, restrições e outras funções matemáticas complementares.

Outros fatores que afetam diretamente o tamanho do modelo são relacionados à quantidade de produtos que serão contemplados pela rede de transporte multimodal e ao número de períodos que serão considerados para análise. A base de dados do PNLT contempla dados de consumo, produção, importação e exportação de 45 tipos de produtos de todas as microrregiões brasileiras, conforme definidas pelo IBGE, para os anos de 2007, 2015, 2023 e 2031, obtidos por meio do EFES, conforme citado anteriormente como matriz origem/destino de produtos. Estes dados serão apresentados com maior detalhe na seção que discorre sobre o tratamento de dados deste trabalho.

Foram realizadas simulações preliminares, com base no número total de arcos e no número de arcos com intervenção, representativos de variáveis contínuas e inteiras respectivamente, para identificação do dimensionamento do modelo na adoção integral e parcial desta base de dados.

Os resultados destas simulações estão descritos na tabela 16 a seguir, onde os números de variáveis estimados foram calculados de acordo com a equação 13 abaixo, onde VE é o número de variáveis estimado para o modelo em questão, a representa o número de arcos, i representa o número de arcos de intervenção, p representa o número de produtos e t representa o número de períodos considerados. Para estas simulações, adotou-se a premissa de que todos os arcos podem apresentar movimentações de produtos nos dois sentidos, ou seja, ida e volta.

$$VE = (2a + i).p.t \tag{13}$$

Tabela 16 – Simulações de dimensionamento do modelo para 45 produtos e 4 períodos

Região	Microrregiões	Arcos (A)	Arcos de Intervenção (AI)	% AI/A	Estimativa de Variáveis
Norte	64	556	91	16,37%	200.524
Nordeste	188	5.792	784	13,54%	2.088.256
Sudeste	160	5.853	346	5,91%	2.108.464
Sul	94	3.081	370	12,01%	1.110.640
Centro-Oeste	52	913	184	20,15%	329.416
Brasil	558	16.195	1.775	10,96%	5.837.300

Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados do Ministério dos Transportes (BRASIL, 2011).

A partir dos dados descritos na tabela 16 acima, nota-se que a adoção da base integral de dados do PNLT, e considerando quatro períodos de análise, demandaria a criação de modelo com quase seis milhões de variáveis, tornando-o proibitivo para execução no prazo previsto para conclusão deste trabalho.

Por outro lado, a adoção de base de dados parcial, apesar de possibilitar uma redução significativa do número de variáveis, deve ser realizada de forma a não comprometer as análises objetivadas pelo modelo. Deve-se, portanto, contemplar o maior número de modais possíveis, com arcos de intervenção representativos dos diferentes modais contemplados, cuja seleção para implantação será definida pelo modelo proposto.

Neste sentido, optou-se pela adoção de base de dados parcial referente à região Norte do Brasil. O número de variáveis estimado para este caso seria de cerca de 200.000, com 91 arcos de intervenção (16,37% do total de arcos da região), distribuídos da seguinte forma entre os modais

de transporte: 51 rodoviários, 17 ferroviários e 23 hidroviários. O modal aeroviário, por simplificação, não será contemplado na análise e o modal dutoviário não apresenta arcos na região Norte do Brasil. Adicionalmente, serão considerados todos os 45 produtos da base de dados integral, tendo em vista a importância da análise da capacidade das vias em decisões de intervenção em infraestrutura de transporte.

Quanto ao número de períodos contemplados na análise, optou-se pela construção de quatro versões do modelo para sete, quatro, três e dois períodos quadrienais para avaliação do potencial de resolução deste modelo com diferentes grandezas em número de variáveis, de restrições e de funções matemáticas complementares. Maiores detalhes da formatação dos dados originais de produção, consumo, importação e exportação em valores representativos de períodos quadrienais serão apresentados na seção de tratamento de dados deste trabalho.

Outra possibilidade de redução da dimensão do modelo é identificar e eliminar arcos redundantes de ligação entre dois nós. Com isso, seria possível uma redução do número de arcos considerados e consequentemente do número de variáveis. Esta possibilidade, entretanto, não será empregada neste trabalho.

Para estruturação da função objetivo multidimensional pretendida ao modelo, adotar-se-á técnica de análise de decisão multicritério. A metodologia da teoria de utilidade multiatributo (MAUT) será considerada nesta fase, onde serão definidas as relações entre os critérios de avaliação adotados e sua ponderação na formulação da função objetivo. Com isso, o problema pode ser denominado como problema multiobjetivo multicommodity tempo-espaço capacitado de fluxos em rede (*Multi Objective Multicommodity Time-Space Fixed Charge Network Flow problem* – MOMTSFCNF).

Para apresentação da formulação genérica do problema proposto neste trabalho, faz-se necessária explicitação de seu conjunto de notações:

Tabela 17 – Notaç	ão par	a o problema	MOMTSFCNF	proposto
-------------------	--------	--------------	-----------	----------

Representação	Descrição
Q	Conjunto de critérios de avaliação; $Q = \{1,, q\}$
N	Conjunto de nós na rede; $N = \{1,, n\}$
A	Conjunto de arcos na rede (i,j) , onde $(i,j) \in N$
T	Conjunto de períodos de tempo na rede; $T = \{0,, t\}$
\overline{N}	Conjunto de combinações nó-período ou pares (i, r) , onde $i \in N$ e $r \in T$
$ar{A}$	Conjunto de arcos na rede por período (i, j, r) , onde $(i, j, r) \in \overline{N}$
K	Conjunto de commodities; $K = \{1,, k\}$
G	Gráfico: $G = (\overline{N}, \overline{A})$
x	Variável de decisão contínua de fluxo em arco
у	Variável binária para modelar se arco terá fluxo positivo ou não
С	Limite superior de fluxo em arco
<i>c</i>	Constantes relacionadas a variável de decisão x
f	Constantes relacionadas a variável de decisão y
<u> </u>	Pesos associados aos critérios de avaliação
R	Requerimentos do nó
S	Conjunto de nós de oferta: $S \subset \overline{N}$
<i>D</i>	Conjunto de nós de demanda e de transbordo: $D \subset \overline{N}$

Fonte: elaborado pelo autor.

Desta forma, a formulação genérica do problema, ainda sem incorporar detalhadamente o número e a qualificação dos critérios que serão adotados na análise, pode ser descrita como:

$$\min \sum_{q \in Q} \left(\sum_{k \in K} \sum_{(i,j,r) \in \bar{A}} w^q c_{ijr}^k x_{ijr}^k + \sum_{(i,j,r) \in \bar{A}} w^q f_{ijr} y_{ijr} \right)$$
(14)

sujeito a:

$$\sum_{(i,j,r)\in\bar{A}} x_{ijr}^k - \sum_{(i,j,r)\in\bar{A}} x_{jir}^k = R_{ir}^k \qquad \forall (i,r)\in\bar{N}, k\in K, \quad (15)$$

$$\sum_{k \in \mathcal{K}} x_{ijr}^k \le C_{ijr} y_{ijr} \qquad \forall (i, j, r) \in \bar{A}, \quad (16)$$

$$x_{ijr}^k \le m_{ijr}^k \qquad \forall (i,j,r) \in \bar{A}, k \in K, \qquad (17)$$

$$x_{ijr}^k \ge 0 \qquad \forall (i, j, r) \in \bar{A}, \quad (18)$$

$$\sum_{(i,j)\in\bar{A}} f_{ijr} y_{ijr} \le I_r \qquad \forall r \in T, e \qquad (19)$$

$$y_{ijr} \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j,r) \in \bar{A}. \tag{20}$$

O objetivo, descrito na equação (14), é o de minimizar a soma, ponderada entre os critérios de avaliação, dos custos variáveis e dos custos fixos, associados aos fluxos nos arcos e à abertura de arcos para fluxos positivos, respectivamente, para todas as commodities e todos os períodos de tempo contemplados. A equação (15) representa restrição de conservação de fluxos para determinado nó em determinado período, para um tipo específico de commodity. A restrição de capacidade dos arcos é regulada pela equação (16). A restrição descrita pela equação (17) apresenta as limitações superiores de fluxo para as variáveis x_{ijr}^k ; e na equação (18) suas restrições de não negatividade. A equação (19) impõe restrição de recursos utilizados para tornar um conjunto de arcos disponíveis em determinado período de tempo. E, finalmente, na equação (20) é definida a condição de integralidade binária para as variáveis discretas y_{ijr} . Ainda, com o desenvolvimento do trabalho o modelo incorporará novos termos nesta formulação genérica, representando relações adicionais que devam ser explicitadas no modelo.

Ainda, após análise do referencial teórico descrito neste trabalho, foi possível propor as dimensões de avaliação para o problema de decisão de investimentos em infraestrutura de transporte de cargas. Esta proposta norteou-se pela disponibilidade de informações que pudessem ser aplicadas para todos os modais de transporte considerados, no caso o rodoviário, ferroviário e hidroviário, e que apresentassem maior compatibilidade com a base de dados adotada para aplicação em caso ilustrativo. A seguir, as dimensões de avaliação propostas:

- (a) dimensão econômico-financeira, que compreende (i) custos com frete na movimentação de produtos e (ii) custos com investimentos em projetos de intervenção;
 - (b) dimensão operacional, consistida pelo tempo de viagem de produtos pela rede; e
- (c) dimensão ambiental, que englobará (i) emissão de CO₂, (ii) área de desmatamento e intersecções com áreas demarcadas como (iii) terras indígenas, (iv) unidades de conservação de proteção integral e (v) unidades de conservação de uso sustentável.

Outras dimensões de avaliação poderiam complementar a proposta acima como, por exemplo, custos com manutenção veicular e viária (em dimensão econômico-financeira), índices de acidentes, de acessibilidade e disponibilidade modal (em dimensão operacional) e índices de integração regional e distribuição modal (em dimensão político-estratégica).

No entanto, a pesquisa do autor não alcançou estudos que, ou apresentassem metodologia de avaliação dos itens citados acima, ou, quando uma metodologia foi proposta, que compreendessem todos os modais de transporte considerados na análise. A adoção destes outros

itens de avaliação, portanto, demandaria o desenvolvimento de novas metodologias de avaliação que possibilitassem a comparação de projetos de investimento em infraestrutura de transporte concorrentes dos diferentes modais e situados em localizações diversas.

3.2.2 Definição das ferramentas de análise

Para aplicação do modelo proposto e avaliação de seus resultados será adotada ferramenta informatizada para resolução de problemas de programação matemática. Existem diversos aplicativos capazes de processar problemas de programação matemática e alguns dos mais conhecidos são: AIMMS¹², LINGO¹³, MATLAB¹⁴, e o próprio Excel¹⁵, por meio de suplementos comerciais com interface específica para configuração e resolução deste tipo de problema. Cada aplicativo mencionado utiliza uma linguagem de modelagem específica. Uma lista compreensiva de aplicativos de otimização pode ser encontrada em Wikipedia (2013).

Entre os suplementos comerciais do Excel destacam-se os aplicativos *Premium Solver Platform* (PSP)¹⁶, o RISKOptimizer¹⁷ e o What'sBest!¹⁸. Devido a trabalhos profissionais anteriores, o autor tem acesso e familiaridade com o suplemento comercial PSP.

Portanto, motivada por sua interface simples comparada a outras ferramentas, por sua disponibilidade, pela familiaridade do autor e pelo fato de que esta compreende uma gama interessante de algoritmos de resolução, apoiados tanto em métodos exatos quanto em heurísticos, abrangendo problemas caracterizados como PL, PLI, PLIM e PNL, entre outros,

¹² Advanced Interactive Multidimensional Modeling System (AIMMS). Maiores informações em: http://business.aimms.com/.

¹³ IBM ILOG CPLEX Optimization Studio (CPLEX). Maiores informações em: http://pic.dhe.ibm.com/infocenter/cosinfoc/v12r5/index.jsp?topic=%2Filog.odms.studio.help%2FOptimization_Studio%2Ftopics%2FCOS_relnotes_intro.html.

¹⁴ *Matrix Laboratory* (MATLAB), produzido pela MathWorks. Maiores informações em http://www.mathworks.com/products/matlab/?s_cid=wiki_matlab_15.

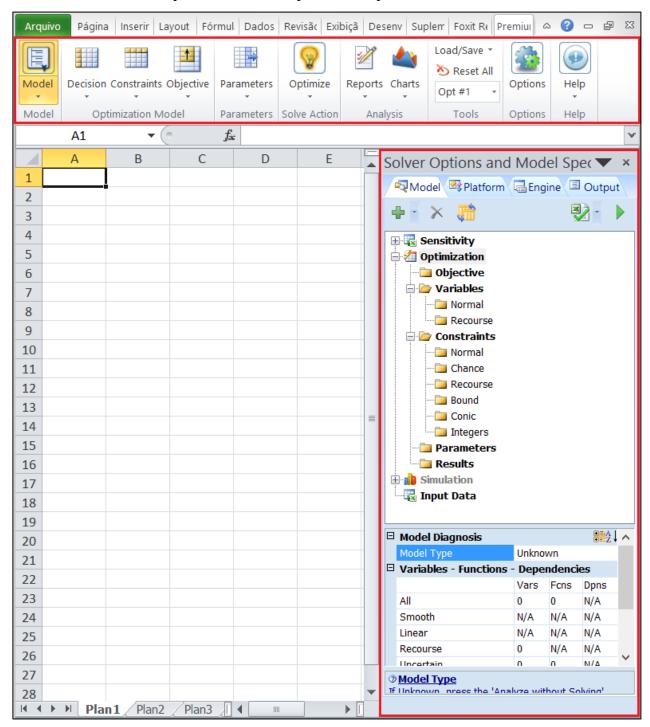
¹⁵ Excel, aplicativo de planilhas eletrônicas, componente do pacote de aplicativos *Office*, produzido pela empresa *Microsoft*. Maiores informações em: http://office.microsoft.com/pt-br/.

¹⁶ Premium Solver Platform (PSP), desenvolvido pela empresa Frontline Systems. Maiores informações em: http://www.solver.com/.

RISKOptimizer, produzido pela empresa *Palisade*. Maiores informações em: http://www.palisade.com/riskoptimizer/default.asp?gclid=CJqe2tWL0LgCFVFp7Aod1ngAzQ.

What's Best!, produzido pela empresa *Lindo Systems*. Maiores informações em: http://www.lindo.com/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=11.

optou-se pela adoção do aplicativo Excel com o suplemento do aplicativo PSP. A figura 1 abaixo destaca as interfaces do aplicativo PSP incorporadas ao aplicativo Excel.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 1 – Interface do aplicativo PSP incorporada ao aplicativo Excel

No entanto, a versão do aplicativo PSP disponível ao autor comporta apenas problemas PLIM com, no máximo, 8.000 variáveis, sendo que destas 2.000 podem ser inteiras, e 8.000 restrições. Para resolução de modelos de PLIM de dimensões ilimitadas, a desenvolvedora do PSP comercializa aplicativos com algoritmos mais capacitados, precificados em valores entre US\$ 2.500,00 e US\$ 9.200,00, dependendo do algoritmo, que podem ser testados plenamente durante um período de 15 dias. Com isso, adotou-se a estratégia de construção de toda a estrutura do modelo anteriormente à solicitação de teste deste aplicativo para obtenção de seus resultados no período de teste supra citado. Este trabalho será apresentado com detalhes na seção de desenvolvimento do modelo.

A adoção de outras ferramentas de análise, como as citadas alternativamente acima, pode ser objeto de trabalhos futuros, no sentido de realizar uma comparação da praticidade de construção dos modelos de programação matemática e do desempenho dos aplicativos na resolução deste tipo de problema.

3.3 Tratamento de dados

A fase de tratamento de dados envolveu uma série de procedimentos para adequação das informações da base de dados coletada aos propósitos e requisitos do modelo pretendido neste estudo. A exposição de tais procedimentos será dividida nos seguintes tópicos para melhor entendimento: (1) estrutura da rede de transporte, (2) capacidade viária, (3) balanço de fluxos dos nós da rede, (4) custo com fretes, (5) custo com investimentos, (6) tempo de viagem, (7) emissão de CO₂, (8) área de desmatamento e (9) intersecção com áreas de preservação.

3.3.1 Estrutura da rede de transporte

A adequação das informações referentes à estrutura da rede de transporte, presente na base de dados disponibilizada pelo Ministério dos Transportes na ocasião do PNLT (BRASIL,

2007), para aplicação no modelo de programação matemática proposto aqui exigiu um extensivo trabalho manual, que será descrito a seguir.

A base de dados do PNLT apresenta as informações da estrutura da rede de transporte nacional em arquivos compatíveis a aplicativos GIS. Estes aplicativos permitem a visualização desta estrutura de rede em mapas e oferecem uma variedade de ferramentas para, por exemplo, seleção de itens por atributos, como a localização geográfica ou o modal de transporte a que se referem. Foram disponibilizados, também, arquivos contemplando todos os atributos levantados para cada item da estrutura da rede de transporte, que podem ser visualizados por meio do aplicativo Excel.

Para operacionalização dos procedimentos aqui descritos adotou-se o aplicativo ArcMap, do pacote de aplicativos ArcGIS¹⁹ em sua versão 10.0.

Inicialmente, foi necessária separação dos itens da estrutura da rede entre os diferentes modais de transporte, incluindo itens de acesso e transferência modal, tendo em vista que foram disponibilizados de forma agregada, apesar de estarem caracterizados em seus atributos. Para esta tarefa, utilizou-se ferramenta de seleção por atributo do aplicativo GIS, sendo os itens selecionados salvos em um novo conjunto de informações específicas por modal.

Com isso, os itens da estrutura da rede de transporte foram distribuídos entre estruturas da rede por modal, englobando: (1) rede dutoviária, com arcos representativos dos acessos às dutovias e as próprias dutovias; (2) rede ferroviária, com arcos dos acessos às ferrovias, das ferrovias e das transferências do modal ferroviário com os modais dutoviário e hidroviário; (3) rede hidroviária, com arcos dos acessos aos rios navegáveis e à rede de cabotagem, das hidrovias, dos percursos de cabotagem e marítimos (representando ligações com o exterior), e das transferências do modal hidroviário ao modal dutoviário; e (4) rede rodoviária, com arcos dos acessos às rodovias, das rodovias e das transferências do modal rodoviário para os modais dutoviário, ferroviário e hidroviário.

As figuras 2 a 5 abaixo apresentam os resultantes da tarefa acima nas redes dutoviária, ferroviária, hidroviária e rodoviária, respectivamente.

¹⁹ ArcGIS é um aplicativo caracterizado como um sistema de informações geográficas, desenvolvido pela empresa Esri. Maiores informações em: http://www.esri.com/software/arcgis.

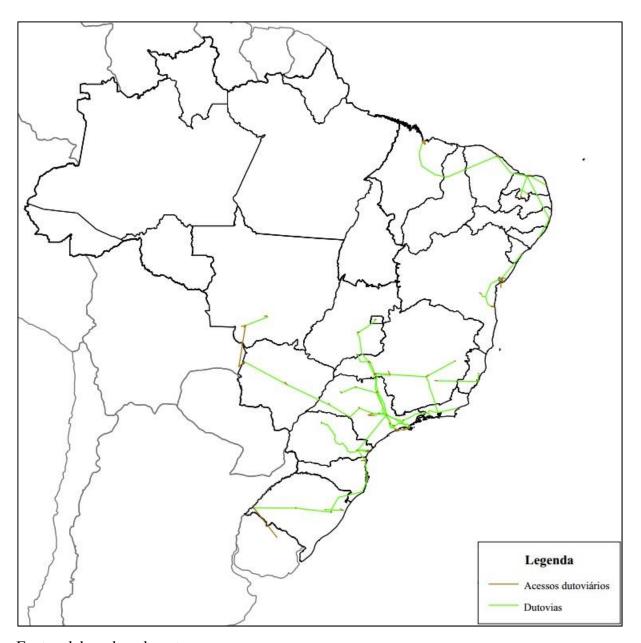


Figura 2 – Rede dutoviária do Brasil

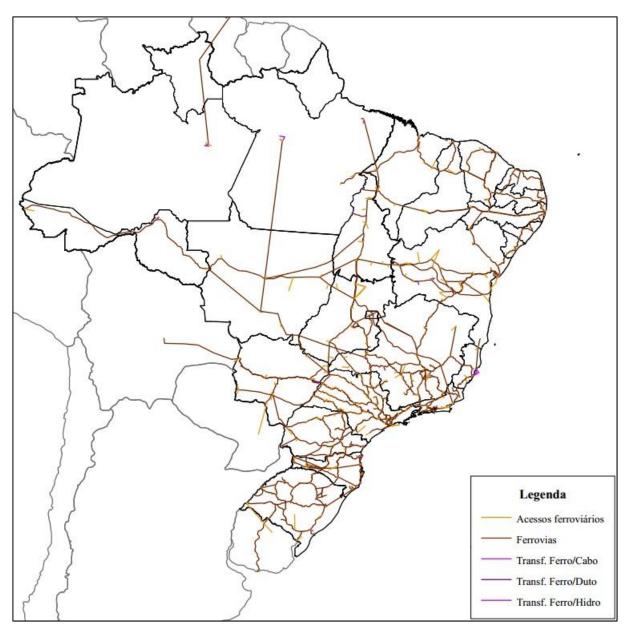


Figura 3 – Rede ferroviária do Brasil

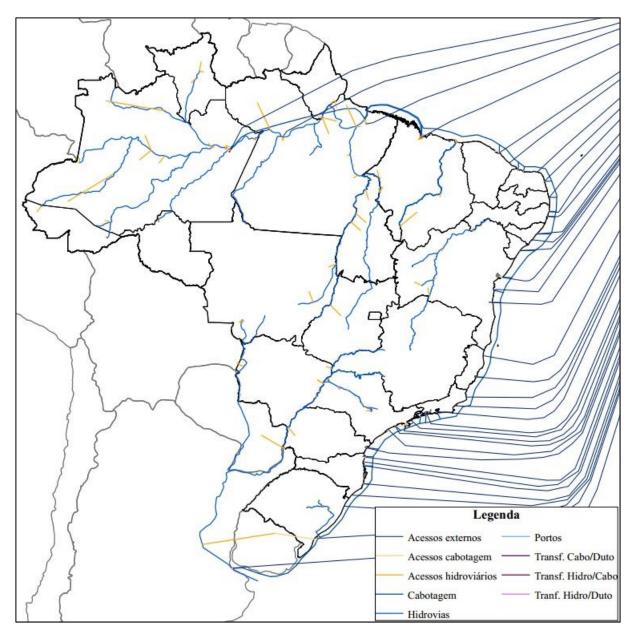


Figura 4 – Rede hidroviária e de cabotagem do Brasil

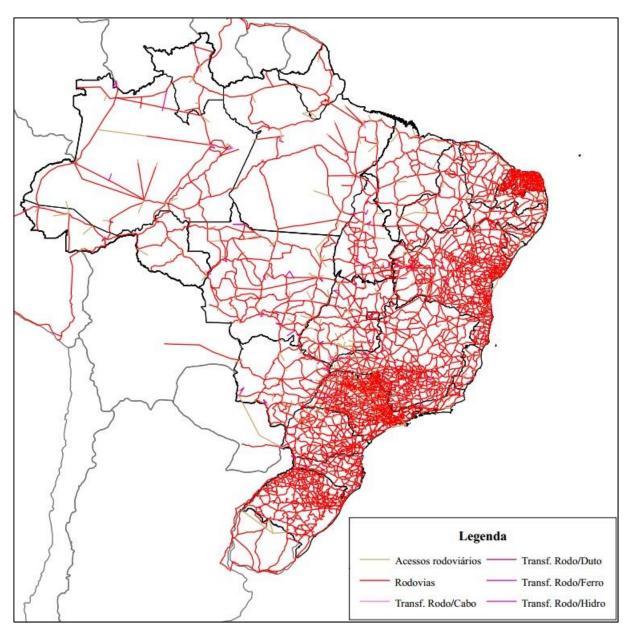
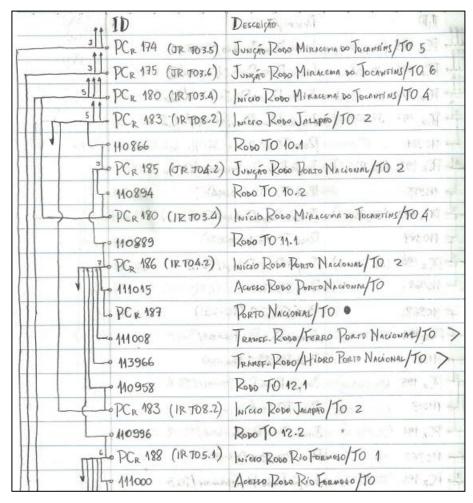


Figura 5 – Rede rodoviária do Brasil

Posteriormente, e apenas para a região Norte do Brasil, escopo definido do presente estudo, foi necessária identificação do encadeamento entre os arcos, e seus respectivos pontos de conexão, descritos na estrutura da rede de transporte. Ainda com o auxílio do aplicativo GIS, o autor identificou o ordenamento dos arcos em cada uma das vias da estrutura da rede de transporte atribuindo pontos de conexão nos locais de intersecção ou interrupção de vias. Todos os arcos e pontos de conexão foram, então, codificados para posterior aplicação no modelo

proposto. Apenas com caráter ilustrativo, a figura 6 a seguir apresenta anotações parciais utilizadas na etapa descrita neste parágrafo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 6 – Extrato das anotações para o mapeamento da rede de transporte

Finalmente, os pontos de conexão identificados foram organizados em planilha eletrônica do Excel contemplando as ligações entre pontos de conexão originários e destinatários de fluxos de produtos, englobando todos os arcos representativos de cada ligação, resultando no mapeamento completo da estrutura da rede de transporte da região Norte do Brasil. Ainda, foram destacadas as ligações que incorporaram arcos de intervenção. Este mapeamento está apresentado parcialmente na figura 7 abaixo.

1	Α	В	С	D	E	F	G	Н	AN	AO	AP	AQ	AR
1 2 F	EA/RP	USP - PP	GAO - Disserta	ção - Mapeamento Rede	Viária Consol	iidada - Região Norte / Br	asil						
4	Link	Classe	ЮΟ	Origem	ID D	Destino	Segmentos	~	LENGTH		ENTIDO_CO	NOME	SIGLA
5	1	AF	AC1	Cruzeiro do Sul/AC	IF AC1.1	IF Cruzeiro do Sul/AC 1	117423	•	51,986233	0	0	0	0
6	2	TRF	IF AC1.1	IF Cruzeiro do Sul/AC 1	IR AC1.2	IR Cruzeiro do Sul/AC 2	117686	>	22,016495	0	0	0	0
7	3	FC	IF AC1.1	IF Cruzeiro do Sul/AC 1	IF AC2.1	IF Rio Branco/AC 1	117417		460,652252	0	0	FERROVIA TRANSCONTINENTAL	0
8	4	TRF	IF AC2.1	IF Rio Branco/AC 1	IR AC2.1	IR Rio Branco/AC 1	117437	>	41,440468	0	0	TRANSF	0
9	5	FC	IF AC2.1	IF Rio Branco/AC 1	IF RO1.1	IF Porto Velho/RO 1	117436		68,963814	0	0	FERROVIA TRANSCONTINENTAL	0
10	5	FC					117420		233,314148	0	0	FERROVIA TRANSCONTINENTAL	0
11	6	AF	IF RO1.1	IF Porto Velho/RO 1	RO1	Porto Velho/RO	112438	•	9,587345	0	0	0	0
12	7	TRF	IF RO1.1	IF Porto Velho/RO 1	IR RO1.1	IR Porto Velho/RO 1	112440	>	21,238131	0	0	TRANSF	0
13	8	TFH	IF RO1.1	IF Porto Velho/RO 1	IH RO1.1	IH Porto Velho/RO 1	112439	>	38,132267	0	0	0	0
14	9	FC	IF RO1.1	IF Porto Velho/RO 1	IF RO2.1	IF Vilhena/RO 1	112988		403,388794	0	0	ALL	0
15	10	AF	IF RO2.1	IF Vilhena/RO 1	RO2	Vilhena/RO	112989	•	16,452499	0	0	0	0
16	11	TRF	IF RO2.1	IF Vilhena/RO 1	IR RO2-RO8	IR Vilhena/RO - Colorado do Oeste/RO	112990	>	43,100288	0	0	TRANSF	0
17	12	FC	IF RO2.1	IF Vilhena/RO 1	IF MT1.1	IF Cuiabá/MT 1	112437		342,12204	0	0	ALL	0
18	13	FC	IF RO2.1	IF Vilhena/RO 1	IF MT2.1	IF Aripuana/MT 1	113785		92,935303	0	0	EFNS	0
19													
20	14	AF	AM1	Manaus/AM	IF AM1.1	IF Manaus/AM 1	112887	•	16,603094	0	0	0	0
21	15	AF	AM1	Manaus/AM	IF AM1.1	IF Manaus/AM 1	112888	•	17,476337	0	0	0	0
22	16	TFH	IF AM1.1	IF Manaus/AM 1	IH AM1.1	IH Manaus/AM 1	112889	>	42,726608	0	0	0	0
23	17	TRF	IF AM1.1	IF Manaus/AM 1	IR AM1.1	IR Manaus/AM 1	112890	>	27,017807	0	0	TRANSF	0
24	18	FC	IF AM1.1	IF Manaus/AM 1	P1.1	Georgetown/Guiana	112869	•	727,166687	0	0	LIG MANAUS-GEORGETOWN	0
25													
26	19	AF	PA1	Belém/PA	IF PA1.1	IF Belém/PA 1	112638	•	8,540983	0	0	0	0
27	20	AF	PA1	Belém/PA	IF PA1.1	IF Belém/PA 1	112639	•	9,945127	0	0	0	0
) R (⊃1 ► H Cor	ਾਰਜ nsolidado ∠	Ferro Hidro Ca	TF Ralám/DA 1 abo / Rodo / Microrregiões	Países / MM /	ID Ralám/DA 1 MMInvest	112640	>	20.853800	1	n	TRANSE	٥

Figura 7 – Extrato do mapeamento da rede de transporte na região Norte do Brasil

3.3.2 Capacidade viária

Tendo em vista que a base de dados do PNLT (BRASIL, 2007) não apresentou informações suficientes referentes à capacidade viária dos arcos contemplados na estrutura da rede de transporte, fez-se necessária consulta a outros autores e documentos para composição desta informação, imprescindível para análise de alternativas de investimento em projetos de intervenção em infraestrutura de transporte.

O presente trabalho, como mencionado anteriormente, adotou a rede de transporte existente na região Norte do Brasil como escopo para aplicação do modelo. Esta região contempla apenas redes de transporte dos modais ferroviário, hidroviário e rodoviário, às quais deverão ser incorporadas informações relativas às capacidades viárias de cada um dos seus arcos representativos. As capacidades viárias dos itens referentes aos acessos aos modais de transporte e às transferências entre os modais foram desconsiderados por serem de difícil mensuração.

Para o modal ferroviário, os documentos disponibilizados pela ANTT, com informações referentes à declaração de rede ferroviária concessionada, mencionados no referencial teórico deste estudo, ofereceram interessante subsídio para definição de suas capacidades viárias. Duas

ferrovias já implantadas na região Norte do Brasil foram contempladas nos relatórios disponibilizados pela ANTT: a estrada de ferro Carajás (ANTT, 2013a), que compreende trechos entre as cidades de Parauapebas/PA e Imperatriz/MA, entre outros; e a ferrovia Norte-Sul (ANTT, 2013b), com trechos entre Açailândia/PA a Miracema do Tocantins/TO. Esta última ainda apresentava-se em grande parte como uma ferrovia planejada em 2007, ano de composição da base de dados do PNLT, e foi desta forma considerada no modelo aqui proposto.

As capacidades médias para a estrada de ferro Carajás e para a ferrovia Norte-Sul são de cerca de 13,6 e de 5,0 trens por dia, respectivamente. As demais ferrovias presentes na região Norte do Brasil, de acordo com a base de dados do PNLT, são ferrovias ainda não implantadas. Para estas ferrovias, adotou-se o valor da capacidade média obtido para a estrada de ferro Carajás de 13,6 trens por dia.

Para identificação da capacidade viária destas ferrovias em medida de peso, fez-se necessária definição da capacidade veicular ferroviária e do seu regime de operação. Ainda de acordo com a ANTT (2013a; 2013b) as ferrovias operam durante 360 dias por ano, ou seja, durante o ano inteiro. Quanto às capacidades veiculares, adotaram-se os dados sugeridos por Fajardo (2006), por apresentar informações referentes a todos os modais de transporte contemplados nesta análise. Assim, a capacidade veicular padrão adotada para o modal ferroviário foi de 5.600 toneladas.

As capacidades viárias para cada arco do modal ferroviário foram, então, calculadas de acordo com a seguinte equação 21, onde CF é a capacidade ferroviária, t representa o número de trens por dia do trecho específico, v é a capacidade veicular padrão, d refere-se ao número de dias por ano e a representa o número de anos por período, no caso considerado período quadrienal.

$$CF = t. v. d. a \tag{21}$$

As capacidades viárias do modal hidroviário foram explicitadas por Fialho (2010) em medidas de peso por ano. Para este caso, portanto, as capacidades viárias para o período quadrienal proposto para análise podem ser calculadas multiplicando-se os valores descritos em Fialho (2010) pelo número de anos do período.

No entanto, nem todas as hidrovias presentes na região Norte do país foram contempladas no estudo de Fialho (2010), como é o caso dos rios Amazonas, Branco, Negro, Xingu, Purus, Acre e Juruá. A partir da descrição das condições de navegabilidade destes rios, presentes nos

sítios eletrônicos das companhias de administração das hidrovias nacionais, com destaque para a Administração das Hidrovias da Amazônia Oriental (AHIMOR), a Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental (AHIMOC) e a Administração das Hidrovias do Tocantins-Araguaia (AHITAR), estimou-se, arbitrariamente e com referência aos valores descritos por Fialho (2010), as capacidades viárias das hidrovias não contempladas no estudo citado acima.

Enfim, para definição das capacidades viárias do modal rodoviário foi necessário um trabalho aprofundado. A *Transportation Research Board* (2000), com a elaboração do HCM, apresenta metodologia que consagrada para identificação da capacidade viária no modal rodoviário.

O HCM apresenta tabelas com o fluxo de veículos por hora estimado para cada faixa de nível de serviço para diferentes estruturas viárias do modal rodoviário. Cada tipo de estrutura viária apresenta desmembramento das características do terreno em que foi implantado: terreno plano, terreno ondulado e terreno montanhoso. Felizmente, a base de dados do PNLT também dispõe de informações do tipo de terreno de implantação das estruturas viárias consideradas.

Desta forma, adotaram-se os valores estimados de fluxos de veículos por hora e por faixa de nível de serviço para rodovias de pista simples com velocidades de fluxo livre de 100 km/h e de 70 km/h e para rodovias duplicadas com velocidade de fluxo livre de 100 km/h. Para as rodovias de pista simples, foram considerados os valores para todos os tipos de terreno, enquanto para rodovias duplicadas, considerou-se apenas os valores para terrenos planos, compatíveis com os dados encontrados na região Norte do Brasil. Estes dados, sumarizados, estão apresentados na tabela 18 abaixo.

Tabela 18 – Fluxo de veículos por nível de serviço rodoviário

				Nível de So	erviço (veíc	culos/hora)	
Tipo de Via	Velocidade de Fluxo Livre (km/h)	Tipo de Terreno	A	В	C	D	E
		Plano		490	900	1.570	2.680
Rodovia	100	Ondulado	130	260	710	1.490	2.500
simples		Montanhoso	40	160	310	610	1.410
simples	70	Plano	1	-	-	490	2.680
	70	Montanhoso	1	-	-	180	1.410
Rodovia duplicada	100	Plano	1.200	1.880	2.700	3.450	4.060

Fonte: adaptado de Transportation Research Board (2000).

A medida de fluxo de veículos por hora assume como referencial veículos de passeio. Faz-se necessário ajuste dos valores descritos pelo HCM por um fator de equivalência para caminhões, o veículo rodoviário padrão considerado nesta análise. Segundo Freitas (2012), o fator de equivalência adotado no HCM assume o valor de 1,75 para este tipo de veículo.

Adicionalmente, a capacidade rodoviária deve ser ajustada no sentido de contemplar o fluxo de veículos utilizados para o transporte de pessoas. A partir dos dados da Pesquisa Nacional de Tráfego (PNT), realizada no ano de 2011 e disponível no sítio eletrônico da Ministério dos Transportes (BRASIL, 2012a), foi possível identificar o volume de fluxo de cada tipo de veículo nas rodovias brasileiras. Os resultados sumarizados da PNT 2011, incluindo ajustes pelos fatores de equivalência apresentados por Freitas, estão descritos na tabela 19 abaixo:

Tabela 19 – Resultados da PNT 2011

Veículo	Fator de Conversão	PNT 2011 (veículos)	PNT 2011 (veículos equivalentes)	% do Total
Automóvel	1,00	75.005	75.005	48,13%
Ônibus	2,25	1.659	3.733	2,40%
Caminhão	1,75	42.963	75.185	48,25%
Moto	0,33	5.790	1.911	1,23%
Bicicleta	0,20	0	0	0,00%
TOTAL	-	125.417	155.834	100,00%

Fonte: elaborado pelo autor.

O cálculo da capacidade viária por nível de serviço para o modal rodoviário, portanto, foi realizado de acordo com a equação 22, descrita a seguir, em que *CR* representa a capacidade rodoviária, *f* representa o fluxo de veículos por hora, *i* representa o fator de conversão de veículos equivalentes no veículo padrão rodoviário adotado, *p* representa a proporção de caminhões nas rodovias brasileiras, *h* é o número de horas por dia, *d* o número de dias por ano e *a* representa o número de anos do período de análise considerado.

$$CR = \left[\left(\frac{f}{i} \right) \cdot p \right] \cdot h \cdot d \cdot a \tag{22}$$

A opção pela adoção do conceito de nível de serviço para análise da capacidade do modal rodoviário exige identificação dos impactos da mudança de um nível de serviço para outro e sua incorporação no modelo proposto. A partir das descrições das características de operação dos diferentes níveis de serviço presentes no HCM, o autor estimou impactos da mudança nos níveis

de serviço das ligações rodoviárias traduzidos em redução de sua velocidade média de fluxo. Os fatores de redução considerados estão descritos na tabela 20 a seguir.

Tabela 20 – Fatores de redução da velocidade média em função do nível de serviço

	Nível de Serviço (fatores de redução)								
Tipo de Via	A	В	C	D	E	F			
Rodovia simples	1,000	1,000	0,778	0,667	0,556	0,333			
Rodovia duplicada	1,000	1,000	0,900	0,800	0,700	0,500			

Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.3 Balanço de fluxos dos nós da rede

Abordada anteriormente, a base de dados do PNLT contempla dados de produção, consumo, importação e exportação de 45 tipos de produtos entre todas as microrregiões brasileiras, segundo definição do IBGE, e uma região representando o exterior do Brasil, para os anos de 2007, 2015, 2023 e 2031, expressos em medida de peso.

Os 45 tipos de produtos foram classificados em seis grupos de produtos homogêneos, para fins de cálculo de frete, são eles: (1) granéis vegetais, (2) granéis sólidos, (3) granéis líquidos, (4) minérios, (5) outros produtos e (6) carga geral. Os quadros 1 a 6 abaixo contemplam os produtos classificados em cada grupo de produtos homogêneos.

Quadro 1 – Produtos da base de dados do PNLT classificados como granel vegetal

Arroz em casca	Milho em grão	Trigo em grão e outros cereais	
Soja em grão	Outros produtos e serviços da lavoura	Fumo em folha	
Algodão herbáceo	Frutas cítricas	Café em grão	

Fonte: adaptado de Brasil (2007).

Quadro 2 – Produtos da base de dados do PNLT classificados como granal sólido

Arroz beneficiado e produtos derivados	Farinha de trigo e derivados	Farinha de mandioca e outros
Produtos das usinas e do refino de açúcar	Café torrado e moído	Produtos do fumo

Fonte: adaptado de Brasil (2007).

Quadro 3 – Produtos da base de dados do PNLT classificados como granel líquido

Celulose e outras pastas para fabricação de papel	Gás liquefeito de petróleo	Gasolina automotiva	Gasoálcool	
Óleo combustível	Óleo diesel	Outros produtos do refino de petróleo e coque	Álcool	
Produtos quím	icos orgânicos	Fabricação de resina e elastômeros		

Fonte: adaptado de Brasil (2007).

Quadro 4 – Produtos da base de dados do PNLT classificados como minério

Minério de ferro	Minerais metálicos não- ferrosos	Minerais não metálicos
------------------	-------------------------------------	------------------------

Fonte: adaptado de Brasil (2007).

Quadro 5 – Produtos da base de dados do PNLT classificados como outros produtos

Bovinos e outros animais vivos	Leite de vaca e de outros animais	Suínos vivos	Aves vivas	
Pesca e agricultura	Abate e preparação de produtos de carne	Carne suína fresca, resfriada ou congelada	Carne de aves fresca, resfriada ou congelada	
Óleo de soja em bruto e tortas, bagaços e farelo de soja	Óleo de soja refinado	Óleos de milho, amidos e féculas vegetais e rações	Cimento	
Gusa e ferro-ligas	Semi-acabados, laminados planos, longos e tubos de aço	Automóveis, camionetas e utilitários	Caminhões e ônibus	

Fonte: adaptado de Brasil (2007).

Quadro 6 – Produtos da base de dados do PNLT classificados como carga geral

			Carga geral
 	 	_	

Fonte: adaptado de Brasil (2007).

A adequação deste volume de dados para aplicação no modelo proposto contemplou os procedimentos descritos a seguir.

Em um primeiro momento, as informações de cada microrregião, e para cada produto, foram agregadas de tal forma que a composição da soma dos pares de produção e exportação, subtraída a soma dos pares de consumo e importação, resultassem em déficits ou superávits de determinado produto em relação à determinada microrregião. Os pares citados, na base de dados original do PNLT, são complementares, isto é, os valores descritos como exportação não são redundantes em relação aos valores descritos como produção, assim como os valores descritos como importação não são redundantes em relação aos valores descritos como consumo.

Posteriormente, para representação da movimentação de produtos entre a região Norte do Brasil e as demais regiões nacionais, além do exterior, o mesmo trabalho de agregação dos dados de produção, exportação, consumo e importação foi replicado considerando-se, agora, os níveis de estados e de regiões nacionais. Com isso, além do balanço de fluxos dos nós representativos das microrregiões pertencentes à região Norte do Brasil, foram identificados os balanços de fluxos dos demais estados e regiões do país.

Continuando, desenvolveu-se uma análise para cada tipo de produto das relações deficitárias ou superavitárias da região Norte com as demais regiões do Brasil. Para os casos em que a região Norte é deficitária em relação a determinado produto, identificaram-se quais regiões são superavitárias, e dentro destas quais estados são superavitários, e em qual montante, para o mesmo produto. Assim, os valores deficitários encontrados na região Norte foram distribuídos proporcionalmente entre as regiões superavitárias do país, e dentre seus respectivos estados, de acordo com seu volume superavitário. O mesmo procedimento, invertido, foi adotado para os casos em que a região Norte é superavitária em relação a determinado produto.

Desta forma, foi possível identificar os balanços de fluxos dos nós da rede separados por produto, para os anos de 2007, 2015, 2023 e 2031. Para adequação deste conjunto de dados à periodicidade quadrienal proposta para o modelo de análise, foram calculados dados referentes aos anos de 2011, 2019 e 2027 pela média entre os valores disponibilizados no período anterior e no período subsequente ao período inserido. Para o ano de 2011, por exemplo, a média contemplou dados dos anos de 2007 e de 2015. Finalmente, os valores obtidos para cada um dos sete anos contemplados foi multiplicado por quatro para representação do período quadrienal em questão.

Estes procedimentos resultaram em uma tabela com os balanços de fluxo de todos os nós contemplados no modelo, para 45 produtos e sete períodos quadrienais, iniciando-se no ano de 2007.

3.3.4 Custo com fretes

Como visto no referencial teórico deste trabalho, diversos autores apresentaram estimativas de custo de frete para os diferentes modais de transporte. Os dados apresentados no estudo do PNLT, no entanto, foram os únicos que contemplaram valores em função da distância de deslocamento e do tipo de produto. Além disso, são compatíveis com os dados adotados referentes aos produtos que serão movimentados pela rede de transporte, pois, assim como a estrutura da rede de transporte, foram concebidos na oportunidade da elaboração do PNLT.

Os gráficos 3 a 6 abaixo foram criados a partir dos dados descritos na tabela 2 deste documento, separando os custos com fretes gerais para o modal hidroviário, incluindo hidrovias e cabotagem, e para diferentes grupos de produtos para os modais ferroviário e rodoviário. Contemplam, também, identificação de linhas de tendência lineares para cada série de dados e de seus respectivos coeficientes de correlação, R^2 .

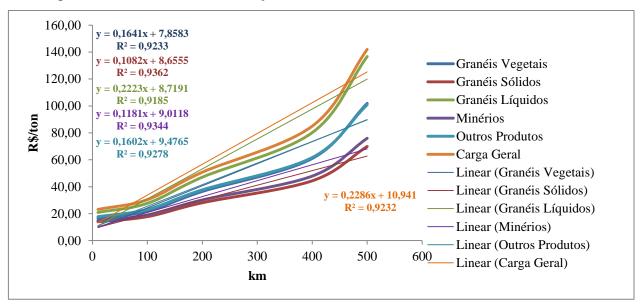


Gráfico 3 – Custo com frete do modal ferroviário

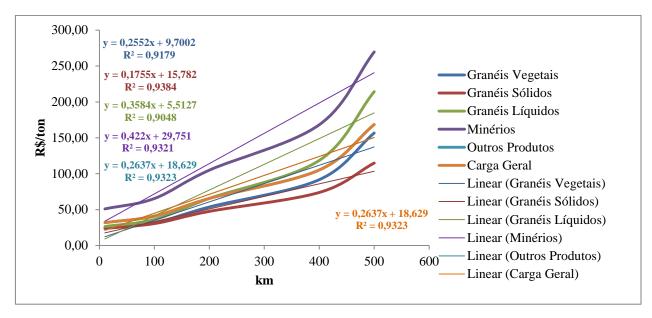


Gráfico 4 – Custo com frete do modal rodoviário

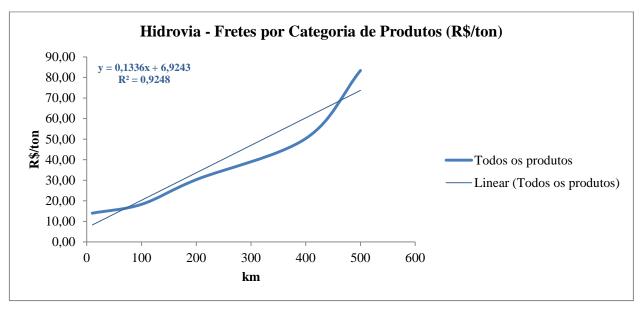


Gráfico 5 – Custo com frete em hidrovias

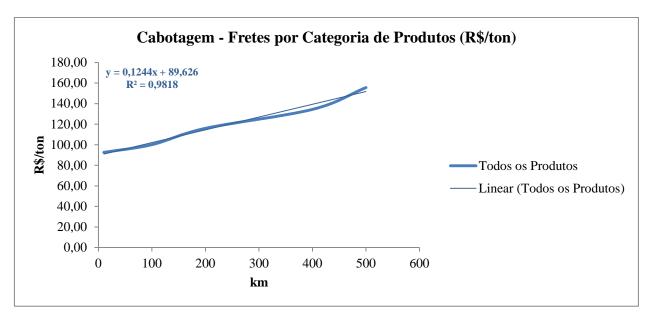


Gráfico 6 – Custo com frete em cabotagem

Assim, as funções matemáticas representativas das linhas de tendência lineares identificadas foram utilizadas para o cálculo do frete em cada arco da rede de transporte, em função de sua distância, do modal de transporte e do grupo a qual determinado produto foi classificado.

3.3.5 Custo com investimentos

Os custos com investimentos foram fornecidos junto à base de dados do PNLT, identificados em 339 grandes projetos de investimento em infraestrutura de transporte, conforme mencionado no referencial teórico deste estudo. Ainda, cada projeto de investimento é representado por um conjunto de arcos na estrutura da rede de transporte.

A partir da análise do arquivo com os atributos da estrutura de rede de transporte foi possível vincular cada arco representativo ao respectivo projeto de investimento. Os valores dos projetos de investimento descritos na base de dados do PNLT e pertencentes à região Norte do Brasil foram, então, distribuídos para seus arcos representativos em função de sua distância, medida em quilômetros.

Adicionalmente, fez-se necessária identificação dos recursos disponíveis em cada período de análise que restringem a implantação das alternativas de intervenções na rede de transporte proposta neste trabalho. A partir dos dados disponibilizados no estudo de Frischtak (2008), e excluídos os dados referentes ao modal aeroviário, foram identificados os valores de investimentos em infraestrutura de transporte projetados para o quadriênio de 2007 a 2011 e o crescimento observado destes investimentos entre os valores realizados para o quadriênio de 2003 a 2006, comparados aos valores projetados para o quadriênio de 2007 a 2011.

O percentual de crescimento de investimentos entre os quadriênios de 2003 a 2006 e de 2007 a 2011 foi, então, adotado para a projeção dos valores de investimentos em infraestrutura de transportes para os demais quadriênios considerados na análise proposta neste trabalho. Finalmente, os valores obtidos por quadriênio foram distribuídos de forma igualitária para as cinco grandes regiões do Brasil. Os valores de investimento projetados para todos os quadriênios consideradas nesta análise estão descritos na tabela 21 a seguir.

Tabela 21 – Valores projetados de investimentos em infraestrutura de transporte para a região Norte do Brasil (em bilhões de R\$)

				Período			
Descrição	2007-10	2011-14	2015-18	2019-22	2023-26	2027-31	2031-34
Investimento							
em							
infraestrutura							
de	9,416	12,484	16,551	21,944	29,094	38,574	51.142
transportes	9,410	12,404	10,331	21,944	29,094	36,374	31.142
(excluído							
modal							
aeroviário)							

Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.6 Tempo de viagem

O documento com os atributos dos arcos componentes da rede de transporte, disponibilizados junto à base de dados do PNLT, fornecem informações referentes às velocidades médias de cada arco e suas distâncias, medidas em quilômetros por hora e em quilômetros,

respectivamente. Com estes dados, foi possível calcular os tempos de viagem para cada trecho da rede de transporte multimodal.

3.3.7 Emissão de CO₂

Os estudos de Fialho (2010) e de Silva, R. B. (2008) apresentaram estimativas de emissão de CO₂ para todos os modais de transporte considerados no modelo proposto, em gramas por toneladas vezes quilômetros. Optou-se pela adoção dos dados descritos no estudo de Silva, R. B. (2008), pois este norteia-se, assim como o presente trabalho, no estudo desenvolvido para o PNLT.

3.3.8 Área de desmatamento

Seguindo sugestão de Eller, Junior e Curi (2011), a área de desmatamento será utilizada como um indicador do impacto ambiental gerado na implantação de novas infraestruturas de transporte no modelo proposto. O cálculo da área de desmatamento apoiou-se fortemente no trabalho de Laurance et al. (2001), conforme descrito a seguir.

Os dados descritos na tabela 14 e no gráfico 2, presentes no referencial teórico deste estudo, foram combinados para identificação das áreas de desmatamento na implantação de infraestrutura de transporte para cada um dos modais considerados, em hectares por quilômetro ocupado pela infraestrutura em questão, em cenários otimista e pessimista.

Os percentuais de desmatamento identificados para as três primeiras faixas de distância para rodovias pavimentadas descritos no gráfico 2 foram adotados para o cálculo da área desmatada na implantação de infraestrutura de transporte rodoviária das categorias de degradação propostas na tabela 14: pesada, moderada e leve. Da mesma forma, os percentuais de desmatamento identificados para as três primeiras faixas de distância para rodovias não pavimentadas foram adotados para o cálculo da área desmatada em casos similares dos modais

ferroviário e hidroviário. Esta simplificação se fez necessária na inexistência de dados específicos para estes dois últimos modais de transporte.

Para cada modal e categoria de degradação proposta na tabela 14, foram calculadas as áreas impactadas em quilômetros quadrados por quilômetro de ocupação. Em seguida, estes dados foram multiplicados pelos percentuais de desmatamento descritos no gráfico 2, conforme relatado no parágrafo acima. Os valores para as três categorias de degradação, divididos por modal de transporte, foram, então, somados e convertidos em valores medidos em hectares por quilômetro de ocupação. As áreas impactadas por categoria de degradação e o resultante de desmatamento total estimado por modal de transporte estão apresentados nas tabelas 22 e 23 abaixo.

Tabela 22 – Cenário otimista para área desmatada na implantação de infraestrutura de transporte

Modal	Degrad. Pesada (km²/km)	Degrad. Moder. (km²/km)	Degrad. Leve (km²/km)	Área Desmatada (ha/km)
Rodoviário	50	50	50	3.250
Ferroviário	20	30	50	1.270
Hidroviário	4	6	10	254

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 23 – Cenário pessimista para área desmatada na implantação de infraestrutura de transporte

Modal	Degrad. Pesada (km²/km)	Degrad. Moder. (km²/km)	Degrad. Leve (km²/km)	Área Desmatada (ha/km)		
Rodoviário	100	100	200	8.000		
Ferroviário	50	50	100	2.700		
Hidroviário	10	10	30	590		

Fonte: elaborado pelo autor.

Comparados aos valores apresentados por Eller, Junior e Curi (2011), para os modais rodoviário e ferroviário, os valores calculados a partir do trabalho de Laurance et al. (2001) mostram-se significativamente superiores. Contudo, por ter sido possível o cálculo para todos os modais considerados, serão adotados, para aplicação no modelo proposto, os valores identificados para o cenário otimista, da tabela 22 acima, pois, são mais próximos dos valores propostos por Eller, Junior e Curi (2011).

3.3.9 Intersecção com áreas de preservação

Concluindo a seção que aborda os procedimentos para o tratamento de dados que serão utilizados no modelo proposto, os critérios de avaliação relacionados à intersecção dos projetos de infraestrutura de transporte com áreas de preservação foram desenvolvidos com o auxílio de aplicativo GIS a partir das informações presentes na base de dados do PNLT.

Além de todas as informações já citadas anteriormente, a base de dados do PNLT disponibilizou a localização geográfica de áreas de preservação demarcadas como Terras Indígenas (TI), Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPI) e Unidades de Conservação de Uso Sustentável (UCUS). Por meio de aplicativo GIS, foi possível identificar o número de pontos de intersecção da infraestrutura de transporte planejada com as áreas demarcadas de preservação. Todos os arcos de intervenção, portanto, foram complementados com estas informações. A figura 8 abaixo contempla todas as áreas de preservação demarcadas na base de dados do PNLT.

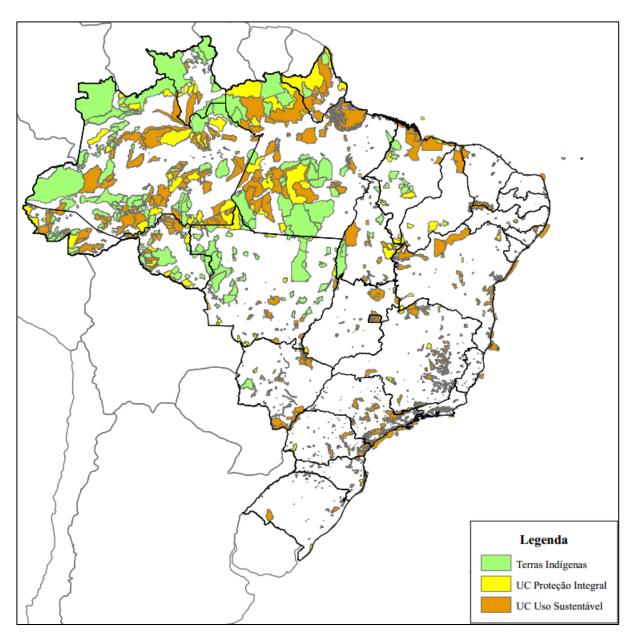


Figura 8 — Áreas demarcadas para preservação no Brasil

3.4 Desenvolvimento e aplicação do modelo

O desenvolvimento do modelo proposto neste trabalho iniciou-se na fase de tratamento de dados, com a adequação da estrutura da rede de transporte e das informações que compõem suas metodologias de avaliação.

De acordo com a formulação genérica do problema aqui estudado, descrita no conjunto de equações 14 a 20, depreende-se que o modelo contemplará dois tipos básicos de variáveis: (1) as variáveis de fluxo, representando as movimentações de produtos entre os nós da rede de transporte, caracterizadas como variáveis contínuas; e (2) as variáveis de intervenção, que representam as decisões de implantação de novas estruturas de transporte na rede, caracterizadas como variáveis discretas e binárias.

As variáveis de fluxo do modelo devem assumir valores que representem o deslocamento de determinado produto, por determinado arco, em determinado período de análise, de tal forma que os balanços de fluxo de cada nó sejam respeitados. As variáveis de intervenção devem assumir valor igual a 1 no período de análise em que as variáveis de fluxo dos respectivos arcos assumam valor maior do que 0. A seguir, a figura 9 apresenta visão parcial do modelo contemplando suas variáveis de fluxo.

Arqui	vo Págin	a Inicial In	serir Layout da Pág	jina Fórmulas Dados	Revisão Exibi	ção Desenvolvedor	Suplementos	Foxit Reader	PDF Prem	ium Solver Pla	tform	۵	· (?) - ⊕ E
Ê	3 ×	Times New R	oma - 10 - A A	= = >> -	📑 Quebrar Texto A	Número		· S			Inserir →	Σ τ Ζ	7 A
Col		N I S	- <u>+ & - A</u>	· = = = # #	Mesclar e Centra	alizar + 🥞 + 9	600 500 500 600	Formatação Condicional		Estilos de	Formatar	Class	ificar Localizar e rar ₹ Selecionar ₹
Área c	le Tra □		Fonte	Tir Al	inhamento	Fit N	úmero 5	i	Estilo		Células		Edição
	G6	¥ (e)	f _x 0										-
	Α	В	С	D	F	F	G	Н	1		K	1	M
1		_	-	-	Função Objetivo	Variáveis	Fluxo Balanço de	Intervenção		-	Capacidade Rodoviária Continuas	Capacidade Rodoviária Binárias	
2 3	FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo					Resumo Restrições		Intervenção	Capacidade Ferroviária	Capacidade Hidroviária	Capacidade	Rodoviária	Investimento
4									Arroz	em Casca (F	Prod01)		
5	Link	Classe *	ID O	Origem	ID D	Destino	2007 ~	2011 -	2015 -	2019 -	2023 -	2027 -	2031 -
6	1	AF	AC1	Cruzeiro do Sul/AC	IF AC1.1	IF Cruzeiro do Sul/AC 1	0,00	0,00	0,00	0,00	13,64	0,00	0,00
7	131	AH	AC1	Cruzeiro do Sul/AC	IH AC1.1	IH Cruzeiro do Sul/AC 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	361	AR	AC1	Cruzeiro do Sul/AC	IR AC1.1	IR Cruzeiro do Sul/AC 1	9,72	9,26	8,80	12,70	2,96	0,00	0,00
9	267	AH	AC2	Rio Branco/AC	IH AC2.1	IH Rio Branco/AC 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	791	AR	AC2	Rio Branco/AC	IR AC2.1	IR Rio Branco/AC 1	32,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	793	R	AC2	Rio Branco/AC	JR AC2.2	JR Rio Branco/AC 2	0,00	13,38	47,24	37,88	28,52	0,00	0,00
12	795	AR	AC3	Brasiléia/AC	IR AC3.1	IR Brasiléia/AC 1	20,48	0,00	0,00	0,00	0,00	16,34	61,20
13	798	AR	AC4	Sena Madureira/AC	IR AC4.1	IR Sena Madureira/AC !	19,28	22,96	26,64	30,64	34,64	34,86	35,08
14	800	AR	AC5	Tarauaca/AC	IR AC5-AM2	IR Tarauaca/AC - Juruá/AM	7,16	9,26	11,36	14,58	17,80	14,98	12,16
15	1839	R	AL0	Maceió/AL	GO1	Vale do Rio dos Bois/GC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	1859	R	AL0	Maceió/AL	IF BA1.1	IF Barreiras/BA 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	1879	R	AL0	Maceió/AL	IF GO1.1	IF Porangatu/GO 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	1899	R	AL0	Maceió/AL	IF GO1.2	IF Porangatu/GO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	1919	R	AL0	Maceió/AL	IF MA1.1	IF Imperatriz/MA 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	1939	R	AL0	Maceió/AL	IF MT1.1	IF Cuiabá/MT 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	1959	R	AL0	Maceió/AL	IF MT2.1	IF Aripuana/MT 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	1979	R	AL0	Maceió/AL	IF MT3.1	IF Alto Teles Pires/MT 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	1999	R	AL0	Maceió/AL	IF MT4.1	IF Norte Araguaia/MT 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	2019	R	AL0	Maceió/AL	IF TO2-MA2	IF Bico do Papagaio/TO Porto Franco/MA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	2039	R	AL0	Maceió/AL	IH MA1.1	IH Imperatriz/MA 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	2059	R	AL0	Maceió/AL	IH MA3.1	IH Aglomeração Urbana de São Luis/MA 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14 4	2079 ▶ ► Mod	elo Links	AI.0	Maceió/AI.	IR GO2 1	IR São Miguel do	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 9 – Visão parcial do modelo proposto: variáveis de fluxo

Adotou-se a premissa de que as decisões de intervenções na rede de transporte em determinado período de análise trazem impactos apenas para o período subsequente. Portanto, todos os arcos representativos de projetos de intervenção possuem capacidade de fluxo igual a 0 no primeiro período de análise do modelo.

Conforme citado no tópico 3.2.1 deste documento, optou-se pelo desenvolvimento de quatro versões do modelo, com diferentes números de período de análise. Para as versões com três ou mais períodos de análise foi necessária introdução de restrição em que a soma das variáveis de intervenção referentes a um mesmo arco, porém, em períodos diferentes, resulte em valores maiores ou iguais a 0 e menores ou iguais a 1, impedindo, assim, intervenção redundante em um mesmo arco.

Adicionalmente, para adoção dos conceitos da teoria MAUT, os impactos dos itens de avaliação considerados deverão ser normalizados e, posteriormente, agrupados em uma mesma função objetivo com diferentes pesos associados, representando as preferências do decisor para o problema em questão.

Para execução deste trabalho, foram desenvolvidos modelos preliminares, com a ausência da normalização do desempenho dos itens de avaliação, que foram otimizados para identificação dos valores máximos e mínimos alcançados por cada item, e que foram posteriormente utilizados para normalização, de acordo com a equação 23 abaixo, onde, NR representa o resultado normalizado do item de avaliação, R representa seu resultado não normalizado, MR é o seu resultado máximo e mR seu resultado mínimo alcançado.

$$NR = (R - mR)/(MR - mR) \tag{23}$$

Os pesos associados aos itens de avaliação propostos poderiam ser identificados com o auxílio da metodologia AHP, relatada no referencial teórico deste trabalho, de acordo com recomendação de Tsamboulas (2007). No entanto, optou-se pela adoção de dois cenários arbitrários na presente aplicação: um cenário com menores distorções entre os pesos das dimensões de avaliação e outro cenário com priorização da dimensão financeira de avaliação. Estes cenários serão descritos posteriormente neste documento.

Por fim, foram incorporados os conceitos de taxa de desconto e de perpetuidade, comumente adotados nas metodologias de avaliação de empresas. A taxa de desconto, neste caso, foi utilizada como uma redutora da percepção dos resultados futuros comparados aos resultados mais próximos do presente. O conceito de perpetuidade está ligado ao fato que uma vez implantadas melhorias na rede de transporte, elas continuarão a trazer benefícios em relação aos itens de avaliação continuamente.

Para incorporação do conceito de taxa de desconto, e na ausência de outros indicadores específicos, adotou-se a taxa referencial do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic), estimada nos meses de maio e junho de 2013 em 8,00% ao ano, de acordo com o Banco Central do Brasil (2013). Tendo em vista que o modelo contempla períodos quadrienais de análise, esta taxa anual foi capitalizada em quatro anos, resultando na taxa quadrienal de 36,05%. Os resultados obtidos nos diferentes períodos de análise foram, então, descontados a partir do primeiro período, em 0,5 quadriênio, até o último período de análise considerado, em 1,5; 2,5; 3,5 e 6,5 quadriênios, dependendo da versão do modelo.

Quanto ao conceito de perpetuidade, sua incorporação envolve a divisão dos resultados alcançados no último período de análise pela taxa de desconto adotada, descontados por esta mesma taxa de desconto no mesmo número de períodos de desconto do último período de análise. Idealmente, a perpetuidade deve contemplar ajustes referentes aos recursos necessários

para manutenção dos resultados alcançados no último período de análise por tempo indeterminado, além de uma taxa de crescimento compatível com a realidade modelada. Estes ajustes, no entanto, não serão abordados no presente estudo.

3.4.1 Mensuração dos impactos das variáveis de fluxo

As variáveis de fluxo impactam diretamente nos seguintes itens de avaliação propostos: custo com frete, tempo de viagem e emissão de CO₂. O impacto do item referente ao custo com frete pode ser mensurado multiplicando-se os valores assumidos pelas variáveis de fluxo, expressos em milhares de toneladas, pelos valores de custo de frete, definidos em R\$ por tonelada. Similarmente, o impacto do item referente à emissão de CO₂ pode ser mensurado pela multiplicação dos valores assumidos pelas variáveis de fluxo, pelos valores de emissão de CO₂, definidos em gramas por TKU e pelas distâncias, em quilômetros, dos respectivos arcos.

A mensuração dos impactos das variáveis de fluxo no item de avaliação referente ao tempo de viagem exigiu tratamento diferenciado, devido à opção pela adoção do conceito de nível de serviço para o modal rodoviário. Conforme explicitado anteriormente, a mudança de nível de serviço no modal rodoviário implica em redução das velocidades médias de deslocamento do segmento em questão.

Intenciona-se, neste item, não apenas calcular os tempos de viagem de cada arco da rede, mas também identificar a exposição de produtos aos tempos de viagem de cada arco. Adotou-se, portanto, para mensuração deste item, o resultante da multiplicação dos valores assumidos pelas variáveis de fluxo pelos tempos de viagem dos arcos em questão.

O autor avaliou duas alternativas para representação da relação de mudança de nível de serviço como um modelo de programação matemática linear. Em uma primeira alternativa, os arcos rodoviários são replicados pelo número de níveis de serviço que se traduzam em redução da velocidade média de deslocamento, no caso quatro (C, D, E e F), e para todos os produtos e períodos considerados na análise. Adicionalmente, são introduzidas variáveis auxiliares para cada arco representativo do modal rodoviário e para cada período de análise, caracterizadas como discretas e binárias, que assumem o valor igual a 1 caso o respectivo arco apresente fluxo

positivo de produtos e o valor igual a 0 em caso contrário. São introduzidas restrições para que a soma destas variáveis referentes a um mesmo arco, com níveis de serviço diferentes, resulte em valores maiores ou iguais a 0 e menores ou iguais a 1, limitando, assim, o fluxo por apenas uma das alternativas de nível de serviço.

O tempo de viagem, nesta alternativa, pode ser mensurado pela divisão das distâncias dos arcos pelas suas velocidades de deslocamento, multiplicados pelos valores assumidos pelas variáveis de fluxo.

No entanto, esta primeira alternativa proposta traz implicações no dimensionamento do modelo, tendo em vista o crescimento do número de variáveis, especialmente as variáveis de fluxo, tornando-o mais complexo e, consequentemente, trazendo maiores dificuldades de resolução.

Em uma segunda alternativa, os arcos rodoviários não são replicados, mas são introduzidos dois grupos de variáveis auxiliares para cada arco representativo dos níveis de serviço rodoviário que se traduzam em redução da velocidade média de deslocamento, para cada período de análise. O primeiro grupo de variáveis auxiliares, caracterizadas como contínuas, devem assumir valores iguais ou superiores à diferença positiva entre o fluxo de determinado arco e o limite de fluxo do nível de serviço anterior deste mesmo arco em determinado período de análise. O segundo grupo de variáveis auxiliares, caracterizadas como discretas e binárias, assumem o valor igual a 1 quando o fluxo de produtos de determinado arco é maior que o limite de fluxo para o nível de serviço anterior, e o valor igual a 0 em caso contrário.

Assim, o tempo de viagem pode ser mensurado pela divisão das distâncias dos arcos pelas suas velocidades de deslocamento, multiplicados pelos valores assumidos pelas variáveis de fluxo, somados à divisão das distâncias dos arcos pelas velocidades de deslocamento em níveis de serviço inferiores multiplicados pelo primeiro grupo de variáveis auxiliares e, finalmente, somados às diferenças entre os tempos de deslocamento dos diferentes níveis de serviço multiplicados pelo segundo grupo de variáveis auxiliares, multiplicados pelo limite de fluxo do nível de serviço anterior.

Esta segunda alternativa, apesar de implicar no crescimento do dimensionamento do modelo, o faz de forma menos significativa do que na primeira alternativa proposta. Durante o desenvolvimento do modelo, a primeira alternativa foi adotada preliminarmente, sendo

substituída pela segunda alternativa na fase de aplicação do modelo, quando evidenciaram-se seus ganhos potenciais em capacidade e tempo de resolução.

3.4.2 Mensuração dos impactos das variáveis de intervenção

As variáveis de intervenção, por outro lado, impactam sobre os seguintes itens de avaliação: custo com investimento, tempo de viagem, área de desmatamento e intersecções com áreas de preservação.

A mensuração dos impactos das variáveis de intervenção sobre os itens de avaliação referentes ao custo de investimento, à área de desmatamento e às intersecções com áreas de preservação pode ser realizada por meio da multiplicação dos valores assumidos por tais variáveis pelos valores descritos para cada arco referentes aos itens de avaliação citados.

Dentre os projetos de intervenção contemplados na base de dados adotada, existem projetos que representam intervenções visando melhorias nas condições de vias já existentes. Desta forma, a implantação de tais projetos de investimento não implicam na abertura de novas vias para escoamento de produtos, mas, sim, em melhorias nos seus níveis de serviço. Propõe-se, neste trabalho, representação destas melhorias como acréscimos nas velocidades de deslocamento dos respectivos arcos, reduzindo, portanto, os tempos de viagem dos respectivos segmentos.

Para isto, os arcos representativos de projetos de intervenção visando melhorias em vias existentes foram replicados, sendo um arco representante da estrutura sem implantação de melhoria e outro arco da estrutura com a implantação da melhoria. As variáveis de intervenção destes arcos, além de provocarem impactos nos itens de avaliação citados acima, são utilizadas para limitação do fluxo destas estruturas sem intervenção, permitindo fluxo em apenas um dos arcos representativos destes projetos de melhorias. Os mesmos procedimentos descritos na adoção do conceito de nível de serviço para o modal rodoviário permanecem válidos para estas duas classes de arcos.

Com a definição das variáveis de intervenção e, consequentemente, dos arcos que apresentarão valores positivos em suas variáveis de fluxo, adota-se a metodologia para

mensuração dos impactos das variáveis de fluxo no critério de avaliação referente ao tempo de viagem, descrita no tópico 3.4.1 acima.

3.4.3 Modelos preliminares e final

Os modelos preliminares foram desenvolvidos para identificação dos valores mínimos e máximos alcançados por cada critério de avaliação considerado na presente análise. A sua estrutura é idêntica à estrutura do modelo de programação matemática final, com exceção de sua função objetivo, em que os resultados dos critérios de avaliação não são normalizados e nem ponderados pelos respectivos pesos associados.

De acordo com o exposto nos tópicos acima, a formulação genérica dos modelos propostos pode ser descrita pelas equações 24 a 37 abaixo, suportadas pelas notações da tabela 24 a seguir.

Tabela 24 – Notação para os modelos propostos

Representação	Descrição				
Q	Conjunto de critérios de avaliação; $Q = \{1,, q\}$				
N	Conjunto de nós na rede; $N = \{1,, n\}$				
A	Conjunto de arcos na rede (i, j) , onde $(i, j) \in N$				
T	Conjunto de períodos de tempo na rede; $T = \{0,, t\}$				
\overline{N}	Conjunto de combinações nó-período ou pares (i, r) , onde $i \in N$ e $r \in T$				
$ar{A}$	Conjunto de arcos na rede por período (i, j, r) , onde $(i, j, r) \in \overline{N}$				
K	Conjunto de produtos; $K = \{1,, k\}$				
G	Gráfico: $G = (\overline{N}, \overline{A})$				
х	Variável de decisão contínua de fluxo em arco				
у	Variável binária para modelar se arco terá fluxo positivo ou não				
u	Variável auxiliar contínua de capacidade de fluxo em arco				
υ	Variável auxiliar binária de capacidade de fluxo em arco				
С	Limite superior de fluxo em arco				
С	Constantes relacionadas a variável de decisão x				
f	Constantes relacionadas a variável de decisão y				
d	Constantes relacionadas a variável auxiliar <i>u</i>				
g	Constantes relacionadas a variável auxiliar v				
W	Pesos associados aos critérios de avaliação				
R	Requerimentos do nó				
S	Conjunto de nós de oferta: $S \subset \overline{N}$				
D	Conjunto de nós de demanda e de transbordo: $D \subset \overline{N}$				

$$\min \sum_{q \in Q} \left[\sum_{k \in K} \sum_{(i,j,r) \in \bar{A}} w^{q} \left(c_{ijr}^{k} x_{ijr}^{k} + d_{ijr} u_{ijr} + g_{ijr} v_{ijr} \right) + \sum_{(i,j,r) \in \bar{A}} w^{q} f_{ijr} y_{ijr} \right] (24)$$

sujeito a:

$$\sum_{(i,r)\in\bar{A}} x_{ijr}^k - \sum_{(i,r)\in\bar{A}} x_{jir}^k = R_{ir}^k \qquad \forall (i,r)\in\bar{N}, k\in K, \quad (25)$$

$$\sum_{(r-1) \in T} M y_{ij(r-1)} - \sum_{k \in K} x_{ijr}^{k} \ge 0 \qquad \forall (i, j, r) \in \bar{A}, \quad (26)$$

$$\sum_{(r-1)\in T} y_{ij(r-1)} \le 1 \qquad \forall (i,j) \in A, \qquad (27)$$

$$\sum_{i,j,r} x_{ijr}^k \le C_{ijr} (1 - y_{ijr}) \qquad \forall (i,j,r) \in \bar{A}, \qquad (28)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ijr}^k - u_{ijr} \le C_{ijr} (1 - y_{ijr}) \qquad \forall (i, j, r) \in \bar{A}, \quad (29)$$

$$Mg_{ijr} - u_{ijr} \ge 0 \qquad \forall (i,j,r) \in \bar{A}, \qquad (30)$$

$$x_{ijr}^{k} \le M \qquad \forall (i,j,r) \in \bar{A}, k \in K, \qquad (31)$$

$$u_{ijr} \le M \qquad \forall (i,j,r) \in \bar{A}, k \in K, \qquad (32)$$

$$x_{ijr}^{k} \ge 0 \qquad \forall (i,j,r) \in \bar{A}, \qquad (33)$$

$$u_{ijr} \ge 0 \qquad \forall (i,j,r) \in \bar{A}, \qquad (34)$$

$$\sum_{(i,j) \in \bar{A}} f_{ijr} y_{ijr} \le l_{r} \qquad \forall r \in T, e \qquad (35)$$

$$y_{ijr} \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j,r) \in \bar{A}. \qquad (36)$$

$$v_{ijr} \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j,r) \in \bar{A}. \qquad (37)$$

O objetivo, descrito na equação 24, é o de minimizar a soma, ponderada entre os critérios de avaliação, dos impactos, normalizados ou não, das variáveis de fluxo, de intervenção e auxiliares, associados ao deslocamento de produtos nos arcos, à abertura de arcos para fluxos positivos e às mudanças nos níveis de serviço no modal rodoviário, respectivamente, para todos os produtos e todos os períodos de tempo contemplados. A equação 25 representa restrição de conservação de fluxos para determinado nó em determinado período, para um tipo específico de produto. As equações 26 e 27 regulam os valores assumidos pelas variáveis de intervenção. As restrições de capacidade dos arcos são descritas pelas equações 28 e 29.

A equação 30 regula os valores assumidos pelas variáveis auxiliares binárias. As restrições descritas pelas equações 31 e 32 apresentam as limitações superiores das variáveis contínuas x_{ijr}^k e u_{ijr} ; e nas equações 33 e 34 suas restrições de não negatividade. A equação 35 impõe restrição de recursos utilizados para tornar um conjunto de arcos disponíveis em determinado período de tempo. E, finalmente, nas equações 36 e 37 são definidas as condições de integralidade binária para as variáveis discretas y_{ijr} e v_{ijr} .

A figura 10 abaixo ilustra, parcialmente, o modelo proposto contemplando o grupo de restrições definido pela equação 26 acima.

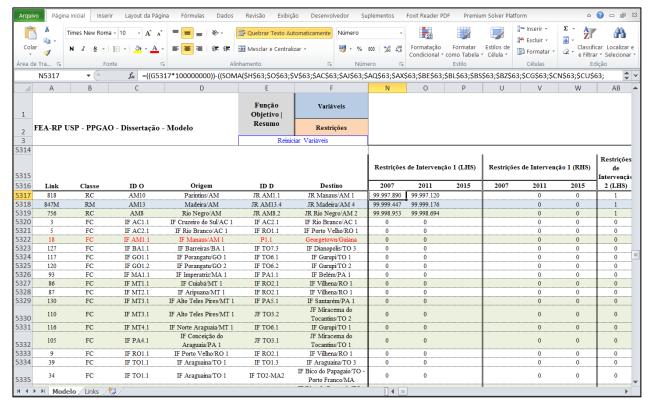


Figura 10 – Visão parcial do modelo proposto: restrições de variáveis de intervenção

Para obtenção dos valores mínimos e máximos dos critérios de avaliação dependentes das variáveis de intervenção não foi necessária aplicação do modelo, tendo em vista que os valores mínimos, iguais a 0, ocorrem nas situações em que nenhum projeto de investimento em infraestrutura de transporte é selecionado para implantação, e que, os valores máximos seriam alcançados com a implantação de todos os projetos de investimento disponíveis.

Para identificação dos valores mínimos e máximos dos critérios de avaliação dependentes das variáveis de fluxo, fez-se necessária aplicação do modelo, objetivando a minimização da função objetivo de cada um deles: custo com frete, tempo de viagem e emissão de CO₂. Como estes objetivos são concorrentes, evidenciado no referencial teórico principalmente na relação entre o tempo de viagem e os demais critérios de avaliação, a otimização de um destes critérios de avaliação reproduz resultados não otimizados para os demais critérios.

Desta forma, foram desenvolvidas três versões de modelos preliminares para otimização dos resultados dos três critérios de avaliação dependentes das variáveis de fluxo propostas. Para cada uma destas três versões, o modelo foi aplicado, em um primeiro momento, sem restrições de investimento e, em um segundo momento, com restrição total de investimento.

Os valores mínimos e máximos encontrados para estes três critérios de avaliação, complementados aos valores mínimos e máximos identificados para os demais critérios de avaliação, foram, então, adotados para normalização destes itens.

Finalmente, os resultados dos critérios de avaliação normalizados foram incorporados à função objetivo no modelo final proposto, incluindo sua ponderação pelos respectivos pesos associados, de acordo com os cenários apresentados na tabela 25 abaixo. O critério de avaliação referente ao custo com investimento não foi contemplado na função objetivo proposta para o modelo, pois, foi considerado como uma restrição. Adicionalmente, na figura 11 abaixo, apresenta-se visão parcial do modelo proposto contemplando sua função objetivo.

Tabela 25 – Cenários adotados para ponderação dos itens de avaliação

	Itens de avaliação							
Cenário	Custo com investimento (%)		Tempo de Viagem (%)	Emissão de CO ₂ (%)	Área de desmatamento (%)	Intersecções com áreas de preservação (%)		
Cenário 1	35,00	0,00	35,00	9,00	12,00	9,00		
Cenário 2	50,00	0,00	30,00	6,00	8,00	6,00		

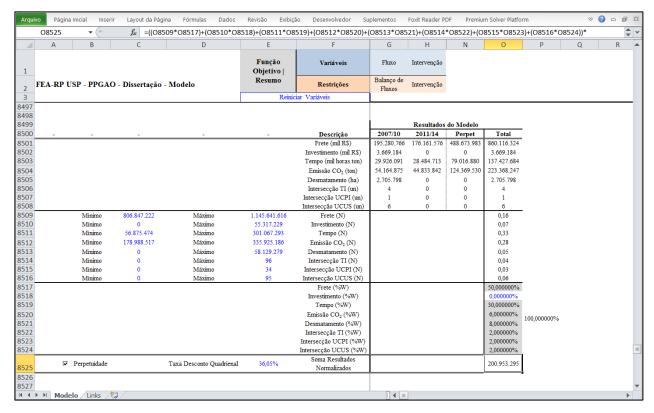


Figura 11 – Visão parcial do modelo proposto: função objetivo

3.4.4 Aplicação do modelo

Dentre as diversas versões desenvolvidas e aplicadas do modelo proposto, 20 foram selecionadas para apresentação no presente trabalho: 1 versão de modelo preliminar para sete períodos de análise, 2 versões de modelos preliminares para quatro períodos de análise, 8 versões de modelos preliminares para três períodos de análise, 6 versões de modelos preliminares para dois períodos de análise, 1 versão de modelo final para três períodos de análise e 2 versões de modelos finais para dois períodos de análise.

As estruturas das versões do modelo para dois, três e quatro períodos de análise são idênticas, com exceção do número de períodos considerados e dos parâmetros adotados para normalização dos itens de avaliação propostos e sua ponderação pelos respectivos pesos associados. A estrutura da versão do modelo para sete períodos de análise é diferente das demais

versões, pois, contempla primeira alternativa proposta para adoção do conceito de nível de serviço rodoviário, descrita no tópico 3.4.1 acima. A tabela 26, a seguir, apresenta o dimensionamento de cada versão do modelo desenvolvida, definido pelo número de variáveis e pelo número de restrições compreendidas.

Tabela 26 – Dimensionamento de versões do modelo proposto

Modelo	Alternativa de Nível de Serviço	Número de Períodos	Número de Variáveis	Número de Restrições	
Preliminar	Primeira alternativa proposta	7	1.573.986	150.170	
Premimar	Segunda	4	500.199	85.811	
	alternativa	3	375.118	64.358	
	proposta	2	250.037	42.780	
Final	Segunda alternativa	3	375.118	64.358	
	proposta	2	250.037	42.780	

Fonte: elaborado pelo autor.

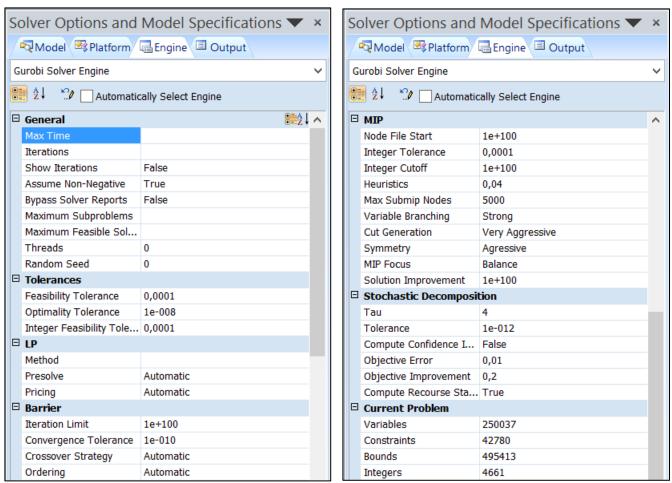
Para aplicação do modelo proposto, conforme citado anteriormente, foi necessária obtenção de uma versão de teste de aplicativo capaz de processar modelos de programação matemática de grande escala, no caso uma extensão do PSP. A versão de teste do aplicativo de extensão do PSP fornece algoritmos para resolução de problemas PLIM de dimensões ilimitadas sendo, portanto, apropriada para resolução do modelo proposto neste trabalho.

Esta versão de teste do aplicativo, no entanto, só pode ser utilizada por um período de 15 dias corridos. Após este prazo, seria necessária aquisição do aplicativo em sua versão final. Para resolução do modelo proposto foi utilizado o algoritmo denominado Gurobi, cujo preço divulgado no mês de julho de 2013 pela empresa *Frontline Systems* era de US\$ 9.235,00.

A fase de aplicação do modelo para obtenção dos resultados do presente estudo, portanto, concentrou-se neste período de teste do aplicativo de 15 dias corridos. As versões do modelo desenvolvidas para sete e quatro períodos de análise demandaram tempo de resolução significativo e foram descartadas no início da fase de aplicação. No entanto, os resultados alcançados por estas versões descartadas, seja em tempo de resolução ou na qualidade das respostas do modelo, serão brevemente relatados na próxima seção deste trabalho.

Durante o período de aplicação do modelo, as configurações do aplicativo de resolução foram alteradas inúmeras vezes na tentativa de obtenção de melhores resultados e de redução de

seu tempo de resolução. No entanto, faz-se necessário um aprofundamento do conhecimento do algoritmo de solução utilizado para que este alcance todo seu potencial de resolução. Este trabalho não foi possível no prazo de conclusão deste estudo, podendo ser adotado em estudos posteriores. A figura 12 abaixo contempla as configurações finais do algoritmo de resolução adotado.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 12 – Configurações finais do algoritmo de resolução adotado

Quando restavam três dias para conclusão do período de teste do aplicativo de extensão do PSP foi encontrado um erro no vínculo de algumas das células do modelo, desenvolvido em Excel. Este erro, apesar de não comprometer a viabilidade do modelo tornou-o mais restrito trazendo, portanto, maiores dificuldades de resolução.

Após a correção do erro encontrado, foi priorizada aplicação do modelo nas versões preliminares e finais que contemplaram dois períodos de análise. Concluídas estas aplicações, houve tempo para aplicação do modelo em versões preliminares contemplado três períodos de

análise. Os resultados obtidos com as aplicações do modelo serão detalhados na próxima seção deste trabalho.

O sistema computacional utilizado para aplicação do modelo proposto possui a seguinte configuração: processador Intel Core i7-3630QM com 8 núcleos de 2,4 GHz; 24 GB de memória de acesso randômico (*Random Access Memory* – RAM); unidade de estado sólido (*Solid State Drive* – SSD) de 250 GB de armazenamento, configurado como disco primário; disco rígido (*Hard Disk Drive* – HDD) de 750 GB de armazenamento e sistema operacional Microsoft Windows 8 de 64 bits.

4 **RESULTADOS**

A aplicação do modelo proposto, nas suas diversas versões, produziu um extenso volume de dados com os resultados das estruturas da rede de transporte que devem ser implantadas e do fluxo de produtos por cada arco desta rede, distribuídos pelos períodos considerados na análise. A discriminação dos valores assumidos por todas as variáveis das diferentes versões do modelo seria impraticável.

Para apresentação destes resultados, portanto, foram elaborados dois tipos de mapas temáticos, com o auxílio de aplicativo GIS, representando: (1) o fluxo de produtos pela rede de transporte, com destaque nos arcos em função do volume deslocado; e (2) as estruturas da rede de transporte selecionadas para intervenção.

Estes mapas temáticos apresentam os resultados de todos os períodos de análise agregados de determinada versão do modelo. De outra forma, seria necessário desenvolvimento de um mapa temático para cada período de análise e para cada modelo, tornando esta exposição extremamente longa e, possivelmente, confusa.

Os resultados detalhados de todo o mapeamento da rede de transporte na região Norte do Brasil, incluindo os parâmetros utilizados para caracterização de cada arco componente da rede, bem como os resultados detalhados obtidos com a aplicação de todas as versões do modelo estão disponibilizados em documentos eletrônicos que acompanham a versão final deste documento em mídia no formato de disco óptico (*Compact Disc* – CD).

As figuras 13 e 14 e a figura 15 abaixo, contemplam as simbologias utilizadas para representação das diversas estruturas componentes da rede de transporte analisada, em função do fluxo de produtos e em função de sua seleção para intervenção, respectivamente.

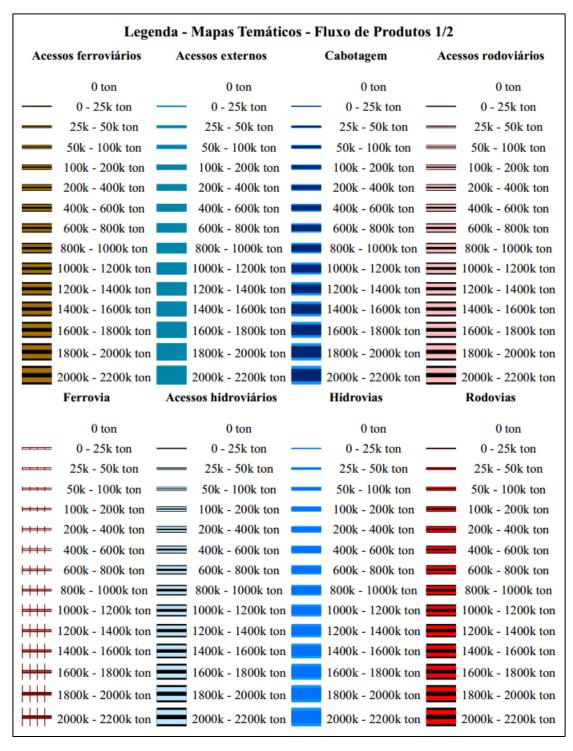


Figura 13 – Simbologia para representação do fluxo de produtos na rede de transporte 1/2

Legenda - Mapas Temáticos - Fluxo de Produtos 2/2				
Transf Ferro/Cabo	Transf Hidro/Cabo	Transf Rodo/Ferro		
0 ton	0 ton	0 ton		
0 - 25k ton	0 - 25k ton	0 - 25k ton		
25k - 50k ton	25k - 50k ton	25k - 50k ton		
50k - 100k ton	50k - 100k ton	50k - 100k ton		
100k - 200k ton	100k - 200k ton	100k - 200k ton		
200k - 400k ton	200k - 400k ton	200k - 400k ton		
400k - 600k ton	400k - 600k ton	400k - 600k ton		
600k - 800k ton	600k - 800k ton	600k - 800k ton		
800k - 1000k ton	800k - 1000k ton	800k - 1000k ton		
1000k - 1200k ton	1000k - 1200k ton	1000k - 1200k ton		
1200k - 1400k ton	1200k - 1400k ton	1200k - 1400k ton		
1400k - 1600 ton	1400k - 1600k ton	1400k - 1600k ton		
1600k - 1800k ton	1600k - 1800k ton	1600k - 1800k ton		
1800k - 2000k ton	1800k - 2000k tor	1800k - 2000k ton		
2000k - 2200k ton	2000k - 2200k tor	2000k - 2200k ton		
Transf Ferro/Hidro	Transf Rodo/Cabo	Transf Rodo/Hidro		
0 ton	0 ton	0 ton		
0 - 25k ton -	0 - 25k ton	0 - 25k ton		
25k - 50k ton	25k - 50k ton	25k - 50k ton		
50k - 100k ton	50k - 100k ton	50k - 100k ton		
100k - 200k ton	100k - 200k ton	100k - 200k ton		
200k - 400k ton	200k - 400k ton	200k - 400k ton		
400k - 600k ton	400k - 600k ton	400k - 600k ton		
600k - 800k ton	600k - 800k ton	600k - 800k ton		
800k - 1000k ton	800k - 1000k ton	800k - 1000k ton		
1000k - 1200k ton	1000k - 1200k ton	1000k - 1200k ton		
1200k - 1400k ton	1200k - 1400k ton	1200k - 1400k ton		
1400k - 1600k ton	1400k - 1600k ton	1400k - 1600k ton		
1600k - 1800k ton	1600k - 1800k ton	1600k - 1800k ton		
1800k - 2000k ton	1800k - 2000k ton	800k - 2000k ton		
2000k - 2200k tor	2000k - 2200k tor	2000k - 2200k ton		

Figura 14 – Simbologia para representação do fluxo de produtos na rede de transporte 2/2

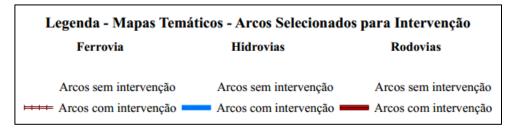


Figura 15 – Simbologia para representação das estruturas selecionadas para intervenção na rede de transporte

Os resultados obtidos com a aplicação do modelo serão apresentados separados entre as versões com o mesmo número de períodos de análise considerados, tendo em vista suas características semelhantes. Recordando, os quatro períodos de análise considerados nas diferentes versões do modelo são: 7 períodos quadrienais, 4 períodos quadrienais, 3 períodos quadrienais e 2 períodos quadrienais.

O aplicativo PSP, adotado para resolução do modelo proposto, registra informações detalhadas do processo de resolução dos problemas de programação matemática. Entre estas informações, incluem-se a caracterização do modelo em questão, o tempo despendido em cada fase do processo de resolução, os resultados parciais e final alcançados pelo algoritmo, o número de nós explorados (no caso de problemas de PLI, PLIM ou PNLI) e a caracterização da qualidade da resposta do processo de resolução.

Para todas as versões executadas no presente trabalho, com exceção de versão com 7 e de uma das versões com 3 períodos de análise, conforme exposição a seguir, o registro de informações do aplicativo PSP relatou que foram encontradas soluções ótimas em que todas as restrições foram satisfeitas. Os registros de informação do aplicativo PSP de cada versão com 4, 3 e 2 períodos quadrienais estão presentes neste documento, como anexo A.

No entanto, ao analisar pormenorizadamente os resultados obtidos por cada uma das versões executadas, identificaram-se, em alguns casos, violações em restrições referentes às estruturas de intervenção, descritas pela equação 26 explicitada no tópico 3.4.3 acima, que apresentaram valores positivos de fluxo de produtos sem a contrapartida do investimento representando tal intervenção.

Diversas configurações do algoritmo de resolução foram implantadas visando eliminação destas violações neste grupo de restrições sem, no entanto, alcançar resultados satisfatórios. Desta

forma, nestes casos foi necessária correção manual dos resultados obtidos pelo algoritmo no processo de resolução do problema de programação matemática em questão, comprometendo suas condições de otimalidade.

As violações de restrições mencionadas ocorreram em duas situações específicas. Em uma primeira situação, arcos representativos de estruturas da rede sujeitas a intervenções para melhoria de suas condições de operação assumiram fluxo positivo de produtos sem que esta estrutura fosse selecionada para intervenção.

Para este primeiro caso, o modelo contempla a possibilidade de fluxo de produtos pelo arco representativo da estrutura sem implantação de intervenção tanto quanto do arco representativo da estrutura com implantação da intervenção. Na correção manual dos resultados, portanto, o fluxo de produtos assumido pelos arcos representativos da estrutura com intervenção foram redirecionados para os arcos representativos da mesma estrutura sem intervenção.

Com isso, os ajustes realizados não alteram as estruturas selecionadas para intervenção. Por outro lado, trazem impactos no fluxo de produtos assumidos pelos arcos representativos das estruturas sem intervenção, sendo necessária análise da capacidade de fluxo do arco em questão. Além disso, a alteração do fluxo entre os arcos representativos da referida estrutura da rede de transporte traz impactos nas condições de operação definidas para o fluxo dos produtos redirecionados, traduzidos em maior tempo de viagem.

Em uma segunda situação, arcos representativos de novas estruturas da rede de transporte, disponíveis mediante intervenção, assumiram fluxo positivo de produtos sem que esta estrutura fosse selecionada para intervenção. Como, neste caso, não existem arcos representativos destas estruturas em uma condição inicial, isto é, sem intervenção, a correção manual dos resultados obtidos pelo algoritmo contempla a seleção de tal arco para intervenção, trazendo impactos no montante do investimento necessário para implantação de todas as intervenções selecionadas.

Uma alternativa para esta segunda situação, não adotada no presente trabalho, seria de redistribuir o fluxo de produtos dos arcos não selecionados para intervenção para outros arcos existentes sem intervenção, de forma que o fluxo de produtos resultante continue respeitando o balanço de fluxo de todos os nós representados no modelo.

Para facilitar a exposição dos resultados obtidos com a aplicação do modelo proposto, as diferentes versões do modelo foram codificadas de acordo com suas características estruturais.

Assim, cada versão do modelo será doravante citada segundo a codificação proposta na tabela 27 abaixo.

Tabela 27 – Codificação das versões do modelo proposto

Código	Períodos	Versão	Função Objetivo	Investimento	Necessário Ajuste
v7PmF	7	Preliminar	Min Frete	Ilimitado	-
v4PmF	4	Preliminar	Min Frete	Ilimitado	Sim
v4PmT	4	Preliminar	Min Tempo de Viagem	Ilimitado	Não
v3PmFa	3	Preliminar	Min Frete	Ilimitado	Não
v3PmFa-sI	3	Preliminar	Min Frete	Restrição Total	Não
v3PmTa	3	Preliminar	Min Tempo de Viagem	Ilimitado	Sim
v3PmTa-sI	3	Preliminar	Min Tempo de Viagem	Restrição Total	Não
v3PmCOa	3	Preliminar	Min Emissão de CO ₂	Ilimitado	Sim
v3PmCOa-sI	3	Preliminar	Min Emissão de CO ₂	Restrição Total	Não
v3PmFb	3	Preliminar	Min Frete	Ilimitado	Sim
v3PmTb	3	Preliminar	Min Tempo de Viagem	Ilimitado	Não
v3F	3	Final	Multicritério Distribuído	Restrito	Sim
v2PmF	2	Preliminar	Min Frete	Ilimitado	Não
v2PmF-sI	2	Preliminar	Min Frete	Restrição Total	Não
v2PmT	2	Preliminar	Min Tempo de Viagem	Ilimitado	Não
v2PmT-sI	2	Preliminar	Min Tempo de Viagem	Restrição Total	Não
v2PmCO	2	Preliminar	Min Emissão de CO ₂	Ilimitado	Não
v2PmCO-sI	2	Preliminar	Min Emissão de CO ₂	Restrição Total	Não
v2Fc1	2	Final	Multicritério com Cenário 1 de Ponderação	Restrito	Sim
v2Fc2	2	Final	Multicritério com Cenário 2 Restrito de Ponderação		Sim

A partir da tabela acima, identificam-se todas as versões em que foram necessárias correções nos resultados obtidos pelo algoritmo de resolução. Todas as versões que contemplaram restrição total de investimentos não exigiram nenhum tipo de ajuste. Entre as versões preliminares, foram necessários ajustes apenas em alguns casos para modelos com 3 ou mais períodos de análise. Por outro lado, todas as versões finais executadas demandaram correções nos resultados obtidos por meio do aplicativo PSP.

4.1 Modelos com 7 períodos quadrienais

O desenvolvimento do modelo proposto norteou-se pela disponibilidade de dados e, desta forma, a fase de aplicação do modelo iniciou-se com a adoção de versão contemplando 7 períodos quadrienais. Além disso, a execução desta versão do modelo, que apresenta o maior dimensionamento entre todas as versões propostas, possibilitou identificação das limitações dos aplicativos utilizados para resolução do problema de programação matemática abordado neste trabalho.

Uma primeira dificuldade encontrada refere-se ao tamanho das planilhas eletrônicas representativas do modelo e o tempo de processamento de todas suas funções matemáticas componentes pelo aplicativo Excel. O arquivo original da versão do modelo contemplando 7 períodos quadrienais de análise demandou, aproximadamente, 70 MB de espaço de armazenamento. Qualquer alteração de dados do modelo demandava cerca de 2 minutos de tempo de processamento para atualização dos valores resultantes das funções matemáticas implantadas.

Esta primeira dificuldade foi ainda mais significativa no início da fase de aplicação do modelo, quando havia sido adotada versão de 32 bits do aplicativo Excel, que apresenta limitações no espaço de armazenamento de memória RAM utilizada, reduzindo, assim, a velocidade de processamento computacional. Fez-se necessário, portanto, a substituição desta versão do Excel de 32 bits por uma versão de 64 bits, com maiores capacidades de utilização de memória RAM. Adicionalmente, as planilhas eletrônicas foram salvas em formato binário, que

possibilita redução do espaço de armazenamento necessário e incremento na velocidade de processamento computacional.

Como mencionado anteriormente, o modelo contemplando 7 períodos quadrienais adotou a primeira alternativa proposta para modelagem das relações referentes ao conceito de nível de serviço das vias do modal rodoviário, de acordo com o tópico 3.4.1 deste estudo. Com isso, esta versão do modelo apresentou dimensionamento significativo, em termos de número de variáveis, restrições e de funções matemáticas complementares, comprometendo seu processo de resolução, configurando-se como uma segunda dificuldade encontrada na fase de aplicação.

A aplicação do modelo v7PmF, consequentemente, não foi concluída, sendo interrompida quando já havia transcorrido mais de 15 horas de processamento computacional para resolução do problema de programação matemática em questão. O excessivo tempo de processamento computacional exigido por esta versão do modelo tornaria proibitiva sua aplicação durante o período de teste do aplicativo de resolução adotado e, desta forma, foi descartada da análise do presente trabalho.

A análise desta versão do modelo proposto, no entanto, poderia ser retomada em trabalhos futuros com a adoção da segunda alternativa proposta para representação do conceito de nível de serviço para o modal rodoviário, que resulta em redução significativa do dimensionamento do modelo.

4.2 Modelos com 4 períodos quadrienais

Os modelos com 4 períodos quadrienais de análise foram desenvolvidos com a supressão dos últimos três períodos quadrienais considerados na versão apresentada no tópico anterior. Além disso, a partir desta versão e para todas as demais, adotou-se a segunda alternativa proposta para modelagem das relações referentes ao conceito de nível de serviço das vias do modal rodoviário, explicitada no tópico 3.4.1 deste estudo.

No presente trabalho, foram aplicadas duas versões de modelos preliminares com 4 períodos quadrienais de análise, uma objetivando a minimização dos custos com fretes (v4PmF), e outra objetivando a minimização dos tempos de viagem (v4PmT). Ambas as aplicações não

contemplaram limitações aos valores de investimentos para intervenções na estrutura da rede de transporte.

A versão do modelo v4PmF apresentou violação de restrições relacionadas às estruturas de intervenção e, portanto, foi corrigida de acordo com os procedimentos indicados no início desta seção. Os resultados alcançados em cada critério de avaliação proposto e o tempo de resolução e o número de nós explorados, informados no registro do aplicativo PSP, para as duas versões aplicadas de modelos preliminares com 4 períodos quadrienais de análise estão sumarizados na tabela 28 abaixo.

Tabela 28 – Resultados sumarizados de modelos com 4 períodos quadrienais

	Versão		
Descrição	v4PmF	v4PmT	
Custo com frete (milhões R\$)	992.254	1.352.768	
Custo com investimento (milhões R\$)	25.734	14.564	
Tempo de viagem (milhões horas.ton)	287.121	70.100	
Emissão de CO ₂ (mil ton)	233.250	399.189	
Área de desmatamento (mil ha)	21.756	31.674	
Intersecção com TI (un)	46	40	
Intersecção com UCPI (un)	16	11	
Intersecção com UCUS (un)	42	38	
Tempo de resolução (min)	141	250	
Nós explorados (un)	443	45.729	

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se, a partir dos dados da tabela acima, que o tempo de resolução despendido para resolução da versão v4PmT foi significativamente maior do que o tempo de resolução despendido na versão v4PmF. O mesmo ocorreu com o número de nós explorados no processo de resolução.

Caso a versão v4PmF não tivesse sido interrompida precocemente pelo algoritmo adotado, em relação à versão v4PmT, a primeira versão, possivelmente, não apresentaria violações em suas restrições. Para alcançar tais resultados, no entanto, faz-se necessário aprofundamento no conhecimento das condições de interrupção do algoritmo utilizado para resolução do problema, fora do escopo do presente trabalho.

As figuras 16 e 17 e as figuras 18 e 19 abaixo apresentam, respectivamente, os mapas temáticos com os resultados agregados de todos os períodos de análise considerados do fluxo de produtos pelas estruturas da rede de transporte e das estruturas selecionadas para intervenção para as duas versões de modelos preliminares com 4 períodos quadrienais aplicadas.

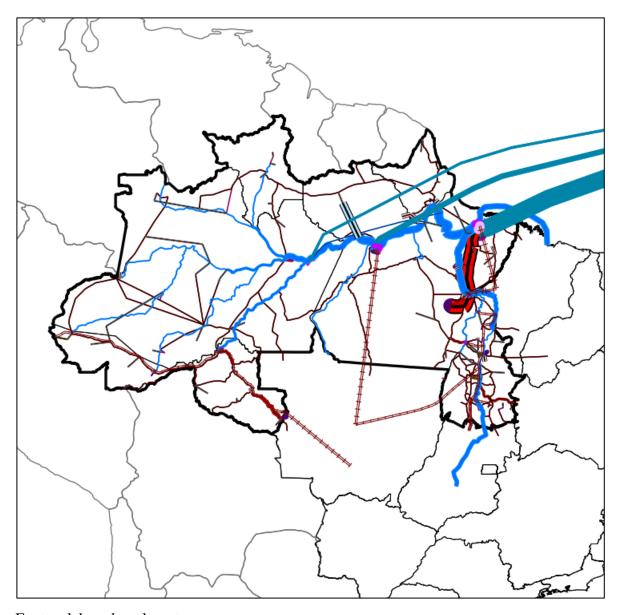


Figura 16 – Fluxo de produtos do modelo v4PmF

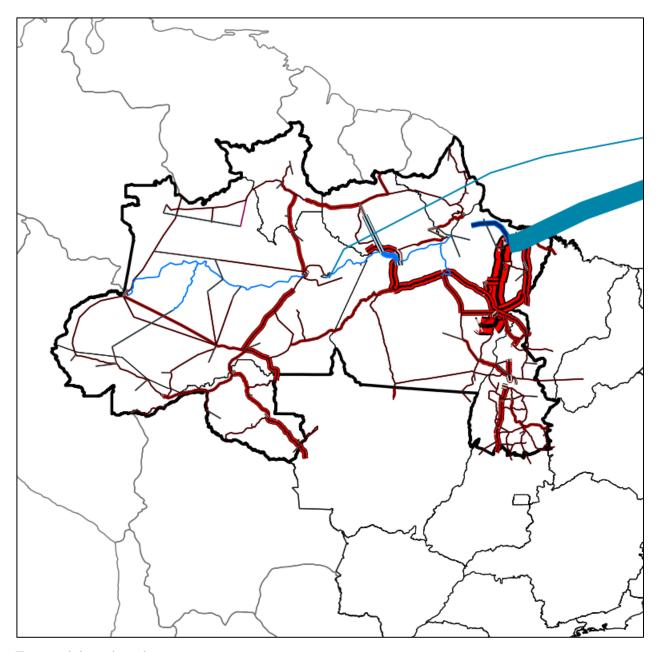


Figura 17 – Fluxo de produtos do modelo v4PmT

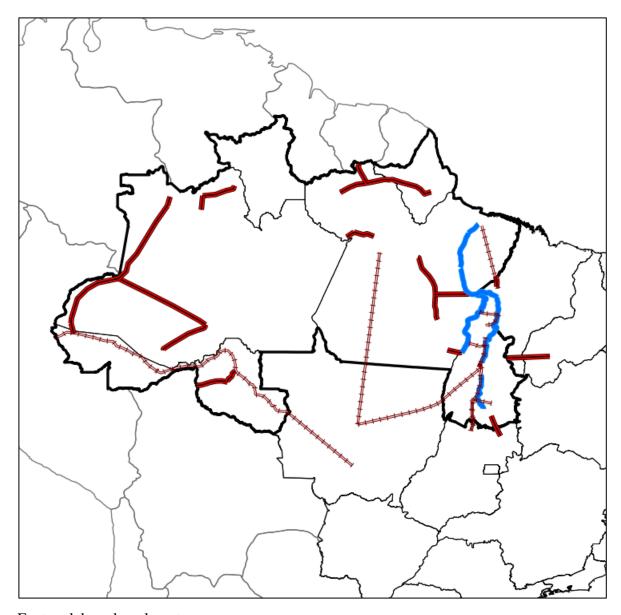


Figura 18 – Estruturas de intervenção do modelo v4PmF

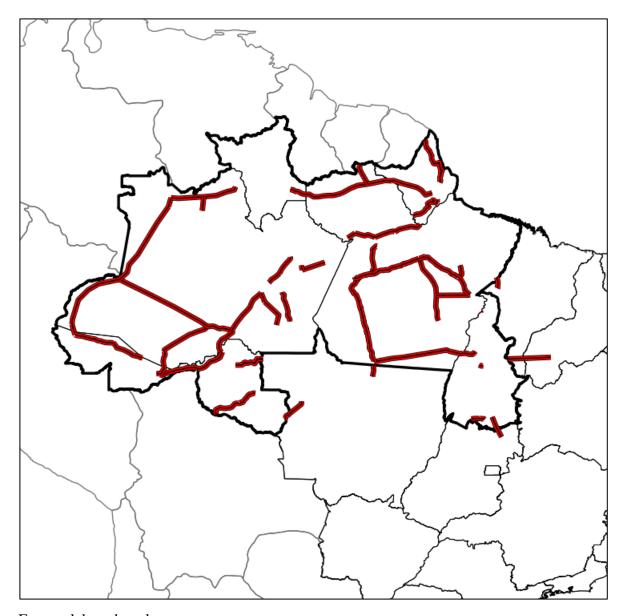


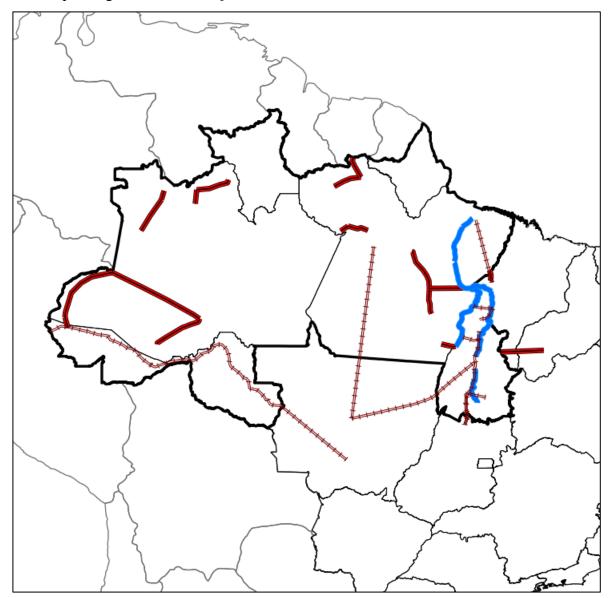
Figura 19 – Estruturas de intervenção do modelo v4PmT

A versão v4PmF apresentou resultados com maior distribuição entre os modais de transporte contemplados na análise, comparados à versão v4PmT. Estes resultados eram esperados, tendo em vista que os modais ferroviário e hidroviário apresentam custos com frete inferiores ao modal rodoviário. Por outro lado, este último modal apresenta vantagens em relação à velocidade de deslocamento comparado aos demais modais.

Os mapas temáticos representados pelas figuras 18 e 19 acima confirmam os resultados obtidos para o fluxo de produtos nas estruturas da rede de transporte. Na versão v4PmF, foram selecionadas estruturas dos três modais contemplados na análise para implantação, enquanto que,

na versão v4PmT, apenas estruturas pertencentes ao modal rodoviário foram selecionadas para implantação.

A figura 20 abaixo apresenta o mapa temático com os resultados das estruturas de intervenção selecionadas para implantação na versão v4PmF sem a correção dos resultados obtidos pelo algoritmo de resolução.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 20 – Estruturas de intervenção do modelo v4PmF, sem correção de resultados

Comparando-se as figuras 18 e 20 acima, nota-se que algumas das estruturas do modal rodoviário não haviam sido selecionadas para implantação, apesar de apresentarem fluxo positivo de produtos em seus arcos representativos.

4.3 Modelos com 3 períodos quadrienais

Nas versões do modelo com 3 períodos quadrienais de análise foi possível, pela primeira vez, desenvolver e aplicar a versão final do modelo proposto, com função objetivo multicritério, após o levantamento de seus pré-requisitos com a aplicação de todas as versões dos modelos preliminares.

Entretanto, estas aplicações ocorreram antes que fosse encontrado um erro na formulação do modelo, mencionado no item 3.4.4 acima. Após a correção do erro, conforme citado anteriormente, ainda foi possível a aplicação do modelo em duas versões preliminares com 3 períodos de análise.

Os resultados obtidos com a aplicação dos modelos preliminares e final, antes da correção do erro encontrado, serão apresentados inicialmente neste tópico, seguidos dos resultados obtidos com a aplicação das duas versões de modelos preliminares aplicadas após a correção do erro na formulação do modelo.

Desta forma, em um primeiro momento, foram obtidos os resultados da aplicação das seguintes versões preliminares do modelo, que foram utilizados para identificação dos prérequisitos para construção e aplicação da versão final do modelo com 3 períodos de análise: v3PmFa, v3PmFa-sI, v3PmTa-sI, v3PmCOa e v3PmCOa-sI. As versões v3PmTa e v3PmCOa apresentaram violações em restrições referentes às estruturas de intervenção e foram corrigidas conforme procedimento descrito no início desta seção. A versão v3PmCOa foi a única versão em que o registro de informações do aplicativo PSP informou não ter sido alcançada solução viável para o problema. No entanto, o aplicativo apresentou a solução preliminar encontrada, que foi utilizada neste trabalho.

Os resultados sumarizados da aplicação destas versões estão apresentados na tabela 29 abaixo. Os valores mínimos obtidos para os três critérios de avaliação otimizados nestas versões preliminares estão destacados em vermelho, enquanto seus valores máximos têm destaque em azul. Estas informações foram, então, complementadas com os valores mínimos e máximos levantados para os demais critérios de avaliação e, posteriormente, foram utilizadas para normalização dos resultados dos critérios de avaliação na versão final do modelo proposto com 3 períodos quadrienais.

Tabela 29 – Resultados sumarizados de modelos preliminares com 3 períodos quadrienais, antes de correção de erro em formulação

	Versão					
Descrição	v3PmFa	v3PmFa- sI	v3PmTa	v3mTa-sI	v3mCOa	v3mCOa- sI
Custo com frete (milhões R\$)	912.736	963.542	1.249.075	1.283.133	997.810	1.058.192
Custo com investimento (milhões R\$)	25.581	0	14.528	0	21.255	0
Tempo de viagem (milhões horas.ton)	265.123	266.263	63.636	77.828	322.267	322.040
Emissão de CO ₂ (mil ton)	214.278	245.458	368.871	372.106	201.012	230.856
Área de desmatamento (mil ha)	21.233	0	31.637	0	12.676	0
Intersecção com TI (un)	44	0	40	0	31	0
Intersecção com UCPI (un)	15	0	11	0	11	0
Intersecção com UCUS (un)	42	0	38	0	33	0
Tempo de resolução (min)	82	79	92	97	100	80
Nós explorados (un)	347	0	1.482	108	1.604	0

Como esperado, os resultados mínimos alcançados pelos critérios de avaliação foram obtidos com a versão específica utilizada para otimização do respectivo critério. A dominância na concorrência entre os itens de avaliação pode ser identificada analisando as versões que resultaram nos maiores valores dos critérios de avaliação contemplados. Desta forma, o critério referente ao tempo de viagem apresenta dominância na concorrência com os critérios referentes ao custo com frete e à emissão de CO₂. Ainda, o critério referente à emissão de CO₂ apresenta dominância na concorrência com o critério referente ao tempo de viagem.

Em relação ao processo de resolução dos modelos, a versão v3PmCOa exigiu o maior tempo de resolução seguida das versões v3PmTa-sI, v3PmTa, v3PmFa, v3PmCOa-sI e v3PmFa-

sI, sucessivamente. Quanto ao número de nós explorados, destacam-se as versões sem restrições de investimentos, especialmente as versões v3PmCOa e v3PmTa.

Os resultados obtidos referentes ao fluxo de produtos pelas estruturas da rede de transporte, bem como referentes às estruturas desta rede selecionadas para intervenção, para cada uma destas versões, estão apresentados nos mapas temáticos representados pelas figuras 21 a 26 e 27 a 29 abaixo, respectivamente.

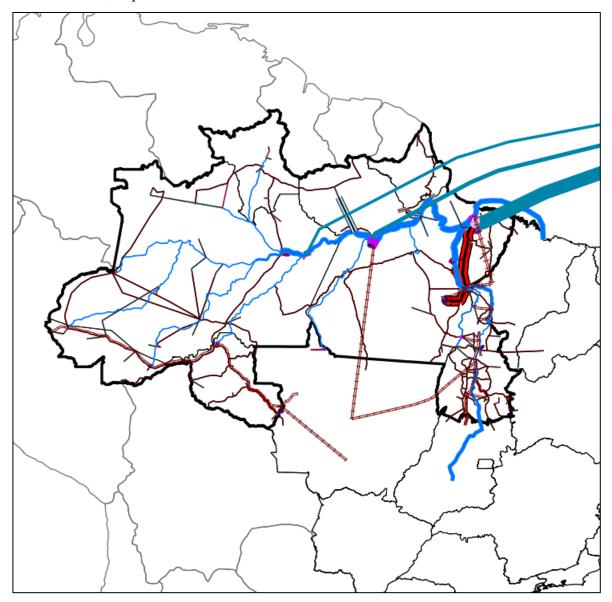


Figura 21 - Fluxo de produtos do modelo v3PmFa

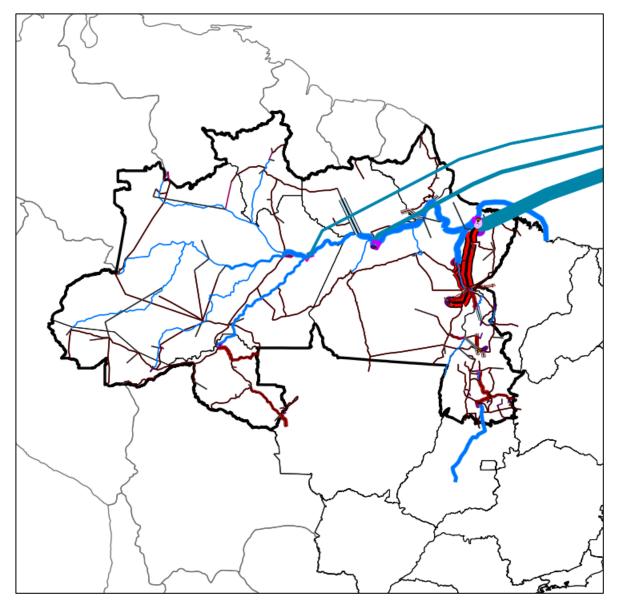


Figura 22 – Fluxo de produtos do modelo v3PmFa-sI

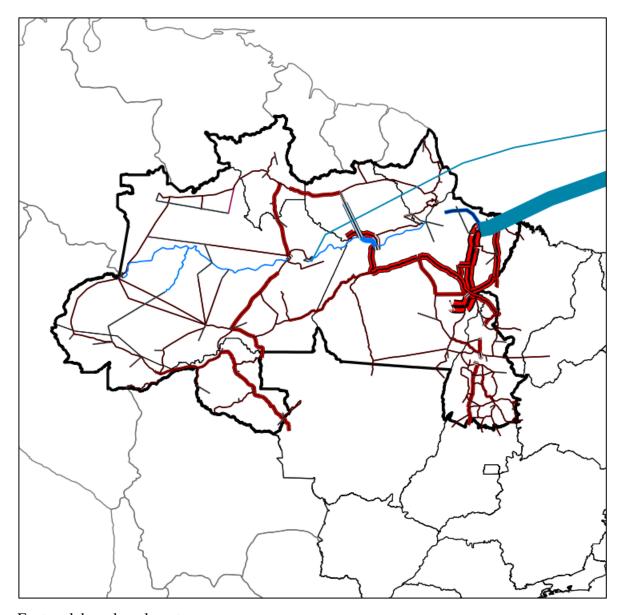


Figura 23 – Fluxo de produtos do modelo v3PmTa

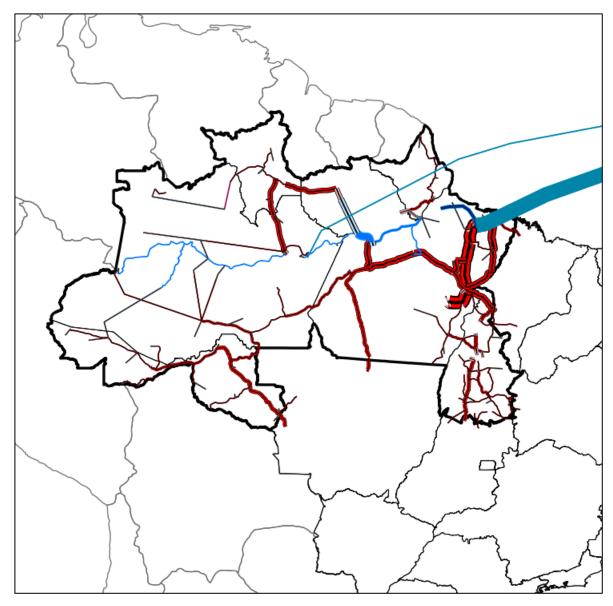


Figura 24 – Fluxo de produtos do modelo v3PmTa-sI

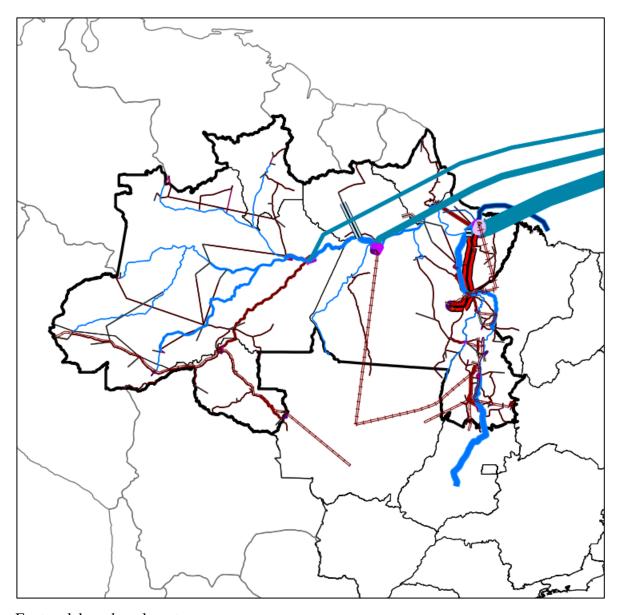


Figura 25 – Fluxo de produtos do modelo v3PmCOa

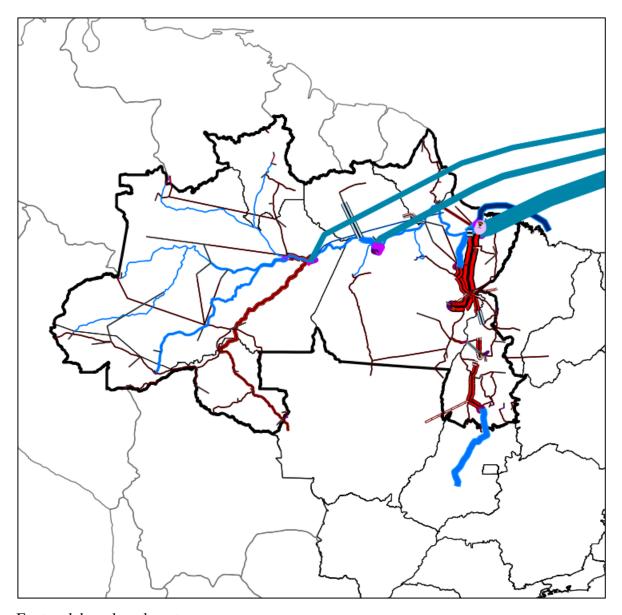


Figura 26 – Fluxo de produtos do modelo v3PmCOa-sI

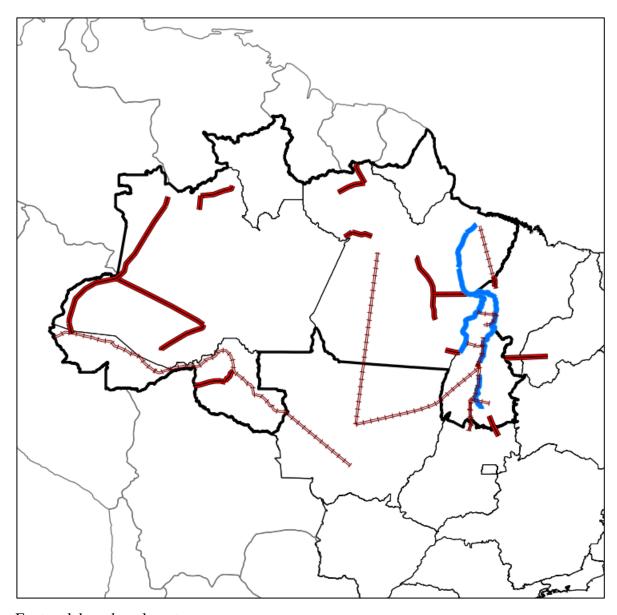


Figura 27 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmFa

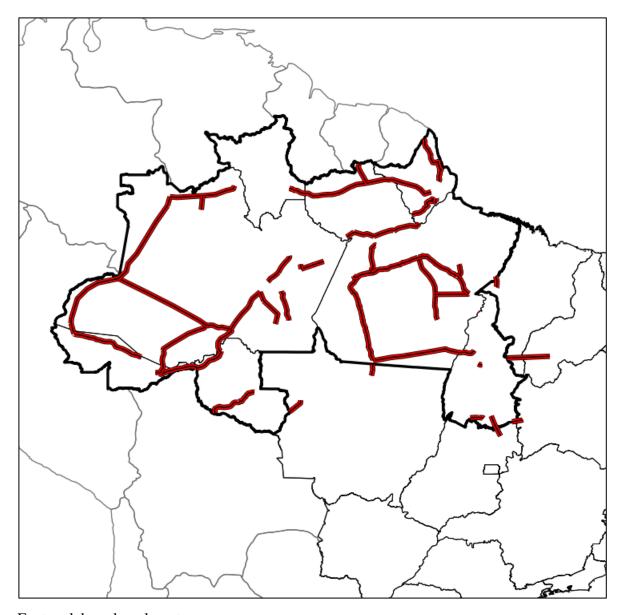


Figura 28 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmTa

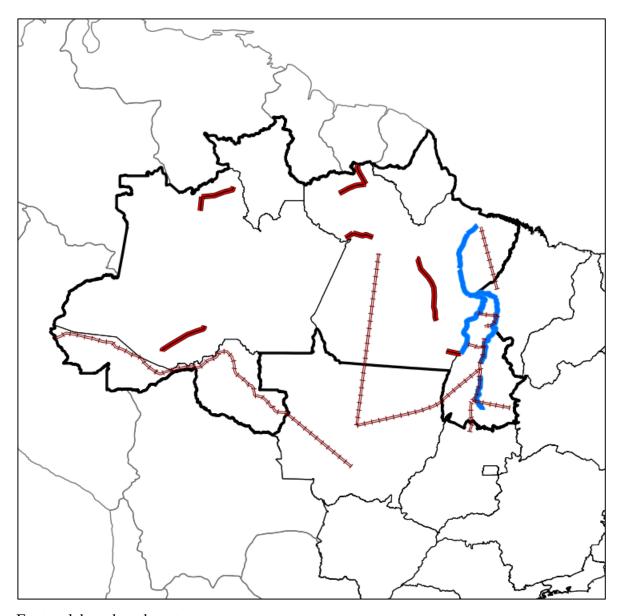


Figura 29 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmCOa

As versões v3PmFa e v3PmFa-sI resultaram em carregamentos melhor distribuídos entre os três modais de transporte. Os modais ferroviário e hidroviário, por apresentaram custo com frete inferiores ao modal rodoviário foram priorizados para o fluxo de produtos entre as microrregiões contempladas na análise.

A versão v3PmFa-sI, por apresentar restrição total de investimento, não contemplou as estruturas de intervenção e, desta forma, parte do fluxo que seria direcionado para os modais ferroviário e hidroviário, conforme a versão v3PmFa, foram absorvidos por estruturas existentes, principalmente do modal rodoviário, mas também do hidroviário, dependendo da localização.

Na figura 27, observa-se que foram selecionadas estruturas para intervenção concentradas, especialmente, nos modais ferroviário e hidroviário, suportando os resultados obtidos do fluxo de produtos da versão v3PmFa. Ainda assim, algumas das estruturas de intervenção para o modal rodoviário foram selecionadas. A maioria destas estruturas do modal rodoviário estão situadas próximas de estruturas dos outros modais, auxiliando o escoamento de produtos numa configuração multimodal.

Nas versões v3PmTa e v3PmTa-sI, o modal rodoviário foi priorizado para o fluxo de produtos, tendo em vista que a velocidade de deslocamento deste modal é superior à dos modais ferroviário e hidroviário. Na versão v3PmTa-sI, com restrição total de investimento, parte do fluxo direcionado a estruturas de intervenção do modal rodoviário, na versão v3PmTa, foi direcionada para estruturas existentes do modal rodoviário e hidroviário. Para o modal rodoviário, este direcionamento provocou redução do nível de serviço de algumas de suas estruturas, refletindo-se em tempos de viagem maiores.

A figura 28 é sintomática na identificação do modal rodoviário como prioritário para alcance do menor resultado agregado em termos de tempo de viagem. Apenas estruturas referentes a este modal foram selecionadas para intervenção na versão v3PmTa.

Por fim, as versões v3PmCOa e v3PmCOa-sI apresentam resultados semelhantes aos obtidos pelas versões v3PmFa e v3PmFa-sI. No entanto, o modal rodoviário foi utilizado com menor frequência do que nas versões em que o custo com frete foi otimizado. Desta forma, um número menor de estruturas do modal rodoviário foi selecionado para intervenção, de acordo com a figura 29 acima.

Apenas com caráter ilustrativo, as figuras 30 e 31 abaixo apresentam os mapas temáticos com as estruturas selecionadas para intervenção das versões v3PmTa e v3PmCOa, respectivamente, sem a correção dos resultados obtidos pelo algoritmo de resolução.

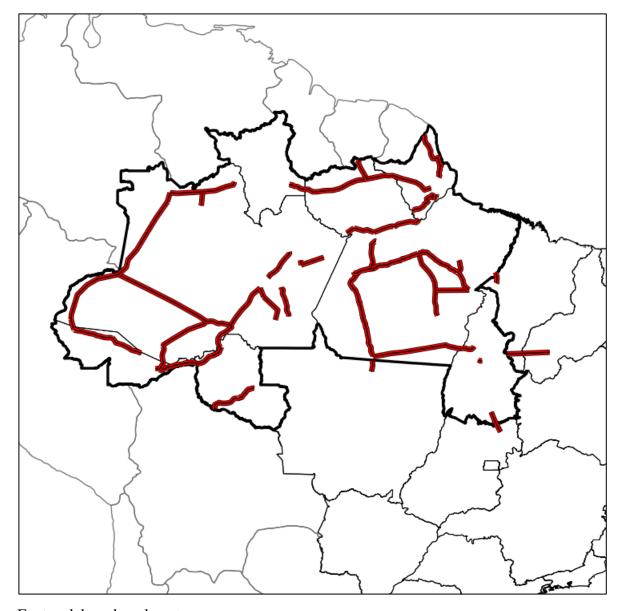


Figura 30 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmTa, sem correção de resultados

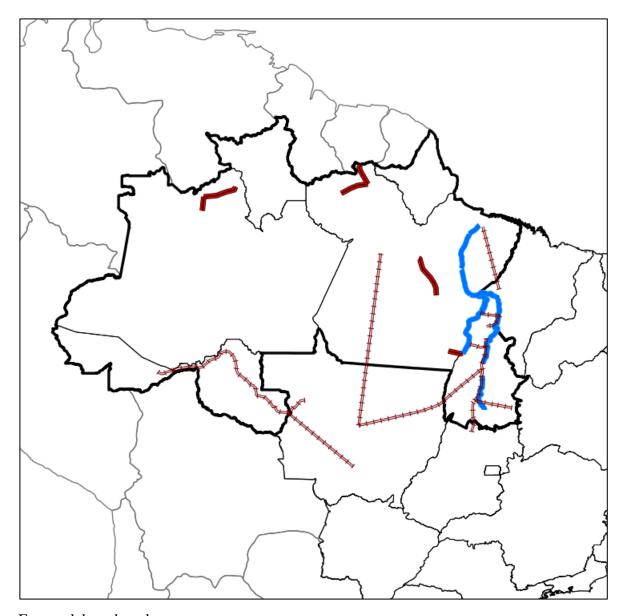


Figura 31 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmCOa, sem correção de resultados

Concluídas as aplicações dos modelos preliminares, foi desenvolvido e aplicado o modelo final com 3 períodos de análise, aqui denominado v3F. Para ponderação dos resultados normalizados dos itens de avaliação proposto, adotou-se, nesta versão, o cenário 1 descrito na tabela 25 deste documento.

A aplicação desta versão culminou em violações de restrições referentes às estruturas de intervenção, que foram devidamente corrigidas. Com estas correções violou-se outra restrição, referente às restrições de investimento por período, que atingiu o valor de R\$ 10.890.598,80 no primeiro período, restrito em R\$ 9.416.000,00. Adicionalmente, apesar do registro de

informações do PSP ter informado o contrário, o resultado desta versão não pode ser considerado ótimo. Os resultados obtidos para cada critério de avaliação proposto com a aplicação desta versão do modelo estão descritos na tabela 30 abaixo.

Tabela 30 – Resultados sumarizados de modelo final com 3 períodos quadrienais

Descrição	v3F – Resultados Originais	v3F – Resultados Normalizados
Custo com frete (milhões R\$)	985.592	0,1967
Custo com investimento (milhões R\$)	12.493	0,4884
Tempo de viagem (milhões horas.ton)	146.727	0,3213
Emissão de CO ₂ (mil ton)	259.551	0,3422
Área de desmatamento (mil ha)	20.087	0,6349
Intersecção com TI (un)	36	0,8161
Intersecção com UCPI (un)	11	0,7000
Intersecção com UCUS (un)	21	0,4881
Tempo de resolução (min)	112	-
Nós explorados (un)	492	-

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos para o modelo final com 3 períodos quadrienais, portanto, apresentam um maior equilíbrio entre os desempenhos dos critérios de avaliação propostos, comparados aos resultados obtidos nas versões preliminares do modelo. Dada a restrição de investimento por período, um número menor de estruturas da rede de transporte foi selecionado para intervenção.

A partir dos resultados normalizados presentes na tabela 30 acima, depreende-se o ordenamento dos critérios de avaliação, partindo do critério com melhor desempenho para o critério com pior desempenho na solução do modelo v3F: custo com frete, tempo de viagem, emissão de CO₂, intersecção com UCUS, custo com investimento, área de desmatamento, intersecção com UCPI e intersecção com TI.

Os resultados para o fluxo de produtos pelas estruturas da rede de transporte e para as estruturas da rede de transporte selecionadas para intervenção, nesta versão v3F, estão apresentados nas figuras 32 e 33 a seguir, respectivamente.

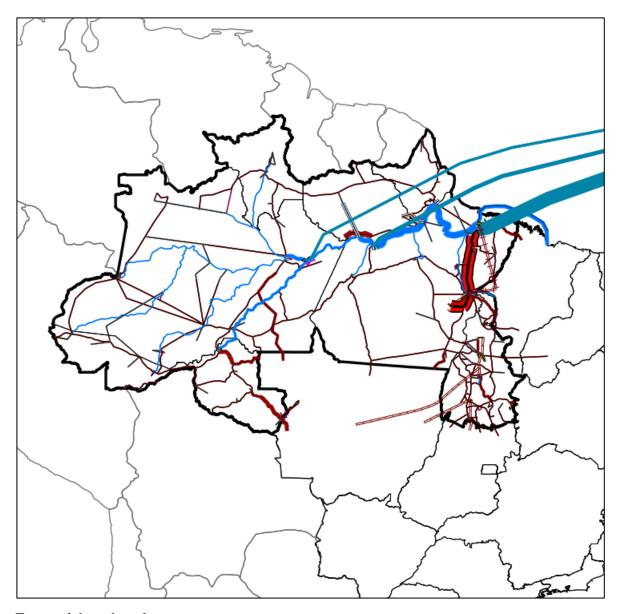


Figura 32 – Fluxo de produtos do modelo v3F

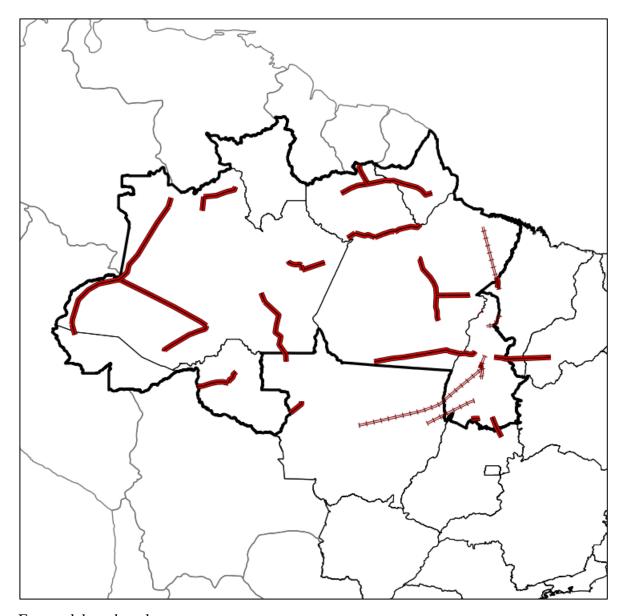


Figura 33 – Estruturas de intervenção do modelo v3F

O fluxo de produtos na versão v3F foi predominantemente direcionado ao modal rodoviário, apesar dos modais ferroviário e, principalmente, hidroviário absorverem significativa parte do escoamento de produtos na região Norte do Brasil. As estruturas selecionadas para intervenção contemplaram apenas arcos representativos dos modais rodoviário e ferroviário, sendo que, obras importantes do modal hidroviário foram descartadas, como a construção da eclusa do Tucuruí, no estado do Pará, atualmente já implantada e ainda em fase de projeto na base de dados adotada no presente estudo.

Também com caráter ilustrativo, a figura 34 abaixo apresenta as estruturas selecionadas para intervenção na versão v3F pelo algoritmo de resolução adotado, sem correção de seus resultados. Nesta figura, observa-se que a grande maioria das estruturas de intervenção que apresentaram fluxo positivo de produtos não foram selecionadas para implantação.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 34 – Estruturas de intervenção do modelo v3F, sem correção de resultados

Finalmente, após a correção do erro encontrado na formulação do modelo, foram executadas duas versões preliminares do modelo com 3 períodos quadrienais, objetivando minimização de custo com frete (v3PmFb) e, outra, minimização de tempo de viagem (v3PmTb). A versão v3PmFb apresentou violações nas restrições referentes às estruturas de intervenção da

rede de transporte e teve seus resultados corrigidos conforme os procedimentos descritos no início desta seção. Os resultados alcançados por cada critério de avaliação proposto para estas duas versões de modelos preliminares com 3 períodos de análise estão sumarizados na tabela 31 abaixo.

Tabela 31 – Resultados sumarizados de modelos com 3 períodos quadrienais, após correção de erro em formulação

	Versão		
Descrição	v3PmFb	v3PmTb	
Custo com frete (milhões R\$)	912.575	1.251.209	
Custo com investimento (milhões R\$)	23.548	17.638	
Tempo de viagem (milhões horas.ton)	272.187	64.657	
Emissão de CO ₂ (mil ton)	214.159	366.698	
Área de desmatamento (mil ha)	22.997	37.877	
Intersecção com TI (un)	48	48	
Intersecção com UCPI (un)	16	11	
Intersecção com UCUS (un)	38	45	
Tempo de resolução (min)	89	274	
Nós explorados (un)	364	11.606	

Fonte: elaborado pelo autor.

Comparando os resultados obtidos com as versões preliminares do modelo com 3 períodos quadrienais, antes e após correção em sua formulação, observa-se que a versão v3PmFb resultou em valor inferior de custo com frete ao valor alcançado da versão v3PmFa. Entretanto, apesar de explorar um número maior de nós e despender maior tempo no processo de resolução, apresentou violações de restrições, diferentemente da verão v3PmFa, fato este que pode ajudar a explicar o menor valor alcançado pela versão v3PmFb no critério referente ao custo com frete.

A versão v3PmTb, por outro lado, despendeu tempo significativamente maior no processo de resolução do modelo comparada à versão v3PmTa, inclusive com a exploração de um número de nós quase oito vezes maior do que a versão v3PmTa. A versão v3PmTb não apresentou violações em suas restrições, diferentemente da versão v3PmTa, porém alcançou resultado com valor superior de tempo de viagem em relação à versão v3PmTa.

Os resultados do fluxo de produtos pela rede de transporte e das estruturas selecionadas para intervenção, respectivamente, para as versões v3PmFb e v3PmTb estão apresentados nos mapas temáticos representados pelas figuras 35 e 36 e 37 e 38 abaixo.

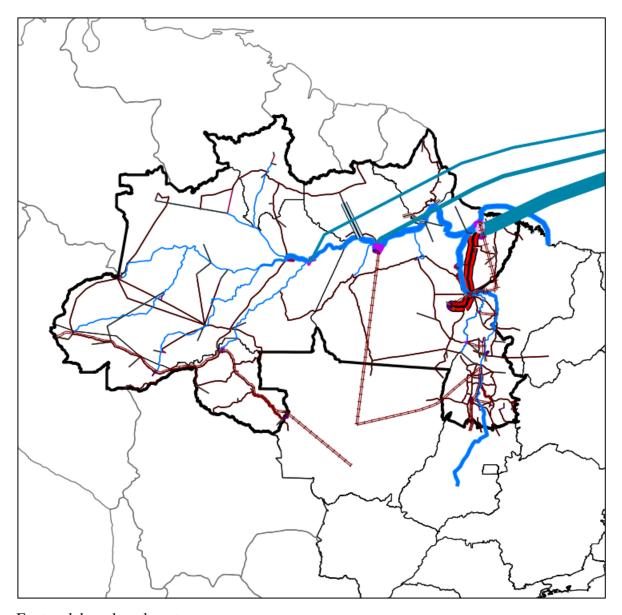


Figura 35 – Fluxo de produtos do modelo v3PmFb

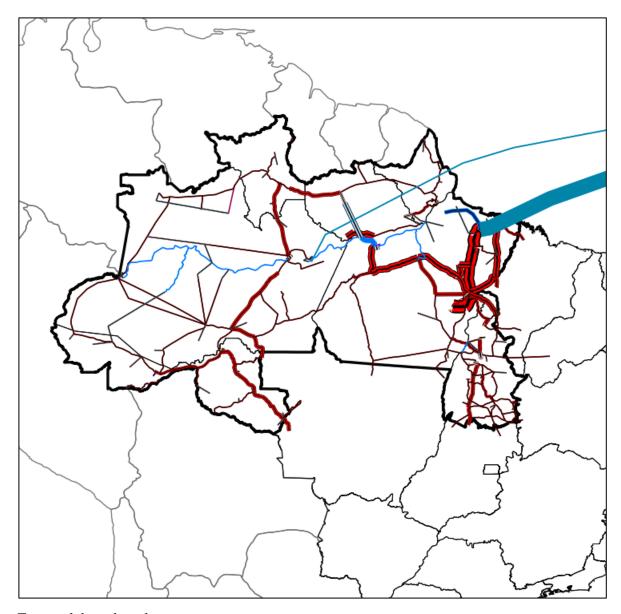


Figura 36 – Fluxo de produtos do modelo v3PmTb

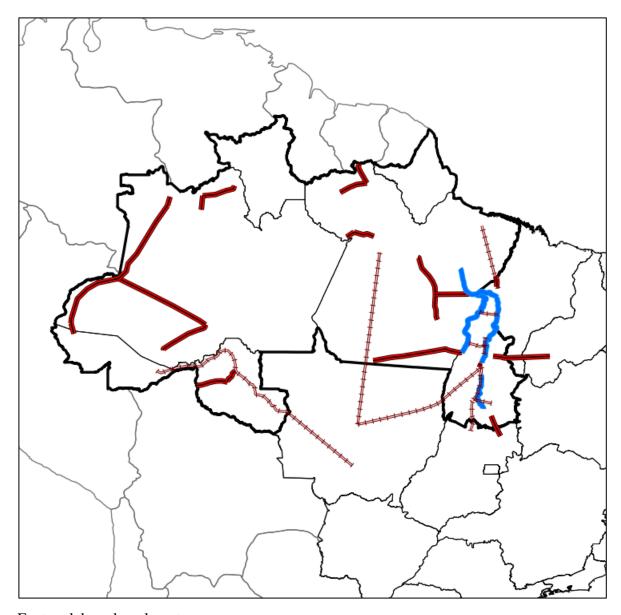


Figura 37 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmFb

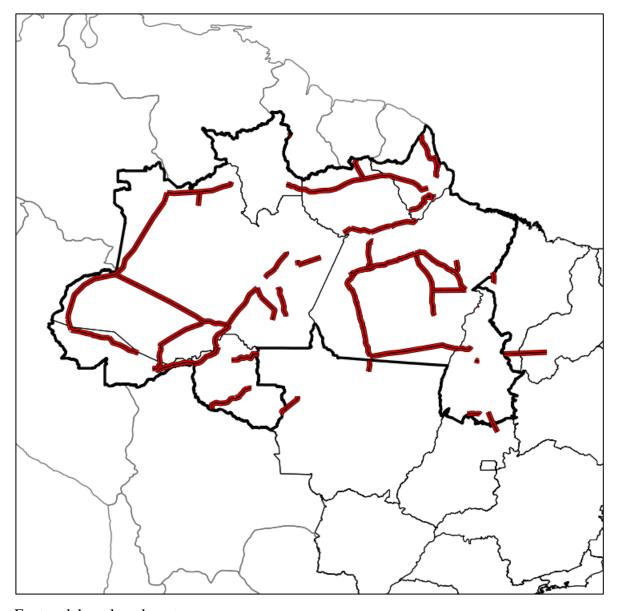


Figura 38 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmTb

De forma geral, os mapas temáticos representativos das versões v3PmFb e v3PmTb se assemelham aos mapas temáticos representativos das versões v3PmFa e v3PmTa. Evidenciam-se diferenças nas estruturas do modal ferroviário selecionadas para intervenção entre as versões v3PmFa e v3PmFb e nas estruturas do modal rodoviário selecionadas para intervenção entre as versões v3PmTa e v3PmTb.

Com caráter apenas ilustrativo, a figura 39 abaixo apresenta o mapa temático com os resultados obtidos pelo algoritmo de resolução para as estruturas selecionadas para intervenção da versão v3PmFb, ainda sem correção das restrições violadas, onde estão ausentes parte das

estruturas de intervenção do modal rodoviário que apresentaram fluxo de produtos positivos em seus arcos representativos.

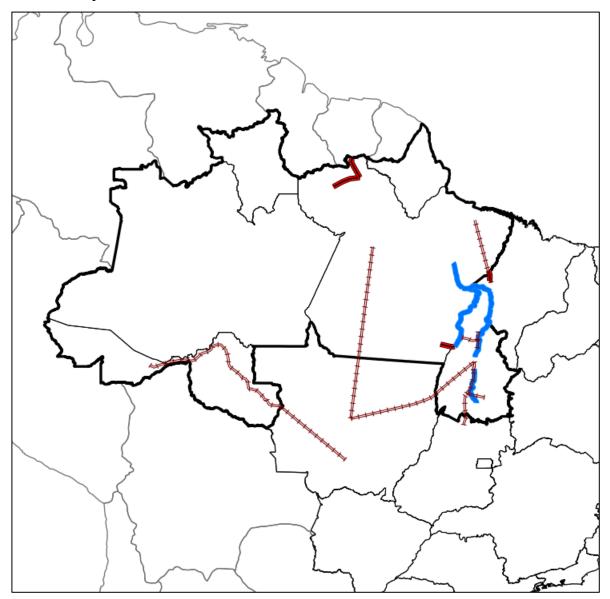


Figura 39 – Estruturas de intervenção do modelo v3PmFb, sem correção de resultados

4.4 Modelos com 2 períodos quadrienais

As versões do modelo com 2 períodos quadrienais foram todas executadas após a correção do erro de formulação, citado anteriormente. Por contarem com um menor dimensionamento, estas versões tendem a apresentar resultados mais satisfatórios em termos de tempo de resolução e qualidade da resposta, comparadas às versões com maior número de períodos de análise.

Foram desenvolvidas e executadas seis versões preliminares do modelo com 2 períodos quadrienais, cujos resultados permitiram a construção das versões finais deste modelo. Todas as versões preliminares resultaram soluções ótimas e sem violação de qualquer restrição componente do modelo. Os resultados obtidos por cada critério de avaliação nas versões preliminares do modelo com 2 períodos quadrienais estão sumarizados na tabela 32 abaixo.

Os valores mínimos alcançados pelos critérios de avaliação otimizados estão destacados em vermelho, enquanto os maiores valores atingidos estão destacados em azul. Estas informações foram, então, complementadas com os valores mínimos e máximos levantados para os demais critérios de avaliação e, posteriormente, utilizadas para normalização dos resultados dos critérios de avaliação nas versões finais do modelo proposto com 2 períodos quadrienais.

Tabela 32 – Resultados sumarizados de modelos preliminares com 2 períodos quadrienais

	Versão							
Descrição	v2PmF	v2PmF-sI	v2PmT	v2mT-sI	v2mCO	v2mCO-sI		
Custo com frete (milhões R\$)	806.847	852.408	1.100.496	1.145.642	891.526	942.874		
Custo com investimento (milhões R\$)	31.423	0	17.605	0	26.270	0		
Tempo de viagem (milhões horas.ton)	240.544	235.128	56.875	69.259	301.067	291.525		
Emissão de CO ₂ (mil ton)	191.475	220.003	328.825	335.925	178.989	206.222		
Área de desmatamento (mil ha)	34.944	0	37.714	0	22.606	0		
Intersecção com TI (un)	53	0	48	0	38	0		
Intersecção com UCPI (un)	18	0	11	0	14	0		
Intersecção com UCUS (un)	62	0	42	0	47	0		
Tempo de resolução (min)	39	39	39	39	38	38		
Nós explorados (un)	0	0	0	0	0	0		

Novamente, o antagonismo do critério de avaliação referente ao tempo de viagem com os critérios referentes ao custo com frete e à emissão de CO₂ é explicitado com os resultados da tabela acima. Ainda, os resultados confirmam as relações de concorrência entre os critérios de avaliação obtidas com a aplicação das versões do modelo com 3 períodos de análise.

As versões preliminares do modelo com 2 períodos quadrienais apresentaram tempo de resolução similares, com as versões v2PmCO e v2PmCO-sI despendendo um minuto a menos que as demais. O registro de informações do algoritmo de resolução indicou ausência de exploração de nós no processo de resolução.

Os resultados do fluxo de produtos pelas estruturas da rede de transporte e das estruturas desta rede selecionadas para intervenção, para cada uma das versões preliminares do modelo com

2 períodos quadrienais, estão apresentados nos mapas temáticos das figuras 40 a 45 e 46 a 48, respectivamente.

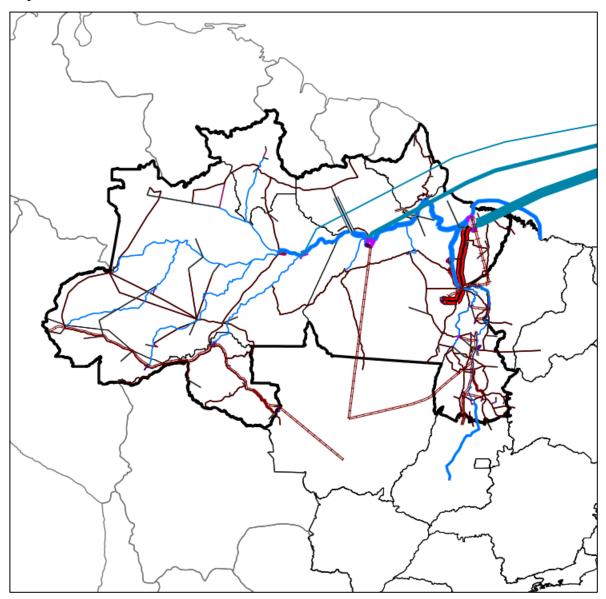


Figura 40 – Fluxo de produtos do modelo v2PmF

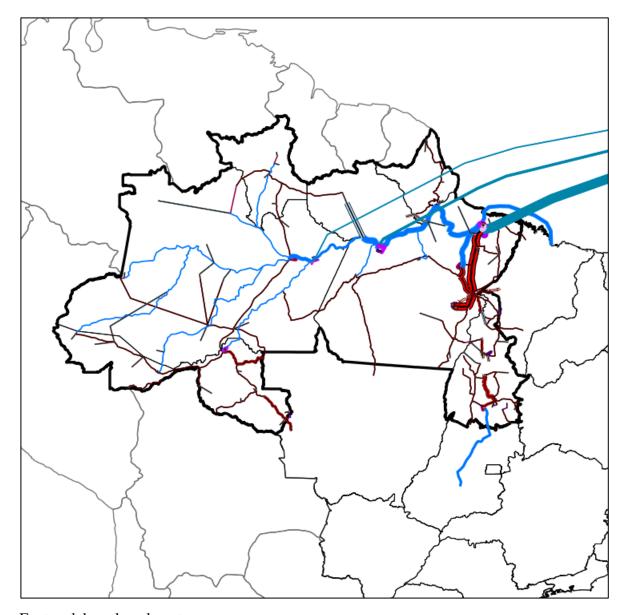


Figura 41 – Fluxo de produtos do modelo v2PmF-sI

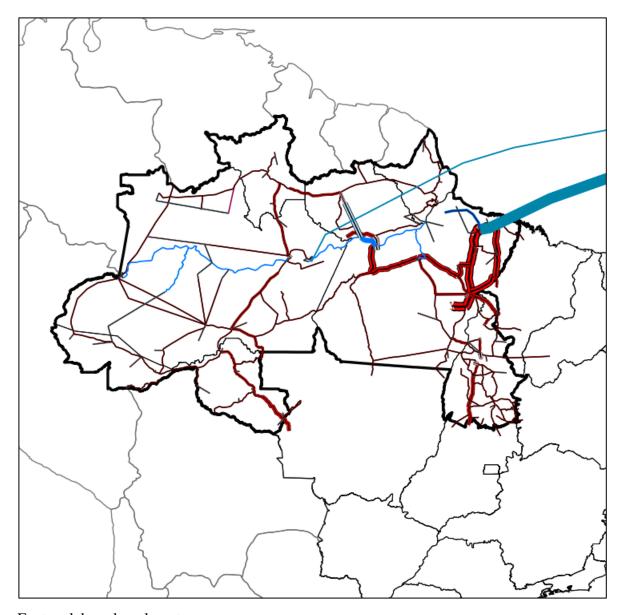


Figura 42 – Fluxo de produtos do modelo v2PmT

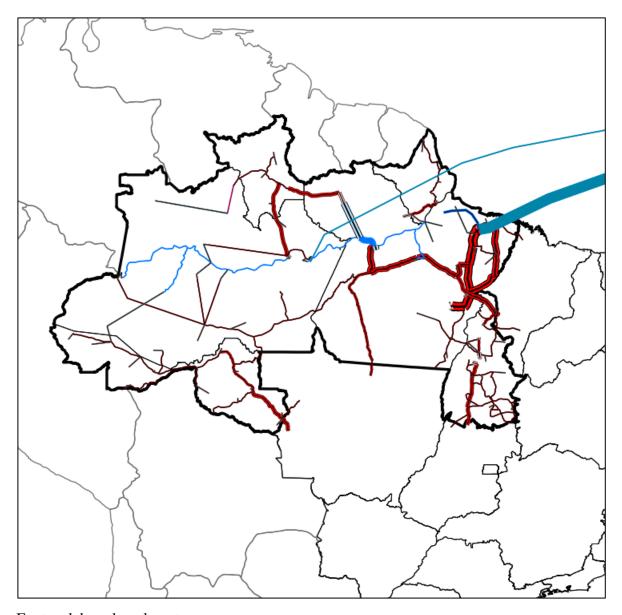


Figura 43 – Fluxo de produtos do modelo v2PmT-sI

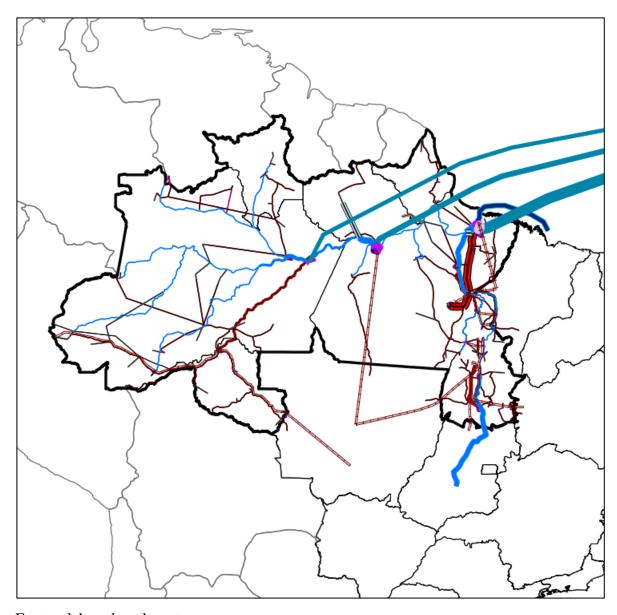


Figura 44 – Fluxo de produtos do modelo v2PmCO

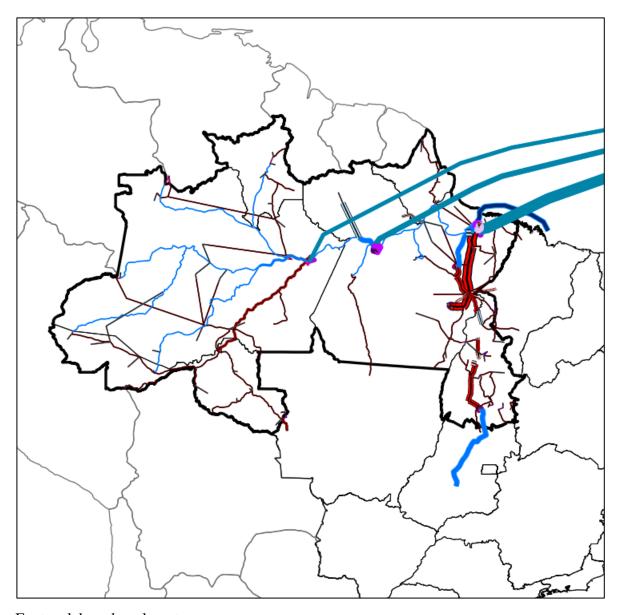


Figura 45 – Fluxo de produtos do modelo v2PmCO-sI

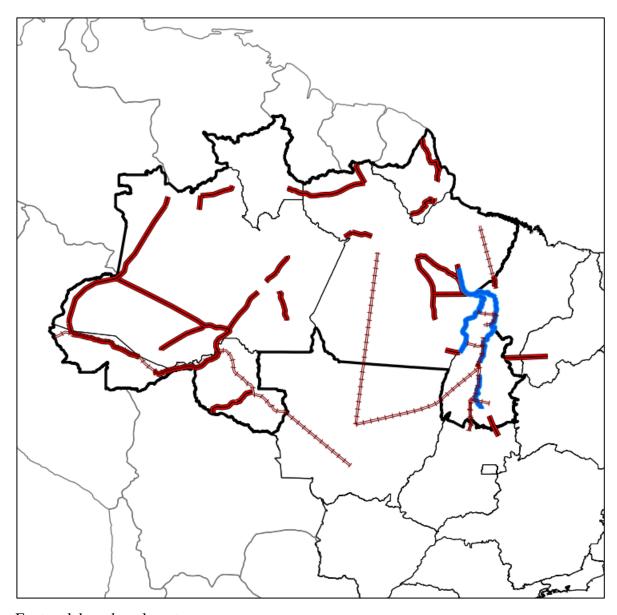


Figura 46 – Estruturas de intervenção do modelo v2PmF

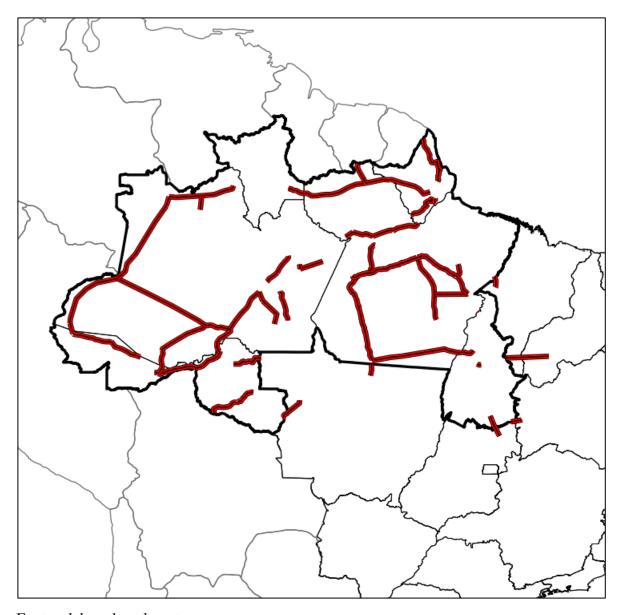


Figura 47 – Estruturas de intervenção do modelo v2PmT

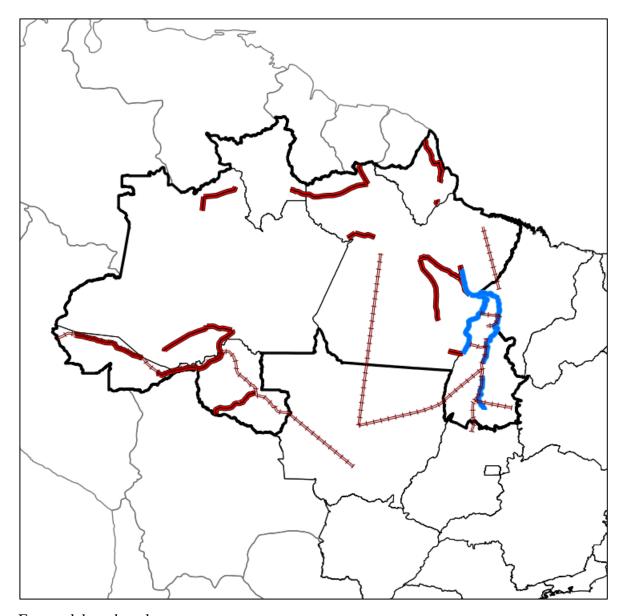


Figura 48 – Estruturas de intervenção do modelo v2PmCO

Repetindo os resultados obtidos com o modelo com 3 períodos de análise, porém, obviamente, com volumes menores de fluxo nos resultados agregados de todos os períodos, as versões v2PmF e v2PmF-sI apresentaram maior distribuição de fluxo entre os modais de transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário. A absorção de fluxo pelos modais ferroviário e hidroviário decorrem dos menores custos com fretes praticados.

Na versão v2PmF-sI, parte do fluxo de produtos que seria direcionado a novas estruturas do modal ferroviário foram deslocadas para estruturas existentes dos modais rodoviário e hidroviário, devido à ausência de intervenções. Da mesma forma, parte do fluxo de produtos que

seria direcionado a novas estruturas do modal hidroviário foram deslocadas para estruturas existentes dos modais rodoviário e ferroviário, nesta versão.

A figura 46 confirma esta busca por novas estruturas dos modais ferroviário e hidroviário, com a grande participação destes modais no mapa temático com as estruturas selecionadas para intervenção na versão v2PmF. O modal rodoviário também está bem representado na figura citada, porém, suas estruturas ou estão próximas das estruturas dos outros modais, facilitando o escoamento de produtos, ou estão localizadas em regiões carentes de malha rodoviária adequada.

As versões v2PmT e v2PmT-sI apresentaram maior concentração de fluxo de produtos em estruturas do modal rodoviário, pois estas apresentam maiores velocidades de deslocamento. Na versão v2PmT-sI, com ausência de intervenções, notam-se concentrações maiores de fluxo em algumas estruturas do modal rodoviário, tendo em vista que possíveis estruturas alternativas não foram implantadas, e um pequeno deslocamento de fluxo do modal rodoviário para o hidroviário no estado do Pará. Consequentemente, as estruturas da rede de transporte selecionadas para intervenção na versão v2PmT são todas representativas do modal rodoviário, conforme figura 47.

As versões v2PmCO e v2PmCO-sI também apresentaram maior distribuição de fluxo entre os modais de transporte. Observa-se, no entanto, maior concentração de fluxo no modal hidroviário comparado às versões preliminares definidas para minimização de custo com frete. A versão v2PmCO-sI apresentou maior concentração de fluxo em algumas estruturas do modal rodoviário, principalmente, devido à ausência de intervenções. Nota-se na figura 48, portanto, menor participação do modal rodoviário nas estruturas da rede de transporte selecionadas para intervenção na versão v2PmCO, comparada à figura 46, representativa da versão v2PmF.

A partir dos resultados obtidos nas versões preliminares do modelo com 2 períodos quadrienais, foram desenvolvidas duas versões de modelos finais, v2Fc1 e v2Fc2, adotando-se os dois cenários descritos na tabela 25 deste documento. De acordo com o registro de informações do algoritmo de resolução adotado, a aplicação destas versões resultou em soluções ótimas e com todas as restrições respeitadas. No entanto, identificaram-se violações nas restrições referentes às estruturas de intervenção nas duas versões, que foram corrigidas de acordo com o procedimento descrito no início desta seção de resultados do trabalho.

A correção supracitada resultou, nestas duas versões, na violação de outra restrição, referente ao valor de investimento por período de análise. Na versão v2Fc1, após a correção, seriam necessários investimentos na ordem de R\$ 10.093.730,29 no primeiro período de análise,

limitado em R\$ 9.416.000,00. A versão v2Fc2, que apresenta a mesma limitação no valor de investimento da versão v2Fc1, exigiu investimento de R\$ 10.316.697,32 no primeiro período de análise, após a correção dos resultados obtidos pelo algoritmo.

Conforme citado anteriormente neste trabalho, o deslocamento do fluxo de algumas das estruturas de intervenção para estruturas alternativas existentes poderia solucionar o problema com a violação de restrições do modelo. Entretanto, o resultado de todas estas correções não poderia ser considerado ótimo sendo, no máximo, próximo disto.

A tabela 33 abaixo apresenta, sumarizados, os resultados originais e normalizados obtidos por cada critério de avaliação nas duas versões do modelo final com 2 períodos de análise.

Tabela 33 – Resultados sumarizados de modelos finais com 2 períodos quadrienais

Versão	v2]	Fc1	v2Fc2			
Descrição	Resultados Originais	Resultados Normalizados	Resultados Originais	Resultados Normalizados		
Custo com frete (milhões R\$)	860.116	0,1572	831.242	0,0720		
Custo com investimento (milhões R\$)	8.654	0,1564	8.845	0,1599		
Tempo de viagem (milhões horas.ton)	137.438	0,3299	162.860	0,4340		
Emissão de CO ₂ (mil ton)	223.368	0,2828	206.000	0,1721		
Área de desmatamento (mil ha)	12.560	0,2161	6.220	0,1070		
Intersecção com TI (un)	20	0,2083	9	0,0938		
Intersecção com UCPI (un)	3	0,0882	3	0,0882		
Intersecção com UCUS (un)	9	0,0947	12	0,1263		
Tempo de resolução (min)	233	-	54	-		
Nós explorados (un)	25.393	-	929	-		

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos para cada critério de avaliação proposto nas versões finais do modelo com 2 períodos quadrienais foram intermediários aos valores alcançados por meio da aplicação das versões preliminares deste modelo. Os desempenhos dos critérios de avaliação com maior dependência das estruturas da rede de transporte selecionadas para intervenção são impulsionados pela restrição referente ao valor de investimento por período de análise.

Reflexo disto, na versão v2Fc1, os critérios de avaliação que alcançaram os melhores desempenhos foram os relacionados às intersecções com UCPI e UCUS, seguidos do critério referente ao custo com investimento, todos fortemente relacionados às estruturas selecionadas

para intervenção. O critério de avaliação referente ao custo com frete apresenta o quarto melhor desempenho entre os critérios de avaliação nesta versão, seguido dos critérios relacionados à intersecção com TI, à área de desmatamento, à emissão de CO₂ e ao tempo de viagem, sucessivamente.

Da mesma forma, na versão v2Fc2, que adota o cenário 2 de ponderação de pesos dos critérios de avaliação, onde o critério relacionado ao custo com frete é priorizado, o melhor desempenho, como esperado, foi obtido pelo critério referente ao custo com frete, seguido por critérios fortemente relacionados às estruturas da rede de transporte selecionadas para intervenção, no seguinte ordenamento: intersecção com UCPI, intersecção com TI, área de desmatamento, intersecção com UCUS, custo com investimento, emissão de CO₂ e tempo de viagem. Nas duas versões finais, portanto, o critério de avaliação referente ao tempo de viagem alcançou o pior desempenho entre todos os demais.

Entre todas as versões do modelo aplicadas no presente trabalho, a versão v2Fc1 foi a quarta versão que demandou maior tempo de resolução pelo algoritmo adotado, estando atrás apenas das versões v7PmF, abortada durante o processo de resolução, v4PmT e v3PmTb, todas contemplado número de períodos de análise superiores ao da versão v2Fc1. Quanto ao número de nós explorados no processo de resolução, a versão v2Fc1 alcançou o segundo maior valor, somente abaixo da versão v4PmT. A versão v2Fc2 apresentou números mais modestos de tempo de resolução e de nós explorados neste processo, compatíveis aos números alcançados pelas versões preliminares do modelo com 2 períodos de análise.

Os resultados do fluxo de produtos e das estruturas selecionadas para intervenção da rede de transporte, para cada um das versões finais de modelos com 2 períodos quadrienais estão apresentados nos mapas temáticos representados pelas figuras 49 e 50 e 51 e 52, respectivamente.

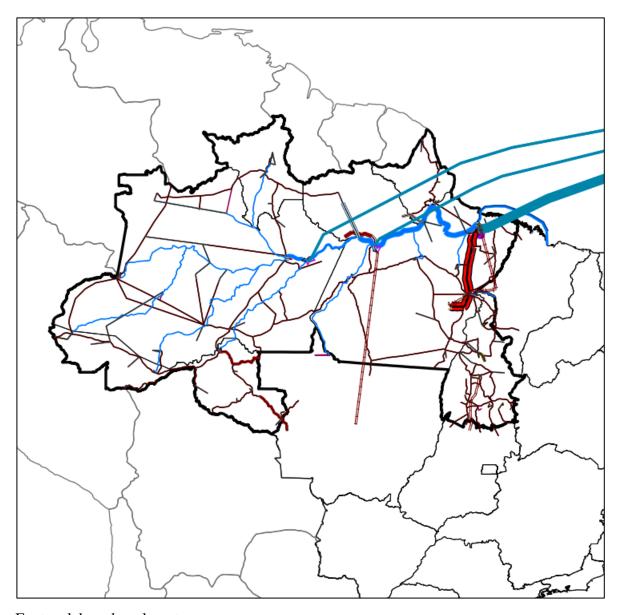


Figura 49 – Fluxo de produtos do modelo v2Fc1

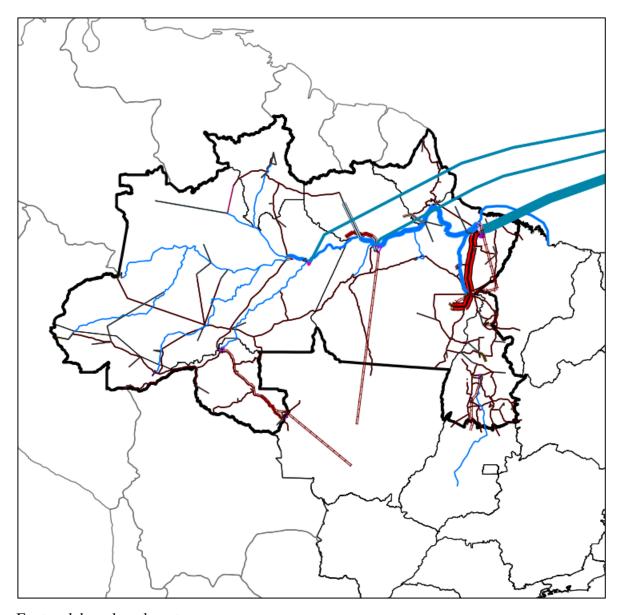


Figura 50 – Fluxo de produtos do modelo v2Fc2

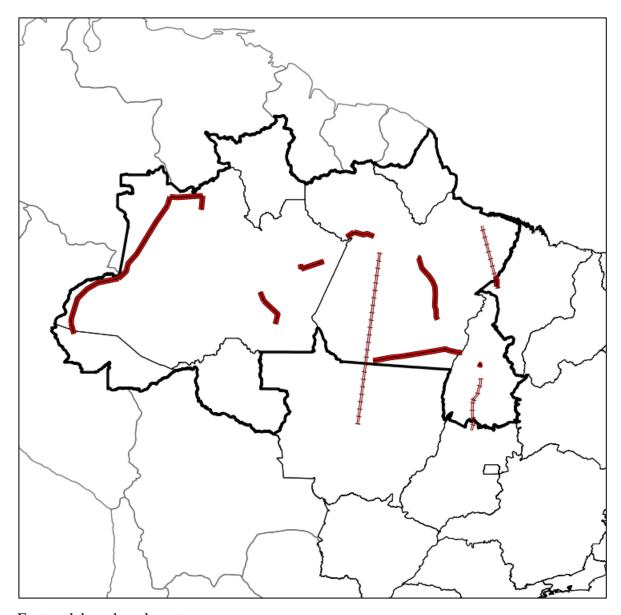


Figura 51 – Estruturas de intervenção do modelo v2Fc1

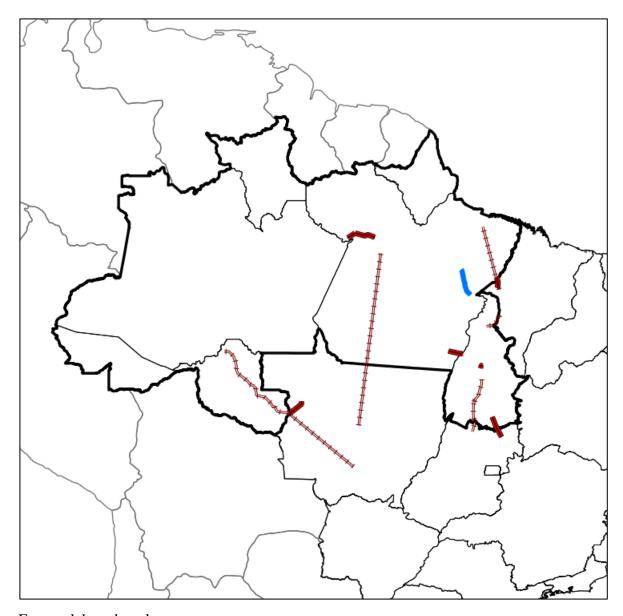


Figura 52 – Estruturas de intervenção do modelo v2Fc2

Comparada à versão v2Fc1, a versão v2Fc2 apresentou maior participação dos modais ferroviário e hidroviário no fluxo de produtos da região Norte do Brasil, devido aos menores custos com frete encontrados nestes modais comparados ao modal rodoviário.

Na tabela 34 a seguir, são apresentadas a participação de cada modal de transporte no fluxo de produtos pela rede de transporte, para as duas versões de modelos finais com 2 períodos quadrienais e em cada período de análise, mensuradas em milhões de TKU.

Tabela 34 – Participação modal no fluxo de produtos de modelos finais com 2 períodos quadrienais (em milhões de TKU e em porcentagem do total)

Versão	v2Fc1				v2Fc2			
Período	2007-2010		2011-2014		2007-2010		2011-2014	
Descrição	Valor	%	Valor	%	Valor	%	Valor	%
Modal rodoviário	258,1	58,32	286,8	46,64	243,9	54,85	238,7	37,08
Modal ferroviário	18,8	4,26	125,2	20,37	31,5	7,09	159,0	24,70
Modal hidroviário	165,6	37,42	202,8	32,99	169,3	38,07	246,0	38,22
Total	442,6	100,00	614,3	100,00	444,8	100,00	643,7	100,00

Os dados referentes à participação modal no fluxo de produtos na rede de transporte confirmam e destacam os resultados observados nos mapas temáticos representados pelas figuras 49 e 50 acima. A versão v2Fc1 apresenta maior participação do modal rodoviário, para os dois períodos de análise considerados, comparada à versão v2Fc2, com fluxo melhor distribuído entre os demais modais de transporte.

Interessante notar a alteração no padrão de distribuição de fluxo de produtos após intervenções na rede de transporte adotada. A versão v2Fc1 resultou em um maior número de estruturas do modal rodoviário selecionadas para intervenção, sendo sua maioria localizada nos estados do Amazonas e do Pará. Foram selecionadas para intervenção, também, três grandes estruturas do modal ferroviário: uma ligando a microrregião de Santarém no Pará à microrregião de Alto Teles Pires no Mato Grosso, outra ligando a microrregião de Belém no Pará à microrregião de Imperatriz no Maranhão e uma terceira ligando as microrregiões de Porto Nacional no Tocantins à microrregião de Porangatu em Goiás.

Apesar das intervenções previstas para o modal rodoviário, o fluxo de produtos na versão v2Fc1 foi, em grande parte, direcionado ao modal ferroviário no segundo período considerado na análise, aproveitando-se das novas estruturas disponíveis para este modal. Em valores absolutos, o modal hidroviário também contemplou um fluxo de produtos maior no segundo período de análise comparado ao primeiro período, apesar de apresentar uma redução percentual em sua participação, decorrente do incremento observado pelo modal ferroviário. O modal rodoviário, neste segundo período quadrienal, apresentou a maior redução proporcional em participação no fluxo de produtos na região Norte do Brasil, na versão v2Fc1 do modelo.

A versão v2Fc2 apresentou alteração ainda mais significativa na participação dos modais de transporte no fluxo de produtos contemplados. O modal rodoviário, com participação

expressiva no primeiro período de análise de 54,85%, teve sua participação no fluxo de produtos reduzida para 37,08% no segundo período quadrienal. Nesta versão, parte deste fluxo de produtos foi direcionado para o modal ferroviário com crescimento de participação de 7,09% para 24,70%, que contou com intervenções nas mesmas estruturas contempladas na versão v2Fc1, complementadas com ligação ferroviária entre as microrregiões de Porto Velho em Rondônia à microrregião de Cuiabá no estado do Mato Grosso.

Outra parcela do fluxo de produtos previamente assumidos pelo modal rodoviário foi redirecionada para o modal hidroviário no segundo período de análise na versão v2Fc2, com participação de 38,22% no fluxo de produtos e cerca de 246 milhões de TKU, contra 38,07% de participação no fluxo de produtos e 170 milhões de TKU, aproximadamente, no primeiro período quadrienal. Esta migração de fluxo foi proporcionada pela seleção para intervenção de projetos de investimento referentes à adequação das condições de navegabilidade da hidrovia Tocantins-Araguaia, em trecho situado entre as microrregiões de Tucuruí e Marabá, no estado do Pará.

Estas duas versões, portanto, apresentaram no segundo período de análise distribuição mais equilibrada do fluxo de produtos pela rede de transporte na região Norte do Brasil, com maior utilização da multimodalidade com a implantação de novas vias férreas e melhor aproveitamento de seu potencial hidroviário.

Finalmente, e apenas com caráter ilustrativo, as figuras 53 e 54 representam os mapas temáticos com as estruturas da rede de transporte selecionadas para intervenção obtidas com a resolução das versões finais de modelos com 2 períodos quadrienais pelo algoritmo adotado, sem a correção das restrições violadas relacionadas às estruturas de intervenção.



Figura 53 – Estruturas de intervenção do modelo v2Fc1, sem correção de resultados



Figura 54 – Estruturas de intervenção do modelo v2Fc2, sem correção de resultados

5 CONCLUSÃO

A análise dos resultados obtidos com a aplicação de todas as versões do modelo apresentadas neste trabalho permite concluir que, de forma geral, o modelo proposto oferece respostas compatíveis com as teorias relacionadas a este problema de decisão.

O modal rodoviário, que apresenta a maior malha viária implantada em território nacional, inclusive na região Norte do Brasil, absorveu o maior volume de fluxo de produtos em todas as versões analisadas neste estudo. Este modal, reconhecido como o mais veloz depois do modal aeroviário, foi priorizado para o escoamento de produtos nas versões do modelo que objetivaram a minimização dos tempos de viagem.

Por outro lado, os modais ferroviário e hidroviário foram priorizados em todas as versões que objetivaram, exclusivamente, a minimização dos custos com frete, dado que os valores praticados por estes modais são inferiores aos valores praticados pelo modal rodoviário. O mesmo ocorre, de forma ainda mais acentuada, em relação ao critério de avaliação correspondente à emissão de CO₂.

Conforme exposto no referencial teórico deste trabalho, o impacto de intervenções em infraestrutura de transporte em áreas de desmatamento é significativamente maior para o modal rodoviário, em relação aos modais ferroviário e hidroviário. Coerentemente, os resultados obtidos pelas versões do modelo com o objetivo de minimização do tempo de viagem, caracterizados pela utilização massiva do modal rodoviário, apresentaram valores superiores de áreas desmatadas comparadas às outras versões analisadas.

Os itens de avaliação referentes ao número de intersecções dos projetos de investimento em infraestrutura de transporte selecionados com áreas de preservação ambiental são regidos por características específicas das localidades onde estes projetos estão situados, em detrimento de características específicas dos modais de transporte relacionados. Os resultados obtidos para estes itens, portanto, não sugerem nenhum padrão de dano ambiental em decorrência da busca por um objetivo específico de avaliação, seja pelo custo com frete, tempo de viagem ou emissão de CO₂.

Tendo em vista o dimensionamento do modelo proposto, mesmo em versões com apenas dois períodos de análise, os tempos de resolução obtidos, entre 38 e 274 minutos, dependendo da versão, podem ser considerados satisfatórios. Porém, em algumas das versões do modelo, apesar

do registro de informações do algoritmo de resolução ter informado que suas respostas foram ótimas e com todas as restrições respeitadas, identificaram-se violações em restrições relacionadas às estruturas da rede de transporte selecionadas para intervenção.

Na ocasião em que foi encontrado erro na formulação do modelo, referente ao vínculo de alguns arcos representativos das estruturas da rede de transporte sujeitas à intervenção, imaginouse que o problema com a violação de restrições pudesse ser solucionado. No entanto, este problema persistiu em algumas das versões aplicadas após a correção do erro de formulação citado.

Conforme exposto no trabalho, diversas configurações do algoritmo de resolução foram implantadas na busca por resultados que não apresentassem violação de qualquer restrição do modelo proposto. Apesar de praticamente eliminar os casos em que o algoritmo retornou do processo de resolução informando que não foram encontradas soluções ótimas ou viáveis para o modelo em questão, foram apenas reduzidas, e não totalmente eliminadas, situações com violação de restrições.

A percepção do autor é de que o algoritmo de resolução interrompe precocemente a busca por soluções melhores quando a tolerância de viabilidade, índice referente à adequação dos valores assumidos pelas variáveis aos valores limitados pelas restrições do modelo, é atingida e quando sua função objetivo não apresenta melhoria nos valores assumidos superiores a outro índice específico, denominado de convergência.

Além da intrínseca dificuldade de resolução de problemas PLIM de grandes dimensões, o prazo limitado do período de teste do algoritmo de resolução comercial adotado neste trabalho impediu que o modelo proposto pudesse atingir maturidade suficiente para sua resolução completa, sem que houvessem violações em suas restrições, eliminando necessidade de correção de resultados e assegurando que as soluções apresentadas por este algoritmo pudessem ser consideradas as soluções ótimas para o problema em questão.

Entretanto, a evolução do modelo e da qualidade das respostas obtidas com o algoritmo de resolução, durante o prazo de teste em que foi executado, permite concluir que a metodologia proposta, com alguns ajustes como os expostos a seguir, como recomendações para trabalhos futuros, pode ser apropriada e uma importante ferramenta para auxílio na tomada de decisão para o problema de priorização de projetos de investimento em infraestrutura de transporte, considerando-se suas diversas dimensões de avaliação.

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho desenvolvido originou um modelo de programação matemática, aliado a metodologia de análise de decisão multicritério, para priorização de investimentos em infraestrutura de transporte, considerando-se critérios de avaliação nas dimensões financeira, operacional e ambiental. No entanto, os resultados obtidos na aplicação do modelo não foram inteiramente satisfatórios, tendo em vista que foram observadas violações em algumas de suas restrições, após o processo de resolução.

Para que seja considerado válido para aplicação, faz-se necessária adequação do modelo, de tal forma que os seus resultados obtidos representem soluções ótimas em que todas suas restrições sejam respeitadas. Uma das possibilidades identificadas para adequação do modelo refere-se à redução do seu dimensionamento, por meio da análise da rede de transporte adotada buscando-se oportunidades de eliminação de arcos, ou de conjuntos de arcos, que apresentem origens e destinos redundantes.

Com a identificação de ligações redundantes entre pontos de origem e destino, parte dos arcos considerados na análise poderia ser eliminada, reduzindo, assim, o número de variáveis de fluxo do modelo e, em menor proporção, o número de variáveis inteiras auxiliares, no caso de eliminação de arcos representativos do modal rodoviário. Adicionalmente, para o caso ilustrativo adotado neste trabalho, o modal rodoviário apresenta, potencialmente, maiores possibilidades de identificação de arcos redundantes, tendo em vista a alta disponibilidade de sua malha viária.

Outra possibilidade para alcance de resultados satisfatórios pelo modelo proposto envolveria um aprofundamento no conhecimento do funcionamento do algoritmo de resolução, que permitiria que este algoritmo fosse configurado, com segurança, da forma mais apropriada para resolução do problema em questão.

Como mencionado anteriormente, diversas configurações alternativas foram testadas onde foram evidenciadas melhorias no processo de resolução, sem, contudo, eliminação dos problemas encontrados com violações de restrições. Possivelmente, a exploração de outras combinações de configurações pode resultar em soluções ótimas e inteiramente viáveis para o modelo proposto. Possivelmente, para desenvolvimento deste trabalho, seria necessária aquisição de extensão do

aplicativo comercial com o algoritmo de resolução, disponibilizando um prazo maior para seu estudo.

Uma terceira possibilidade, seria a adoção de ferramentas alternativas para resolução do problema de programação matemática em questão. Conforme explicitado na seção que trata da metodologia deste trabalho, existem outros aplicativos comerciais, em sua maioria, ou gratuitos, disponíveis para resolução de problema de programação matemática. Estes aplicativos alternativos não foram adotados no presente trabalho, porém, podem oferecer procedimentos mais eficientes, ou mais compatíveis, para resolução do modelo proposto neste estudo.

A adoção de ferramentas alternativas para resolução deste problema de programação matemática serve também o propósito de comparação do desempenho destas ferramentas, preenchendo uma lacuna identificada na produção científica relacionada.

Caso nenhuma das linhas de ação propostas acima apresente resultados satisfatórios, ainda seria possível a aplicação do modelo procedendo manualmente as correções necessárias para manutenção da viabilidade de suas soluções. No presente estudo, especialmente nas versões finais do modelo proposto, a correção de violações em restrições referentes às estruturas de intervenção gerou violação em restrições referentes ao valor de investimento por período de análise.

Neste sentido, a redistribuição de fluxo de produtos de arcos representativos de estruturas de intervenção para arcos representativos de estrutura pré-existentes eliminaria a necessidade de implantação destas intervenções, reduzindo, assim, o valor previsto de investimento em determinado período de análise, tornando viável a respectiva solução. Esta nova solução corrigida, apesar de não poder ser considerada ótima, apresentará resultados próximos do ótimo e mais relevantes do que os resultados obtidos com as metodologias atualmente empregadas para este problema de decisão, caracterizadas, em sua maioria, como metodologias de avaliação unidimensionais, como é o caso da CBA.

Quanto ao modelo proposto, especificamente, sugere-se a identificação da possibilidade de incorporação de outros critérios de avaliação, além dos critérios propostos neste trabalho. Critérios relacionados à manutenção viária e veicular, relacionados à disponibilidade de estruturas de transporte em regiões isoladas, ou em regiões com indicadores econômico-sociais insatisfatórios, ou, ainda, relacionados à distribuição modal em determinada região, poderiam

complementar a avaliação proposta. Adicionalmente, poderia ser conduzida uma revisão dos parâmetros utilizados nos critérios de avaliação adotados no presente estudo.

Para mitigação da subjetividade na definição dos pesos associados aos critérios de avaliação propostos, criticada por alguns autores como explicitado no referencial teórico deste trabalho, recomenda-se a adoção dos procedimentos descritos pela metodologia AHP junto aos tomadores de decisão, identificando-se os critérios considerados mais relevantes para avaliação do problema em questão.

Ademais, outros ajustes menos significativos no modelo poderiam ser conduzidos. Na adoção do conceito de perpetuidade, recomenda-se a incorporação de uma taxa de crescimento compatível com a realidade estudada, de forma que as demandas por serviços de transporte sejam ajustadas para os períodos de análise implicitamente contemplados neste conceito. Recomenda-se, também, a incorporação de valores representativos da manutenção viária das estruturas da rede de transporte disponíveis no último período de análise. Desta forma, seriam considerados não apenas os benefícios observados com a disponibilização de novas estruturas na rede, mas, também, as obrigações associados a estas decisões.

REFERÊNCIAS

AFFUSO, L.; MASSON, J.; NEWBERY, D. Comparing investments in new transport Infrastructure: roads versus railways? **Fiscal Studies**, v. 24, n. 3, p. 275–315, 2003.

AGÉNOR, P.-R. Health and infrastructure in a model of endogenous growth. **Journal of Macroeconomics**, v. 30, n. 4, p. 1407–1422, 2008.

ALBAREDA-SAMBOLA, M.; DÍAZ, J. A.; FERNÁNDEZ, E. A compact model and tight bounds for a combined location-routing problem. **Computers & Operations Research**, v. 32, n. 3, p. 407–428, 2005.

ANTT. **Declaração de rede 2013: Estrada de Ferro Carajás**. 2013, p. 28. Disponível em: < http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/19782.html?LoginMessage=Logout+efetuado+com+sucesso#lista>. Acesso em: 11 jul. 2013.

ANTT. **Declaração de rede 2013: Ferrovia Norte-Sul**. 2013, p. 13. Disponível em: < http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/19782.html?LoginMessage=Logout+efetuado+com+sucesso#lista>. Acesso em: 11 jul. 2013.

ARAÚJO, M. DA P. Infraestrutura de transporte e desenvolvimento regional: uma abordagem de equilíbrio geral inter-regional. 2006. 58f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Ata da 175^a Reunião do Copom**. Disponível em: http://www.bcb.gov.br/?COPOM175. Acesso em: 3 jun. 2013.

BANISTER, D.; BERECHMAN, Y. Transport investment and the promotion of economic growth. **Journal of Transport Geography**, v. 9, n. 3, p. 209–218, 2001.

BATISTA, C. N. DE O. Contribuição à análise da capacidade de processamento de trens cargueiros em linhas ferroviárias singelas no Brasil. 2006. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

BELLOS, E. et al. An MCDA Approach for Project Selection in Public Sector. In: PM-05 - Advancing Project Management for the 21st Century - "Concepts, Tools & Techniques for Managing Sucessful Projects", 2010, Creta. **Anais...** Creta: National Technical University of Athens, 2010, p.117-124.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logistical management**: the integrated supply chain process. New York: McGraw-Hill, 1996.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão da cadeia de suprimentos e logística**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. p. 442

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Plano Nacional de Logística e Transportes – PNLT**: Relatório Executivo. Brasília: Ministério dos Transportes, 2007, p. 494.

_____. Ministério dos Transportes. **Desenvolvimento de estudos para atualização da base de dados georreferenciada do plano nacional de logística e transportes - PNLT, em apoio ao processo de perenização - Etapa II: volume 6 - Revisão dos resultados do portfólio de projetos**. Brasília: Ministério dos Transportes, 2010, p. 135.

_____. Ministério dos Transportes. **Base de dados georreferenciados PNLT**. Disponível em: http://www.transportes.gov.br/index/conteudo/id/36604>. Acesso em: 20 maio. 2011.

_____. Ministério dos Transportes. **Pesquisa Nacional de Tráfego 2011**. Disponível em: http://www.pnt2011.com.br/index.cfm>. Acesso em: 15 out. 2012.

_____. **Sobre o PAC**. Disponível em: http://www.pac.gov.br/sobre-o-pac. Acesso em: 21 ago. 2012.

_____. **Programa de investimentos em logística**: rodovias e ferrovias. Disponível em: < http://www.transportes.gov.br/public/arquivo/arq1345056805.pdf>. Acesso em: 06 mai. 2013.

BRESSER-PEREIRA, L. C.; GALA, P. Macroeconomia estruturalista do desenvolvimento. **Economia**, v. 30, n. 120, p. 663–686, 2010.

BRUTON, M. J. **Introduction to transportation planning**. 3a. ed. London: Hutchinson and Company (Publishers) Limited, 1985. p. 290

CABALLERO, R. et al. Solving a multiobjective location routing problem with a metaheuristic based on tabu search. Application to a real case in Andalusia. **European Journal of Operational Research**, v. 177, n. 3, p. 1751–1763, 2007.

CABRAL, O. Choque de capitalismo. **Revista Veja**, São Paulo, 15 ago. 2012, p. 58–66.

CALISKAN, N. A decision support approach for the evaluation of transport investment alternatives. **European Journal of Operational Research**, v. 175, n. 3, p. 1696–1704, 2006.

CAMPITELLI, G.; GOBET, F. Herbert Simon's decision-making approach: investigation of cognitive processes in experts. **Review of General Psychology**, v. 14, n. 4, p. 354–364, 2010.

CARAMIA, M.; GUERRIERO, F. A heuristic approach to long-haul freight transportation with multiple objective functions. **Omega**, v. 37, n. 3, p. 600–614, 2009.

CARAZO, A. F. et al. A project portfolio selection problem in a group decision-making context. **Journal of Industrial and Management Optimization**, v. 8, n. 1, p. 243–261, 2011.

CHANG, N.-B.; PARVATHINATHAN, G.; BREEDEN, J. B. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. **Journal of environmental management**, v. 87, n. 1, p. 139–53, 2008.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gestão da cadeia de suprimentos**: estratégia, planejamento e operação. São Paulo: Prentice Hall, 2006.

CLEMEN, R. T.; REILLY, T. **Making hard decisions**. 2a. ed. Pacific Grove: Duxbury, 2001. p. 733

CORONADO-HERNÁNDEZ, J. R.; PARDO-MORA, E. M.; VALERO-HERRERO, M. A multi-objective model for selection of projects to finance new enterprise SMEs in Colombia. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 4, n. 3, p. 407–417, 2011.

COSTA, A. M. A survey on benders decomposition applied to fixed-charge network design problems. **Computers & Operations Research**, v. 32, n. 6, p. 1429–1450, 2005.

COSTA, D.; PADULA, R. Uma proposta de plano de ação em infra-estrutura de transportes para o Brasil – 2007-2010. **Comunicação e Política**, v. 25, n. 1, p. 121–152, 2007.

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS. **CSCMP Supply Chain Management Definitions**. Disponível em: http://cscmp.org/aboutcscmp/definitions.asp. Acesso em: 20 maio. 2011.

COYLE, J. J.; BARDI, E. J.; NOVACK, R. A. **Transportation**. St. Paul: West Publishing Company, 1994.

CRAFTS, N. Transport infrastructure investment: implications for growth and productivity. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 25, n. 3, p. 327–343, 2009.

CRAINIC, T. G.; FRANGIONI, A.; GENDRON, B. Bundle-based relaxation methods for multicommodity capacitated fixed charge network design. **Dicrete Applied Mathematics**, v. 112, p. 73–99, 2001.

CRUZ, F. R. B.; SMITH, J. M.; MATEUS, G. R. Solving to optimality the uncapacitated fixed-charge network flow problem. **Computers & Operations Research**, v. 25, n. 1, p. 67–81, 1998.

CRUZ, V.; AMORA, D. Rodovias, ferrovias e portos terão investimentos de R\$ 100 bilhões. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 10 ago. 2012, p. 2.

DÉMURGER, S. Infrastructure development and economic growth: an explanation for regional disparities in China? **Journal of Comparative Economics**, v. 29, n. 1, p. 95–117, 2001.

EHRGOTT, M.; GANDIBLEUX, X. A survey and annotated bibliography of multiobjective combinatorial optimization. **OR Spektrum**, v. 22, p. 425–460, 2000.

ELLER, R. DE A. G.; JUNIOR, W. C. DE S.; CURI, M. L. C. Custos do transporte de carga no Brasil: rodoviário versus ferroviário. **Revista de Literatura de Transportes**, v. 5, n. 1, p. 50–64, 2011.

ERHART, S.; PALMEIRA, E. M. Análise do setor de transporte. **Revista Académica de Economía**, v. 71, 2006.

ESTACHE, A. Privatization and regulation of transport infrastructure in the 1990s. **The World Bank Research Observer**, v. 16, n. 1, p. 85–107, 2001.

FAJARDO, A. P. C. **Uma contribuição ao estudo do transporte intermodal** - otimização da expansão dinâmica das redes intermodais do transporte de soja produzida no estado de Mato Grosso. 2006. 101f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Transporte) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

FEDDERKE, J. W.; BOGETIĆ, Ž. Infrastructure and growth in South Africa: direct and indirect productivity impacts of 19 infrastructure measures. **World Development**, v. 37, n. 9, p. 1522–1539, 2009.

FIALHO, F. A. B. Hidrovias: uma visão do futuro. In: I Seminário Portuário Público Privado Latino-Americano, 1., 2010, Brasília. **Anais...** Brasília: Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ, 2010.

FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos. 1. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003. p. 488

FLEURY, P. F. Terceirização logística no Brasil. In: FIGUEIREDO, K. F.; WANKE, P. (Eds.). **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos. 1. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003. p. 313–324.

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. **Logística empresarial**: a perspectiva brasileira. 1. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2000. p. 372

FRANGIONI, A.; GENDRON, B. 0–1 reformulations of the multicommodity capacitated network design problem. **Discrete Applied Mathematics**, v. 157, n. 6, p. 1229–1241, 2009.

FREITAS, I. M. D. P. DE. **Estudos de tráfego: aula 1**. Disponível em: http://www.transportes.ufba.br/Arquivos/Prof_Ilce/Estudos_de_Trafego_Variaveis_do_Trafego.doc>. Acesso em: 23 abr. 2012.

FRISCHTAK, C. R. O investimento em infra-estrutura no Brasil: histórico recente e perspectivas. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 38, n. 2, p. 307–348, 2008.

GABRIEL, S. A. et al. A multiobjective optimization model for project selection with probabilistic considerations. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 40, n. 4, p. 297–313, 2006.

GALLO, A. et al. O sistema logístico brasileiro. **Revista Científica do ITPAC**, v. 3, n. 3, p. 21–35, 2010.

GALVÃO, O. J. DE A. Desenvolvimento dos transportes e integração regional no brasil — uma perspectiva histórica. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 13, p. 183–211, 1996.

GAMPER, C. D.; TURCANU, C. On the governmental use of multi-criteria analysis. **Ecological Economics**, v. 62, n. 2, p. 298–307, 2007.

GORMAN, M. F. Evaluating the public investment mix in US freight transportation infrastructure. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 42, n. 1, p. 1–14, 2008.

GUENTHER, E.; FARKAVCOVÁ, V. G. Decision making for transportation systems as a support for sustainable stewardship: Freight transport process evaluation using the ETIENNE-Tool. **Management Research Review**, v. 33, n. 4, p. 317–339, 2010.

HADDAD, E. A.; DOMINGUES, E. P. EFES - Um modelo aplicado de equilíbrio geral para a economia brasileira: projeções setoriais para 1999-2004. **Estudos Econômicos**, v. 31, n. 1, p. 89–125, 2001.

HAGHANI, A.; OH, S.-C. Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 30, n. 3, p. 231–250, 1996.

HENNINGSSON, M.; KARLSSON, J.; RÖNNQVIST, M. Optimization models for forest road upgrade planning. **Journal of Mathematical Modelling and Algorithms**, v. 6, n. 1, p. 3–23, 20 2006.

HEWITT, M.; NEMHAUSER, G. L.; SAVELSBERGH, M. W. P. Combining exact and heuristic approaches for the capacitated fixed-charge network flow problem. **INFORMS Journal on Computing**, v. 22, n. 2, p. 314–325, 2010.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 8a. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006. p. 811

HO, W. Integrated analytic hierarchy process and its applications – A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 186, n. 1, p. 211–228, 2008.

HOFFMAN, K. L.; RALPHS, T. K. Integer and combinatorial optimization. **Encyclopedia of Operation Research and Management Sciense**, p. 1-18, 2011.

HONG, J.; CHU, Z.; WANG, Q. Transport infrastructure and regional economic growth: evidence from China. **Transportation**, 2011.

IDZIKOWSKI, F. et al. Saving energy in IP-over-WDM networks by switching off line cards in low-demand scenarios. In: 14th Conference on Optical Network Design and Modeling (ONDM), 14., 2010, Quioto. **Anais...** Quioto: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2010, p. 1-6.

INIESTRA, J. G.; GUTIERREZ, J. G. Multicriteria decisions on interdependent infrastructure transportation projects using an evolutionary-based framework. **Applied Soft Computing**, v. 9, n. 2, p. 512–526, 2009.

KEELING, D. J. Latin America's transportation conundrum. **Journal of Latin American Geography**, v. 7, n. 2, p. 133–154, 2008.

KEENEY, R. L. Making better decision makers. **Decision Analysis**, v. 1, n. 4, p. 193–204, 2004.

KENNINGTON, J. L.; NICHOLSON, C. D. The uncapacitated time-space fixed-charge network flow problem: an empirical investigation of procedures for arc capacity assignment. **INFORMS Journal on Computing**, v. 22, n. 2, p. 326–337, 2010.

KHADAROO, J.; SEETANAH, B. The role of transport infrastructure in FDI: evidence from Africa using GMM estimates. **Journal of Transport Economics and Policy**, v. 43, n. 3, p. 365–384, 2009.

KIM, D.; PARDALOS, P. M. A solution approach to the fixed charge network flow problem using a dynamic slope scaling procedure. **Operations Research Letters**, v. 24, p. 195–203, 1999.

KLEEMAN, M. P. et al. Solving multicommodity capacitated network design problems using a multiobjective evolutionary algorithm. In: IEEE Symposium on Computational Intelligence in Security and Defense Applications, 2007, Honolulu. **Anais...** Honolulu: IEEE, 2007, p. 33-41.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. 1a. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2002. p. 321

LASHINE, S. H.; FATTOUH, M.; ISSA, A. Location/allocation and routing decisions in supply chain network design. **Journal of Modelling in Management**, v. 1, n. 2, p. 173–183, 2006.

LAURANCE, W. F. et al. The future of the brazilian Amazon. **Science Magazine**, v. 291, n. 5503, p. 438–439, 2001.

LIN, D.-Y.; LIU, H.-Y. Combined ship allocation, routing and freight assignment in tramp shipping. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 47, p. 414–431, 2011.

LIN, L.; GEN, M.; WANG, X. Integrated multistage logistics network design by using hybrid evolutionary algorithm. **Computers & Industrial Engineering**, v. 56, p. 854–873, 2009.

LUOTO, J. Aggregate infrastructure capital stock and long-run growth: Evidence from Finnish data. **Journal of Development Economics**, v. 94, n. 2, p. 181–191, 2011.

MACÊDO, C. DA S.; NASCIMENTO, J. C. DO; KUWAHARA, N. Estudo comparativo da análise hierárquica com multiobjetivo para seleção de projetos públicos de investimento em infraestrutura de transporte. **Transportes**, v. XVIII, n. 2, p. 46–52, 2010.

MANCUSO, W. P. O empresariado como ator político no Brasil: balanço da literatura e agenda de pesquisa. **Revista de Sociologia e Política**, n. 28, p. 131–146, 2007.

MCCANN, P.; SHEFER, D. Location, agglomeration and infrastructure. **Papers in Regional Science**, v. 83, n. 1, p. 177–196, 2004.

MEDAGLIA, A. L. et al. A multiobjective model for the selection and timing of public enterprise projects. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 42, n. 1, p. 31–45, 2008.

MOSHKOVICH, H. M.; GOMES, L. F. A. M.; MECHITOV, A. I. An integrated multicriteria decision-making approach to real estate evaluation: case of the TODIM method. **Pesquisa Operacional**, v. 31, n. 1, p. 3–20, 2011.

MUNNELL, A. H. Policy watch: infrastructure investment and economic growth. **The Journal of Economic Perspectives**, v. 6, n. 4, p. 189–198, 1992.

MURIEL, A.; MUNSHI, F. N. Capacitated multicommodity network flow problems with piecewise linear concave costs. **IIE Transactions**, v. 36, n. 7, p. 683–696, 2004.

NAZÁRIO, P. **Intermodalidade**: importância para a logística e estágio atual no Brasil. Publicado em 10 abr. 2000. Disponível em: < http://www.ilos.com.br/web/index.php?option=com_content&task=view&id=1012&Itemid=74>. Acesso em: 25 ago. 2012.

NICHOLSON, C. D. **Time-space fixed-charge network flow problems**. 2010. 76f. Ph. D. Thesis (Operations Research) - Bobby B. Lyle School of Engineering, South Methodist University, Dallas, 2010.

OGRYCZAK, W.; STUDZINSKI, K.; ZORYCHTA, K. A solver for the multi-objective transshipment problem with facility location. **European Journal of Operational Research**, v. 43, p. 53–64, 1989.

ORTEGA, F.; WOLSEY, L. A. A branch-and-cut algorithm for the single-commodity, uncapacitated, fixed-charge network flow problem. **Networks**, v. 41, n. 3, p. 143–158, 2003.

OTTA, L. A. Um só plano para ferrovias, estradas portos e aeroportos. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 5 ago. 2012, p. 2.

PADULA, R. Reflexões gerais sobre políticas públicas e desenvolvimento local na era da globalização. **Revista Académica**, n. 1, p. 42–66, 2007.

PASCUAL, R. et al. Integrated model for optimizing strategic overhaul planning of distributed pump stations. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 25, n. 4, p. 275–282, 2011.

PAZOUR, J. A.; MELLER, R. D.; POHL, L. M. A model to design a national high-speed rail network for freight distribution. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 44, p. 119–135, 2010.

PEDERSEN, C. R. Multicriteria discrete optimization – and related topics. [s.l.] Department of Operations Research, University of Aarhus, 2006.

PETERSEN, E. R.; TAYLOR, A. J. An investment planning model for a new North-Central railway in Brazil. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 35, p. 847–862, 2001.

PETRAGLIA, J. Infraestrutura logística sob o prisma da exportação de etanol brasileiro. **Gestão & Responsabilidade**, v. 25, n. 74, p. 106–118, 2009.

RAGSDALE, C. T. **Spreadsheet modeling and decisions analysis**: a practical introduction to management sciense. 4a. ed. Mason: South-Western, 2004. p. 842

REIS, C. F. DE B. O investimento público e o desenvolvimento econômico do Brasil. **Informações FIPE**, p. 20–26, 2008.

RIBEIRO, P. C. C.; FERREIRA, K. A. Logística e transportes: uma discussão sobre os modais de transporte e o panorama brasileiro. In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 22., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Associação Brasileira de Enenharia de Produção (ABEPRO), 2002, p. 1-8.

RICHARDSON, R. J. Pesquisa social. 3a. ed. São Paulo: Atlas, 1999. p. 334

RODRIGUE, J.-P.; SLACK, B.; COMTOIS, C. **Intermodal transportation**: need, strategies and competitive ramifications. Castine: Maine Maritime Academy. 1993.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9–26, 1990.

______. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008.

SANTOS, J. C. DOS; SANTOS, A.; BERTO, A. R. Logística: evolução e perspectiva. **Revista de Ciencias Empresariais**, n. 4, 2009.

SHORT, J.; KOPP, A. Transport infrastructure: investment and planning. Policy and research aspects. **Transport Policy**, v. 12, n. 4, p. 360–367, 2005.

SILVA, E. L. DA; MENEZES, E. M. **Metodologia de pesquisa e elaboração de dissertação**. 3a. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001. p. 121

SILVA, E. M. DA et al. **Pesquisa operacional**: programação linear. 3a. ed. São Paulo: Atlas, 1998. p. 184

SILVA, G. J. C. DA; JUNIOR, F. G. J.; MARTINS, R. S. Gasto público com infraestrutura de transporte e crescimento: uma análise para os estados brasileiros (1986-2003). **Economia & Tecnologia**, v. 16, p. 53–65, 2009.

SILVA, R. B. DA. **Análise estruturada das dimensões do desenvolvimento sustentável e a interdependência com a função transporte**: proposta de metodologia para orientar decisões estratégicas na implantação de projetos prioritários para infra-estrutura de transporte no Brasil. 2008. 109f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Oceânica) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janiero, 2008.

SILVA, R. B. DA; NETTO, M. A. C. Uma estrutura de apoio à decisão para orientar a escolha de projetos prioritários para a infraestrutura de transporte no Brasil. In: XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 42., 2010, Bento Gonçalvez. **Anais...** Bento Gonçalves, 2010.

SIMON, H. A. A behavioral model of rational choice. **Quarterly Journal of Economics**, v. 59, p. 99–118, 1955.

Rational	choice and the structure	of the environment.	Psychological Review,	v. 63, p
129–138, 1956.				

_____. **Models of man, social and rational**: mathematical essays on rational human behavior. New York: Wiley, 1957.

SNIESKA, V.; SIMKUNAITE, I. Socio-Economic Impact of Infrastructure Investments. **Engineering Economics**, v. 3, n. 63, p. 16–25, 2009.

SPIELMANN, M.; SCHOLZ, R. W. Life cycle inventories of transport services. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 10, n. 1, p. 85–94, 2005.

STOCKBURGER, D. W. **Introductory statistics**: concepts, models, and applications. Disponível em: http://www.psychstat.missouristate.edu/introbook/sbk04m.htm. Acesso em: 23 jun. 2011.

STRAUB, S.; TERADA-HAGIWARA, A. Infrastructure and Growth in Developing Asia. **Asian Development Review**, v. 28, n. 1, p. 119–156, 2011.

TENG, J.-Y.; TZENG, G.-H. A multiobjective programming approach for selecting non-independent transportation investment alternatives. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 30, n. 4, p. 291–307, 1996.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacital Manual**. Washington, DC: National Academy of Sciense, 2000, p. 1207.

TSAMBOULAS, D. A. A tool for prioritizing multinational transport infrastructure investments. **Transport Policy**, v. 14, n. 1, p. 11–26, 2007.

TZENG, G.-H.; LIN, C.-W.; OPRICOVIC, S. Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. **Energy Policy**, v. 33, n. 11, p. 1373–1383, 2005.

VASCONCELOS, G. M.; BASSO, L. Sistemas de transportes brasileiros: origens, estado atual e desafios. **Revista Jovens Pesquisadores**, n. 8, p. 141–158, 2008.

WANKE, P.; FLEURY, P. F. Transporte de cargas no Brasil: estudo exploratório das principais variáveis relacionadas aos diferentes modais e às suas estruturas de custos. In: IPEA. **Estrutura Dinâmica de Serviços no Brasil**. Brasília: IPEA, 2006. Cap. 12, p. 409–464.

WIKIPEDIA. **List of optimization software**. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/List of optimization software>. Acesso em: 27 jul. 2013.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Global Competitiveness Report 2011–2012**. Genebra: World Economic Forum, 2011, p. 544.

YU, L. et al. Genetic algorithm-based multi-criteria project portfolio selection. **Annals of Operations Research**, 2010.

ZHU, X. et al. Minimal-cost network flow problems with variable lower bounds on arc flows. **Computers & Operations Research**, v. 38, n. 8, p. 1210–1218, 2011.

ANEXO A - Registros de informações do aplicativo PSP

Versão v4PmF - Start Solve -No uncertain input cells. Using: Full Reparse. Analyzing Solver Model... Parsing started... Diagnosis started... Model diagnosed as "LP/MIP". User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0 Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - vFinal - 20130711.xlsb]Modelo Using: Psi Interpreter Parse time: 1 Hours, 17 Minutes, 0 Seconds. Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0 Setup time: 51 Minutes, 23 Seconds. Optimize a model with 85810 rows, 500199 columns and 1582197 nonzeros Presolve removed 8935 rows and 25819 columns Presolve time: 3.42s Presolved: 76875 rows, 474380 columns, 1470570 nonzeros Variable types: 465880 continuous, 8500 integer (8500 binary) Root relaxation: objective 9.920208e+08, 84268 iterations, 4.45 seconds Nodes Current Node Objective Bounds Nodes | Current Node | Object: Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node Time 0 13s 21s 71s 105 12 45 85 101 88.3 9.5s 198 71.8 104s 197 9.9225e+08 27 218 9.9225e+08 27 268 9.9225e+08 35 311 9.9438e+08 39 358 9.9515e+08 48 43 51 0 cutoff 52 70.9 105s - 9.9215e+08 - 9.9215e+08 283 70.6 333 16 69.3 115s 5 - 9.9215e+08 - 69.4 9.922538e+08 9.9215e+08 0.01% 68.7 - 9.9215e+08 368 69.4 126s 372 9.9225e+08 9.9225e+08 0.00% 64.5 131s 430 Cutting planes: Gomory: 7 Implied bound: 6 Flow cover: 49 Flow path: 8 Explored 443 nodes (113047 simplex iterations) in 131.25 seconds Thread count was 8 (of 8 available processors) Optimal solution found (tolerance 1.00e-04) Best objective 9.922537828596e+08, best bound 9.922537828578e+08, gap 0.0000% Engine Solve time: 2 Minutes, 11 Seconds.

Versão v4PmT

Solver found a solution.

Solve time: 2 Hours, 21 Minutes, 0 Seconds.

```
---- Start Solve ----
No uncertain input cells.
Using: Full Reparse.
Analyzing Solver Model...
Parsing started...

Diagnosis started...

Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - vFinal - 20130710.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 1 Hours, 14 Minutes, 0 Seconds.
```

All constraints and optimality conditions are satisfied.

Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0 Setup time: 49 Minutes, 15 Seconds.

Optimize a model with 85810 rows, 500199 columns and 1582197 nonzeros Presolve removed 8935 rows and 25819 columns
Presolve time: 3.34s
Presolved: 76875 rows, 474380 columns, 1470570 nonzeros
Variable types: 465880 continuous, 8500 integer (8500 binary)

Root relaxation: objective 6.647185e+07, 74815 iterations, 3.85 seconds Nodes | Current Node | Objective Bounds | Work Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node Time 0 0 6.6472e+07 0 108 - 6.6472e+07 - 9s 0 7.932068e+07 6.6472e+07 16.2% 0 11s 116 7.9321e+07 6.6675e+07 15.9% 85 7.9321e+07 6.6675e+07 15.9% Λ 0 6 66750+07 Λ 14s 0 6.6675e+07 0 0 16s 84 7.9321e+07 6.6675e+07 0 6.6675e+07 0 15.9% 17s 0 6.6675e+07 0 83 7.9321e+07 6.6675e+07 15.9% 25s 0 6.7112e+07 0 73 7.9321e+07 6.7112e+07 15.4% 0 2 6.7112e+07 0 73 7.9321e+07 6.7112e+07 15.4% 33s 370 5 6.9420e+07 3 72 7.9321e+07 6.7247e+07 15.2% 35s 22 6.7613e+07 67 7.9321e+07 6.7397e+07 15.0% 79.3 40s 48 6.9826e+07 60 7.9321e+07 6.7439e+07 45 15.0% 59.1 45s 27 88 6.8209e+07 12 61 7.9321e+07 6.7439e+07 15.0% 57.4 50s 55 7.9321e+07 6.7439e+07 101 115 6.8116e+07 16 15.0% 65.7 63s 205 6.8836e+07 2.5 50 7.9321e+07 6.7439e+07 87.2 213 15.0% 73s 46 7.9321e+07 6.7439e+07 309 6.9252e+07 15.0% 81s 90s 422 408 6.9780e+07 35 7.9321e+07 6.7439e+07 15.0% 89.8 Н 471 456 7.409755e+07 6.7439e+07 8.99% 94.6 91s 79 7.409157e+07 6.7439e+07 472 456 8.98% 94.6 91s 7.408865e+07 6.7439e+07 477 79 8.97% 93.9 91s 456 453 7.1036e+07 44 7.4089e+07 6.7439e+07 494 8.97% 102s 536 495 7.408800e+07 6.7439e+07 8.97% 98.6 103s 77 Н 550 391 7.134122e+07 6.7439e+07 5.47% 96 6 1039 393 6.9934e+07 46 29 7.1341e+07 6.7439e+07 5.47% 551 96.9 111s 23 7.1341e+07 6.7482e+07 499 7.0138e+07 678 5.41% 94.8 55 120s 5.41% 582 7.0294e+07 19 7.1341e+07 6.7482e+07 102 881 665 7.0589e+07 67 12 7.1341e+07 6.7482e+07 5.41% 101 136s 996 745 7.0451e+07 75 2 7 1341e+07 6 7506e+07 5 38% 102 143s 7.045357e+07 6.7506e+07 998 77 4.18% 532 102 143s 573 6.7725e+07 74 7.0454e+07 6.7533e+07 1108 4.15% 102 157s 613 6.7936e+07 72 7.0454e+07 6.7620e+07 99.4 1343 754 6 9988e+07 12 66 7.0454e+07 6.7620e+07 4.02% 94.6 1729 7 0454e+07 6 7681e+07 1457 848 infeasible 16 3 94% 93 3 180s 66 7.0454e+07 6.7732e+07 950 6.8462e+07 1599 12 3.86% 88.4 187s 7.037953e+07 6.7732e+07 949 3.76% 88.2 187s 1029 6.9077e+07 73 7.0380e+07 6.7732e+07 1732 2.7 3.76% 85.6 204s 172 7.0380e+07 6.7732e+07 77 7.0380e+07 6.7732e+07 85.5 1734 1030 6.8920e+07 3.76% 215s 1735 1031 6.8569e+07 13 3.76% 85.5 220s 1737 1032 6.9896e+07 38 75 7.0380e+07 6.7732e+07 3.76% 85.4 234s 1033 6.9447e+07 75 7.0380e+07 6.7732e+07 3.76% 85.3 1739 1034 7.0027e+07 75 7.0380e+07 6.7732e+07 3.76% 33 85.3 240s 1740 1036 6 77320+07 10 74 7.0380e+07 6.7732e+07 3.76% 127 2549 76 7.0380e+07 6.7732e+07 1741 1037 6.8672e+07 127 262s 10 3.76% 1742 1038 6.7732e+07 11 73 7.0380e+07 6.7732e+07 3.76% 127 270s 76 7.0380e+07 6.7732e+07 1743 1038 6.9281e+07 3.76% 127 277s 285s 1744 1039 6.7732e+07 12 72 7.0380e+07 6.7732e+07 3.76% 127 1752 1041 6.7745e+07 14 69 7.0380e+07 6.7745e+07 3.74% 127 290s 7.0380e+07 6.7764e+07 1777 1048 cutoff 17 3.72% 130 2968 1060 6.9974e+07 70 7.0380e+07 6.7814e+07 3.65% 300s 1055 6.8545e+07 69 7.0380e+07 6.7814e+07 3.65% 312s 1832 21 133 1927 1093 6 8760e+07 27 55 7.0380e+07 6.7814e+07 3.65% 133 3219 51 7.0380e+07 6.8078e+07 2037 1143 6.8916e+07 31 3.27% 129 330s 49 7.0380e+07 6.8078e+07 2115 1152 6.9006e+07 33 3.27% 129 339s 44 7.0380e+07 6.8078e+07 1198 6.9168e+07 348s 2320 1254 6.9364e+07 39 7.0380e+07 6.8078e+07 3.27% 356s 43 128 2435 1277 6 9506e+07 49 33 7.0380e+07 6.8078e+07 3.27% 127 364s 26 7.0380e+07 6.8165e+07 1338 6.9647e+07 2542 54 3.15% 125 372s 24 7.0380e+07 6.8179e+07 1390 6.9828e+07 3.13% 379s 2663 60 124 1459 7.0166e+07 22 7.0380e+07 6.8179e+07 387s 65 3.13% 2877 1496 7.0019e+07 71 15 7.0380e+07 6.8179e+07 3.13% 125 3959 2980 1528 7 0156e+07 77 14 7 0380e+07 6 8343e+07 2 89% 124 402s 7.030952e+07 6.8343e+07 3023 1459 88 2.80% 123 403s Н 7.016807e+07 6.8343e+07 3064 1282 2.60% 122 403s 7.014804e+07 6.8343e+07 1215 403s 3104 1205 cutoff 7.0148e+07 6.8343e+07 2.57% 121 413s 1226 6 9605e+07 63 7 0148e+07 6 8588e+07 3166 27 2 22% 121 420s 7.0148e+07 6.8613e+07 cutoff 39 2.19% 429s 3297 1275 119 3330 1281 7.0096e+07 49 42 7.0148e+07 6.8733e+07 2.02% 430s 119 3347 1285 6.9418e+07 56 7.0148e+07 6.8733e+07 2.02% 119 442s 3441 1300 7.0143e+07 39 7.0148e+07 6.8733e+07 2.02% 454s 51 118 51 7.0148e+07 6.8733e+07 3451 1300 6.9437e+07 38 2.02% 119 455s 7.0148e+07 6.8756e+07 3518 1323 infeasible 52 1.98% 119 463s 64 7.0148e+07 6.8756e+07 1341 6.9708e+07 1.98% 119 471s 478s 3735 1367 7.0085e+07 35 55 7.0148e+07 6.8756e+07 1.98% 120 4865 3815 1385 6.9288e+07 28 63 7.0148e+07 6.8850e+07 1.85% 121 43 7.0148e+07 6.8913e+07 3967 1441 7.0115e+07 46 1.76% 118 494s 4007 1453 7.0092e+07 25 7.0148e+07 6.8929e+07 1.74% 495s

```
4097
       1469 6.9775e+07
                                46 7.0148e+07 6.8939e+07
                                                            1.72%
                                                                     117
                                                                           5028
 4201
       1484 6.9454e+07
                           27
                                64 7.0148e+07 6.8939e+07
                                                            1.72%
                                                                     117
                                                                           509s
       1512
             6.9231e+07
                                61
                                   7.0148e+07 6.8961e+07
                                                             1.69%
                                                                     117
                                                                           516s
 4313
       1529
            6.9708e+07
                                   7.0148e+07 6.8962e+07
                                                             1.69%
                                                                           524s
 4519
       1614 6.9848e+07
                           43
                                46 7.0148e+07 6.8987e+07
                                                             1.66%
                                                                     117
                                                                           5318
                                43 7 0148e+07 6 8990e+07
 4587
       1628 7 0133e+07
                           48
                                                             1 65%
                                                                     118
                                                                           5399
                                   7.0148e+07 6.9000e+07
       1687 6.9158e+07
                                                             1.64%
 4699
                           32
                                50
                                                                     118
                                                                           545s
                                    7.0148e+07 6.9012e+07
 4809
       1751 6.9893e+07
                                30
                                                             1.62%
                                                                     118
                                                                           552s
                                    7.0148e+07 6.9042e+07
 4940
       1833 infeasible
                           31
                                                             1.58%
                                                                           566s
                                61 7.0148e+07 6.9047e+07
 5004
       1857 6 9138e+07
                           28
                                                             1.57%
                                                                     118
                                                                           5798
                                56 7.0148e+07 6.9051e+07
 5079
       1917 6.9294e+07
                           32
                                                             1.56%
                                                                     118
                                                                           587s
            6.9538e+07
                                   7.0148e+07 6.9058e+07
 5232
       2018
                           38
                                51
                                                             1.55%
                                                                           594s
                                                                     116
       2107 6.9803e+07
                                   7.0148e+07 6.9067e+07
                                                             1.54%
                                45
                                                                     115
                                                                           601s
                                                                           608s
 5457
       2141
            7.0006e+07
                                39
                                   7.0148e+07 6.9067e+07
                           50
                                                             1.54%
                                                                     116
 5576
       2208 6.9748e+07
                           29
                                52 7.0148e+07 6.9094e+07
                                                             1.50%
                                                                     116
                                                                           6168
                           27
                                   7.0148e+07 6.9101e+07
       2249 6.9101e+07
 5655
                                63
                                                             1.49%
                                                                     117
                                                                           624s
 5762
       2309
            7.0062e+07
                           49
                                42
                                   7.0148e+07 6.9104e+07
                                                             1.49%
                                                                           631s
                                                                     117
       2360 6.9206e+07
                                54 7.0148e+07 6.9116e+07
 5873
                           29
                                                             1.47%
                                                                     117
                                                                           638s
 5984
       2429 6.9718e+07
                           41
                                42
                                   7.0148e+07 6.9116e+07
                                                             1.47%
                                                                           646s
                                                                     117
 6105
       2501 infeasible
                           57
                                    7.0148e+07 6.9116e+07
                                                            1.47%
                                                                     117
                                                                           653s
       2547 6.9324e+07
                                44
                                   7.0148e+07 6.9139e+07
 6222
                           38
                                                             1.44%
                                                                     117
                                                                           662s
 6344
       2631 6.9805e+07
                                44
                                    7.0148e+07 6.9152e+07
                                                             1.42%
                                                                     116
                                                                           669s
       2667 7.0015e+07
                                    7.0148e+07 6.9152e+07
 6415
                           44
                                                             1.42%
                                                                     116
                                                                           670s
 6467
       2704
                cutoff
                           50
                                    7.0148e+07 6.9153e+07
                                                             1.42%
                                                                           677s
                                                                     116
       2745 7.0116e+07
                                43
                                   7.0148e+07 6.9163e+07
 6551
                           5.3
                                                             1.40%
                                                                     116
                                                                           683s
       2781
                                    7.0148e+07 6.9173e+07
                                                             1.39%
 6648
                cutoff
                           38
                                                                     116
                                                                           690s
       2832 6.9483e+07
                                48
                                    7.0148e+07 6.9173e+07
                                                             1.39%
                                                                     116
                                                                           698s
 6864
       2910 6.9627e+07
                           41
                                45 7.0148e+07 6.9185e+07
                                                             1.37%
                                                                     116
                                                                           705s
 6972
       2971 6.9988e+07
                           46
                                48
                                    7.0148e+07 6.9185e+07
                                                             1.37%
                                                                     116
                                                                           712s
                                    7.0148e+07 6.9190e+07
 7064
       3007 infeasible
                           48
                                                            1.37%
                                                                     116
                                                                           718s
                                   7.0148e+07 6.9204e+07
 7160
       3051 7.0092e+07
                           39
                                50
                                                             1.35%
                                                                     116
                                                                           725s
            7.0016e+07
                                   7.0148e+07 6.9207e+07
       3117
                           36
                                50
                                                             1.34%
                                                                           732s
 7352
       3156 6.9847e+07
                           29
                                59
                                   7.0148e+07 6.9211e+07
                                                             1.34%
                                                                     116
                                                                           740s
 7447
       3185
                cutoff
                           34
                                    7.0148e+07 6.9217e+07
                                                             1.33%
                                                                     117
                                                                           7478
       3226 7.0010e+07
                                42
                                   7.0148e+07 6.9225e+07
 7547
                           44
                                                             1.32%
                                                                     117
                                                                           755s
       3273 6.9467e+07
                                   7.0148e+07 6.9225e+07
                                                            1.32%
 7614
                           28
                                62
                                                                     118
                                                                           762s
                                   7.0148e+07 6.9233e+07
            7.0071e+07
       3327
                           40
                                52
                                                             1.30%
                                                                           769s
                                                                     118
 7809
       3363 6.9484e+07
                           45
                                40
                                   7.0148e+07 6.9233e+07
                                                             1.30%
                                                                     118
                                                                           775s
 7889
       3385
                cutoff
                           60
                                    7 0148e+07 6 9234e+07
                                                             1.30%
                                                                     119
                                                                           782s
             7.0001e+07
                                31
                                   7.0148e+07 6.9234e+07
       3467
                                                             1.30%
                                                                           796s
 8013
                           60
                                                                     118
                                   7.0148e+07 6.9237e+07
                                                                           803s
 8078
       3476 7.0018e+07
                           61
                                29
                                                             1.30%
                                                                     118
       3526 6.9785e+07
                                   7.0148e+07 6.9250e+07
                                60
                                                             1.28%
                                                                           809s
 8262
       3554
                 cutoff
                           33
                                    7.0148e+07 6.9259e+07
                                                             1.27%
                                                                     119
                                                                           817s
                                    7 0148e+07 6 9260e+07
 8370
       3608
                 cutoff
                           45
                                                             1 27%
                                                                     120
                                                                           824s
                                    7.0148e+07 6.9264e+07
 8456
       3630
                           41
                                                             1.26%
                                                                     120
                                                                           831s
                 cutoff
       3670 7.0126e+07
                                   7.0148e+07 6.9266e+07
                           38
                                                             1.26%
                                                                     120
                                                                           838s
       3758
            7.0007e+07
                                54
                                   7.0148e+07 6.9274e+07
 8685
                           36
                                                             1.25%
                                                                      120
                                                                           844s
                                                                           851s
 8765
       3761 6.9912e+07
                                55 7.0148e+07 6.9278e+07
                                                             1.24%
                                                                     120
                           34
                                   7.0148e+07 6.9278e+07
 8833
       3809 6.9990e+07
                           29
                                62
                                                             1.24%
                                                                     120
                                                                           860s
 8916
       3830 6.9653e+07
                           36
                                59
                                   7.0148e+07 6.9282e+07
                                                             1.24%
                                                                     121
                                                                           867s
 8983
       3859 6.9944e+07
                                51 7.0148e+07 6.9282e+07
                                                             1.23%
                                                                     122
                                                                           874s
                                                                           882s
 9090
       3916 6.9964e+07
                                46
                                   7.0148e+07 6.9286e+07
                                                                     122
                           43
                                                             1.23%
 9197
       3991 6.9601e+07
                           3.8
                                50 7.0148e+07 6.9293e+07
                                                             1.22%
                                                                     122
                                                                           2225
                                   7.0148e+07 6.9293e+07
       4042 6.9812e+07
                           43
                                45
                                                             1.22%
                                                                           896s
 9309
                                                                     121
 9396
       4096 6.9947e+07
                           46
                                42
                                   7.0148e+07 6.9293e+07
                                                             1.22%
                                                                     121
                                                                           903s
       4139 7.0112e+07
                                36 7.0148e+07 6.9300e+07
 9492
                                                             1.21%
                                                                     122
                                                                           910s
 9579
       4175
            7.0110e+07
                           47
                                52
                                   7.0148e+07 6.9304e+07
                                                             1.20%
                                                                     122
                                                                           918s
                                    7.0148e+07 6.9304e+07
 9666
       4219
                cutoff
                           41
                                                            1.20%
                                                                     122
                                                                           930s
       4242 6.9890e+07
                                43
                                    7.0148e+07 6.9307e+07
 9721
                           39
                                                             1.20%
                                                                     123
                                                                           9388
                                    7.0148e+07 6.9313e+07
       4271
            7.0067e+07
                                60
                                                             1.19%
                                                                           945s
       4319 6.9871e+07
                                50 7.0148e+07 6.9313e+07
                                                                           952s
 9924
                           41
                                                             1.19%
                                                                     123
                                                                           960s
10015
       4374 6.9741e+07
                           32
                                62
                                   7.0148e+07 6.9316e+07
                                                            1.19%
                                                                     124
                                   7.0148e+07 6.9319e+07
10075
       4398 7.0123e+07
                           42
                                52
                                                             1.18%
                                                                     124
                                                                           968s
                                    7.0148e+07 6.9324e+07
10170
       4433 6.9601e+07
                           30
                                61
                                                            1.17%
                                                                     124
                                                                           975s
                                    7.0148e+07 6.9326e+07
       4502
                 cutoff
                                                             1.17%
                                                                      125
                                                                           988s
       4535 6.9999e+07
10381
                                48
                                   7.0148e+07 6.9328e+07
                                                             1.17%
                                                                           994s
                           48
                                                                     124
10451
       4558 6.9788e+07
                           45
                                40 7.0148e+07 6.9334e+07
                                                             1.16%
                                                                     125
                                                                           995s
                                   7.0148e+07 6.9334e+07
       4577 6.9810e+07
                                                                     125 1002s
10474
                           34
                                58
                                                             1.16%
                                    7.0148e+07 6.9336e+07
10564
       4605 infeasible
                           41
                                                             1.16%
                                                                     125 1009s
                                    7.0148e+07 6.9340e+07
                                                            1.15%
10659
       4638
            7.0025e+07
                                45
                                                                     125 1019s
                           48
10754
       4707 infeasible
                           53
                                    7.0148e+07 6.9342e+07
                                                            1.15%
                                                                     126 1027s
10856
       4731 6 9644e+07
                           44
                                50
                                   7.0148e+07 6.9346e+07
                                                             1.14%
                                                                     126 10349
                                   7.0148e+07 6.9346e+07
10968
       4786
            7.0127e+07
                           61
                                32
                                                             1.14%
                                                                     125 1040s
       4820
             7.0116e+07
                                47
                                    7.0148e+07 6.9352e+07
                                                                     126 1048s
11061
                           43
                                                             1.14%
                                    7.0148e+07 6.9354e+07
11175
       4880 6.9829e+07
                           33
                                59
                                                             1.13%
                                                                     126 1055s
11270
       4929 infeasible
                           40
                                    7.0148e+07 6.9355e+07
                                                             1.13%
                                                                     126 1062s
                                45
                                   7 0148e+07 6 9357e+07
11365
       4959 6 9886e+07
                           44
                                                             1 13%
                                                                     126 10698
       5007 6.9933e+07
                                   7.0148e+07 6.9361e+07
                           30
                                58
                                                                     126 1076s
11472
                                                             1.12%
11555
       5040
            7.0105e+07
                           32
                                58
                                   7.0148e+07 6.9363e+07
                                                            1.12%
                                                                     126
                                                                         1083s
11645
       5082
            6.9984e+07
                                43
                                   7.0148e+07 6.9365e+07
                                                             1.12%
                                                                     127 1090s
11738
       5132 6.9972e+07
                           37
                                49 7.0148e+07 6.9368e+07
                                                            1.11%
                                                                     127 1098s
11842
       5184
            6.9892e+07
                           38
                                45
                                   7.0148e+07 6.9370e+07
                                                             1.11%
                                                                     127 1105s
             7.0104e+07
                                53 7.0148e+07 6.9372e+07
11970
       5270
                           40
                                                             1.11%
                                                                     126 1113s
                                                             1.10%
12064
       5298
            7.0074e+07
                                41
                                   7.0148e+07 6.9376e+07
                                                                     126 1120s
                                                                     126 1127s
12169
       5372 6.9738e+07
                           39
                                47
                                   7.0148e+07 6.9378e+07
                                                             1.10%
                                                            1.10%
                                                                     127 1134s
127 1141s
12255
       5392 6.9879e+07
                           30
                                61 7.0148e+07 6.9379e+07
12333
       5429 6.9425e+07
                           21
                                67
                                    7.0148e+07 6.9382e+07
                                                             1.09%
12417
       5471 infeasible
                                    7.0148e+07 6.9382e+07
                                                             1.09%
                                                                     127 1148s
```

```
12499
       5511 6.9869e+07
                                37 7.0148e+07 6.9388e+07
                                                            1.08%
                                                                     127 11559
12602
       5562 6.9919e+07
                           41
                                46 7.0148e+07 6.9389e+07
                                                             1.08%
                                                                     127 1163s
12679
       5589
                                    7.0148e+07 6.9391e+07
                                                             1.08%
                                                                     127 1171s
            infeasible
                           48
       5647
             6.9476e+07
                                   7.0148e+07 6.9391e+07
12887
       5722
                 cutoff
                           50
                                    7.0148e+07 6.9393e+07
                                                             1.08%
                                                                     127 11879
12984
       5766
                 cutoff
                           37
                                    7 0148e+07 6 9397e+07
                                                             1 07%
                                                                     127 11958
                                    7.0148e+07 6.9401e+07
13098
                           46
       5812
                 cutoff
                                                             1.06%
                                                                     126 1203s
       5880 6.9917e+07
                                47 7.0148e+07 6.9403e+07
                                                             1.06%
13214
                           40
                                                                     126 1210s
       5929
            7.0057e+07
                                   7.0148e+07 6.9404e+07
13318
                           35
                                51
                                                             1.06%
                                                                     126 1218s
13412
       5966 6 9774e+07
                           41
                                48
                                   7.0148e+07 6.9407e+07
                                                             1.06%
                                                                     126 1224
                                22 7.0148e+07 6.9407e+07
13473
       5988 7.0131e+07
                           65
                                                             1.06%
                                                                     127 1225s
            7.0090e+07
                                   7.0148e+07 6.9407e+07
13491
       5984
                                49
                                                             1.06%
                                                                     127 1231s
                           44
                                   7.0148e+07 6.9409e+07
                                                                      127 1238s
13568
       6014
             6.9900e+07
                                45
                                                             1.05%
                                                             1.05%
13639
       6041
            7.0093e+07
                                45
                                   7.0148e+07 6.9410e+07
                                                                     128 1245s
                           47
                                                                     128 1252s
13733
       6072 7.0096e+07
                           59
                                30 7.0148e+07 6.9418e+07
                                                             1.04%
                                   7.0148e+07 6.9418e+07
            6.9849e+07
                                39
13823
       6119
                           52
                                                             1.04%
                                                                     128 1259s
13905
            7.0098e+07
                                32
                                   7.0148e+07 6.9419e+07
                                                                     128 1266s
       6140
                           61
                                                             1.04%
                                    7.0148e+07 6.9422e+07
                                                                     128 1275s
14013
       6214
                 cutoff
                                                             1.04%
14109
       6246
             6.9943e+07
                           48
                                45
                                    7.0148e+07 6.9425e+07
                                                             1.03%
                                                                     128 1282s
14206
       6294
            7.0042e+07
                           2.7
                                61
                                   7.0148e+07 6.9427e+07
                                                             1.03%
                                                                     128 1288s
             7.0009e+07
                           31
                                    7.0148e+07 6.9429e+07
14299
       6326
                                55
                                                             1.02%
                                                                     128 1297s
14388
       6367
             7.0013e+07
                           39
                                52
                                    7.0148e+07 6.9431e+07
                                                             1.02%
                                                                     129 1305s
       6397 6.9517e+07
                                   7.0148e+07 6.9433e+07
                                                                     129 1312s
14472
                           41
                                49
                                                             1.02%
14580
       6461 7.0040e+07
                           59
                                32
                                   7.0148e+07 6.9433e+07
                                                             1.02%
                                                                     129 1319s
                                   7.0148e+07 6.9434e+07
14649
       6483 7.0147e+07
                           6.5
                                2.5
                                                             1.02%
                                                                     129 1326s
                                    7.0148e+07 6.9435e+07
14751
       6542 infeasible
                           4.5
                                                             1.02%
                                                                     130 1334s
                                47
                                    7.0148e+07 6.9438e+07
14847
       6579
             7.0141e+07
                                                             1.01%
                                                                      130
                                                                         1341s
14932
       6600
                cutoff
                           28
                                    7.0148e+07 6.9439e+07
                                                             1.01%
                                                                     130 1348s
14991
       6629 infeasible
                           35
                                    7.0148e+07 6.9439e+07
                                                             1.01%
                                                                     130 1354s
                                57 7.0148e+07 6.9443e+07
15084
       6677 6.9482e+07
                           32
                                                             1.01%
                                                                     131 1361s
                                    7.0148e+07 6.9443e+07
15161
       6691
                 cutoff
                           35
                                                             1.01%
                                                                     131 1368s
       6724 infeasible
                                    7.0148e+07 6.9443e+07
                                                             1.00%
                                                                     132
                                                                         1375s
15321
       6757 infeasible
                                    7.0148e+07 6.9445e+07
                                                             1.00%
                                                                     132 1388s
                           42
15392
       6806 6.9786e+07
                           29
                                5.8
                                   7.0148e+07 6.9447e+07
                                                             1.00%
                                                                     132 13969
       6836 6.9730e+07
                           49
                                40
                                   7.0148e+07 6.9449e+07
                                                                     132 1404s
15495
                                                             1.00%
15593
       6901 7.0129e+07
                                   7.0148e+07 6.9449e+07
                                                                     132
                           62
                                30
                                                             1.00%
                                                                         1411s
15641
       6914
            7.0114e+07
                                25
                                   7.0148e+07 6.9450e+07
                                                             1.00%
                                                                      132
                                                                         1419s
15681
       6909 infeasible
                           64
                                    7.0148e+07 6.9451e+07
                                                            0.99%
                                                                     133 1426s
15788
       6972
                cutoff
                           34
                                    7 0148e+07 6 9453e+07
                                                            0.99%
                                                                     133 14339
       7012 6.9904e+07
                                47
                                   7.0148e+07 6.9457e+07
15879
                           44
                                                            0.99%
                                                                     133 1440s
                                   7.0148e+07 6.9459e+07
15957
       7036 6.9933e+07
                           40
                                49
                                                             0.98%
                                                                     133 1448s
       7069 6.9563e+07
                                    7.0148e+07 6.9459e+07
16038
                                52
                                                             0.98%
                                                                      133 1454s
16121
       7086 infeasible
                           53
                                    7.0148e+07 6.9460e+07
                                                             0.98%
                                                                     134 14629
                                    7 0148e+07 6 9463e+07
16188
       7104
                 cutoff
                           36
                                                             0 98%
                                                                     134 1470s
       7131 6.9640e+07
                                   7.0148e+07 6.9465e+07
                                42
                                                                     135 1477s
16266
                                                            0.97%
                           44
                                   7.0148e+07 6.9467e+07
16353
       7172
            7.0120e+07
                           55
                                31
                                                             0.97%
                                                                     135 1484s
       7216 7.0054e+07
                                   7.0148e+07 6.9467e+07
                                                                     135 1492s
16452
                           58
                                30
                                                             0.97%
16513
       7248 infeasible
                           62
                                    7.0148e+07 6.9467e+07
                                                            0.97%
                                                                     135 1498s
                                    7.0148e+07 6.9469e+07
16585
       7266 infeasible
                           46
                                                             0.97%
                                                                     135 1506s
16668
       7291
            7.0005e+07
                           43
                                53
                                   7.0148e+07 6.9469e+07
                                                             0.97%
                                                                     135 1513s
16748
       7310 6.9797e+07
                                39
                                    7.0148e+07 6.9472e+07
                                                             0.96%
                                                                     136 1520s
       7335
                                    7.0148e+07 6.9473e+07
                                                             0.96%
                                                                     136 1528s
16813
                cutoff
                           32
16905
       7361 7.0092e+07
                           3.8
                                54
                                   7.0148e+07 6.9475e+07
                                                            0.96%
                                                                     136 15369
                                    7.0148e+07 6.9476e+07
16996
       7399
            6.9708e+07
                                50
                                                                     137 1543s
                           39
                                                             0.96%
17079
       7432
            7.0067e+07
                           50
                                38
                                   7.0148e+07 6.9476e+07
                                                             0.96%
                                                                     137 1551s
                                   7.0148e+07 6.9478e+07
                                                                     137 1558s
17152
       7450 6.9729e+07
                                                             0.95%
                           34
                                                                     138 1565s
17205
       7471 6.9718e+07
                                56
                                   7.0148e+07 6.9480e+07
                                                            0.95%
17288
       7507 infeasible
                           4.3
                                    7.0148e+07 6.9481e+07
                                                            0.95%
                                                                     138 1572s
                                    7.0148e+07 6.9485e+07
17391
       7540
            7.0108e+07
                           41
                                51
                                                            0.95%
                                                                     138 1579s
                 cutoff
                                    7.0148e+07 6.9486e+07
17439
       7562
                                                             0.94%
                                                                      138
                                                                         1580s
       7578 6.9979e+07
                                56
                                   7.0148e+07 6.9486e+07
                                                            0.94%
                                                                     138 1587s
17484
                           36
17602
       7624 6 9950e+07
                           37
                                50
                                   7.0148e+07 6.9488e+07
                                                            0.94%
                                                                     138 15959
                                   7.0148e+07 6.9491e+07
17681
       7655
            7.0144e+07
                           39
                                48
                                                            0.94%
                                                                     138 1603s
17785
                                   7.0148e+07 6.9493e+07
       7680 6.9683e+07
                           34
                                51
                                                             0.93%
                                                                     138 1612s
                                    7.0148e+07 6.9494e+07
       7719 6.9535e+07
                                                                      138
                                                                         1619s
17965
       7757 7.0060e+07
                                22 7.0148e+07 6.9495e+07
                                                            0.93%
                                                                     138 1626s
                           65
                                                                     138 1634s
18048
       7798 6 9886e+07
                           43
                                48
                                   7.0148e+07 6.9498e+07
                                                            0.93%
                                37
                                   7.0148e+07 6.9500e+07
18150
       7833 7.0140e+07
                           52
                                                            0.92%
                                                                     138 1641s
                                   7.0148e+07 6.9501e+07
       7873 6.9889e+07
                           39
                                52
                                                             0.92%
                                                                     138 1649s
18249
18330
       7910
            6.9559e+07
                           38
                                62
                                   7.0148e+07 6.9502e+07
                                                                     139
                                                                         1655s
                                                             0.92%
18415
       7930 7.0086e+07
                                49 7.0148e+07 6.9504e+07
                                                            0.92%
                                                                     139 1665s
                           50
18501
       7952
            7.0145e+07
                           35
                                53
                                   7.0148e+07 6.9505e+07
                                                            0.92%
                                                                     139 16729
                                    7.0148e+07 6.9506e+07
18575
       7982
                 cutoff
                           33
                                                            0.91%
                                                                     139 1681s
18657
       8010 infeasible
                                    7.0148e+07 6.9507e+07
                           3.5
                                                             0.91%
                                                                     140 1688s
                                    7.0148e+07 6.9509e+07
18738
       8028
            6.9970e+07
                                                             0.91%
                                                                     140 1697s
                                                            0.91%
18818
       8068 7.0107e+07
                           57
                                31
                                   7.0148e+07 6.9510e+07
                                                                     140 1705s
                                    7 0148e+07 6 9512e+07
18878
       8063 6 9643e+07
                           31
                                56
                                                             0 91%
                                                                     140 17149
                                   7.0148e+07 6.9512e+07
18983
            7.0091e+07
       8108
                           36
                                54
                                                            0.91%
                                                                     140 1722s
                                   7.0148e+07 6.9513e+07
19066
       8132
             6.9782e+07
                           48
                                34
                                                             0.90%
                                                                     140
                                                                         1730s
19155
       8170
            6.9602e+07
                                39
                                   7.0148e+07 6.9515e+07
                                                             0.90%
                                                                     140 1737s
19260
       8220 7.0058e+07
                                32
                                   7.0148e+07 6.9517e+07
                                                             0.90%
                                                                     140 1744s
                           57
19335
       8233 6.9995e+07
                           41
                                48
                                   7.0148e+07 6.9519e+07
                                                            0.90%
                                                                     141 1752s
                                   7.0148e+07 6.9520e+07
19431
       8261
            7.0128e+07
                           34
                                50
                                                            0.89%
                                                                     141 1761s
19521
       8296
             6.9978e+07
                                48
                                   7.0148e+07 6.9525e+07
                                                             0.89%
                                                                     141 1771s
19641
       8367 7.0107e+07
                           38
                                53
                                    7.0148e+07 6.9528e+07
                                                             0.88%
                                                                     140 1778s
       8408 cutoff
8439 7.0027e+07
19748
                                    7.0148e+07 6.9530e+07
                                                            0.88%
                                                                     140 1788s
                                41
19836
                           50
                                   7.0148e+07 6.9531e+07
                                                            0.88%
                                                                     140 1795s
19925
       8486 7.0101e+07
                                40 7.0148e+07 6.9532e+07
                                                            0.88%
                                                                     141 1804s
```

```
19943
        8486
                 cutoff
                                    7.0148e+07 6.9532e+07 0.88%
                                                                     141 18058
        8526 6.9739e+07
                                 52 7.0148e+07 6.9534e+07
 20019
                           43
                                                            0.88%
                                                                     141 1814s
        8571 6.9965e+07
                                 47
                                   7.0148e+07 6.9534e+07
                                                                     141 1822s
 20104
                           49
                                                            0.88%
                                    7.0148e+07 6.9536e+07
        8613
             6.9767e+07
                                                                     141
 20290
        8637
                 cutoff
                           54
                                    7.0148e+07 6.9537e+07
                                                            0.87%
                                                                     141 1841s
        8690 7 0122e+07
                                    7 0148e+07 6 9537e+07
 20384
                           57
                                 34
                                                            0.87%
                                                                     141 18489
                                 46
                                   7.0148e+07 6.9540e+07
        8714 6.9793e+07
                           42
                                                            0.87%
 20467
                                                                     141 1856s
                                   7.0148e+07 6.9541e+07
 20536
        8735 6.9844e+07
                           39
                                 55
                                                            0.87%
                                                                     141 1871s
             6.9656e+07
                                    7.0148e+07 6.9542e+07
 20627
        8765
                           42
                                 56
                                                            0.86%
                                                                     141
                                                                         1879s
 20709
        8801 6 9940e+07
                           49
                                 37 7 0148e+07 6 9542e+07
                                                            0.86%
                                                                     141 1880s
                                 51 7.0148e+07 6.9542e+07
 20721
        8795 6.9887e+07
                           47
                                                            0.86%
                                                                     141 1887s
 20812
             7.0126e+07
                                   7.0148e+07 6.9542e+07
        8824
                           52
                                 46
                                                                     141 1894s
                                                            0.86%
             7.0003e+07
                                 47 7.0148e+07 6.9546e+07
 20882
        8831
                                                            0.86%
                                                                     141
                                                                         1904s
 20954
        8861
             7.0071e+07
                                 45
                                   7.0148e+07 6.9547e+07
                                                            0.86%
                                                                     142 1913s
                           50
 21039
        8905 6.9810e+07
                           35
                                 50 7.0148e+07 6.9548e+07
                                                            0.86%
                                                                     142 1922s
                                   7.0148e+07 6.9549e+07
        8899 6.9935e+07
                                                                     142 1930s
 21077
                           39
                                 46
                                                            0.85%
 21180
        8955
             7.0135e+07
                           42
                                 46 7.0148e+07 6.9551e+07
                                                                     142 1938s
                                                            0.85%
        8960 infeasible
                                    7.0148e+07 6.9551e+07
                                                                     142 1950s
 21260
                           38
                                                            0.85%
 21349
        8989 infeasible
                           42
                                    7.0148e+07 6.9553e+07
                                                            0.85%
                                                                     142 1958s
 21438
        9012 6.9806e+07
                           34
                                 61 7.0148e+07 6.9554e+07
                                                            0.85%
                                                                     142 1967s
        9053 6.9669e+07
                                    7.0148e+07 6.9556e+07
                                                                     142 1974s
 21531
                           41
                                 53
                                                            0.84%
 21615
        9082 6.9891e+07
                                 48
                                    7.0148e+07 6.9557e+07
                                                            0.84%
                                                                     142 1982s
 21700
        9097 7.0002e+07
                                 42 7.0148e+07 6.9557e+07
                                                                     142 1993s
                           52
                                                            0.84%
 21803
        9135 6.9707e+07
                           48
                                 4.3
                                   7.0148e+07 6.9559e+07
                                                            0.84%
                                                                     142 2003s
                                 41 7.0148e+07 6.9560e+07
 21908
        9180 7.0146e+07
                           56
                                                            0.84%
                                                                     142 2011s
        9214 infeasible
                                    7.0148e+07 6.9561e+07
                                                                     142 2020s
 21994
                           5.3
                                                            0.84%
                                 50
                                    7.0148e+07 6.9563e+07
 22076
             6.9895e+07
                                                            0.83%
                                                                     142
                                                                         2027s
 22187
        9289 7.0121e+07
                           45
                                 48 7.0148e+07 6.9564e+07
                                                            0.83%
                                                                     142 2038s
 22285
        9320 7.0047e+07
                           49
                                 40
                                   7.0148e+07 6.9565e+07
                                                            0.83%
                                                                     142 2046s
                                 50 7.0148e+07 6.9566e+07
        9342 6.9825e+07
 22361
                           36
                                                            0.83%
                                                                     142 2053s
        9369 6.9867e+07
                                   7.0148e+07 6.9567e+07
 22451
                           36
                                 55
                                                            0.83%
                                                                     142 2063s
                                 53 7.0148e+07 6.9567e+07
                                                                     142 2072s
 22537
        9407 7.0144e+07
                                                            0.83%
 22628
        9453 6.9619e+07
                           30
                                 58 7.0148e+07 6.9569e+07
                                                            0.83%
                                                                     143 2080s
 22751
        9490 6.9760e+07
                           45
                                 41
                                   7.0148e+07 6.9571e+07
                                                            0.82%
                                                                     142 20898
 22820
        9528 infeasible
                                    7.0148e+07 6.9572e+07
                                                                     142 2090s
                           68
                                                            0.82%
        9542 6.9906e+07
                                   7.0148e+07 6.9572e+07
                                                                         2098s
 22856
                           39
                                                            0.82%
                                                                     142
                                 36 7.0148e+07 6.9573e+07
 22918
        9565 6.9890e+07
                           49
                                                            0.82%
                                                                     142
                                                                         2107s
 23011
        9600
                 cutoff
                           42
                                    7.0148e+07 6.9575e+07
                                                            0.82%
                                                                     142 2120s
                                    7 0148e+07 6 9577e+07
 23100
        9611 infeasible
                           45
                                                            0.81%
                                                                     143 21299
                                    7.0148e+07 6.9577e+07
 23183
                                                            0.81%
                                                                     143 2136s
        9635
                 cutoff
                           35
        9650 6.9733e+07
                                   7.0148e+07 6.9578e+07
 23256
                           39
                                                            0.81%
                                                                     143 2147s
                                    7.0148e+07 6.9579e+07
 23361
        9693 infeasible
                                                                     143 2157s
 23428
        9715
                 cutoff
                           45
                                    7.0148e+07 6.9581e+07
                                                            0.81%
                                                                     143 2166s
        9723 7 0041e+07
                                   7 0148e+07 6 9582e+07
 23508
                           45
                                 52
                                                            0.81%
                                                                     143 21779
                                    7.0148e+07 6.9584e+07
 23589
        9745
                                                                     143 2186s
                 cutoff
                           34
                                                            0.80%
        9785 6.9627e+07
                                    7.0148e+07 6.9584e+07
 23680
                           40
                                                            0.80%
                                                                     143 2198s
 23779
        9824 6.9992e+07
                                   7.0148e+07 6.9585e+07
                                                                     143 2207s
                           50
                                 38
                                                            0.80%
 23883
        9853 7.0096e+07
                                   7.0148e+07 6.9586e+07
                                                            0.80%
                                                                     143 2219s
                           43
                                 46
                                    7.0148e+07 6.9588e+07
 23972
        9881
                 cutoff
                           46
                                                            0.80%
                                                                     143 2231s
 24047
        9919 6.9955e+07
                                 50
                                    7.0148e+07 6.9588e+07
                                                            0.80%
                                                                     144 2241s
                           40
 24063
        9914 7.0033e+07
                           42
                                 48
                                    7.0148e+07 6.9589e+07
                                                            0.80%
                                                                     144 2250s
 24174
        9956
                                    7.0148e+07 6.9590e+07
                                                            0.80%
                                                                     144 2260s
                 cutoff
                           44
 24240
        9982 6.9956e+07
                           41
                                 49
                                   7.0148e+07 6.9591e+07
                                                            0.79%
                                                                     144 22699
                                    7.0148e+07 6.9593e+07
 24317 10008
                                                            0.79%
                                                                     144 2279s
                 cutoff
                           41
 24404 10029 6.9991e+07
                                   7.0148e+07 6.9594e+07
                                                            0.79%
                                                                     144 2290s
 24503 10066 6.9797e+07
                                   7.0148e+07 6.9595e+07
                                                            0.79%
                                                                     144 2302s
                           66
 24602 10090 infeasible
                                    7.0148e+07 6.9597e+07
                                                            0.79%
                                                                     144 2311s
 24711 10151 6.9710e+07
                           41
                                 47 7.0148e+07 6.9598e+07
                                                            0.78%
                                                                     144 2323s
 24790 10178 6.9979e+07
                                   7.0148e+07 6.9599e+07
                           47
                                 44
                                                            0.78%
                                                                     144 2330s
                                    7.0148e+07 6.9601e+07
 24901 10237 7.0130e+07
                                 42
                                                            0.78%
                                                                     144 2341s
 25004 10272 6.9872e+07
                                 51 7.0148e+07 6.9603e+07
                                                            0.78%
                                                                     144 2349s
                           38
                                                                     144 2350s
 25043 10301 7.0112e+07
                           47
                                 55
                                   7.0148e+07 6.9603e+07
                                                            0.78%
                                 29 7.0148e+07 6.9605e+07
 25122 10317 6.9946e+07
                           52
                                                            0.77%
                                                                     144 2361s
 25219 10347 7.0004e+07
                                   7.0148e+07 6.9605e+07
                                                            0.77%
                           52
                                 48
                                                                     144 2372s
 25292 10368 7.0077e+07
                                 43 7.0148e+07 6.9607e+07
                                                                     144 2384s
 25381 10375 6.9867e+07
                                 37 7.0148e+07 6.9608e+07
                                                            0.77%
                                                                     144 2398s
                           49
 25483 10426 6.9760e+07
                           45
                                 47
                                   7.0148e+07 6.9609e+07
                                                            0.77%
                                                                     144 24098
                                    7.0148e+07 6.9610e+07
                                                                     144 2421s
 25575 10462
                 cutoff
                           5.5
                                                            0.77%
 25674 10508 6.9985e+07
                                    7.0148e+07 6.9611e+07
                                 58
                                                            0.77%
                                                                     144 2430s
                           34
                                    7.0148e+07 6.9611e+07
 25779 10535 6.9908e+07
                                 49
                                                            0.77%
                                                                     144 2440s
 25836 10527 7.0022e+07
                           43
                                 43 7.0148e+07 6.9612e+07
                                                            0.76%
                                                                     145 24539
 25916 10560 6 9756e+07
                           33
                                 58
                                   7.0148e+07 6.9613e+07
                                                            0.76%
                                                                     145 24658
                                 49 7.0148e+07 6.9615e+07
 26010 10573 6.9748e+07
                           41
                                                            0.76%
                                                                     145 2479s
 26114 10626 infeasible
                                    7.0148e+07 6.9615e+07
                                                            0.76%
                                                                     145 2492s
                           52
                                    7.0148e+07 6.9617e+07
 26211 10668 7.0091e+07
                                 45
                                                                     145 2503s
                 cutoff
 26312 10696
                           43
                                    7.0148e+07 6.9619e+07
                                                            0.75%
                                                                     145 2513s
 26365 10708 6 9751e+07
                                 52
                                   7 0148e+07 6 9620e+07
                           37
                                                            0.75%
                                                                     145 25238
 26455 10723 6.9791e+07
                                   7.0148e+07 6.9621e+07
                                                                     145 2535s
                                 54
                                                            0.75%
                           41
 26536 10750 6.9801e+07
                           41
                                 49
                                   7.0148e+07 6.9622e+07
                                                            0.75%
                                                                     145 2546s
 26630 10780 6.9843e+07
                                 47
                                   7.0148e+07 6.9622e+07
                                                            0.75%
                                                                     145 2563s
 26729 10820
                 cutoff
                                    7.0148e+07 6.9624e+07
                                                            0.75%
                                                                     145 2574s
                           35
 26822 10857
                  cutoff
                           45
                                    7.0148e+07 6.9624e+07
                                                            0.75%
                                                                     145 2585s
 26922 10888 7.0080e+07
                                   7.0148e+07 6.9625e+07
                           50
                                 51
                                                            0.75%
                                                                     145 2593s
 27012 10917 7.0032e+07
                                 52 7.0148e+07 6.9626e+07
                                                            0.74%
                                                                     145 2604s
 27098 10942 6.9752e+07
                           39
                                 46
                                   7.0148e+07 6.9627e+07
                                                            0.74%
                                                                     145 2617s
                                 48 7.0148e+07 6.9629e+07
 27194 10991 6.9716e+07
                           42
                                                            0.74%
                                                                     145 2628s
                                    7.0148e+07 6.9629e+07
 27284 11033 infeasible
                           52
                                                            0.74%
                                                                     145 2817s
H27285 10545
                                  7.010501e+07 6.9629e+07
                                                            0.68%
                                                                     145 2817s
```

```
7.010186e+07 6.9629e+07 0.67%
H27289 10496
                                                                     146 2817s
                                  7.010038e+07 6.9629e+07
H27290 10481
                                                            0.67%
                                                                     146 2817s
 27296 10464
             6.9758e+07
                                 54 7.0100e+07 6.9629e+07
                                                            0.67%
                                                                     146 2829s
                                    7.0100e+07 6.9630e+07
 27366 10487
                 cutoff
                                                                     146 2842s
 27446 10496 6.9854e+07
                                 52 7.0100e+07 6.9631e+07
                           42
                                                            0.67%
                                                                     146 2852s
                                    7 0100e+07 6 9632e+07
 27514 10520
                cutoff
                           45
                                                            0.67%
                                                                     146 28649
 27595 10536 6.9992e+07
                                 36
                                    7.0100e+07 6.9633e+07
                                                            0.67%
                                                                     146 2874s
                           52
                                   7.0100e+07 6.9635e+07
 27706 10581 6.9880e+07
                           41
                                 49
                                                            0.66%
                                                                     146 2883s
 27789 10594 7.0057e+07
                                 55 7.0100e+07 6.9636e+07
                           38
                                                            0.66%
                                                                     146 2892s
 27879 10635 6.9984e+07
                           54
                                 34 7.0100e+07 6.9636e+07
                                                            0.66%
                                                                     147 29028
                                   7.0100e+07 6.9637e+07
 27985 10663 6.9997e+07
                           59
                                28
                                                            0.66%
                                                                     147 2915s
                                    7.0100e+07 6.9638e+07
                                                                     147 2927s
 28084 10694
                 cutoff
                           59
                                                            0.66%
 28163 10696 6.9817e+07
                                   7.0100e+07 6.9639e+07
                                                                     147 2935s
                                                            0.66%
 28242 10722 6.9810e+07
                           45
                                51
                                   7.0100e+07 6.9641e+07
                                                            0.66%
                                                                     147 2946s
                 cutoff
 28330 10732
                           51
                                    7.0100e+07 6.9643e+07
                                                            0.65%
                                                                     147 2956s
 28438 10764 6.9930e+07
                                                                     147 2966s
                                    7.0100e+07 6.9644e+07
                           48
                                                            0.65%
 28536 10792 6.9801e+07
                                 51
                                   7.0100e+07 6.9644e+07
                                                                     147 2976s
                                                            0.65%
 28631 10813 6.9687e+07
                                    7.0100e+07 6.9646e+07
                                                                     147 2985s
                                 34
                                                            0.65%
 28727 10845
                 cutoff
                           35
                                    7.0100e+07 6.9648e+07
                                                            0.65%
                                                                     147 2996s
 28824 10881 6.9935e+07
                           53
                                33 7.0100e+07 6.9649e+07
                                                            0.64%
                                                                     147 3005s
 28900 10901 6.9954e+07
                           37
                                    7.0100e+07 6.9649e+07
                                                                        3015s
                                51
                                                            0.64%
                                                                     148
 28964 10907 infeasible
                           39
                                    7.0100e+07 6.9650e+07
                                                            0.64%
                                                                     148
                                                                        3028s
 29063 10924 7.0006e+07
                                 48
                                   7.0100e+07 6.9651e+07
                           45
                                                            0.64%
                                                                     148 3041s
 29154 10955 6.9875e+07
                           47
                                44
                                   7.0100e+07 6.9653e+07
                                                            0.64%
                                                                     148 3052s
                                    7.0100e+07 6.9654e+07
 29252 10975
                cutoff
                           5.3
                                                            0.64%
                                                                     148 3061s
 29326 10983 infeasible
                                    7.0100e+07 6.9655e+07
                                                            0.64%
                                                                     148 3071s
                           54
                                    7.0100e+07 6.9656e+07
 29408 11000
                 cutoff
                                                            0.63%
                                                                     148
                                                                        3080s
 29487 11006 7.0041e+07
                           49
                                38 7.0100e+07 6.9656e+07
                                                            0.63%
                                                                     149 3090s
 29539 11012 7.0073e+07
                           50
                                 41 7.0100e+07 6.9657e+07
                                                            0.63%
                                                                     149 30998
 29619 11027 7.0088e+07
                                   7.0100e+07 6.9659e+07
                           49
                                 39
                                                            0.63%
                                                                     149 3108s
                                    7.0100e+07 6.9660e+07
 29697 11039 6.9742e+07
                           43
                                 48
                                                            0.63%
                                                                     149 3117s
 29777 11064
                                    7.0100e+07 6.9661e+07
                 cutoff
                           36
                                                            0.63%
                                                                     150 3127s
 29849 11090 7.0040e+07
                                 44 7.0100e+07 6.9662e+07
                                                            0.63%
                                                                     149 3136s
                           44
 29952 11126
             7 0023e+07
                           53
                                39 7.0100e+07 6.9662e+07
                                                            0.62%
                                                                     149 31449
 30037 11137 6.9991e+07
                                 58 7.0100e+07 6.9664e+07
                                                                     150 3155s
                           30
                                                            0.62%
 30131 11160
                                    7.0100e+07 6.9664e+07
                                                            0.62%
                                                                        3165s
                 cutoff
                           48
                                                                     150
 30218 11171
                 cutoff
                                    7.0100e+07 6.9665e+07
                                                            0.62%
                                                                     150
                                                                        3174s
                 cutoff
 30292 11190
                           45
                                    7.0100e+07 6.9666e+07
                                                            0.62%
                                                                     150 3183s
 30400 11205 6 9777e+07
                           45
                                50 7 0100e+07 6 9667e+07
                                                            0.62%
                                                                     150 31939
                                    7.0100e+07 6.9667e+07
 30506 11244
                 cutoff
                                                            0.62%
                                                                     150 3204s
                           56
 30580 11255
                  cutoff
                           5.5
                                    7.0100e+07 6.9669e+07
                                                            0.61%
                                                                     150 3213s
                                    7.0100e+07 6.9671e+07
 30655 11260
              7.0001e+07
                                                            0.61%
                                                                     150
                                                                        3224s
 30749 11290 6.9714e+07
                           49
                                36 7.0100e+07 6.9672e+07
                                                            0.61%
                                                                     151 32428
 30827 11312 7 0076e+07
                                27
                                   7 0100e+07 6 9673e+07
                           61
                                                            0.61%
                                                                     151 32569
             7.0080e+07
                                   7.0100e+07 6.9674e+07
 30938 11349
                                28
                                                                     150 3267s
                           58
                                                            0.61%
 31003 11369 6.9932e+07
                                   7.0100e+07 6.9675e+07
                                 46
                                                            0.61%
                                                                     151
                                                                        3278s
 31106 11396 6.9824e+07
                                   7.0100e+07 6.9676e+07
                                                                     150 3287s
                           36
                                58
                                                            0.61%
 31196 11414 infeasible
                                    7.0100e+07 6.9676e+07
                                                            0.61%
                                                                     151 3297s
                           40
                                 55
                                    7.0100e+07 6.9676e+07
 31283 11428 7.0007e+07
                           41
                                                            0.61%
                                                                     151 3308s
 31380 11452 infeasible
                           41
                                    7.0100e+07 6.9678e+07
                                                            0.60%
                                                                     151 3316s
 31478 11464 infeasible
                                    7.0100e+07 6.9680e+07
                                                            0.60%
                                                                     151 3327s
 31571 11478 infeasible
                                    7.0100e+07 6.9680e+07
                                                            0.60%
                                                                     151 3338s
                           46
 31622 11479 infeasible
                           39
                                    7.0100e+07 6.9680e+07
                                                            0.60%
                                                                     151 33469
                                    7.0100e+07 6.9681e+07
 31678 11470 infeasible
                                                                        3359s
                           45
                                                            0.60%
                                                                     151
 31748 11486 7.0051e+07
                           49
                                 40
                                   7.0100e+07 6.9682e+07
                                                            0.60%
                                                                     152
                                                                        3369s
                                    7.0100e+07 6.9683e+07
 31824 11512
                 cutoff
                           41
                                                            0.60%
                                                                     152 3381s
                                                                        3394s
 31928 11543 infeasible
                           41
                                    7.0100e+07 6.9684e+07
                                                            0.59%
                                                                     152
 32016 11558 6.9961e+07
                           37
                                55 7.0100e+07 6.9685e+07
                                                            0.59%
                                                                     152 3404s
                                52 7.0100e+07 6.9686e+07
 32099 11568 6.9992e+07
                           39
                                                            0.59%
                                                                     152 3423s
                                    7.0100e+07 6.9687e+07
 32172 11575 6.9831e+07
                                 53
                                                            0.59%
                                                                        3440s
 32229 11576 7.0055e+07
                                 38 7.0100e+07 6.9687e+07
                                                            0.59%
                                                                     153 3458s
                           48
                           45
 32323 11588
             7 0086e+07
                                 45 7.0100e+07 6.9689e+07
                                                            0.59%
                                                                     153 34699
 32403 11606 7.0084e+07
                                36 7.0100e+07 6.9690e+07
                           5.5
                                                            0.59%
                                                                     153 3487s
                                41 7.0100e+07 6.9690e+07
 32480 11602 6.9996e+07
                           50
                                                            0.59%
                                                                     153 3505s
                                    7.0100e+07 6.9691e+07
 32556 11606
                 cutoff
                                                            0.58%
                                                                     153
                                                                        3523s
 32679 11643
                                    7.0100e+07 6.9692e+07
                                                            0.58%
                                                                     153 3535s
                 cutoff
                           42
 32773 11655
                 cutoff
                           40
                                    7.0100e+07 6.9693e+07
                                                            0.58%
                                                                     153 35498
                                    7.0100e+07 6.9695e+07
 32835 11641
                                                                     153 3573s
                 cutoff
                           37
                                                            0.58%
 32932 11668
             infeasible
                                    7.0100e+07 6.9695e+07
                                                            0.58%
                                                                     153 3586s
                           54
                                   7.0100e+07 6.9696e+07
 33036 11680
             6.9868e+07
                                 62
                                                            0.58%
                                                                     153
                                                                        3596s
                 cutoff
 33122 11692
                           39
                                    7.0100e+07 6.9697e+07
                                                            0.58%
                                                                     154 36199
 33210 11702 7 0045e+07
                           57
                                 30
                                   7.0100e+07 6.9698e+07
                                                            0.57%
                                                                     154 36358
 33299 11718 6.9926e+07
                                51 7.0100e+07 6.9699e+07
                           38
                                                            0.57%
                                                                     154 3656s
 33396 11731 6.9964e+07
                           47
                                 39
                                    7.0100e+07 6.9701e+07
                                                            0.57%
                                                                     154 3671s
                                    7.0100e+07 6.9702e+07
 33482 11741 infeasible
                                                            0.57%
                                                                        3693s
 33578 11759 7.0098e+07
                           47
                                 45
                                    7.0100e+07 6.9702e+07
                                                            0.57%
                                                                     154 3706s
                                    7 0100e+07 6 9703e+07
 33675 11775
                 cutoff
                           48
                                                            0.57%
                                                                     154 37198
 33776 11782 6.9779e+07
                                 48
                                   7.0100e+07 6.9704e+07
                                                            0.57%
                                                                     154 3742s
                           44
 33869 11794
                           55
                                    7.0100e+07 6.9704e+07
                                                            0.57%
                                                                     154
                                                                        3755s
                 cutoff
                                                                        3776s
 33926 11796
                  cutoff
                           48
                                    7.0100e+07 6.9705e+07
                                                            0.56%
                                                                     154
 34023 11812 infeasible
                                    7.0100e+07 6.9706e+07
                                                            0.56%
                                                                     154 3806s
 34090 11814 7.0054e+07
                           55
                                34 7.0100e+07 6.9707e+07
                                                            0.56%
                                                                     154
                                                                        3829s
                                    7.0100e+07 6.9709e+07
 34199 11819 infeasible
                           36
                                                            0.56%
                                                                     154 3848s
 34313 11833
                 cutoff
                           43
                                    7.0100e+07 6.9710e+07
                                                            0.56%
                                                                     154 3870s
 34403 11835 7.0095e+07
                           54
                                   7.0100e+07 6.9711e+07
                                                            0.56%
                                                                     154 3888s
                 cutoff
 34492 11830
                           39
                                    7.0100e+07 6.9713e+07
                                                            0.55%
                                                                     154 3909s
 34585 11841 6.9784e+07
                                 46 7.0100e+07 6.9714e+07
                           40
                                                            0.55%
                                                                     154 3927s
 34669 11843 7.0023e+07
                                39 7.0100e+07 6.9715e+07
                                                            0.55%
                                                                     155 3954s
```

```
34753 11838 7 0055e+07
                               49 7.0100e+07 6.9717e+07 0.55%
                                                                   155 39649
                                   7.0100e+07 6.9718e+07
34844 11866 infeasible
                          46
                                                          0.55%
                                                                   155 3965s
34851 11844 6.9746e+07
                                  7.0100e+07 6.9718e+07
                                                           0.55%
                                                                   155
                                                                       39875
                                  7.0100e+07 6.9719e+07
34954 11864 6.9810e+07
                                                                       4000s
35047 11882 6.9972e+07
                          46
                               43 7.0100e+07 6.9720e+07
                                                           0.54%
                                                                   155 40198
                                   7 0100e+07 6 9720e+07
35135 11873
               cutoff
                          35
                                                           0 54%
                                                                   155 40388
            7.0020e+07
                                  7.0100e+07 6.9721e+07
35221 11883
                                                                   155 4064s
                          34
                                                           0.54%
35289 11866 6.9977e+07
                                  7.0100e+07 6.9724e+07
                          48
                               42
                                                           0.54%
                                                                   155 4081s
                                   7.0100e+07 6.9726e+07
                                                                   155 4097s
35391 11888 infeasible
                          37
                                                           0.53%
                                   7.0100e+07 6.9726e+07
35482 11893
                cutoff
                          37
                                                           0.53%
                                                                   156 41169
35577 11896 7.0099e+07
                               34 7.0100e+07 6.9727e+07
                          57
                                                           0.53%
                                                                   156 4132s
35672 11906
                                   7.0100e+07 6.9728e+07
               cutoff
                          42
                                                           0.53%
                                                                   156 4149s
35743 11901
            infeasible
                                   7.0100e+07 6.9728e+07
                                                           0.53%
                                                                   156 4165s
35813 11898
                                   7.0100e+07 6.9729e+07
                                                           0.53%
                                                                   156 4198s
                cutoff
                          43
                cutoff
                          44
35892 11893
                                   7.0100e+07 6.9730e+07
                                                           0.53%
                                                                   156 4210s
                                   7.0100e+07 6.9731e+07
35939 11883
                          36
                                                                   156 4223s
                cutoff
                                                           0.53%
                                                           0.53%
36032 11880
                cutoff
                                   7.0100e+07 6.9731e+07
                                                                   156 4236s
                          40
36114 11872 7.0021e+07
                               52 7.0100e+07 6.9732e+07
                                                           0.53%
                                                                   156 4264s
                          41
36190 11870
                cutoff
                          38
                                   7.0100e+07 6.9734e+07
                                                           0.52%
                                                                   157 4288s
36284 11876 7.0024e+07
                          41
                               52
                                  7.0100e+07 6.9735e+07
                                                           0.52%
                                                                   157 4305s
36367 11874 6.9987e+07
                          42
                               47
                                  7.0100e+07 6.9735e+07
                                                           0.52%
                                                                   157 4320s
36432 11865 6.9934e+07
                          46
                               40
                                  7.0100e+07 6.9736e+07
                                                           0.52%
                                                                   157 4334s
36518 11858 6.9976e+07
                               45 7.0100e+07 6.9737e+07
                                                           0.52%
                                                                   157 4355s
                          41
36609 11849 7.0067e+07
                          47
                               46
                                  7.0100e+07 6.9738e+07
                                                           0.52%
                                                                   157 4367s
                                   7.0100e+07 6.9739e+07
36690 11846
               cutoff
                          46
                                                           0.52%
                                                                   157 4392s
36775 11840
            7.0044e+07
                               52
                                  7.0100e+07 6.9740e+07
                                                                   157 4412s
                          41
                                                           0.51%
                                   7.0100e+07 6.9741e+07
36851 11845
                cutoff
                                                                   158 4431s
36921 11831
                cutoff
                          36
                                   7.0100e+07 6.9743e+07
                                                           0.51%
                                                                   158 4446s
37003 11836
                cutoff
                          40
                                   7.0100e+07 6.9744e+07
                                                           0.51%
                                                                   158 4477s
                               50 7.0100e+07 6.9745e+07
37076 11822 6.9884e+07
                          4.3
                                                           0.51%
                                                                   158 4494s
                                   7.0100e+07 6.9746e+07
37169 11824
               cutoff
                                                           0.51%
                                                                   158 4515s
                          52
37237 11813 7.0009e+07
                               40
                                  7.0100e+07 6.9746e+07
                                                           0.51%
                                                                   158 4531s
                          41
37330 11819 6.9997e+07
                               52 7.0100e+07 6.9747e+07
                                                           0.50%
                                                                   158 4552s
37396 11816 7 0098e+07
                          43
                               54
                                  7.0100e+07 6.9747e+07
                                                           0.50%
                                                                   158 4570s
                                   7.0100e+07 6.9748e+07
37486 11804 infeasible
                                                           0.50%
                                                                   158 4591s
                          51
37560 11800 7.0021e+07
                                   7.0100e+07 6.9750e+07
                                                           0.50%
                                                                   159 4619s
                          46
                                   7.0100e+07 6.9752e+07
37632 11794 infeasible
                          41
                                                           0.50%
                                                                    159 4636s
37709 11792 7.0068e+07
                          49
                               35
                                  7.0100e+07 6.9753e+07
                                                           0.49%
                                                                   159 4654s
                                   7 0100e+07 6 9754e+07
37813 11799
               cutoff
                          52
                                                           0.49%
                                                                   159 46728
37883 11810 6.9826e+07
                                   7.0100e+07 6.9756e+07
                               54
                                                                   159 4691s
                          35
                                                           0.49%
37915 11783 6.9927e+07
                                  7.0100e+07 6.9756e+07
                          38
                               51
                                                           0.49%
                                                                   159 4702s
37988 11782 6.9960e+07
                                  7.0100e+07 6.9757e+07
                               49
                                                           0.49%
                                                                   159 4723s
38072 11773 6 9975e+07
                          43
                               46 7.0100e+07 6.9757e+07
                                                           0.49%
                                                                   159 47489
38154 11775 7 0068e+07
                               53 7 0100e+07 6 9758e+07
                          39
                                                           0 49%
                                                                   159 4775s
            7.0013e+07
                                  7.0100e+07 6.9759e+07
                               40
                                                                   160 4789s
38231 11758
                          49
                                                           0.49%
38296 11777 infeasible
                                    .0100e+07 6.9759e+07
                          28
                                                           0.49%
                                                                   160 4790s
38312 11758 6.9847e+07
                               49
                                  7.0100e+07 6.9760e+07
                                                           0.49%
                                                                   160 4811s
                          41
38386 11755 6.9923e+07
                          49
                               39 7.0100e+07 6.9761e+07
                                                           0.48%
                                                                   160 4833s
                               47 7.0100e+07 6.9762e+07
38488 11748 6.9969e+07
                          42
                                                           0.48%
                                                                   160 4861s
38584 11750 6.9941e+07
                               49 7.0100e+07 6.9763e+07
                                                           0.48%
                                                                   160 4885s
                          40
38665 11734
               cutoff
                                   7.0100e+07 6.9764e+07
                                                           0.48%
                                                                   160 4904s
38757 11737 infeasible
                                   7.0100e+07 6.9766e+07
                                                           0.48%
                                                                   160 4924s
                          40
38842 11724
            cutoff
6.9899e+07
                          36
                                   7.0100e+07 6.9767e+07
                                                           0.48%
                                                                   160 49439
                                  7.0100e+07 6.9768e+07
38925 11719
                               40
                                                                   160 4958s
                          46
                                                           0.47%
                                  7.0100e+07 6.9768e+07
39015 11724 7.0065e+07
                          52
                               34
                                                           0.47%
                                                                   160
                                                                       4978s
39114 11710 6.9998e+07
                               49 7.0100e+07 6.9769e+07
                                                           0.47%
                                                                   160 5001s
                                                                   160 5041s
39192 11701 7.0041e+07
                          47
                               42
                                  7.0100e+07 6.9771e+07
                                                           0.47%
39261 11685 7.0057e+07
                          47
                               44 7.0100e+07 6.9772e+07
                                                           0.47%
                                                                   161 5053s
39327 11663 6.9934e+07
                                  7.0100e+07 6.9773e+07
                          41
                               46
                                                           0.47%
                                                                   161 5073s
                                  7.0100e+07 6.9774e+07
39419 11651 6.9988e+07
                               47
                                                           0.46%
                                                                    161
                                                                       5093s
                                                                   161 5110s
39501 11659 7.0021e+07
                               54 7.0100e+07 6.9776e+07
                                                           0.46%
                          40
39606 11645
            7 0091e+07
                          41
                               47 7.0100e+07 6.9776e+07
                                                           0.46%
                                                                   161 5140s
39678 11633 7.0023e+07
                               52 7.0100e+07 6.9777e+07
                          47
                                                           0.46%
                                                                   161 5158s
                                  7.0100e+07 6.9778e+07
39769 11640 6.9938e+07
                          42
                               48
                                                           0.46%
                                                                   161 5173s
                               46 7.0100e+07 6.9778e+07
39799 11642 6.9985e+07
                                                           0.46%
                                                                   161
                                                                       5182s
39854 11627 7.0051e+07
                               44 7.0100e+07 6.9778e+07
                                                           0.46%
                                                                   161 5192s
                          46
39946 11642
                cutoff
                          42
                                   7.0100e+07 6.9779e+07
                                                           0.46%
                                                                   161 5211s
40016 11625 infeasible
                                   7.0100e+07 6.9780e+07
                                                                   161 5229s
                          4.5
                                                           0.46%
40110 11626 6.9943e+07
                                  7.0100e+07 6.9781e+07
                                                           0.46%
                                                                       5249s
                          41
                                                                   161
                                  7.0100e+07 6.9782e+07
40194 11623 6.9861e+07
                               51
                                                           0.45%
                                                                       5259s
                                                                   161
40271 11598 7.0098e+07
                               48 7.0100e+07 6.9782e+07
                                                           0.45%
                                                                   162 5297s
                          46
40352 11602 7.0092e+07
                          49
                               45 7.0100e+07 6.9782e+07
                                                           0.45%
                                                                   162 53128
                                   7.0100e+07 6.9783e+07
40423 11584
                cutoff
                          43
                                                           0.45%
                                                                   162 5332s
40479 11568
            infeasible
                                   7.0100e+07 6.9785e+07
                                                                   162
                                                                       5357s
                          40
                                                           0.45%
                                   7.0100e+07 6.9786e+07
40557 11552
                cutoff
                                                           0.45%
                                                                   162
                                                                       5387s
40644 11540 7.0073e+07
                                                           0.45%
                                                                   162 5419s
                               37 7.0100e+07 6.9786e+07
                               40 7 0100e+07 6 9787e+07
40729 11539 6 9907e+07
                          44
                                                           0 45%
                                                                   162 54438
40819 11545 7.0097e+07
                                  7.0100e+07 6.9788e+07
                               34
                                                           0.45%
                                                                   162 5462s
                          50
40920 11554
            7.0071e+07
                          50
                               38
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                   162
                                                                       5480s
41023 11586 6.9958e+07
                          47
                               73
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                   162
                                                                       5665s
41025 11587 6.9840e+07
                              171 7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                   162 5677s
                          48
41026 11588 6.9865e+07
                          48
                               84
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                   162 5686s
            7.0036e+07
                               82
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                                   162 5702s
41027 11589
                          44
                                                           0.44%
41028 11589
            7.0008e+07
                               83
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                   162 5715s
41029 11590
            7.0034e+07
                          60
                               83
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                   162 5736s
41030 11591 6.9933e+07
                          39
                               83 7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                   162 5743s
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
41031 11591 6.9837e+07
                          34
                               83
                                                           0.44%
                                                                   162 5747s
41032 11594 6.9789e+07
                               71 7.0100e+07 6.9789e+07
                                                          0.44%
                                                                   164 5773s
```

```
74 7.0100e+07 6.9789e+07 0.44%
41033 11595 6.9789e+07
                                                                    164 57869
                                71 7.0100e+07 6.9789e+07
41034 11595 6.9789e+07
                          22
                                                           0.44%
                                                                    164 5795s
41035 11596 6.9789e+07
                          2.2
                                7.5
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    164
                                                                        5805s
41036 11597 6.9789e+07
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                                        5814s
41037 11597 6.9789e+07
                          23
                                69 7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    164 5822s
                                  7 0100e+07 6 9789e+07
41038 11596 6 9789e+07
                          24
                                68
                                                           0 44%
                                                                    164 5830s
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
41039 11600 6.9930e+07
                          24
                                                                        5843s
                                68
                                                           0.44%
                                                                    164
41042 11600 6.9789e+07
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                67
                                                           0.44%
                                                                    164
                                                                        5847s
41045 11606 6.9789e+07
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                          25
                                                           0.44%
                                                                    164
                                                                        5850s
41062 11613 6 9789e+07
                          27
                                65 7 0100e+07 6 9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    164 5857s
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
41075 11611 6.9789e+07
                          28
                                64
                                                           0.44%
                                                                    164 5860s
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
41099 11618
                cutoff
                          29
                                                           0.44%
                                                                    164 5865s
41123 11619 6.9789e+07
                                61
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                        5876s
                                                           0.44%
41196 11643 6.9789e+07
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                                    164 5885s
                          35
                                56
41271 11664 6.9789e+07
                                73 7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    164 5897s
                          46
41273 11665 6.9789e+07
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                               162
                          39
                                                           0.44%
                                                                    164
                                                                        5906s
41274 11666 6.9789e+07
                                78
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                                        5912s
                          31
                                                           0.44%
                                                                    164
41275 11667 6.9789e+07
                                76 7.0100e+07 6.9789e+07
                                                                    164 5925s
                          38
                                                           0.44%
41276 11667 6.9835e+07
                          48
                                76
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    164 5940s
41277 11668 6.9789e+07
                          42
                                77
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    164 5952s
41278 11669 6.9835e+07
                                75
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                                        5964s
                                                           0.44%
                          48
                                                                    164
41279 11669 6.9789e+07
                          38
                                73
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    164
                                                                        5975s
41280 11670 6.9789e+07
                                74 7.0100e+07 6.9789e+07
                                                                    164 5988s
                          45
                                                           0.44%
41281 11671 6.9789e+07
                          31
                                78
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    164 6001s
41282 11671 6.9789e+07
                                80 7.0100e+07 6.9789e+07
                          2.7
                                                           0.44%
                                                                    164 6014s
41283 11672 6.9789e+07
                          42
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                                    164 6031s
                                80
                                                           0.44%
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
41284 11673 6.9789e+07
                                78
                                                           0.44%
                                                                    164
                                                                        6043s
                                                                    164 6054s
41285 11673 6.9789e+07
                          38
                                78
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
41286 11674 6.9789e+07
                          30
                                78
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    164 6065s
41287 11675 6.9789e+07
                                77
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                          46
                                                           0.44%
                                                                    164 6078s
41288 11675 6.9789e+07
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                79
                                                           0.44%
                                                                    164 6090s
                          38
41289 11676 6.9789e+07
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                          31
                                79
                                                           0.44%
                                                                    164
                                                                        6101s
41290 11677 6.9789e+07
                          27
                                77 7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    164 6112s
41291 11677 6.9835e+07
                          48
                                78
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    164 61238
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
41292 11678 6.9789e+07
                                78
                                                           0.44%
                          38
                                                                    164 6134s
41293 11679 6.9789e+07
                                78
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                          36
                                                           0.44%
                                                                    164 6146s
41294 11679 6.9789e+07
                           38
                                78
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    164
                                                                        6157s
41295 11680 6.9789e+07
                                78 7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    164 6169s
                          36
41296 11681 6 9789e+07
                          39
                                78
                                  7 0100e+07 6 9789e+07
                                                           0 44%
                                                                    164 6180s
41297 11681 6.9789e+07
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                80
                                                           0.44%
                                                                    164 6191s
                          31
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
41298 11682
            6.9789e+07
                          29
                                79
                                                           0.44%
                                                                    164 6203s
41299 11683 6.9901e+07
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                78
                                                           0.44%
                                                                    164
                                                                        6213s
41300 11683 6.9789e+07
                          38
                                80 7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    164 62238
41301 11684 6 9789e+07
                                  7 0100e+07 6 9789e+07
                          27
                                80
                                                           0 44%
                                                                    164 62329
41302 11685 6.9789e+07
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                          30
                                80
                                                           0.44%
                                                                    164 6249s
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
41303 11685 6.9789e+07
                           30
                                80
                                                           0.44%
                                                                    164
                                                                        6255s
41304 11686 6.9789e+07
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                          38
                                80
                                                           0.44%
                                                                    164
                                                                        6261s
41305 11689 6.9789e+07
                          33
                                79 7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 6277s
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
41307 11688 6.9789e+07
                                78
                          34
                                                           0.44%
                                                                    165 6288s
41308 11688 6.9789e+07
                          34
                                75
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 6296s
41309 11688 6.9789e+07
                                74
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 6306s
41310 11689 6.9789e+07
                                69
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 6314s
                          35
41311 11690 6.9789e+07
                          36
                                64 7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 63219
41312 11690 6.9789e+07
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                72
                          36
                                                           0.44%
                                                                    165 6329s
41314 11690 6.9789e+07
                                65
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 6338s
41318 11691 6.9789e+07
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                59
                                                           0.44%
                                                                    165 6343s
41325 11692 6.9789e+07
                          39
                                60
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 6346s
41337 11692 6.9789e+07
                          41
                                58 7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 6350s
41359 11704 6.9789e+07
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                          43
                                56
                                                           0.44%
                                                                    165 6356s
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
41375 11686 6.9789e+07
                                55
                                                           0.44%
                                                                    165
                                                                        6367s
41472 11732 6.9789e+07
                                53 7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 6376s
                          48
41528 11720 6.9789e+07
                          51
                                50
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 63859
41623 11755 6.9789e+07
                                49 7.0100e+07 6.9789e+07
                          57
                                                           0.44%
                                                                    165 6392s
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
41725 11766 6.9823e+07
                          63
                                40
                                                           0.44%
                                                                    165 6401s
41818 11778 6.9913e+07
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                30
                                                           0.44%
                                                                    165
                                                                        6409s
                cutoff
41879 11765
                          77
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 6416s
41964 11756 6 9906e+07
                          48
                                59
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 64238
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
42028 11731 6.9877e+07
                                60
                          4.5
                                                           0.44%
                                                                    165 6431s
                                57
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
42086 11717
            6.9992e+07
                          48
                                                           0.44%
                                                                    165 6439s
42165 11694 7.0035e+07
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165
                                                                        6446s
                          53
                                54
                cutoff
42237 11670
                          46
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 6454s
42333 11655 6 9789e+07
                          48
                                57
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 64638
42417 11648 6.9964e+07
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                          55
                                54
                                                           0.44%
                                                                    165 6472s
42516 11645
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                cutoff
                          53
                                                           0.44%
                                                                    165 6480s
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
42605 11636
             6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165
                                                                        6488s
42688 11622
                cutoff
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 6495s
42763 11602 6 9961e+07
                                52
                                  7 0100e+07 6 9789e+07
                          59
                                                           0 44%
                                                                    165 6502s
42841 11588 7.0083e+07
                                  7.0100e+07 6.9789e+07
                                46
                                                                    165 6510s
                          64
                                                           0.44%
42924 11574
            6.9846e+07
                                49
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165
                                                                        6518s
43019 11565 infeasible
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165
                                                                        6525s
43094 11549 7.0001e+07
                                   7.0100e+07 6.9789e+07
                                                           0.44%
                                                                    165 6533s
                          55
43174 11527
                cutoff
                          52
                                   7.0100e+07 6.9801e+07
                                                           0.43%
                                                                    165 6542s
                                   7.0100e+07 6.9817e+07
43270 11502
                 cutoff
                          54
                                                           0.40%
                                                                    165 6550s
43357 11466
            7.0068e+07
                                   7.0100e+07 6.9832e+07
                                                           0.38%
                                                                    165 6559s
43423 11443
                cutoff
                          47
                                   7.0100e+07 6.9838e+07
                                                           0.37%
                                                                    165 6567s
43481 11425 7.0068e+07
                          64
                                41
                                   7.0100e+07 6.9855e+07
                                                           0.35%
                                                                    165 6575s
43568 11397
                                  7.0100e+07 6.9868e+07
            7.0022e+07
                          49
                                60
                                                           0.33%
                                                                    165 6583s
43636 11390 7.0063e+07
                                48 7.0100e+07 6.9873e+07
                                                           0.32%
                                                                    165 6591s
```

```
cutoff 57
cutoff 50
cutoff 52
  43700 11361
                                                              7.0100e+07 6.9884e+07 0.31%
                                                                                                                            165 6599s
                                                                 7.0100e+07 6.9889e+07 0.30%
  43795 11345
                                                                                                                             165 6607s
  43864 11327
                               cutoff
                                                  52
                                                                7.0100e+07 6.9897e+07
                                                                                                              0.29%
                                                                                                                             165 6616s
                                                                  7.0100e+07 6.9903e+07
   43911 11299
                                                            47 7.0100e+07 6.9912e+07
  43991 11274 6.9912e+07
                                                  57
                                                                                                              0.27%
                                                                                                                             165 6633s
                                                           32 7 0100e±07 6 9915e±07
  44058 11251 7 0064e+07
                                                  71
                                                                                                              0 26%
                                                                                                                              165 6641s
                                                            7.0100e+07 6.9917e+07
7.0100e+07 6.9934e+07
  44138 11208 infeasible
                                                                                                                              165 6649s
                                                                                                              0.26%
                           cutoff
  44198 11171
                                                                                                              0.24%
                                                                                                                              165 6681s
  44288 11138
                                                                  7.0100e+07 6.9937e+07
                                cutoff
                                                                                                                              166 6690s
                                                              7.0100e+07 6.9943e+07
7.0100e+07 6.9959e+07
  44351 11090
                              cutoff
                                                  58
                                                                                                              0 22%
                                                                                                                             166 66989
  44428 11053
                               cutoff
                                                  72
                                                                                                              0.20%
                                                                                                                             166 6707s
  44509 11019
                             cutoff
                                                              7.0100e+07 6.9966e+07
7.0100e+07 6.9970e+07
                                                  56
                                                                                                              0.19%
                                                                                                                              166 6736s
  44564 10991
                                 cutoff
                                                                                                              0.19%
  44647 10965 6.9974e+07
                                                  59
                                                           46 7.0100e+07 6.9974e+07
                                                                                                              0.18%
                                                                                                                              167 6773s
                                                           7.0100e+07 6.9977e+07
  44727 10920 infeasible
                                                  69
                                                                                                              0.18%
                                                                                                                              168 6781s
                                                                  7.0100e+07 6.9981e+07
  44799 10882 cutoff
                                                                                                                              168 6791s
                                                  66
                                                                                                              0.17%
  44893 10837 7.0097e+07
                                                           44 7.0100e+07 6.9989e+07
                                                                                                                              168 6799s
                                                  63
                                                                                                              0.16%
                                                           7.0100e+07 6.9997e+07 0.15%
  44968 10797 infeasible
                                                                                                                              168 6808s

        44968 10797 infeasible
        65
        7.0100e+07 6.9999e+07 0.15% 168 6808s

        45044 10756 infeasible
        71
        7.0100e+07 6.9999e+07 0.14% 168 6817s

        45116 10715 7.0075e+07 63
        45 7.0100e+07 7.0010e+07 0.13% 168 6827s

        45175 10667 cutoff
        55
        7.0100e+07 7.0019e+07 0.12% 168 6837s

        45254 10620 7.0062e+07 63
        46 7.0100e+07 7.0032e+07 0.10% 168 6857s

        45309 10581 cutoff 63
        7.0100e+07 7.0032e+07 0.10% 168 6855s

        45414 10503 cutoff 66
        7.0100e+07 7.0039e+07 0.09% 168 6855s

        45460 10462 cutoff 66
        7.0100e+07 7.0051e+07 0.08% 168 6875s

        45533 10390 cutoff 60
        7.0100e+07 7.0058e+07 0.06% 169 6894s

        45570 10343 infeasible 53
        7.0100e+07 7.0069e+07 0.05% 169 6903s

        45614 10303 cutoff 56
        7.0100e+07 7.0078e+07 0.03% 169 6913s

        45664 10271 7.0081e+07 73
        7.0100e+07 7.0081e+07 0.03% 169 6932s

        45646 10217 7.0081e+07 73
        7.0100e+07 7.0081e+07 0.03% 169 6932s

        45646 10235 7.0087e+07 56
        45 7.0100e+07 7.0081e+07 0.02% 170 6942s

        45719 10214 7.0093e+07 56
        47 7.0100e+07 7.0093e+07 0.01% 169 6942s

        45719 10214 7.0093e+07 56
        47 7.0100e+07 7.0081e+07 0.02% 170 6942s

Cutting planes:
    Gomory: 64
    Implied bound: 18
    Flow cover: 74
Explored 45729 nodes (7838465 simplex iterations) in 6950.56 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 7.010037692016e+07, best bound 7.010037692016e+07, gap 0.0%
Engine Solve time: 1 Hours, 55 Minutes, 0 Seconds.
Solver found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied. Solve time: 4 Hours, 10 Minutes, 0 Seconds.
Versão v3PmFa
 ---- Start Solve ----
No uncertain input cells.
Using: Full Reparse.
Analyzing Solver Model...
Parsing started...
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05c - 20130712.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 41 Minutes, 47 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
Setup time: 28 Minutes, 35 Seconds.
Optimize a model with 64357~\mathrm{rows}, 375118~\mathrm{columns} and 1183425~\mathrm{nonzeros} Presolve removed 7369~\mathrm{rows} and 22790~\mathrm{columns}
Presolve time: 2.48s
Presolved: 56988 rows, 352328 columns, 1082856 nonzeros
Variable types: 346144 continuous, 6184 integer (6184 binary)
Root relaxation: objective 9.124967e+08, 63484 iterations, 2.99 seconds
  Nodes | Current Node | Objective Bounds

Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent | PostPd | O
                                                                                                                                   Work
                                                                                              BestBd Gap |
                                                                                                                            It/Node Time

    Expl
    Obj
    Depth
    IntInf
    Incumbent
    BestBd

    0
    9.1250e+08
    0
    75
    -
    9.1250e+08

    0
    9.1250e+08
    0
    61
    -
    9.1250e+08

    0
    9.1250e+08
    0
    47
    -
    9.1250e+08

    0
    9.1250e+08
    0
    42
    -
    9.1250e+08

    0
    9.1250e+08
    0
    42
    -
    9.1250e+08

    0
    9.1250e+08
    0
    42
    -
    9.1250e+08

    2
    9.1250e+08
    0
    42
    -
    9.1250e+08

    6
    9.1274e+08
    4
    37
    -
    9.1250e+08

    51
    9.1274e+08
    7
    31
    -
    9.1274e+08

                                                                              0
          0
                                                                                                                                           98
                                                                                                                              - 10s
- 12s
- 13s
- 14s
          0
```

0

43s

45s 50s

```
101 110 9.1274e+08 18 19
191 184 9.1765e+08 26 11
264 254 9.1274e+08 33 4
269 44 37 0 12
                                                  - 9.1274e+08
                                                                           62.1
                                                                                    60s
                                            - 9.1274e+08 - 58.5
- 9.1274e+08 - 65.6
                                                                                    67s
                                                                                    74s
                                     9.127358e+08 9.1274e+08 0.00% 65.6
Cutting planes:
  Gomory: 6
  Implied bound: 4
  Flow cover: 59
  Flow path: 7
Explored 347 nodes (85897 simplex iterations) in 74.83 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 9.127357821067e+08, best bound 9.127357818638e+08, gap 0.0000%
Engine Solve time: 1 Minutes, 14 Seconds.
Solver found a solution. All constraints a Solve time: 1 Hours, 22 Minutes, 0 Seconds.
                              All constraints and optimality conditions are satisfied.
```

Versão v3PmFa-sI

```
- Start Solve -
No uncertain input cells.
Using: Full Reparse.
Analyzing Solver Model...
Parsing started...
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05b - MinFrete s-Invest - 20130712.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 42 Minutes, 19 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
Setup time: 28 Minutes, 15 Seconds.
Optimize a model with 64357 rows, 375118 columns and 1183425 nonzeros
Presolve removed 7453 rows and 23210 columns Presolve time: 2.49s
Presolved: 56904 rows, 351908 columns, 1081362 nonzeros
Variable types: 345964 continuous, 5944 integer (5944 binary)
Root relaxation: objective 9.635425e+08, 67588 iterations, 5.91 seconds

Nodes | Current Node | Objective Bounds | Work

Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node Time

0 0 9.6354e+08 0 23 - 9.6354e+08 - 98
                                                                                   - 10s
                                       9.635425e+08 9.6354e+08 0.00%
      0
             0
Explored 0 nodes (67657 simplex iterations) in 10.39 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 9.635424663691e+08, best bound 9.635424662005e+08, gap 0.0000%
Engine Solve time: 10,42 Seconds.
Solver found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied. Solve time: 1 Hours, 19 Minutes, 0 Seconds.
```

Versão v3PmTa

```
---- Start Solve ----
No uncertain input cells.
Updating Worksheet Values...
Using: Full Reparse.
Releasing Memory...
Releasing Memory...

Analyzing Solver Model...
Parsing started...

Diagnosis started...

Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05b - 20130712.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 41 Minutes, 33 Seconds.

Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
```

```
Setup time: 27 Minutes, 34 Seconds.
Optimize a model with 64357 rows, 375118 columns and 1183425 nonzeros
Presolve removed 7369 rows and 22790 columns
Presolve time: 2.47s
Presolved: 56988 rows, 352328 columns, 1082856 nonzeros
Variable types: 346144 continuous, 6184 integer (6184 binary)
Root relaxation: objective 6.110538e+07, 56619 iterations, 2.46 seconds
 Nodes | Current Node | Objective Bounds | Work
Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node Time
           0 6.1105e+07
                                              - 6.1105e+07
                           0 32
                                                                             6s
     0
                                  6.552510e+07 6.1105e+07
                                                             6.75%
            0 6.1111e+07
                             0
                                 81 6.5525e+07 6.1111e+07
                                                             6.74%
                                                                            10s
     Λ
           0 6.1170e+07
                            0
                                 45 6.5525e+07 6.1170e+07
                                                             6.65%
                                                                            18s
                                38 6.5525e+07 6.1385e+07
           0 6.1385e+07
                            0
                                                                            27s
     0
                                                             6.32%
                                                                            36s
           0 6.1385e+07
                                 34 6.5525e+07 6.1385e+07
                                                             6.32%
                            0
            0
                                  6.552510e+07 6.1385e+07
                                                             6.32%
     0
                                                                            47s
Н
     0
           0
                                  6.517112e+07 6.1385e+07
                                                             5.81%
                                                                            50s
                                 34 6.5171e+07 6.1385e+07 32 6.5171e+07 6.1561e+07
     0
           2 6.1385e+07
                            0
                                                             5.81%
                                                                            55s
           4 6.1561e+07
                                                                     1.0
                                                             5.54%
                                                                            62s
           5 6.1719e+07
                                 30 6.5171e+07 6.1719e+07
                                                             5.30%
                                                                     1.0
                                                                            67s
           7 6.1799e+07
                                 29 6.5171e+07 6.1799e+07
                                                             5.17%
                                                                      1.0
                                                                            71s
                                                                            76s
           9 6.1948e+07
                             6
                                 28 6.5171e+07 6.1825e+07
                                                             5.13%
                                                                     73.4
                                 33 6.5171e+07 6.1825e+07
    1.0
          12 6.2287e+07
                             6
                                                             5.13%
                                                                     113
                                                                            82s
          14 6.2711e+07
                                 28 6.5171e+07 6.1825e+07
    14
                                                             5.13%
                                                                      197
                                                                            88s
                                 27 6.5171e+07 6.1825e+07
          20 6.2211e+07
                                                                             94s
    23
          24 6.2436e+07
                                 26 6.5171e+07 6.1926e+07
                                                             4.98%
                                                                      178
                                                                           100s
    28
          29 6.2570e+07
                             9
                                 28 6.5171e+07 6.1926e+07
                                                             4.98%
                                                                      160
                                                                           110s
                                 27 6.5171e+07 6.2294e+07
    34
          34 6.2661e+07
                           1.0
                                                             4.41%
                                                                      159
                                                                           119s
                                 27 6.5171e+07 6.2525e+07
    42
          41 6.2669e+07
                                                             4.06%
                                                                      149
                            11
                                                                           128s
           49 6.3193e+07
                                 28 6.5171e+07 6.2589e+07
    58
          51 6.2686e+07
                                 26 6.5171e+07 6.2589e+07
                                                             3.96%
                                                                      158
                                                                           143s
                            12
                                 24 6.5171e+07 6.2589e+07
    66
          56 6.2686e+07
                            13
                                                             3.96%
                                                                      155
                                                                           150s
                                 25 6.5171e+07 6.2589e+07
          62 6.2686e+07
    74
                            13
                                                             3.96%
                                                                      161
                                                                           159s
                                 24 6.5171e+07 6.2589e+07
    82
          65 6.2686e+07
                                                             3.96%
                                                                           166s
                            14
                                                                      154
                                 24 6.5171e+07 6.2589e+07
           73 6.2689e+07
                                                             3.96%
                                                                      148
              cutoff
    98
          72
                            15
                                    6.5171e+07 6.2589e+07
                                                             3.96%
                                                                      160
                                                                           182s
                                    6.5171e+07 6.2598e+07
   106
          76
                  cutoff
                            15
                                                             3.95%
                                                                      172
                                                                           265s
         125 6.3225e+07
                                 15 6.5171e+07 6.2598e+07
                            23
                                                             3.95%
   224
                                                                      142
                                                                           330s
                                 6.418843e+07 6.2598e+07
                                                                           330s
   276
          110
                            38
                                                             2.48%
                                                                      128
         141 6.3552e+07 34
                                  4 6.4188e+07 6.2598e+07
                                                             2.48%
                                                                           387s
Н
   371
          90
                                  6.363632e+07 6.2598e+07
                                                             1.63%
                                                                      165
                                                                           3885
                                    6.3636e+07 6.2644e+07
   465
          99
                  cutoff
                           3.8
                                                             1 56%
                                                                      165
                                                                           445s
         100 6.3175e+07
                                 24 6.3636e+07 6.2747e+07
   570
                                                             1.40%
                                                                      172
                                                                           500s
                            14
                                  6.3636e+07 6.2747e+07
         130 infeasible
                            22
                                                             1.40%
                                                                      168
                                                                           552s
               cutoff
                                    6.3636e+07 6.2900e+07
   766
          121
                            22
                                                             1.16%
                                                                      172
                                                                           602s
                  cutoff
                                                                           654s
   866
         133
                            23
                                    6.3636e+07 6.3004e+07
                                                             0.99%
                                                                      171
                                    6.3636e+07 6.3180e+07
   953
         119
                  cutoff
                            21
                                                             0.72%
                                                                      171
                                                                           705s
         118 6.3425e+07 21
99 cutoff 16
66 infeasible 21
5 cutoff 22
  1063
                                18 6.3636e+07 6.3253e+07
                                                             0.60%
                                                                           755s
                                                                      170
                                 6.3636e+07 6.3355e+07 0.44%
                                                                     168
                                                                           804s
                                    6.3636e+07 6.3399e+07 0.37%
                                                                           850s
  1265
                                                                      167
  1382
                                   6.3636e+07 6.3447e+07 0.30%
                                                                    169 877s
Cutting planes:
  Gomory: 10
  Implied bound: 77
  Flow cover: 117
  Flow path: 111
Explored 1482 nodes (339268 simplex iterations) in 878.85 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 6.363631376753e+07, best bound 6.363631376753e+07, gap 0.0%
Engine Solve time: 14 Minutes, 38 Seconds.
Solver found a solution. All constraints a Solve time: 1 Hours, 32 Minutes, 0 Seconds.
                           All constraints and optimality conditions are satisfied.
```

Versão v3PmTa-sI

---- Start Solve --No uncertain input cells.
Updating Worksheet Values...
Using: Full Reparse.
Releasing Memory...
Releasing Memory...

Analyzing Solver Model...
Parsing started...

Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".

```
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05b - 20130712.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 49 Minutes, 58 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5 5 0 0
Setup time: 35 Minutes, 20 Seconds.
Optimize a model with 64357 rows, 375118 columns and 1183425 nonzeros
Presolve removed 7453 rows and 23210 columns
Presolve time: 2.51s
Presolved: 56904 rows, 351908 columns, 1081362 nonzeros
Variable types: 345964 continuous, 5944 integer (5944 binary)
Root relaxation: objective 7.515798e+07, 61117 iterations, 7.22 seconds
Nodes | Current Node | Objective Bounds | Work
 Nodes | Current Node | Object:
Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent
                                                                          Work
                                                     BestBd Gap | It/Node Time
                                               - 7.5158e+07
            0 7.5158e+07
                          0 30
                                  7.961554e+07 7.5158e+07
     0
            0
                                                              5.60%
                                                                              12s
                                 39 7.9616e+07 7.5163e+07 5.59% 38 7.9616e+07 7.5218e+07 5.52%
     0
            0 7.5163e+07
                            0
                                                                              14s
            0 7.5218e+07
                                                                             23s
     0
                            0
            0 7.5717e+07
                            0
                                 28 7.9616e+07 7.5717e+07
                                                              4.90%
                                   7.782880e+07 7.5717e+07
                                                              2.71%
                                                                              41s
     Λ
            0 7.5726e+07
                             0
                                  21 7.7829e+07 7.5726e+07
                                                              2.70%
                                                                              42s
            0 7.5899e+07
                                  23 7.7829e+07 7.5899e+07
     0
                             0
                                                              2.48%
                                                                              51s
            0 7.5946e+07
                                  24 7.7829e+07 7.5946e+07
     0
                             Ω
                                                              2.42%
                                                                              57s
                                  21 7.7829e+07 7.5979e+07
                                                              2.38%
            0 7.5980e+07
                             0
                                  22 7.7829e+07 7.5980e+07
                                                              2.38%
     0
            2 7.5980e+07
                             0
                                  22 7.7829e+07 7.5980e+07
                                                              2.38%
                                                                              94s
                                  21 7.7829e+07 7.6250e+07
            3 7.6250e+07
                             1
                                                              2.03%
                                                                       1.0
                                                                             968
                                  18 7.7829e+07 7.6478e+07
            5 7.6478e+07
                                                              1.74%
                                                                            101s
                                                                       2.0
                                  15 7.7829e+07 7.6691e+07
                                                              1.46% 55.7
                                  14 7.7829e+07 7.6763e+07
    1.0
           8 7.6799e+07
                                                              1.37% 71.0
                                                                             111s
                                  17 7.7829e+07 7.6763e+07
    1.8
            8 7 7526e+07
                                                              1.37%
                                                                      127
                                                                             117s
                                  17 7.7829e+07 7.6763e+07
          11 7.7009e+07
                                                              1.37%
                                                                       126
    2.2
                                                                             122s
          11 7.7697e+07
                                  17 7.7829e+07 7.6975e+07
                                                              1.10%
                            10
                                                                       161
                                                                             126s
                                  16 7.7829e+07 7.6975e+07
           14 7.7130e+07
                                                              1.10%
    41
          14 7.7264e+07
                           12
                                  16 7.7829e+07 7.7069e+07
                                                              0.98%
                                                                      129
                                                                            139s
                                  15 7 7829e+07 7 7069e+07
    48
          15 7.7283e+07
                            13
                                                              0.98%
                                                                       117
                                                                             143s
                                  14 7.7829e+07 7.7069e+07
           17 7.7284e+07
                                                              0.98%
                                                                       107
    54
                            14
                                                                             147s
                  284e+07 14
287e+07 15
cutoff 16
cutoff 17
          16 7.7287e+07
                                 13 7.7829e+07 7.7069e+07
    62
                                                              0.98%
                                                                       108
                                                                            151s
                            16 7.7829e+07 7.7177e+07 0.84% 118 155s
17 7.7829e+07 7.7394e+07 0.56% 129 160s
9 19 7.7829e+07 7.7529e+07 0.38% 132 169s
          11 cutoff
    91
            6
           0 7 7529e+07
   102
Cutting planes:
  Gomory: 22
  Implied bound: 29
  Flow cover: 2
Explored 108 nodes (74903 simplex iterations) in 170.06 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 7.782879854872e+07, best bound 7.782879854853e+07, gap 0.0000%
Engine Solve time: 2 Minutes, 50 Seconds.
Solver found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied. Solve time: 1 Hours, 37 Minutes, 0 Seconds.
Versão v3PmCOa
 --- Start Solve -
No uncertain input cells.
Updating Worksheet Values...
Using: Full Reparse.
Releasing Memory...
Releasing Memory...
Analyzing Solver Model ...
Parsing started ...
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05b - 20130712.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 43 Minutes, 16 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
Setup time: 28 Minutes, 0 Seconds.
Optimize a model with 64357 rows, 375118 columns and 1183425 nonzeros Presolve removed 7369 rows and 22790 columns
```

```
Presolve time: 2.54s
Presolved: 56988 rows, 352328 columns, 1082856 nonzeros
Variable types: 346144 continuous, 6184 integer (6184 binary)
Root relaxation: objective 2.009275e+08, 61321 iterations, 6.52 seconds
Total elapsed time = 10.74s
                                    | Objective Bounds
                 Current Node
   Nodes
                                                                        Work
 Expl Unexpl |
               Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node Time
                               61 - 2.0093e+08
76 - 2.0097e+08
     0
           0 2.0093e+08
                            0
     Ω
           0 2.0097e+08
                            Ω
                                                                           15s
                                           - 2.0097e+08
- 2.0097e+08
- 2.0097e+08
           0 2.0097e+08
     0
                            0
                                60
                                                                           27s
                                62
54
           0 2.0097e+08
                            0
                                                                           45s
                         0
           0 2.0097e+08
Н
                                 2.010117e+08 2.0097e+08 0.02%
           0
                                                                           63s
                                41 2.0101e+08 2.0097e+08 0.02%
41 2.0101e+08 2.0097e+08 0.02%
                                                                           76s
     Λ
           0 2 00970+08
                           0
           0 2.0097e+08
                                                                           90s
                           0
           0 2.0097e+08
                                41 2.0101e+08 2.0097e+08 0.02%
           0 2.0097e+08
                                41 2.0101e+08 2.0097e+08
                                                            0.02%
     0
           2 2.0097e+08
                            0
                                 41 2.0101e+08 2.0097e+08
                                                            0.02%
                                                                          128s
                                39 2.0101e+08 2.0097e+08 0.02% 11.0
           3 2.0097e+08
                            1
                                                                          134s
                                 37 2.0101e+08 2.0097e+08
           4 2.0097e+08
                                                            0.02%
                                                                          140s
                                                                    7.5
           5 2.0097e+08
                                 35 2.0101e+08 2.0097e+08
                                                            0.02%
                                                                    9.7
                                                                          145s
           5 2.0097e+08
                                 33 2.0101e+08 2.0097e+08
                                                            0.02%
           6 2.0097e+08
                            .5
                                 31 2.0101e+08 2.0097e+08
                                                            0.02%
                                                                     7.0
                                                                          157s
                                28 2.0101e+08 2.0097e+08 0.02% 21.3
           7 2.0097e+08
                           6
                                                                          167s
           8 2.0097e+08
                                26 2.0101e+08 2.0097e+08
                                                            0.02%
    1.0
                                                                   35.7
                                                                          175s
                                 24 2.0101e+08 2.0097e+08
          11 2.0097e+08
          13 2.0097e+08
                                22 2.0101e+08 2.0097e+08
                                                            0.02%
                                                                   41.6
                                                                          193s
    2.3
          17 2.0097e+08
                           10
                                20 2.0101e+08 2.0097e+08
                                                            0.02%
                                                                   46.2
                                                                          201s
                                18 2.0101e+08 2.0097e+08
    2.8
          20 2.0097e+08
                           11
                                                            0.02%
                                                                   41.0
                                                                          211s
          23 2.0097e+08
                                 17 2.0101e+08 2.0097e+08
    34
                                                            0.02%
                           12
                                                                    42.4
                                                                          222s
          30 2.0097e+08
                           13
                                 13 2.0101e+08 2.0097e+08
                                                                    52.8
    49
          37 2.0097e+08
                                 11 2.0101e+08 2.0097e+08
                                                            0.02%
                                                                   46.9
                                                                          245s
    57
          45 2 0097e+08
                           15
                                12 2.0101e+08 2.0097e+08
                                                            0.02%
                                                                   41.8
                                                                          2568
                                 9 2.0101e+08 2.0097e+08 0.02%
    6.5
          53 2.0101e+08
                           1.5
                                                                    37.6
                                                                          267s
          58 2.0101e+08
                                 11 2.0101e+08 2.0097e+08
                                                            0.02%
                                                                    35.8
                                                                          2778
    73
                           16
                                 11 2.0101e+08 2.0097e+08
          64 2.0101e+08
                                                            0.02%
    89
          68 2.0101e+08
                           17
                                10 2.0101e+08 2.0097e+08
                                                            0.02%
                                                                    32.4
                                                                          296s
                                  2.0101e+08 2.0097e+08
    97
          63
                cutoff
                           18
                                                            0.02%
                                                                    35 7
                                                                          3025
          61 2.0101e+08
                                 9 2.0101e+08 2.0097e+08
   105
                                                            0.02%
                                                                    35.2
                           18
                                                                          410s
  119
                                 2.010116e+08 2.0097e+08
          59
                           2.6
                                                            0.02%
                                                                    59.7
                                                                          411s
                                 2.010116e+08 2.0097e+08
                                                                    59.4
                                 2.0101e+08 2.0097e+08
   255
          8.4
                 cutoff
                           19
                                                            0.02%
                                                                    67 9
                                                                          4895
                                   2.0101e+08 2.0097e+08
   362
         118
                 cutoff
                           23
                                                            0.02%
                                                                    74 4
                                                                          490s
         103 2.0100e+08
                                17 2.0101e+08 2.0097e+08
   380
                                                            0.02%
                                                                    72.3
                                                                          556s
                           15
                                11 2.0101e+08 2.0097e+08
          99 2.0099e+08
                                                            0.02%
                                                                    88.6
                                                                          621s
         108
                 cutoff
                                    2.0101e+08 2.0098e+08
                                                            0.02%
   595
                                                                    97.6
                                                                          688s
         110 2.0099e+08
                                 9 2.0101e+08 2.0098e+08
                                                                          753s
   690
                                                            0.02%
                                                                    107
          88 2.0098e+08
                                22 2.0101e+08 2.0098e+08
   784
                           12
                                                            0.01%
                                                                     116
                                                                          814s
   907
         115 2.0098e+08
                           18
                                11 2.0101e+08 2.0098e+08 0.01%
                                                                          872s
                                                                     134
        102 2.0098e+08
                                 5 2.0101e+08 2.0098e+08
                                                            0.01%
                                                                     133
         97 2.0099e+uo - 65 cutoff 24 54 2.0101e+08 11 52 2.0100e+08 11 2 0100e+08 12
  1090
                                10 2.0101e+08 2.0098e+08 0.01%
                                                                     143
                                                                          990s
  1204
                                2.0101e+08 2.0098e+08 0.01%
24 2.0101e+08 2.0098e+08 0.01%
                                                                     148 10489
                                                                    154 1103s
  1308
                                17 2.0101e+08 2.0098e+08 0.01%
  1408
                                                                     162 1152s
                               12 2.0101e+08 2.0099e+08 0.01%
Cutting planes:
  Gomory: 32
  Implied bound: 28
  Flow cover: 282
 Flow path: 21
Explored 1604 nodes (333947 simplex iterations) in 1205.42 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Warning: max constraint violation (4.7640e+02) exceeds tolerance
(possibly due to large matrix coefficients)
Best objective 2.010116228750e+08, best bound 2.009921972609e+08, gap 0.0097%
Engine Solve time: 20 Minutes, 6 Seconds.
Solver could not find a feasible solution.
Solve time: 1 Hours, 40 Minutes, 0 Seconds.
```

Versão v3PmCOa-sI

---- Start Solve ---No uncertain input cells.
Updating Worksheet Values...
Using: Full Reparse.
Releasing Memory...
Releasing Memory...

Analyzing Solver Model...
Parsing started...

```
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05b - 20130712.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 42 Minutes, 54 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
Setup time: 28 Minutes, 27 Seconds.
Optimize a model with 64357 rows, 375118 columns and 1183425 nonzeros
Presolve removed 7453 rows and 23210 columns
Presolve time: 2.53s
Presolved: 56904 rows, 351908 columns, 1081362 nonzeros
Variable types: 345964 continuous, 5944 integer (5944 binary)
Root relaxation: objective 2.308563e+08, 63923 iterations, 5.58 seconds
Nodes | Current Node | Objective Bounds | Work
Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node Time
0 0 2.3086e+08 0 26 - 2.3086e+08 - - 10s
            0 2.3086e+08 0 26
                                                                       - 10s
- 10s
     0
           0
                                  2.308563e+08 2.3086e+08 0.00%
Explored 0 nodes (64001 simplex iterations) in 10.82 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 2.308563129297e+08, best bound 2.308563127649e+08, gap 0.0000%
Engine Solve time: 10,84 Seconds.
Solver found a solution.
                            All constraints and optimality conditions are satisfied.
Solve time: 1 Hours, 20 Minutes, 0 Seconds.
Versão v3F
 --- Start Solve ---
No uncertain input cells.
Using: Full Reparse.
Releasing Memory...
Releasing Memory...
Analyzing Solver Model...
Parsing started...
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05ba Final 02.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 40 Minutes, 13 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
Setup time: 27 Minutes, 9 Seconds.
Optimize a model with 64357 rows, 375118 columns and 1183428 nonzeros
Presolve removed 7391 rows and 23336 columns
Presolve time: 2.41s
Presolved: 56966 rows, 351782 columns, 1080357 nonzeros
Variable types: 345604 continuous, 6178 integer (6178 binary)
Root relaxation: objective 1.957606e+08, 69424 iterations, 5.01 seconds
Nodes | Current Node | Objective Bounds | Wort
                                                                           Work
 Nodes | Current Node | Objective Bounds | Work Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node Time
                                                                       - 9s
- 22s
           - 1.9576e+08
- 2.0584e+08
     0
     0
                                             - 2.0733e+08
- 2.1025e+08
            0 2.0733e+08
                            0 51
                                                                          - 45s
- 78s
     0
            0 2.1025e+08
                             0
                                 41
                                              - 2.1130e+08
            0 2.1130e+08
     0
                             0
                                 42
                                                                         - 109s
                                                                             140s
     0
            0 2.1154e+08
                             0
                                 44
                                              - 2.1154e+08
                                              - 2.1162e+08
     0
            0 2.1162e+08
                             0
                                 43
                                                                         - 167s
                             0
                                              - 2.1167e+08
            0 2.1167e+08
                                 44
                                                                         - 196s
            0 2.1177e+08
                                              - 2.1177e+08
                             0
                                  46
                            0
                                              - 2.1201e+08
- 2.1203e+08
            0 2.1201e+08
                                 46
                                                                         - 259s
     0
            0 2.1203e+08
                             0
                                 47
                                                                         - 287s
           0 2.1203e+08
0 2.1208e+08
                                              - 2.1208e+08
                             Ω
                                 49
                                                                         - 314s
     0
                                                                         - 391s
           2 2.1208erus
3 2.1261e+08 1 44
4 2.1499e+08 2 44
5 2.1534e+08 3 43
5 2.1536e+08 4 40
7 2.1537e+08 5 40
            2 2.1208e+08
                            Ō
                                 49
                                              - 2.1208e+08
                                              - 2.1261e+08
                                                                       852 425s
                                               - 2.1499e+08
                                                                       749 462s
                                              - 2.1520e+08
                                                                       500 497s
                                              - 2.1520e+08
                                                                       478 527s
                                               - 2.1520e+08
                                                                      386 569s
```

```
- 2.1539e+08
            10 2.1539e+08
                                      39
                                                                                 483 605s
     10
            14 2.1564e+08
                                       37
                                                     - 2.1557e+08
                                                                                  587
                                                                                        661s
                                                     - 2.1630e+08
            19 2.1639e+08
                                       35
                                                                                  564
                                                                                         740s
     14
                                                     - 2.1642e+08
            24 2.1818e+08
                                                     - 2.1695e+08
     25
            32 2.2022e+08
                                  9
                                       38
                                                    - 2.1695e+08

- 2.1695e+08

- 2.1695e+08

- 2.1733e+08

- 2.1779e+08

- 2.1779e+08

- 2.1790e+08
                                                                                  942
                                                                                         881s
                                       37
     33
            41 2 1985e+08
                                 10
                                                                                 1022
                                                                                         951s
                                       40
     41
            48 2.2259e+08
                                                                                 1124 1017s
                                 10
     49
            54 2.2016e+08
                                 11
                                       36
                                                                                 1047 1071s
            61 2.2122e+08
                                       35
                                                                                 1062 1130s
     65
            72 2 2077e+08
                                 12
                                       36
                                                                                 1103 1180s
     73
            75 2.2078e+08
                                13
                                       36
                                                                                 1097 1234s
                                                      - 2.1804e+08
     81
            81 2.2085e+08
                                       34
                                                                                 1102 1280s
                                 14
           2.2085e+08 15
101 2.2085e+08 16
85 2 2001
                                       33
                                                      - 2.1804e+08
                                                                                 1068 1316s
     97
                                       31
                                                      - 2.1804e+08
                                                                                 1041 1359s
            85 2.2086e+08 17
                                                      - 2.1861e+08
    105
                                       31
                                                                            - 1053 1948s
                                     31 - 2.1861e+08 - 1053 1948s
2.212838e+08 2.1861e+08 1.21% 776 1949s
2.212838e+08 2.1861e+08 1.21% 779 1949s
2.2128e+08 2.1961e+08 0.76% 451 2093s
39 2.2128e+08 2.2101e+08 0.12% 479 2150s
Η
   146
            52
                                 52
            52
    146
             3 cutoff 10
0 2.2101e+08 6
    456
    486
Cutting planes:
  Gomorv: 115
  Implied bound: 90
   Flow cover: 1435
  Flow path: 634
Explored 492 nodes (328054 simplex iterations) in 2150.41 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 2.211910749390e+08, best bound 2.211910749390e+08, gap 0.0%
Engine Solve time: 35 Minutes, 50 Seconds.
Solver found a solution.
                                All constraints and optimality conditions are satisfied.
Solve time: 1 Hours, 52 Minutes, 0 Seconds.
Versão v3PmFb
   -- Start Solve ---
No uncertain input cells.
Using: Full Reparse.
Analyzing Solver Model...
Parsing started...
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05bb - 20130716.xlsb] Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 39 Minutes, 35 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
Setup time: 27 Minutes, 23 Seconds.
Optimize a model with 64357 rows, 375118 columns and 1183428 nonzeros
Presolve removed 7387 rows and 22825 columns
Presolve time: 2.50s
Presolved: 56970 rows, 352293 columns, 1080678 nonzeros
Variable types: 346115 continuous, 6178 integer (6178 binary)
Root relaxation: objective 9.126273e+08, 62939 iterations, 2.43 seconds
 Nodes | Current Node | Objective Bounds | WOLK |
Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node Time |
0 0 9.1263e+08 0 70 - 9.1263e+08 - - 6s |
0 0 9.1287e+08 0 65 - 9.1287e+08 - - 10s |
0 0 9.1287e+08 0 65 - 9.12946e+08 - 30s
                                                   - 9.1287e+08
- 9.1296e+08
- 9.1311e+08
- 9.1318e+08
- 9.1319e+08
- 9.1320e+08
- 9.1320e+08
             0 9.1311e+08
                                      64
      0
             0 9.1318e+08
                                 0
                                       62
                                                                                          71s
                                 0
      0
             0 9.1319e+08
                                       59
                                                                                          84s
                                0
             0 9.1320e+08
                                       58
                                                                                          97s
      0
             0 9.1320e+08
                                 0
                                       58
                                                                                    - 110s
                                                     - 9.1320e+08
- 9.1320e+08
             0 9.1320e+08
                                 0
                                       58
                                                                                         123s
      Λ
             0 9.1320e+08
                                 0
                                       58
                                                                                         130s
                                                    - 9.1320e+08

- 9.1320e+08

- 9.1320e+08

- 9.1324e+08

- 9.1324e+08

- 9.1326e+08
                                 0
      0
             1 9.1320e+08
                                       58
                                                                                         164s
             2 9.1320e+08
                                       57
                                                                                 108 172s
             3 9.1324e+08
                                       55
                                                                                68.5
                                 3
             4 9.1324e+08
                                       54
                                                                                 55.7
                                                                                         185s
             5 9.1326e+08
                                 4
                                       52
                                                                                 53.0
                                                                                         193s
                                                    - 9.1327e+08
- 9.1327e+08
- 9.1329e+08
                                 .5
             5 9.1327e+08
                                       51
                                                                                 48.2
                                                                                         200s
              7 9.1328e+08
                                       49
                                                                                 44.8
                                                                                         210s
            10 9.1329e+08
                                       46
                                                                                 76.0
                                                                                         222s
            10 9.1329e+08 7 45
15 9.1329e+08 7 45
18 9.1330e+08 8 44
22 9.1338e+08 9 42
29 9.1332e+08 9 43
                                                    - 9.1329e+08
- 9.1330e+08
                                                                                143 234s
160 245s
```

- 9.1331e+08

- 9.1331e+08

142 257s

126 277s

11 1.5

19

```
35 9.1332e+08 10
                                   43
                                                 - 9.1331e+08
                                                                            128 300s
     39
           44 9.1333e+08
                              11
                                     42
                                                  - 9.1331e+08
                                                                             130
                                                                                   321s
                                                  - 9.1331e+08
           51 9.1333e+08
                                    39
                                                                             121
                                                                                   343s
            59 9.1333e+08
                                                  - 9.1331e+08
                                     35
                                                  - 9.1331e+08
     63
           63 9.1333e+08
                              14
                                     35
                                                                             113
                                                                                   383s
                                                  - 9.1331e+08
                                     35
     71
            71 9 13330+08
                               15
                                                                             105
                                                                                   4035
     79
                                     35
                                                  - 9.1331e+08
           82 9.1337e+08
                               16
                                                                             101
                                                                                   421s
           89 9.1337e+08
     87
                                     35
                                                  - 9.1331e+08
                               17
                                                                            98.9
                                                                                   438s
     9.5
            97 9.1338e+08
                                     34
                                                  - 9.1331e+08
                                                                            94.7
                                                                                   456s
         114 9.1338e+08 19
192 9.1338e+08 39
   103
                                    33
                                                  - 9.1331e+08
                                                                            91.9
                                                                                  6598
                                                   - 9.1331e+08
   212
                                    12
                                                                           67.9 839s
   224
                                     9.133770e+08 9.1331e+08 0.01% 68.7 839s
           59
Cutting planes:
  Gomory: 29
  Implied bound: 40
  MIR: 1
  Flow cover: 892
  Flow path: 201
Explored 364 nodes (100061 simplex iterations) in 839.72 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 9.133770372622e+08, best bound 9.133336181973e+08, gap 0.0048%
Engine Solve time: 13 Minutes, 59 Seconds.
Solver found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied. Solve time: 1 Hours, 29 Minutes, 0 Seconds.
Versão v3PmTb
--- Start Solve ---
No uncertain input cells.
Using: Full Reparse.
Analyzing Solver Model...
Parsing started...
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05bb - 20130716.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 39 Minutes, 44 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
Setup time: 28 Minutes, 15 Seconds.
Optimize a model with 64357 rows, 375118 columns and 1183428 nonzeros
Presolve removed 7387 rows and 22825 columns
Presolve time: 2.57s
Presolved: 56970 rows, 352293 columns, 1080678 nonzeros
Variable types: 346115 continuous, 6178 integer (6178 binary)
Root relaxation: objective 6.110679e+07, 56129 iterations, 2.31 seconds
 Nodes | Current Node | Objective Bounds | Work
Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node Time
                                   69 - 6.1107e+07
86 - 6.1125e+07
      Ω
             0 6.1107e+07
                              0
                                   69
                                                                                      7s
      Ω
             0 6.1125e+07
                                Ω
                                                                                     95
                                               - 6.1147e+07
- 6.3363e+07
- 6.3515e+07
- 6.3600e+07
- 6.3611e+07
      0
             0 6.1147e+07
                               0
                                   57
                                                                                    29s
             0 6.3363e+07
                                     49
                                                                                    50s
                               0
             0 6.3515e+07
                               0
                                    50
                               0
             0 6.3600e+07
                                     52
      Ω
             0 6 3611e+07
                                    48
                                                                                    865
                                                 - 6.3632e+07
- 6.3632e+07
                               0
      0
             0 6.3632e+07
                                    49
                                                                                    95s
                                                - 6.3632e+07
- 6.3638e+07
- 6.3638e+07
- 6.3653e+07
- 6.3653e+07
- 6.3680e+07
- 6.3680e+07
- 6.3680e+07
- 6.3680e+07
- 6.3680e+07
- 6.3695e+07
- 6.3718e+07
- 6.3718e+07
- 6.3718e+07
- 6.3718e+07
- 6.3718e+07
                                                                                   103s
             0 6.3632e+07
                               0
                                     51
             0 6.3638e+07
                               0
                                     52
      0
             2 6.3638e+07
                               0
                                     52
                                     52
                                                                           87.0 166s
             3 6.3653e+07
                               1
                               2
                                     48
             4 6.3719e+07
                                                                            144 173s
             5 6.3682e+07
                                     48
                                                                             110
                                                                                   183s
             6 6.4522e+07
                               3
                                     45
                                                                             170
                                                                                   188s
             7 6.3771e+07
                               3
                                     46
                                                                             143
                                                                                   194s
      6
             7 6.4404e+07
                               4
                                     4.5
                                                                             169
                                                                                   199s
            10 6.3803e+07
                                     45
                                                                             145
                                                                                   212s
            10 6.3803e+07
                                     42
                                                                             114
            14 6.3848e+07
                                     41
                                                                             130
                                                                                   235s
     1.5
            20 6.4142e+07
                                     47
                                                                             2.65
                                                                                   265s
            30 6.3886e+07
                                     44
     2.1
                                                                             253
                                                                                   285s
            37 6.3926e+07
                                    41
                                                                             378
                                                                                   302s
     37
            43 6.3929e+07
                                                                             319
                                                                                   320s
     45
           49 6.3931e+07 10
53 6.3931e+07 11
                                    40
                                                 - 6.3718e+07
- 6.3718e+07
                                                                             279
                                                                                   337s
```

39

38

- 6.3718e+07

- 6.3718e+07

62 6.3931e+07 12 71 6.3931e+07 13

243 349s

218 360s

196 370s

5.3

61

```
77
          76 6.3931e+07
                                 34
                                              - 6.3718e+07
                                                                      176
                                                                           3799
    85
          87 6.3931e+07
                           15
                                 32
                                              - 6.3718e+07
                                                                      215
                                                                           390s
    93
          95 6.3932e+07
                                 33
                                              - 6.3718e+07
                                                                      203
                                                                           403s
                            1.5
                                              - 6.3718e+07
   101
         130 6.3932e+07
                                                                      191
                                                                           561s
   219
         215 6.4872e+07
                           24
                                 26
                                              - 6 3718e+07
                                                                      200
                                                                           700s
                                              - 6.3718e+07
   346
         342 6 9329e+07
                           38
                                 20
                                                                      197
                                                                           8235
                                                             8.37%
                                  6.953554e+07 6.3718e+07
Н
   363
         324
                                                                      199
                                                                           823s
                                 12 6.9536e+07 6.3736e+07
         405
             6.5692e+07
                                                             8.34%
                                                                      203
                                                                           942s
Н
   486
                                  6.565301e+07 6.3736e+07
                                                                           943s
         251
                                                             2.92%
                                                                      199
                           55
   486
         251
                                  6.565301e+07 6.3736e+07
                                                             2 92%
                                                                      199
                                                                           9435
                                  6.539875e+07 6.3812e+07
   504
         201
                           52
                                                             2.43%
                                                                      195
                                                                           943s
Н
                                  6.539576e+07 6.3812e+07
   505
         201
                                                             2.42%
                                                                      195
                                                                           943s
                                  6.539322e+07 6.3812e+07
         201
                                                             2.42%
                                                                      195
                                                                           943s
   630
         199 6.3955e+07
                                 46 6.5393e+07 6.3812e+07
                                                             2.42%
                                                                      188 1044s
                            5
   701
         207 6.4122e+07
                            9
                                 41 6.5393e+07 6.3812e+07
                                                             2.42%
                                                                      183 1144s
         257 6.5388e+07
                                 37 6.5393e+07 6.3812e+07
   789
                            16
                                                             2.42%
                                                                      182 1245s
         280 6.4875e+07
                                 18 6.5393e+07 6.3879e+07
                                                             2.32%
                                                                      179
                                                                          1351s
   887
         319 6.4065e+07
                                 47 6.5393e+07 6.3879e+07
                                                                      182 1449s
   984
                                                             2.32%
  1066
         343 6.4295e+07
                           10
                                 37 6.5393e+07 6.3960e+07
                                                             2.19%
                                                                      180 1549s
  1166
         404 6.4572e+07
                           2.0
                                 26 6.5393e+07 6.3978e+07
                                                             2.16%
                                                                      177 1647s
         462 6.4235e+07
                            12
                                 40 6.5393e+07 6.3978e+07
                                                             2.16%
                                                                      170 1744s
  1270
  1373
         534 6.4999e+07
                            18
                                 34 6.5393e+07 6.3978e+07
                                                             2.16%
                                                                      167 1836s
         591 6.5194e+07
                                 26 6.5393e+07 6.3978e+07
                                                                      165 1928s
  1497
                           27
                                                             2.16%
  1590
         658 6.4886e+07
                           1.3
                                 52 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                             2.10%
                                                                      163 1949s
         659 6.4278e+07
                                134 6.5393e+07 6.4022e+07
  1592
                            6
                                                             2.10%
                                                                      163 1958s
         660 6.5242e+07
                                 53 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                                      162 1966s
  1593
                           18
                                                             2.10%
                                    6.5393e+07 6.4022e+07
         661
             6.4824e+07
                                 51
                                                             2.10%
                                                                      162
                                                                          1979s
  1595
                                                                      162 1994s
         661 6.4189e+07
                           18
                                 53 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                             2.10%
  1596
         662 6.4886e+07
                           1.3
                                 52 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                             2.10%
                                                                      162 2006s
                                 53 6.5393e+07 6.4022e+07
         663 6.5197e+07
  1597
                           2.2
                                                             2.10%
                                                                      162 2020s
         663 6.5147e+07
                                 51 6.5393e+07 6.4022e+07
  1598
                           2.7
                                                             2.10%
                                                                      162 2034s
         664 6.5153e+07
                           24
                                 55 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                                      162 2048s
  1600
         665 6.4424e+07
                           33
                                 52 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                             2.10%
                                                                      162 2062s
  1601
         665 6 5242e+07
                           1.8
                                 54 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                             2.10%
                                                                      162 20778
         666 6.4985e+07
                                 56 6.5393e+07 6.4022e+07
                           2.2
                                                             2.10%
                                                                      162 2092s
  1602
         667 6.4498e+07
                                 53 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                                      161 2107s
  1603
                           2.4
                                                             2.10%
                                 54 6.5393e+07 6.4022e+07
  1604
         667 6.5242e+07
                            18
                                                             2.10%
                                                                      161 2135s
  1605
         668 6.5039e+07
                           31
                                 55 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                             2.10%
                                                                      161 2149s
                                 56 6 5393e+07 6 4022e+07
  1606
         669 6 4498e+07
                           24
                                                             2.10%
                                                                      161 2160s
                                 55 6.5393e+07 6.4022e+07
         669 6.4302e+07
  1607
                           25
                                                             2.10%
                                                                      161 2170s
                                 55 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                                      161 2178s
  1608
         670 6.4461e+07
                           10
                                                             2.10%
         671 6.5197e+07
                                 55 6.5393e+07 6.4022e+07
  1609
                                                                         2184s
  1611
         674 6 4022e+07
                           14
                                 60 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                             2.10%
                                                                      196 2210s
         675 6 4022e+07
                                 53 6 5393e+07 6 4022e+07
                                                                      196 2220s
  1612
                           14
                                                             2 10%
         675 6.4022e+07
                                 57 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                             2.10%
                                                                      196 2231s
                           15
  1613
                                 56 6.5393e+07 6.4022e+07
  1614
         676 6.4022e+07
                            15
                                                             2.10%
                                                                      196 2243s
         677 6.4022e+07
                                 55 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                                      196 2251s
  1615
                           16
                                                             2.10%
  1616
         677 6.4022e+07
                                 56 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                             2.10%
                                                                      196 22628
                           16
                                 55 6.5393e+07 6.4022e+07
         676 6.4022e+07
  1617
                           17
                                                             2.10%
                                                                      196 2268s
  1618
         681 6.4105e+07
                            17
                                 54 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                             2.10%
                                                                      196 2283s
  1621
         680 6.4063e+07
                                 53 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                             2.10%
                                                                      197 2295s
         685 6.4214e+07
                                 55 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                                      197 2326s
  1624
                           18
                                                             2.10%
  1629
         686 6 40830+07
                           19
                                 55 6.5393e+07 6.4022e+07
                                                             2.10%
                                                                      198 23459
                                 51 6.5393e+07 6.4035e+07
         692 6.5011e+07
                                                             2.08%
                                                                      198 2379s
  1634
                           19
  1641
         694 6.4145e+07
                           20
                                 48 6.5393e+07 6.4040e+07
                                                             2.07%
                                                                      200 2406s
         701 6.4318e+07
                                 53 6.5393e+07 6.4040e+07
  1648
                           20
                                                             2.07%
                                                                      200 2433s
  1656
         700 6.4182e+07
                           21
                                 47 6.5393e+07 6.4040e+07
                                                             2.07%
                                                                      201 2457s
  1664
         707 6.4511e+07
                           2.1
                                 50 6.5393e+07 6.4040e+07
                                                             2.07%
                                                                      201 2482s
                                 49 6.5393e+07 6.4040e+07
  1672
         708 6.4368e+07
                           2.2
                                                             2.07%
                                                                      202 2508s
                                 48 6.5393e+07 6.4040e+07
         714 6.4233e+07
  1680
                                                             2.07%
                                                                      201
                                                                          2528s
         713 6.4240e+07
                                 43 6.5393e+07 6.4040e+07
                                                             2.07%
                                                                      202 2549s
  1688
                           23
  1696
         718 6 4654e+07
                           23
                                 49 6.5393e+07 6.4040e+07
                                                             2.07%
                                                                      202 2660s
                                 44 6.5393e+07 6.4040e+07
  1755
         744 6.4611e+07
                           2.8
                                                             2.07%
                                                                      202 2786s
                                 35 6.5393e+07 6.4040e+07
  1843
         779 6.4525e+07
                           35
                                                             2.07%
                                                                      201 2911s
         831 6.4597e+07
                                 23 6.5393e+07 6.4040e+07
                                                             2.07%
                                                                      199
                                                                          3036s
 2043
         732
                            67
                                  6.484458e+07 6.4040e+07
                                                             1.24%
                                                                      199 3037s
  2096
         710 6.4806e+07
                           53
                                 17 6.4845e+07 6.4080e+07
                                                             1.18%
                                                                      198 31189
         715 6.4303e+07
                                 46 6.4845e+07 6.4146e+07
  2141
                            19
                                                             1.08%
                                                                      199 3223s
         720 6.4474e+07
                                 44 6.4845e+07 6.4146e+07
                                                             1.08%
                                                                      198 3302s
  2204
                           24
                                 40 6.4845e+07 6.4193e+07
                                                             1.01%
  2240
         727 6.4523e+07
                            26
                                                                      197
                                                                          3412s
  2311
         746 6.4626e+07
                           36
                                 26 6.4845e+07 6.4199e+07
                                                             1.00%
                                                                      195 3521s
  2380
         752 6 4329e+07
                           21
                                 44 6 4845e+07 6 4199e+07
                                                             1.00%
                                                                      195 3641s
         768 6.4486e+07
                                 46 6.4845e+07 6.4199e+07
  2450
                           24
                                                             1.00%
                                                                      194 3724s
Н
 2465
                                  6.476066e+07 6.4199e+07
                                                             0.87%
                                                                      193 3724s
         678
                                  6.476066e+07 6.4199e+07
         678
                                                             0.87%
                                                                      193 3724s
  2505
         668 6.4525e+07
                                 45 6.4761e+07 6.4199e+07
                                                             0.87%
                                                                      192 3836s
                                    6 4761e+07 6 4219e+07
  2575
         667
                 cutoff
                           32
                                                             0 84%
                                                                      191 39588
         653 6.4392e+07
                                 26
                                    6.4761e+07 6.4219e+07
  2651
                                                             0.84%
                                                                      190 4065s
                            33
         668 infeasible
                            51
                                    6.4761e+07 6.4236e+07
                                                             0.81%
                                                                      190 4174s
  2837
         665 6.4462e+07
                                    6.4761e+07 6.4263e+07
                                                             0.77%
                                                                      206 4276s
  2895
         669 6.4470e+07
                                 49 6.4761e+07 6.4284e+07
                                                             0.74%
                                                                      206 4366s
                            26
  2951
         664 6.4549e+07
                           29
                                 40 6.4761e+07 6.4284e+07
                                                             0.74%
                                                                      205 4491s
         658 6.4593e+07
                                 28 6.4761e+07 6.4284e+07
                                                                      203 4602s
  3046
                            40
                                                             0.74%
  3150
         667
             6.4564e+07
                                 14 6.4761e+07 6.4286e+07
                                                             0.73%
                                                                      202 4710s
 3163
         511
                            60
                                  6.465836e+07 6.4286e+07
                                                             0.58%
                                                                      201 4710s
H 3164
         480
                                  6.465813e+07 6.4286e+07
                                                             0.58%
                                                                      201 4710s
                           60
                                  6.465813e+07 6.4286e+07
  3164
         480
                                                             0.58%
                                                                      201 4710s
         488 6.4488e+07
                                 28 6.4658e+07 6.4286e+07
                                                             0.58%
                                                                      199 4797s
```

```
3322
         489 6.4343e+07
                                16 6.4658e+07 6.4286e+07 0.58%
                                                                    198 49028
                                 7 6.4658e+07 6.4286e+07
  3463
         532 6.4615e+07
                           53
                                                           0.58%
                                                                    199 5009s
  3507
         546 6.4473e+07
                                 35 6.4658e+07 6.4286e+07
                                                            0.58%
                                                                    199 5010s
                                 53 6.4658e+07 6.4339e+07
  3585
         559 6.4511e+07
                                                                     199
  3655
         568 6.4608e+07
                           26
                                53 6.4658e+07 6.4344e+07
                                                            0.49%
                                                                    200 52269
                                 47 6 4658e+07 6 4347e+07
  3734
         594 6 4462e+07
                           25
                                                            0 48%
                                                                    198 5334s
         605 6.4580e+07
                                 44 6.4658e+07 6.4349e+07
                                                                    197
                                                                        5445s
  3825
                           28
                                                            0.48%
                                    6.4658e+07 6.4349e+07
         615
                cutoff
                                                            0.48%
                                                                    198 5569s
                                                                    196 5703s
         642 6.4402e+07
                                 24 6.4658e+07 6.4370e+07
  4010
                                                            0.44%
  4128
         663 6 4487e+07
                           40
                                23 6.4658e+07 6.4386e+07
                                                            0.42%
                                                                    195 57888
                                24 6.4658e+07 6.4386e+07
  4185
         662 6.4434e+07
                           39
                                                            0.42%
                                                                    195 5897s
         673 6.4528e+07
                                26 6.4658e+07 6.4390e+07
                           36
                                                                    196 6014s
  4261
                                                            0.41%
                                 50 6.4658e+07 6.4393e+07
         682 6.4411e+07
                                                            0.41%
                                                                    196 6108s
                                                            0.41%
  4399
         696 6.4411e+07
                                 48 6.4658e+07 6.4393e+07
                                                                    197 6226s
                           25
                                                                    197 6332s
  4487
         705
                cutoff
                           28
                                   6.4658e+07 6.4402e+07
                                                            0.40%
         729 6.4486e+07
                                 38 6.4658e+07 6.4402e+07
  4629
                           32
                                                            0.40%
                                                                    195 6455s
  4743
         763 6.4569e+07
                                28 6.4658e+07 6.4411e+07
                                                                    196 6559s
                           38
                                                            0.38%
         770 6.4463e+07
                                24 6.4658e+07 6.4413e+07
                                                                    196 6560s
  4780
                                                            0.38%
  4840
         775 6.4466e+07
                           37
                                18 6.4658e+07 6.4414e+07
                                                            0.38%
                                                                    196 66628
  4931
         785 cutoff
807 6.4584e+07
                           4.3
                                    6.4658e+07 6.4424e+07
                                                            0.36%
                                                                    195 67898
                                 11 6.4658e+07 6.4428e+07
  5077
                                                            0.36%
                                                                    196 6912s
                           46
  5219
         842 6.4491e+07
                           43
                                 14 6.4658e+07 6.4435e+07
                                                            0.34%
                                                                    196 6998s
         844 6.4526e+07
                                 32 6.4658e+07 6.4436e+07
                                                                    196 7105s
  5307
                                                            0.34%
  5397
         851 6.4450e+07
                           29
                                 39 6.4658e+07 6.4438e+07
                                                            0.34%
                                                                    197 7194s
                                33 6.4658e+07 6.4443e+07
                                                                    197 7307s
  5476
         843 6.4575e+07
                           34
                                                            0.33%
         884 infeasible
                           49
                                   6.4658e+07 6.4445e+07
                                                                    206 7400s
  5622
                                                            0.33%
                                    6.4658e+07 6.4448e+07
                 cutoff
                                                                    207 7517s
  5854
         901
                 cutoff
                           45
                                    6.4658e+07 6.4449e+07
                                                            0.32%
                                                                    207 7629s
  5986
         930
                 cutoff
                           42
                                    6.4658e+07 6.4450e+07
                                                            0.32%
                                                                    209 77225
         957 6.4623e+07
                                31 6.4658e+07 6.4452e+07
  6138
                           44
                                                            0.32%
                                                                    209 7819s
         957 6.4651e+07
                                22 6.4658e+07 6.4470e+07
  6290
                           43
                                                            0.29%
                                                                    210
                                                                        7920s
         979 6.4593e+07
                                 45 6.4658e+07 6.4471e+07
  6415
                                                            0.29%
                                                                    210 8022s
  6518
         986 6.4557e+07
                                27 6.4658e+07 6.4473e+07
                                                            0.29%
                                                                    211 8100s
                           40
                                   6.4658e+07 6.4476e+07
  6578
         989
                 cutoff
                           36
                                                            0 28%
                                                                    211 81939
                                    6.4658e+07 6.4479e+07
  6699
         989
                 cutoff
                           39
                                                            0.28%
                                                                    211 8306s
                                    6.4658e+07 6.4481e+07
                                                            0.27%
         996
  6820
                 cutoff
                           42
                                                                    211 8402s
        1005 6.4627e+07
                                24 6.4658e+07 6.4491e+07
                                                            0.26%
                                                                    211
                                                                        8504s
  7001
        1007 6.4511e+07
                           28
                                41 6.4658e+07 6.4491e+07
                                                            0.26%
                                                                    211 8618s
                                38 6 4658e+07 6 4491e+07
  7102
        1005 6 4609e+07
                           32
                                                            0 26%
                                                                    210 87339
        1014 6.4553e+07
                                49 6.4658e+07 6.4497e+07
                           27
                                                            0.25%
                                                                    211 8838s
  7251
                                   6.4658e+07 6.4498e+07
  7365
        1023
                cutoff
                           31
                                                            0.25%
                                                                    212 8929s
        1027 6.4635e+07
                                   6.4658e+07 6.4501e+07
  7419
                                                                    213
                                                                        8930s
  7512
        1015 6.4645e+07
                           51
                                 7 6.4658e+07 6.4503e+07
                                                            0.24%
                                                                    213 9021s
        1022 6 4597e+07
                                23 6 4658e+07 6 4503e+07
  7664
                           40
                                                            0 24%
                                                                    213 90999
                                24 6.4658e+07 6.4505e+07
        1037 6.4513e+07
                                                                    215 9100s
  7726
                           37
                                                            0.24%
                                 26 6.4658e+07 6.4506e+07
        1024 6.4643e+07
                                                            0.24%
                                                                    215 9191s
        1018 6.4512e+07
                                27 6.4658e+07 6.4510e+07
                                                                    216 9296s
  7885
                           39
                                                            0.23%
  2000
        1018 infeasible
                           35
                                    6.4658e+07 6.4512e+07
                                                            0.23%
                                                                    216 9398s
                                    6.4658e+07 6.4513e+07
  8115
         994
                cutoff
                           36
                                                            0.22%
                                                                    217 9509s
  8276
         982 6.4646e+07
                           41
                                20 6.4658e+07 6.4523e+07
                                                            0.21%
                                                                    218 9618s
                                24 6.4658e+07 6.4525e+07
         969 6.4628e+07
                                                            0.21%
                                                                    219 9693s
  8512
         955 6.4563e+07
                                24 6.4658e+07 6.4530e+07
                                                                    221 9792s
                           41
                                                            0.20%
  8618
         935
                 cutoff
                           33
                                   6.4658e+07 6.4534e+07
                                                            0.19%
                                                                    221 98949
                                    6.4658e+07 6.4535e+07
         945
                                                            0.19%
                                                                    222 9895s
  8712
                 cutoff
                           51
         918 infeasible
                           41
                                    6.4658e+07 6.4536e+07
                                                            0.19%
                                                                    222 9969s
         891 6.4646e+07
                                15 6.4658e+07 6.4538e+07
  8862
                                                            0.19%
                                                                    223 100658
  8985
         867 infeasible
                           47
                                    6.4658e+07 6.4546e+07
                                                            0.17%
                                                                    224 10150s
                                   6.4658e+07 6.4552e+07
  9130
         843 cutoff
                           41
                                                            0.16%
                                                                    225 10234s
                                    6.4658e+07 6.4554e+07
  9240
         816
                 cutoff
                           34
                                                            0.16%
                                                                    226 10327s
         787 6.4560e+07
                                31 6.4658e+07 6.4555e+07
                                                            0.16%
                                                                     232 10431s
  9504
         767 infeasible
                                    6.4658e+07 6.4565e+07
                                                            0.14%
                                                                    234 10538s
                           49
  9630
         742
                cutoff
                           43
                                    6.4658e+07 6.4565e+07
                                                            0.14%
                                                                    235 106228
         713 6.4629e+07
                                27 6.4658e+07 6.4569e+07
  9739
                           3.5
                                                            0.14%
                                                                    236 10706s
         686 6.4578e+07
                                30 6.4658e+07 6.4571e+07
                                                                    236 10773s
  9847
                           35
                                                            0.13%
         647 6.4636e+07
                                 22 6.4658e+07 6.4577e+07
                                                                    237 10861s
 10061
         608 6.4617e+07
                                22 6.4658e+07 6.4586e+07
                                                            0.11%
                                                                    237 10945s
                           45
 10202
         553 6 4638e+07
                           50
                                19 6.4658e+07 6.4592e+07
                                                            0.10%
                                                                    238 11022s
                                 43 6.4658e+07 6.4595e+07
         510 6.4615e+07
                           2.0
 10351
                                                            0.10%
                                                                    241 11108s
                                23 6.4658e+07 6.4600e+07
 10478
         470 6.4655e+07
                                                            0.09%
                                                                    242 11201s
                           36
                                    6.4658e+07 6.4605e+07
 10586
         427
                 cutoff
                                                            0.08%
                                                                    243 11295s
         378 6 4628e+07
                                19 6.4658e+07 6.4606e+07
 10709
                           39
                                                            0.08%
                                                                    245 113869
 10860
         330 6 4626e+07
                           43
                                19 6.4658e+07 6.4616e+07
                                                            0.06%
                                                                    247 11464s
                                20 6.4658e+07 6.4618e+07
 10967
         275 6.4618e+07
                           46
                                                            0.06%
                                                                    250 11554s
         216 6.4634e+07
                                18 6.4658e+07 6.4626e+07
                                                                    251 11644s
 11107
                                                            0.05%
         216 6.4657e+07
                                 1 6.4658e+07 6.4626e+07
                                                                    252 11645s
*11177
         207
                                 6.465752e+07 6.4626e+07
                                                            0.05%
                                                                    252 11645s
         150 6.4628e+07
                                12 6 4658e+07 6 4628e+07
11258
                           47
                                                            0.05%
                                                                    253 117228
               cutoff
                                   6.4658e+07 6.4637e+07
 11385
          73
                           29
                                                           0.03%
                                                                    255 11790s
           0 infeasible
 11512
                                    6.4658e+07 6.4646e+07
                                                           0.02%
                                                                    258 11841s
Cutting planes:
  Gomory: 142
  Implied bound: 35
  Flow cover: 484
  Flow path: 6
```

Explored 11606 nodes (3057906 simplex iterations) in 11841.80 seconds Thread count was 8 (of 8 available processors) Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)

Best objective 6.465742087322e+07, best bound 6.465742087322e+07, gap 0.0% Engine Solve time: 3 Hours, 17 Minutes, 0 Seconds.

 $\underline{\text{Solver}}$ found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied. Solve time: 4 Hours, 34 Minutes, 0 Seconds.

Versão v2PmF

```
- Start Solve -
No uncertain input cells.
Using: Full Reparse.
Analyzing Solver Model...
Parsing started...
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05cb - 20130715.xlsb] Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 18 Minutes, 44 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
Setup time: 12 Minutes, 19 Seconds.
Optimize a model with 42779 rows, 250037 columns and 784740 nonzeros
Presolve removed 5765 rows and 19764 columns
Presolve time: 1.38s
Presolved: 37014 rows, 230273 columns, 694719 nonzeros
Variable types: 226408 continuous, 3865 integer (3865 binary)
Root relaxation: objective 8.068472e+17, 42843 iterations, 2.00 seconds
8.068473e+17 8.0685e+17 0.00%
Explored 0 nodes (42843 simplex iterations) in 5.07 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 8.068472503442e+17, best bound 8.068472416609e+17, gap 0.0000%
Engine Solve time: 5,09 Seconds.
```

Solver found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied. Solve time: $38 \ \text{Minutes}$, $37 \ \text{Seconds}$.

Versão v2PmF-sI

```
---- Start Solve --
No uncertain input cells.
Using: Full Reparse.
Analyzing Solver Model...
Parsing started...
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05cb - 20130715.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 18 Minutes, 45 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
Setup time: 12 Minutes, 19 Seconds.
Optimize a model with 42779 rows, 250037 columns and 784740 nonzeros
Presolve removed 7332 rows and 21351 columns
Presolve time: 1.48s
Presolved: 35447 rows, 228686 columns, 652155 nonzeros
Variable types: 225558 continuous, 3128 integer (3128 binary)
Root relaxation: objective 8.524077e+08, 41681 iterations, 1.70 seconds
Explored 0 nodes (41759 simplex iterations) in 4.25 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
```

Best objective 8.524077426370e+08, best bound 8.524077425456e+08, gap 0.0000%

Engine Solve time: 4,28 Seconds.

Solver found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied. Solve time: 38 Minutes, 38 Seconds.

Versão v2PmT

```
--- Start Solve --
No uncertain input cells.
Using: Full Reparse.
Releasing Memory...
Releasing Memory...
Analyzing Solver Model...
Parsing started...
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05cb - MinTempo s-Invest - 20130715.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 18 Minutes, 32 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
Setup time: 12 Minutes, 9 Seconds.
Optimize a model with 42779 rows, 250037 columns and 784740 nonzeros Presolve removed 5765 rows and 19764 columns
Presolve time: 1.36s
Presolved: 37014 rows, 230273 columns, 694719 nonzeros
Variable types: 226408 continuous, 3865 integer (3865 binary)
Root relaxation: objective 5.382360e+07, 36858 iterations, 1.28 seconds
Nodes | Current Node | Objective Bounds | Work
Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node
            Work
                                                         BestBd Gap | It/Node Time
      0
Н
     Λ
      0
      0
      0
Н
    0
      0
Cutting planes:
  Gomory: 5
  Implied bound: 2
  Flow cover: 743
  Flow path: 2
Explored 0 nodes (56716 simplex iterations) in 40.68 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 5.687550961717e+07, best bound 5.687550961717e+07, gap 0.0000%
Engine Solve time: 40,70 Seconds.
Solver found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied. Solve time: 38 Minutes, 48 Seconds.
```

Versão v2PmT-sI

```
-- Start Solve -
No uncertain input cells.
Using: Full Reparse.
Releasing Memory...
Releasing Memory...
Analyzing Solver Model...
Parsing started...
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05cb - MinFrete s-Invest - 20130715.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 18 Minutes, 46 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
```

```
Optimize a model with 42779 rows, 250037 columns and 784740 nonzeros
Presolve removed 7332 rows and 21351 columns
Presolve time: 1.48s
Presolved: 35447 rows, 228686 columns, 652155 nonzeros
Variable types: 225558 continuous, 3128 integer (3128 binary)
Root relaxation: objective 6.611574e+07, 36590 iterations, 1.47 seconds
Nodes | Current Node | Objective Bounds | Work
Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node Time
             0 6.6116e+07 0 31
            0 6.6116e+07 0 31 6.946888e+07 6.6116e+07 4.83% - 30 6.6193e+07 0 31 6.9468e+07 6.6193e+07 4.72% - 5s 0 6.6298e+07 0 30 6.9468e+07 6.6298e+07 4.56% - 12s 0 6.6893e+07 0 29 6.9468e+07 6.6893e+07 3.71% - 20s 0 6.6944e+07 0 30 6.9468e+07 6.6944e+07 3.63% - 25s 0 6.7030e+07 0 30 6.9468e+07 6.7030e+07 3.51% - 29s 0 6.925930e+07 6.7030e+07 3.22% - 37s 6.925930e+07 6.7030e+07 3.22% - 40s
                                                    - 6.6116e+07
                                                                               - 3s
      0
      0
      Λ
      0
Н
      0
      0
Cutting planes:
  Gomory: 9
Explored O nodes (56107 simplex iterations) in 40.92 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 6.925929803606e+07, best bound 6.925929803606e+07, gap 0.0%
Engine Solve time: 40,92 Seconds.
Solver found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied. Solve time: 39 Minutes, 18 Seconds.
Versão v2PmCO
  --- Start Solve
No uncertain input cells.
Using: Full Reparse.
Releasing Memory...
Releasing Memory...
Analyzing Solver Model...
Parsing started...
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05cb - MinTempo - 20130715.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 18 Minutes, 29 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
Setup time: 12 Minutes, 8 Seconds.
Optimize a model with 42779 rows, 250037 columns and 784740 nonzeros
Presolve removed 5765 rows and 19764 columns
Presolve time: 1.39s
Presolved: 37014 rows, 230273 columns, 694719 nonzeros
Variable types: 226408 continuous, 3865 integer (3865 binary)
Root relaxation: objective 1.789885e+08, 40303 iterations, 2.00 seconds
1.789885e+08 1.7899e+08 0.00%
Explored 0 nodes (40374 simplex iterations) in 5.08 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 1.789885472755e+08, best bound 1.789885404311e+08, gap 0.0000%
Engine Solve time: 5,11 Seconds.
Solver found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied. Solve time: 38 Minutes, 9 Seconds.
```

Versão v2PmCO-sI

Setup time: 12 Minutes, 21 Seconds.

---- Start Solve ----No uncertain input cells. Using: Full Reparse. Releasing Memory...

```
Releasing Memory...
Analyzing Solver Model...
Parsing started...
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05cb - MinCO2 - 20130715.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 18 Minutes, 31 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
Setup time: 12 Minutes, 9 Seconds.
Optimize a model with 42779 rows, 250037 columns and 784740 nonzeros
Presolve removed 7332 rows and 21351 columns
Presolve time: 1.48s
Presolved: 35447 rows, 228686 columns, 652155 nonzeros
Variable types: 225558 continuous, 3128 integer (3128 binary)
Root relaxation: objective 2.062223e+08, 40610 iterations, 1.73 seconds
 Explored 0 nodes (40694 simplex iterations) in 4.30 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 2.062223484056e+08, best bound 2.062223483103e+08, gap 0.0000%
Engine Solve time: 4.34 Seconds.
\underline{\text{Solver found a solution.}} All constraints and optimality conditions are satisfied. Solve time: 38 Minutes, 10 Seconds.
Versão v2Fc1
  --- Start Solve -
No uncertain input cells.
Using: Full Reparse.
Analyzing Solver Model...
Parsing started...
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MTP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05cb - 20130716.xlsb]Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 18 Minutes, 19 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
Setup time: 12 Minutes, 3 Seconds.
Optimize a model with 42779 rows, 250037 columns and 784740 nonzeros
Presolve removed 5764 rows and 19764 columns
Presolve time: 1.34s
Presolved: 37015 rows, 230273 columns, 694836 nonzeros
Variable types: 226408 continuous, 3865 integer (3865 binary)
Root relaxation: objective 1.814130e+08, 43734 iterations, 1.67 seconds
                    Current Node | Objective Bounds
    Nodes |
                                                                                Work
 - 1.8916e+08

- 1.9167e+08

- 1.9363e+08

- 1.9393e+08

- 1.9413e+08
            0 1.9167e+08
                                    78
                                                                               - 26s
                                                                              - 53s
- 69s
                            Ö
      0
            0 1.9363e+08
                                   67
      Λ
            0 1.9393e+08
                              0
                                   64
      0
            0 1.9413e+08
                              0
                                    69
                                                                                  83s
                                                  - 1.9425e+08
            0 1.9425e+08
                              0
                                   65
                                                                                   97s
                                                  - 1.9429e+08
            0 1.9429e+08
                                    72
                                                 - 1.9430e+08
- 1.9430e+08
            0 1.9430e+08 0 66
0 1.9430e+08 0 66
      0
                                                                                  140s
            0 1.9430e+08 0 66
                                                   - 1.9430e+08
      0
                                                                                  154s
                                     3.437239e+08 1.9430e+08 43.5%
Н

    3.4372e+08
    1.9430e+08
    43.5%
    - 1948

    2 1.9430e+08
    0
    66 3.4372e+08 1.9430e+08
    43.5%
    - 1948

    3 1.9497e+08
    1
    68 3.4372e+08 1.9497e+08
    43.3%
    120
    211s

    4 1.9551e+08
    2
    66 3.4372e+08 1.9551e+08
    43.1%
    186
    225s

    5 1.9573e+08
    3
    61 3.4372e+08 1.9573e+08
    43.1%
    149
    238s

    5 1.9858e+08
    4
    62 3.4372e+08 1.9764e+08
    42.5%
    223
    250s
```

```
8 1.9804e+08
                               60 3.4372e+08 1.9781e+08
                                                          42.4%
                                                                   202
                                                                         270s
                               58 3.4372e+08 1.9781e+08
         9 2.0123e+08
                          5
                                                           42.4%
                                                                   225
                                                                         286s
        13 1.9942e+08
                               57 3.4372e+08 1.9781e+08
                                                           42.4%
                                                                   212
                                                                         306s
                                 3.4372e+08 1.9781e+08
        15 2.0127e+08
  15
        20 2.0448e+08
                          6
                               64 3.4372e+08 1.9781e+08
                                                           42.4%
                                                                   329
                                                                         3499
  19
        21 2 0151e+08
                               50 3 4372e+08 1 9932e+08
                                                           42 0%
                                                                   325
                                                                         3709
                                 3.4372e+08 1.9932e+08
  23
        29 2.0189e+08
                               49
                                                                   321
                                                                         403s
                                                           42.0%
  30
        36 2.0207e+08
                               51 3.4372e+08 1.9954e+08
                                                           41.9%
                                                                   372
                                                                         448s
                                  3.4372e+08 1.9954e+08
  38
        42 2.0286e+08
                                                                         481s
  46
        53 2.0231e+08
                         10
                               51 3.4372e+08 1.9954e+08
                                                           41.9%
                                                                   380
                                                                         521s
                               53 3.4372e+08 1.9954e+08
  54
        60 2.0265e+08
                         11
                                                           41.9%
                                                                   389
                                                                         558s
        65 2.0278e+08
                               48 3.4372e+08 1.9954e+08
  62
                         12
                                                                   386
                                                                         590s
                                                           41.9%
  70
           2.0285e+08
                                 3.4372e+08 1.9954e+08
                                                           41.9%
        68
                                                                   356
                                                                         619s
  71
        70 2.0629e+08
                               52 3.4372e+08 1.9954e+08
                                                                   352
                                                                         620s
                         10
                                                           41.9%
                                                                         6485
  7.8
        78 2 02920+08
                         14
                               42 3.4372e+08 1.9954e+08
                                                           41.9%
                                                                   327
                               39 3.4372e+08 1.9954e+08
  86
        89 2.0316e+08
                         15
                                                                         677s
                                                           41.9%
                                                                   313
  94
        94 2.0318e+08
                               38 3.4372e+08 1.9954e+08
                                                                         703s
                         16
                                                           41.9%
                                                                   318
                               35 3.4372e+08 2.0212e+08
                                                                   308 1028s
 102
        98 2.0318e+08
                         17
                                                           41.2%
                                                                       1029s
 132
        65
                          40
                                2.056274e+08 2.0212e+08
                                                           1.70%
                                                                   251
 330
        79
                         45
                                2.055599e+08 2.0221e+08
                                                          1.63%
                                                                   168 1029s
        72
                                  2.0556e+08 2.0221e+08
 465
               cutoff
                                                                   245 1141s
                                                           1.63%
               cutoff
                                  2.0556e+08 2.0257e+08
                                                           1.46%
                                                                   222 1252s
 544
       141 2.0258e+08
                               50 2.0556e+08 2.0258e+08
                                                                   194 1347s
 708
                         12
                                                           1.45%
 827
       159 2.0286e+08
                         16
                               46 2.0556e+08 2.0286e+08
                                                           1.31%
                                                                   176 1447s
                               36 2.0556e+08 2.0305e+08
 990
       212 2.0413e+08
                         2.3
                                                           1.22%
                                                                   162 1539s
1100
               cutoff
                                  2.0556e+08 2.0323e+08
                                                           1.13%
                                                                   155 1629s
       248
                         38
       282 2.0336e+08
                               35 2.0556e+08 2.0336e+08
                                                                   147
                                                                       1713s
1299
       310 2.0542e+08
                         44
                               5
                                 2.0556e+08 2.0350e+08
                                                           1.00%
                                                                   143 1800s
1435
       340
              cutoff
                         37
                                  2.0556e+08 2.0364e+08
                                                           0.93%
                                                                   139 1878s
       359 2.0402e+08
                               14 2.0556e+08 2.0371e+08
1611
                         34
                                                          0.90%
                                                                   135 1944s
                               66 2.0556e+08 2.0371e+08
1789
       414 2.0480e+08
                         32
                                                          0.90%
                                                                   131 1956s
       415 2.0484e+08
                              132 2.0556e+08 2.0371e+08
                         28
                                                           0.90%
                                                                   131 1962s
1792
       416 2.0389e+08
                               97 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                          0.90%
                                                                   131 1974s
1793
       417 2.0516e+08
                         36
                               85 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                          0.90%
                                                                   131 2005s
                               80 2.0556e+08 2.0371e+08
       417 2.0463e+08
                                                           0.90%
                                                                   131 2023s
1794
                         37
1795
           2.0389e+08
                               76 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                                   131 2042s
       418
                         16
                                                           0.90%
                                 2.0556e+08 2.0371e+08
       419 2.0438e+08
                               78
                                                           0.90%
                                                                   131 2062s
1797
       419 2.0419e+08
                         18
                               72 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                          0.90%
                                                                   131 2085s
                               69 2.0556e+08 2.0371e+08
1798
       420 2 0542e+08
                         32
                                                          0.90%
                                                                   131 2101s
                               68 2.0556e+08 2.0371e+08
       421 2.0480e+08
1799
                         32
                                                          0.90%
                                                                   131 2109s
1800
       421 2.0517e+08
                         39
                               68 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                           0.90%
                                                                   131 2117s
           2.0371e+08
                                 2.0556e+08 2.0371e+08
                         10
                               67
                                                           0.90%
                                                                       2165s
1803
       424 2.0371e+08
                         11
                               66 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                          0.90%
                                                                   157 21858
                               65 2.0556e+08 2.0371e+08
       424 2 0371e+08
                                                                   157 22069
1804
                         11
                                                          0 90%
                               66 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                                   158 2227s
       425 2.0371e+08
1805
                         12
                                                           0.90%
           2.0371e+08
                               65 2.0556e+08 2.0371e+08
1806
       424
                         12
                                                           0.90%
                                                                   158 2246s
       425 2.0371e+08
                               62 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                                   158 2263s
1807
                         13
                                                           0.90%
1808
       425 2.0506e+08
                         13
                               63 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                           0.90%
                                                                   158 2280s
       424 2.0371e+08
                               69 2.0556e+08 2.0371e+08
1809
                         14
                                                           0.90%
                                                                   158 2300s
1810
       425 2.0371e+08
                         14
                               63 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                          0.90%
                                                                   158 2323s
       425 2.0371e+08
                         15
                               62 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                           0.90%
                                                                   158 2345s
       426 2.0371e+08
                               60 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                          0.90%
                                                                   158 2373s
1814
                         16
1817
       424 2.0481e+08
                         16
                               79 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                          0.90%
                                                                   158 23979
                               61 2.0556e+08 2.0371e+08
       422 2.0371e+08
                         17
                                                                   159 2424s
1821
                                                           0.90%
1824
       423 2.0371e+08
                         18
                               61 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                           0.90%
                                                                   159 2456s
       421 2.0371e+08
                               56 2.0556e+08 2.0371e+08
1829
                                                           0.90%
                                                                   160 2484s
                                                                   160 2513s
1833
       420 2.0371e+08
                         19
                               56 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                          0.90%
1837
       419 2.0371e+08
                         19
                               59 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                          0.90%
                                                                   160 2546s
       420 2.0371e+08
                               48 2.0556e+08 2.0371e+08
1842
                         2.0
                                                          0.90%
                                                                   161 2586s
       418 2.0371e+08
                               48 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                           0.90%
                                                                    161 2615s
       419 2.0425e+08
                         21
                               52 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                           0.90%
                                                                   161 2645s
1854
1860
       414 2.0371e+08
                         22
                               45 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                           0.90%
                                                                   161 2670s
                               46 2.0556e+08 2.0371e+08
1866
       413 2.0509e+08
                         2.2
                                                          0.90%
                                                                   162 2707s
                               41 2.0556e+08 2.0371e+08
       412 2.0423e+08
                                                                   162 2744s
1874
                         23
                                                          0.90%
       409 2.0371e+08
                         23
                               41 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                                   162 2778s
1890
       406 2.0371e+08
                               40 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                           0.90%
                                                                   162 2884s
                         24
1920
       403 2.0371e+08
                         27
                               37 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                          0.90%
                                                                   161 3021s
                               32 2.0556e+08 2.0371e+08
       396 2.0371e+08
                         30
1956
                                                          0.90%
                                                                   160 3115s
                                  2.0556e+08 2.0371e+08
       396
               cutoff
                         35
                                                           0.90%
                                                                   160 3216s
2004
2091
       391
                cutoff
                          48
                                  2.0556e+08 2.0371e+08
                                                           0.90%
                                                                   156
                                                                       3311s
2150
       380 2.0371e+08
                         35
                               26 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                           0.90%
                                                                   155 3409s
2294
       407 2.0371e+08
                         32
                               32 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                          0.90%
                                                                   150 3494s
                               16 2.0556e+08 2.0371e+08
2435
       379 2.0371e+08
                         42
                                                          0.90%
                                                                   147 3578s
       406 2.0371e+08
                         28
                               41 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                           0.90%
                                                                   143 3665s
2657
                                 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                                       3741s
       400 2.0419e+08
                               37
                                                           0.90%
                                                                   139
2987
       405 2.0456e+08
                         36
                               33 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                           0.90%
                                                                   137 3800s
3126
       414 2 0438e+08
                         41
                               22 2 0556e+08 2 0371e+08
                                                          0 90%
                                                                   136 3861s
       482 2.0514e+08
                               11 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                          0.90%
                                                                   135 3920s
3330
                         50
                               17 2.0556e+08 2.0371e+08
3506
       566
           2.0371e+08
                          41
                                                           0.90%
                                                                   132
                                                                       3980s
3687
       595 2.0382e+08
                               15 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                           0.90%
                                                                   130 4035s
3883
       685 2.0371e+08
                               16 2.0556e+08 2.0371e+08
                                                           0.90%
                                                                   129 4091s
                         42
4078
       704 2.0380e+08
                         40
                               19 2.0556e+08 2.0380e+08
                                                          0.85%
                                                                   127 4157s
       769 2.0552e+08
                               5 2.0556e+08 2.0383e+08
4259
                         53
                                                          0.84%
                                                                   126 4222s
               cutoff
                                  2.0556e+08 2.0399e+08
                                                           0.76%
                                                                   126 4294s
4593
       883 2.0413e+08
                         44
                               13
                                  2.0556e+08 2.0403e+08
                                                          0.74%
                                                                   125 4346s
               cutoff
4750
       913
                         50
                                  2.0556e+08 2.0406e+08
                                                          0.73%
                                                                   125 4398s
       939 2.0421e+08
                               16
4906
                         40
                                 2.0556e+08 2.0408e+08
                                                          0.72%
                                                                   124 4448s
5078
       997
               cutoff
                                  2.0556e+08 2.0408e+08
                                                          0.72%
                                                                   123 4496s
```

```
5227
      1040 2.0412e+08
                               13 2.0556e+08 2.0412e+08 0.70%
                                                                    122 45469
 5373
       1088 2.0451e+08
                          43
                                13 2.0556e+08 2.0414e+08
                                                           0.69%
                                                                    121 4597s
       1121
            2.0422e+08
                                13 2.0556e+08 2.0414e+08
                                                           0.69%
                                                                    121 4645s
 5517
                          4.3
                                10 2.0556e+08 2.0414e+08
            2.0511e+08
                                                                    120 4694s
 5809
       1190 2 0422e+08
                          45
                                13 2.0556e+08 2.0417e+08
                                                           0.68%
                                                                    120 47479
                                17 2 0556e+08 2 0418e+08
 5958
       1232 2 0422e+08
                          43
                                                           0 67%
                                                                    120 4801s
                                10 2.0556e+08 2.0418e+08
       1270 2.0523e+08
                                                           0.67%
                                                                    119 4856s
 6074
                          50
                                13 2.0556e+08 2.0421e+08
 6200
       1296 2.0423e+08
                                                           0.66%
                                                                    119 4904s
                                13 2.0556e+08 2.0422e+08
                                                                    119 4950s
 6323
       1302 2.0446e+08
                                                           0.65%
 6444
       1341
                cutoff
                          49
                                  2.0556e+08 2.0423e+08
                                                           0.65%
                                                                    119 50038
                                13 2.0556e+08 2.0423e+08
       1366 2.0438e+08
 6546
                          46
                                                           0.64%
                                                                    120 5057s
                                   2.0556e+08 2.0425e+08
 6660
                cutoff
                          47
                                                                        5109s
       1416
                                                           0.64%
                                                                    119
       1460 2.0445e+08
                                20 2.0556e+08 2.0425e+08
 6768
                                                           0.64%
                                                                    118 5160s
 6877
       1491 2.0456e+08
                                16 2.0556e+08 2.0425e+08
                                                           0.64%
                                                                    118 5210s
                          46
                                                                    118 5260s
 7004
       1522 2.0466e+08
                          49
                                13 2.0556e+08 2.0425e+08
                                                           0.64%
                                   2.0556e+08 2.0425e+08
 7132
       1532
                cutoff
                          50
                                                           0.64%
                                                                    118
                                                                        5312s
       1548 2.0526e+08
                                12
                                  2.0556e+08 2.0425e+08
                                                                    117
                                                                        5356s
 7262
                          50
                                                           0.64%
       1590 2.0482e+08
                                10 2.0556e+08 2.0431e+08
                                                                    117 5399s
 7403
                          50
                                                           0.61%
 7533
       1615 2.0443e+08
                          48
                                14 2.0556e+08 2.0432e+08
                                                           0.60%
                                                                    117 5442s
 7675
       1647 2.0437e+08
                          37
                                31 2.0556e+08 2.0433e+08
                                                           0.60%
                                                                    116 5486s
       1662 2.0452e+08
                                15 2.0556e+08 2.0433e+08
                                                                    116 5539s
 7813
                          44
                                                           0.60%
 7969
       1712
                cutoff
                                   2.0556e+08 2.0435e+08
                                                           0.59%
                                                                    116
                                                                        5590s
                                   2.0556e+08 2.0437e+08
                                                                    115 5630s
 8110
       1715
                 cutoff
                                                           0.58%
 8249
       1761 2.0540e+08
                          50
                                10 2.0556e+08 2.0438e+08
                                                           0.57%
                                                                    115 5674s
                                   2.0556e+08 2.0439e+08
 8386
       1772
                cutoff
                          48
                                                           0.57%
                                                                    115 5722s
       1807 2.0445e+08
                                13 2.0556e+08 2.0441e+08
                                                                    115 5765s
 8526
                          49
                                                           0.56%
       1836 2.0448e+08
                                27 2.0556e+08 2.0441e+08
                                                                        5808s
 8772
       1863 2.0477e+08
                          50
                                14 2.0556e+08 2.0441e+08
                                                           0.56%
                                                                    115 5847s
 8897
       1883 2.0536e+08
                          52
                                12 2.0556e+08 2.0443e+08
                                                           0.55%
                                                                    114 5892s
 9042
       1907 2.0502e+08
                          50
                                10 2.0556e+08 2.0445e+08
                                                           0.54%
                                                                    114 5935s
       1934 2.0447e+08
                                16 2.0556e+08 2.0446e+08
 9167
                          39
                                                           0.53%
                                                                    114 5980s
       1967 2.0478e+08
                                13 2.0556e+08 2.0446e+08
                          42
                                                           0.53%
                                                                    114 6021s
 9402
       1975 2.0487e+08
                          47
                                12 2.0556e+08 2.0448e+08
                                                           0.53%
                                                                    113 6063s
 9522
       2030 2 0450e+08
                          43
                                15 2.0556e+08 2.0448e+08
                                                           0.52%
                                                                    113 6110s
       2029 2.0523e+08
                                11 2.0556e+08 2.0449e+08
 9639
                          47
                                                           0.52%
                                                                    113 6150s
 9767
                                   2.0556e+08 2.0450e+08
       2048
                cutoff
                          4.3
                                                           0.51%
                                                                    113 6190s
       2088 2.0454e+08
                                23 2.0556e+08 2.0450e+08
 9878
                                                           0.51%
                                                                    113 6235s
 9991
       2100 2.0464e+08
                          48
                                15 2.0556e+08 2.0450e+08
                                                           0.51%
                                                                    112 62799
                                16 2.0556e+08 2.0450e+08
10132
       2145 2 0488e+08
                          47
                                                           0.51%
                                                                    112 63228
                                13 2.0556e+08 2.0450e+08
       2124 2.0501e+08
                                                           0.51%
                                                                    112 6363s
10264
                          50
10400
       2139 2.0536e+08
                          52
                                11 2.0556e+08 2.0450e+08
                                                           0.51%
                                                                    112 6402s
                                   2.0556e+08 2.0454e+08
10536
                cutoff
                                                           0.49%
                                                                    112
                                                                        6445s
10661
       2189
                cutoff
                          50
                                   2.0556e+08 2.0457e+08
                                                           0.48%
                                                                    112 6490s
                                13 2 0556e+08 2 0457e+08
10768
       2194 2 0487e+08
                          48
                                                           0 48%
                                                                    112 65358
                                   2.0556e+08 2.0457e+08
10905
                                                                    112 6579s
       2191
                cutoff
                          45
                                                           0.48%
       2207 2.0464e+08
                                13 2.0556e+08 2.0458e+08
11040
                                                           0.47%
                                                                    112
                                                                        6625s
       2213 2.0459e+08
                                15 2.0556e+08 2.0459e+08
                                                                    111
11170
                          48
                                                           0.47%
                                                                        6660s
11302
                          51
       2237 2.0528e+08
                                12 2.0556e+08 2.0460e+08
                                                           0.47%
                                                                    112 6708s
                                13 2.0556e+08 2.0461e+08
11423
       2249 2.0461e+08
                          51
                                                           0.46%
                                                                    112 6745s
11535
       2291 2.0472e+08
                          44
                                18 2.0556e+08 2.0462e+08
                                                           0.46%
                                                                    112 6787s
11630
       2274 2.0479e+08
                                13 2.0556e+08 2.0462e+08
                                                           0.46%
                                                                    111 6829s
11749
       2308
                                   2.0556e+08 2.0462e+08
                                                           0.46%
                                                                    111 6872s
                cutoff
                          50
11863
       2326 2.0472e+08
                          46
                                14 2.0556e+08 2.0463e+08
                                                           0.45%
                                                                    111 6917s
                                12 2.0556e+08 2.0464e+08
       2342 2.0504e+08
11982
                          46
                                                           0.45%
                                                                    111 6959s
                                                           0.44%
12099
       2349 2.0471e+08
                          46
                                13 2.0556e+08 2.0465e+08
                                                                    111 6997s
                                13 2.0556e+08 2.0465e+08
12213
       2351 2.0495e+08
                                                           0.44%
                                                                    111 7038s
12322
       2369
                cutoff
                          47
                                  2.0556e+08 2.0465e+08
                                                           0.44%
                                                                    111 7093s
       2368 2.0465e+08
12443
                          47
                                17 2.0556e+08 2.0465e+08
                                                           0.44%
                                                                    114 7140s
                                  2.0556e+08 2.0467e+08
12598
       2414
               cutoff
                          49
                                                           0.44%
                                                                    114
                                                                        71848
       2410 2.0538e+08
                                12 2.0556e+08 2.0467e+08
                                                           0.43%
                                                                    114
                                                                        7219s
                                                                    115 7255s
12860
       2431 2.0472e+08
                          47
                                14 2.0556e+08 2.0467e+08
                                                           0.43%
12001
       2452 2.0470e+08
                          50
                                13 2.0556e+08 2.0469e+08
                                                           0.43%
                                                                    115 72959
                                15 2.0556e+08 2.0469e+08
13093
       2459 2.0482e+08
                          4.3
                                                           0.42%
                                                                    114 7334s
                                13 2.0556e+08 2.0469e+08
       2473 2.0508e+08
13202
                          45
                                                           0.42%
                                                                    114 7369s
       2507 2.0507e+08
                                13 2.0556e+08 2.0469e+08
13309
                          47
                                                                    114 7407s
                cutoff
13420
       2493
                                  2.0556e+08 2.0470e+08
                                                           0.42%
                                                                    114 7446s
                          51
13543
       2505
                cutoff
                          50
                                   2.0556e+08 2.0471e+08
                                                           0.41%
                                                                    114 74919
                                   2.0556e+08 2.0472e+08
       2533
                          48
13683
                cutoff
                                                           0.41%
                                                                    114 7540s
       2539 2.0474e+08
                                15 2.0556e+08 2.0473e+08
                                                                        7588s
13825
                          48
                                                           0.40%
                                                                    114
       2548 2.0474e+08
13956
                          40
                                16 2.0556e+08 2.0474e+08
                                                           0.40%
                                                                        7630s
                                                                    114
14050
       2553 2.0474e+08
                          41
                                15 2.0556e+08 2.0474e+08
                                                           0.40%
                                                                    114 76778
14182
       2537
               cutoff
                          44
                                  2.0556e+08 2.0474e+08
                                                           0.40%
                                                                    114 7721s
       2557 2.0479e+08
                                15 2.0556e+08 2.0476e+08
14328
                          45
                                                           0.39%
                                                                    114 7770s
14463
       2560 2.0476e+08
                                14 2.0556e+08 2.0476e+08
                                                           0.39%
                          49
                                                                    114
                                                                        78088
                                14 2.0556e+08 2.0477e+08
14559
       2574 2.0481e+08
                                                           0.39%
                                                                    114
                                                                        7845s
                                                                    114 7884s
14665
       2598
                cutoff
                          46
                                   2.0556e+08 2.0477e+08
                                                           0.38%
       2600 2 0489e+08
                                14 2 0556e+08 2 0477e+08
14679
                          48
                                                           0 38%
                                                                    114 78858
       2586 2.0503e+08
                                14 2.0556e+08 2.0478e+08
14764
                          49
                                                           0.38%
                                                                    114 7926s
14881
       2628 2.0479e+08
                          38
                                24 2.0556e+08 2.0479e+08
                                                           0.38%
                                                                    114
                                                                        7965s
14984
       2603 2.0492e+08
                          44
                                13 2.0556e+08 2.0479e+08
                                                           0.38%
                                                                    113 8009s
15102
       2617 2.0488e+08
                                15 2.0556e+08 2.0479e+08
                                                           0.37%
                                                                    113 8042s
15214
       2611
                cutoff
                          48
                                   2.0556e+08 2.0479e+08
                                                           0.37%
                                                                    113 8079s
       2620 2.0481e+08
                                16 2.0556e+08 2.0480e+08
15326
                          44
                                                           0.37%
                                                                    113 8120s
       2649
                cutoff
                                   2.0556e+08 2.0481e+08
                                                           0.37%
                                                                    113 8159s
15514
       2634 2.0511e+08
                          49
                                13 2.0556e+08 2.0481e+08
                                                           0.36%
                                                                    113 8197s
15621
       2651 2.0551e+08
                          45
                                11 2.0556e+08 2.0482e+08
                                                           0.36%
                                                                    113 8237s
15741
       2643 2.0501e+08
                          48
                                15 2.0556e+08 2.0483e+08
                                                           0.36%
                                                                    113 8289s
15852
       2655 2.0538e+08
                                12 2.0556e+08 2.0483e+08
                                                           0.36%
                                                                    113 8342s
```

```
15960
      2645 2.0495e+08
                               14 2.0556e+08 2.0484e+08 0.35%
                                                                   113 83789
16066
       2647
                cutoff
                          50
                                  2.0556e+08 2.0484e+08
                                                           0.35%
                                                                   113 8414s
       2655 2.0488e+08
                          33
                                  2.0556e+08 2.0485e+08
                                                           0.35%
                                                                   113 8457s
16181
       2658 2.0488e+08
                               31 2.0556e+08 2.0485e+08
                                                                   113 8499s
16291
       2658 2.0490e+08
                          45
                               17 2.0556e+08 2.0485e+08
                                                           0.35%
                                                                   113 8500s
                               27 2 0556e+08 2 0485e+08
16400
       2657 2 0506e+08
                          40
                                                           0 34%
                                                                   113 85498
       2672 2.0518e+08
                               26 2.0556e+08 2.0485e+08
16495
                          39
                                                                   113 8585s
                                                           0.34%
                               24 2.0556e+08 2.0486e+08
       2645 2.0532e+08
                          43
                                                           0.34%
                                                                   113 8621s
16707
       2650 2.0493e+08
                                15 2.0556e+08 2.0487e+08
                                                           0.34%
                                                                   114 8659s
16823
       2645 2 0540e+08
                          48
                               12 2.0556e+08 2.0487e+08
                                                           0.34%
                                                                   113 86988
                                  2.0556e+08 2.0488e+08
16940
       2630
                cutoff
                          53
                                                           0.33%
                                                                   113 8738s
       2659 2.0552e+08
                                12 2.0556e+08 2.0488e+08
17059
                          52
                                                                   113 8780s
                                                           0.33%
                                15 2.0556e+08 2.0489e+08
17180
       2653 2.0490e+08
                                                                   113 8822s
17298
       2661 2.0530e+08
                                12 2.0556e+08 2.0489e+08
                                                                   113 8863s
                          51
                                                           0.32%
17426
       2642 2.0490e+08
                          47
                               17 2.0556e+08 2.0490e+08
                                                           0.32%
                                                                   113 8907s
                               13 2.0556e+08 2.0490e+08
       2633 2.0490e+08
17571
                          50
                                                           0.32%
                                                                   113 8951s
                                                                   113 8998s
17717
                cutoff
                                  2.0556e+08 2.0491e+08
       2648
                          48
                                                           0.32%
                                   2.0556e+08 2.0492e+08
17858
       2635
                cutoff
                                                           0.31%
                                                                   113 9045s
                cutoff
18003
       2624
                          50
                                   2.0556e+08 2.0493e+08
                                                           0.31%
                                                                   113 9090s
18152
       2605
                cutoff
                          48
                                   2.0556e+08 2.0494e+08
                                                           0.30%
                                                                   113 9138s
       2637 2.0496e+08
                               15 2.0556e+08 2.0495e+08
                                                                   113 9170s
18302
                          47
                                                           0.30%
18395
       2623 2.0540e+08
                          50
                               12 2.0556e+08 2.0495e+08
                                                           0.30%
                                                                   113 9209s
       2623 2.0495e+08
                               13 2.0556e+08 2.0495e+08
                                                                   113 9249s
18497
                          46
                                                           0.30%
18601
       2629 2.0501e+08
                          42
                               13 2.0556e+08 2.0497e+08
                                                           0.29%
                                                                   113 9284s
       2608 2.0542e+08
                               12 2.0556e+08 2.0497e+08
18701
                          4.3
                                                           0.29%
                                                                   113 9321s
18814
       2607
                cutoff
                                  2.0556e+08 2.0497e+08
                                                                   113 9355s
                          51
                                                           0.29%
       2597 2.0507e+08
                               13 2.0556e+08 2.0497e+08
                                                           0.28%
                                                                   113 9394s
                                                                   113 9395s
18921
       2597 2.0547e+08
                          48
                               12 2.0556e+08 2.0497e+08
                                                           0.28%
19026
       2593 2.0499e+08
                          48
                               15 2.0556e+08 2.0498e+08
                                                           0.28%
                                                                   113 9437s
                                   2.0556e+08 2.0498e+08
19126
       2591
                cutoff
                          47
                                                           0.28%
                                                                   113 9474s
       2598 2.0500e+08
                               12 2.0556e+08 2.0499e+08
19223
                          48
                                                           0.28%
                                                                   113 9475s
       2587 2.0544e+08
                                12 2.0556e+08 2.0499e+08
19224
                                                           0.28%
                                                                   113 9514s
19320
       2581 2.0547e+08
                               12 2.0556e+08 2.0499e+08
                                                           0.28%
                                                                   113 9556s
                          48
19432
       2587 2 0505e+08
                          48
                               14 2.0556e+08 2.0500e+08
                                                           0 27%
                                                                   113 95898
       2584 2.0500e+08
                               12 2.0556e+08 2.0500e+08
                                                           0.27%
                                                                   113 9627s
19532
                          49
       2547
                                   2.0556e+08 2.0501e+08
                                                           0.27%
                                                                   113 9665s
19635
                cutoff
                          46
       2557
                 cutoff
                                   2.0556e+08 2.0502e+08
                                                           0.26%
                                                                   113 9703s
19854
       2543 2.0522e+08
                          46
                               13 2.0556e+08 2.0502e+08
                                                           0.26%
                                                                   113 9745s
19954
       2530 2.0507e+08
                          43
                               13 2.0556e+08 2.0503e+08
                                                           0 26%
                                                                   113 9784s
                                   2.0556e+08 2.0503e+08
20052
       2527
                cutoff
                                                           0.26%
                                                                   113 9826s
                          44
                                                                   113 9861s
20150
       2523 2.0533e+08
                          4.5
                               13 2.0556e+08 2.0504e+08
                                                           0.26%
                                   2.0556e+08 2.0504e+08
       2504
                cutoff
                                                                   113 9900s
20342
       2515
                cutoff
                          48
                                   2.0556e+08 2.0505e+08
                                                           0.25%
                                                                   113 99369
       2494 2 0510e+08
                               14 2 0556e+08 2 0505e+08
20425
                          48
                                                           0 25%
                                                                   113 9976s
       2489 2.0507e+08
                               17 2.0556e+08 2.0505e+08
20518
                                                           0.25%
                                                                   113 10017s
                          44
                                   2.0556e+08 2.0506e+08
       2472
                cutoff
                                                           0.24%
                                                                   113 10051s
20719
       2461 2.0514e+08
                               14 2.0556e+08 2.0506e+08
                                                                   114 10088s
                          48
                                                           0.24%
20821
       2448 2.0540e+08
                          49
                               13 2.0556e+08 2.0507e+08
                                                           0.24%
                                                                   113 10128s
                                  2.0556e+08 2.0508e+08
20926
       2443
                cutoff
                          49
                                                           0.23%
                                                                   113 10168s
21026
       2415 2.0552e+08
                               12 2.0556e+08 2.0508e+08
                                                           0.23%
                                                                   113 10200s
21125
       2402 2.0538e+08
                                14 2.0556e+08 2.0508e+08
                                                           0.23%
                                                                   113 10249s
       2377 2.0538e+08
                               11 2.0556e+08 2.0509e+08
                                                           0.23%
                                                                   114 10290s
21210
                          51
21294
       2395 cutoff
2364 2.0511e+08
                          49
                                   2.0556e+08 2.0509e+08
                                                           0.23%
                                                                   114 10327s
                               17 2.0556e+08 2.0510e+08
21378
                                                           0.23%
                                                                   114 10365s
                          46
21475
       2345 2.0510e+08
                          49
                                14 2.0556e+08 2.0510e+08
                                                           0.22%
                                                                   114 10406s
                                14 2.0556e+08 2.0511e+08
21578
       2311 2.0511e+08
                                                           0.22%
                                                                   114 10444s
                cutoff
21692
       2283
                          50
                                  2.0556e+08 2.0511e+08
                                                           0.22%
                                                                   114 10481s
       2252 2.0512e+08
21804
                          44
                               12 2.0556e+08 2.0512e+08
                                                           0.21%
                                                                   114 10521s
                               15 2.0556e+08 2.0513e+08
21916
       2225 2.0515e+08
                          44
                                                           0.21%
                                                                   114 10559s
22023
       2190
                cutoff
                                   2.0556e+08 2.0514e+08
                                                           0.21%
                                                                   114 10602s
       2155 2.0516e+08
                          47
                               14 2.0556e+08 2.0515e+08
                                                           0.20%
                                                                   114 10638s
22126
22217
       2100 2.0542e+08
                          48
                               14 2.0556e+08 2.0515e+08
                                                           0 20%
                                                                   114 10676s
                                   2.0556e+08 2.0516e+08
22332
       2041
                cutoff
                          50
                                                           0.19%
                                                                   114 10711s
       1970 2.0519e+08
                                20 2.0556e+08 2.0518e+08
                                                           0.19%
                                                                   114 10748s
22447
                          43
       1921 2.0525e+08
                                17 2.0556e+08 2.0519e+08
22560
                                                                   114 10787s
22659
       1860
                cutoff
                                  2.0556e+08 2.0520e+08
                                                           0.18%
                                                                   115 10818s
                          39
22767
       1800
                cutoff
                          46
                                   2.0556e+08 2.0521e+08
                                                           0.17%
                                                                   115 10850s
       1743 2.0522e+08
                               11 2.0556e+08 2.0522e+08
22878
                                                           0.16%
                                                                   115 10886s
                          48
                               10 2.0556e+08 2.0524e+08
22985
       1672 2.0551e+08
                                                           0.16%
                                                                   115 10924s
                          48
                cutoff
23098
       1616
                                   2.0556e+08 2.0524e+08
                                                                   115 10965s
                                                           0.15%
       1564 2.0528e+08
23207
                          39
                               30 2.0556e+08 2.0526e+08
                                                           0.15%
                                                                   115 109989
23297
       1503 2.0538e+08
                          46
                               15 2.0556e+08 2.0526e+08
                                                           0.15%
                                                                   115 110338
                                  2.0556e+08 2.0528e+08
23394
       1437
                cutoff
                          48
                                                           0.14%
                                                                   115 11070s
23494
                                   2.0556e+08 2.0529e+08
                                                                   115 11107s
       1360
                cutoff
                          50
                                                           0.13%
                                  2.0556e+08 2.0531e+08
23600
       1295 2.0531e+08
                                                           0.12%
                                                                   115 11144s
23699
       1232 2.0533e+08
                          47
                               16 2.0556e+08 2.0532e+08
                                                           0.12%
                                                                   116 11183s
23803
       1173 2 0535e+08
                          43
                               15 2 0556e+08 2 0534e+08
                                                           0 11%
                                                                   116 11224s
       1108 2.0536e+08
                               16 2.0556e+08 2.0535e+08
23901
                          47
                                                                   116 11267s
                                                           0.10%
23998
       1051
                cutoff
                                   2.0556e+08 2.0536e+08
                                                           0.10%
                                                                   116 11301s
24088
        980 2.0538e+08
                               19 2.0556e+08 2.0536e+08
                                                           0.10%
                                                                   117 11338s
24191
        919 2.0538e+08
                               11 2.0556e+08 2.0538e+08
                                                           0.09%
                                                                   117 11375s
                          48
24288
        831
               cutoff
                          50
                                  2.0556e+08 2.0540e+08
                                                           0.08%
                                                                   117 11411s
        761 2.0541e+08
                                12 2.0556e+08 2.0541e+08
24396
                          50
                                                           0.07%
                                                                   118 11447s
        663 2.0544e+08
                                16 2.0556e+08 2.0542e+08
                                                           0.07%
                                                                   118 11484s
24531
        663 2.0545e+08
                               15 2.0556e+08 2.0542e+08
                                                           0.07%
                                                                   118 11485s
                cutoff
24601
        590
                                   2.0556e+08 2.0544e+08
                                                           0.06%
                                                                   118 11520s
        534 2.0545e+08
                               11 2.0556e+08 2.0545e+08
24693
                          48
                                                           0.05%
                                                                   118 11556s
        453 2.0546e+08
                               12 2.0556e+08 2.0546e+08
                                                           0.05%
                                                                   118 11588s
```

```
24869 395 2.0548e+08 40 20 2.0556e+08 2.0547e+08 0.04% 24953 325 2.0553e+08 46 19 2.0556e+08 2.0548e+08 0.04% 25043 266 2.0550e+08 51 11 2.0556e+08 2.0550e+08 0.03%
                                                                         118 11620s
                                                                          118 11651s
                                                                         117 11682s
         207 2.0552e+08
                                  15 2.0556e+08 2.0551e+08 0.02%
                                 15 2.0556e+08 2.0551e+08 0.02% 117 11715s
12 2.0556e+08 2.0552e+08 0.02% 117 11746s
2.0556e+08 2.0553e+08 0.01% 117 11776s
        140 2.0552e+08 50
68 cutoff 44
 25214
 25298
Cutting planes:
  Gomory: 43
  Cover: 12
  Implied bound: 13
  MIR: 8
  Flow cover: 3434
  Flow path: 74
Explored 25393 nodes (3031166 simplex iterations) in 11777.01 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 2.055501974150e+08, best bound 2.055420451108e+08, gap 0.0040%
Engine Solve time: 3 Hours, 16 Minutes, 0 Seconds.
Solver found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied.
Solve time: 3 Hours, 53 Minutes, 0 Seconds.
Versão v2Fc2
  -- Start Solve ----
No uncertain input cells.
Using: Full Reparse.
Analyzing Solver Model...
Parsing started...
Diagnosis started...
Model diagnosed as "LP/MIP".
User engine selection: Gurobi Solver V5.5.0.0
Model: [FEA-RP USP - PPGAO - Dissertação - Modelo - v05cb - 20130716.xlsb] Modelo
Using: Psi Interpreter
Parse time: 18 Minutes, 54 Seconds.
Engine: Gurobi Solver V5.5.0.0
Setup time: 12 Minutes, 6 Seconds.
Optimize a model with 42779 rows, 250037 columns and 784740 nonzeros
Presolve removed 5764 rows and 19785 columns
Presolve time: 1.49s
Presolved: 37015 rows, 230252 columns, 694275 nonzeros
Variable types: 226387 continuous, 3865 integer (3865 binary)
Root relaxation: objective 1.663447e+08, 43804 iterations, 1.90 seconds
                                           Objective Bounds | Work
                   Current Node
 Nodes | Current Node | Objective
Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent
     0
            0 1.6634e+08
                             0 47
                                                - 1.6634e+08
                                   2.655616e+08 1.6634e+08 37.4%
     Ω
            Ω
                                                                                  5s
                                    2.162459e+08 1.6634e+08 23.1%
Н
     0
            0
                                                                                  7.s
            0 1.7224e+08
                                  58 2.1625e+08 1.7224e+08 20.3%
                                                                                11s
     0
                              0
            0 1.7387e+08
                              0
                                   60 2.1625e+08 1.7387e+08
                                                                19.6%
            0 1.7701e+08
                              0
                                   61 2.1625e+08 1.7701e+08
                                                                18.1%
                                                                                 48s
     Ω
            0 1.7747e+08
                              Ω
                                   54 2.1625e+08 1.7747e+08
                                                                17.9%
                                                                                 70s
     0
            0 1.7786e+08
                              0
                                   58 2.1625e+08 1.7786e+08
                                                                17.7%
                                                                                 87s
            0 1.7795e+08
                                   54 2.1625e+08 1.7795e+08
                                                                 17.7%
                              0
                                                                               101s
            0 1.7796e+08
                                   54 2.1625e+08 1.7796e+08
                                                                 17.7%
                                                                               112s
            0 1.7796e+08
                              0
                                   54 2.1625e+08 1.7796e+08
                                                                 17.7%
                                   52 2.1625e+08 1.7796e+08
     Ω
            0 1 7796e+08
                              Ω
                                                                17.7%
                                                                               1399
                                   52 2.1625e+08 1.7796e+08
     0
            0 1.7796e+08
                              0
                                                                 17.7%
                                                                               150s
            0 1.7796e+08
                                   34 2.1625e+08 1.7796e+08
                                                                                164s
            0 1.7856e+08
                                   44 2.1625e+08 1.7856e+08
                                                                 17.4%
                                                                               175s
            0 1.7867e+08
                              0
                                   42 2.1625e+08 1.7867e+08
                                                                 17.4%
     0
     0
            0 1.7876e+08
                              0
                                   40 2.1625e+08 1.7876e+08
                                                                17.3%
                                                                               187s
                                   39 2.1625e+08 1.7878e+08
            0 1.7878e+08
                                                                17.3%
     0
                              0
                                                                               198s
            0 1.7878e+08
                                   38 2.1625e+08 1.7878e+08
                                                                 17.3%
                                                                               208s
            0 1.7878e+08
                              0
                                   38 2.1625e+08 1.7878e+08
                                                                17.3%
                                                                               217s
                                                                               226s
     Λ
            0 1.7878e+08
                              0
                                   38 2.1625e+08 1.7878e+08
                                                                 17.3%
                                                                17.3%
17.3%
            0 1.7878e+08
                              0
                                   38 2.1625e+08 1.7878e+08
                                                                               238s
            2 1.7878e+08
                              0
                                   38 2.1625e+08 1.7878e+08
                                                                               249s
                                   35 2.1625e+08 1.7995e+08
            4 1.7995e+08
                                                                16.8%
                                                                               253s
            5 1.8013e+08
                             2
                                   34 2.1625e+08 1.8013e+08
                                                                16.7%
                                                                         103
                                                                               256s
            5 1.8045e+08
                              4
                                   33 2.1625e+08 1.8045e+08
                                                                16.6% 64.0
                                                                               2638
                                   41 2.1625e+08 1.8119e+08
            7 1.8120e+08
                                                                16.2%
                                                                          108
                                                                               268s
           11 1.8135e+08
                                   32 2.1625e+08 1.8135e+08
                                                                16.1% 91.3
                                                                               274s
           13 1.8218e+08
                                   41 2.1625e+08 1.8162e+08
                                                                               280s
          18 1.8210e+00 6 41 2.1023e+00 1.0162e+00 10.00 142
18 1.8392e+08 6 43 2.1625e+08 1.8162e+08 16.00 227
21 1.8237e+08 7 39 2.1625e+08 1.8162e+08 16.00 258
23 1.8261e+08 8 38 2.1625e+08 1.8162e+08 16.00 252
30 1.8274e+08 9 39 2.1625e+08 1.8162e+08 16.00 230
                                                                               286s
    13
    17
                                                                               292s
    21
                                                                               299s
```

309s

```
34
          40 1.8287e+08
                                38 2.1625e+08 1.8287e+08 15.4%
                                                                   224
                                                                        319s
          48 1.8385e+08
                                36 2.1625e+08 1.8302e+08
    42
                           11
                                                           15.4%
                                                                    315
                                                                         329s
    50
          55 1.9082e+08
                           11
                                39 2.1625e+08 1.8350e+08
                                                           15.1%
                                                                    304
                                                                         338s
          59 1.8444e+08
                                34 2.1625e+08 1.8406e+08
    66
          67 1.8471e+08
                           13
                                33 2.1625e+08 1.8406e+08
                                                           14.9%
                                                                    237
                                                                         358s
    74
          76 1 8481e+08
                                29 2.1625e+08 1.8406e+08
                           14
                                                           14.9%
                                                                    224
                                                                         3675
    82
          84 1.8498e+08
                                28 2.1625e+08 1.8406e+08
                                                           14.9%
                                                                         375s
                           15
                                                                    217
          90 1.8500e+08
                                27 2.1625e+08 1.8406e+08
                                                           14.9%
                                                                         389s
    98
         100 1.8517e+08
                                21 2.1625e+08 1.8406e+08
                                                                    197
                                                                         399s
   106
          93 1.8520e+08
                          18
                                20 2.1625e+08 1.8449e+08
                                                           14.7%
                                                                    193
                                                                         510s
                                 1.892999e+08 1.8449e+08
Н
   129
          47
                                                           2.54%
                                                                    201
                                                                         510s
Н
          47
                                 1.890231e+08 1.8449e+08
                                                           2.40%
                                                                    201
   130
                                                                         510s
   130
                                 1.890231e+08 1.8449e+08
                                                                    201
                                                                         510s
   423
          71 1.8518e+08
                                34 1.8902e+08 1.8501e+08
                                                           2.12%
                                                                    190
                                                                         564s
                                33 1.8902e+08 1.8501e+08 23 1.8902e+08 1.8501e+08
   465
          86 1.8502e+08
                                                           2.12%
                                                                    197
                                                                         565s
          88 1.8628e+08
                           14
                                                           2.12%
                                                                    198
                                                                         617s
   480
                                17 1.8902e+08 1.8511e+08
          90 1.8679e+08
                           20
                                                           2.07%
                                                                    201
                                                                         672s
   535
   611
         109 1.8699e+08
                                21 1.8902e+08 1.8511e+08
                                                           2.07%
                                                                    214
                                                                         730s
   675
         118
                cutoff
                           20
                                   1.8902e+08 1.8519e+08
                                                           2.03%
                                                                    223
                                                                         789s
         121 1.8730e+08 14
                                30 1.8902e+08 1.8586e+08
   755
                                                           1.67%
                                                                    231
                                                                         847s
Н
  815
                                 1.869218e+08 1.8586e+08
                                                           0.57%
                                                                    234
                                                                         847s
          44
   815
          44
                                1.869218e+08 1.8586e+08 0.57%
                                                                    235
                                                                         847s
          17 cutoff 19 0 1.8676e+08 18
   828
          17
                                   1.8692e+08 1.8586e+08 0.57%
                                                                   236
                                                                         897s
   907
                               29 1.8692e+08 1.8649e+08 0.23%
                                                                   238
                                                                         918s
Cutting planes:
  Gomory: 11
Cover: 18
  Implied bound: 85
  MIR: 13
  Flow cover: 2105
  Flow path: 839
Explored 929 nodes (300566 simplex iterations) in 918.15 seconds
Thread count was 8 (of 8 available processors)
Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 1.869215218479e+08, best bound 1.869215218479e+08, gap 0.0%
Engine Solve time: 15 Minutes, 18 Seconds.
```

 $\underline{\text{Solver}}$ found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied. Solve time: 53 Minutes, 47 Seconds.