

## **7º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior**

### **SOBENA HIDROVIÁRIO 2011**

Porto Alegre, 5 e 6 de outubro de 2011

#### **MODELAGEM DO TRANSPORTE DE CELULOSE E TORAS DE MADEIRA PELO SISTEMA RODO-FERRO-HIDROVIÁRIO DO RIO GRANDE DO SUL**

Rui Carlos Botter – Programa de Engenharia de Sistemas Logísticos da EP/USP  
Claudio Barbieri da Cunha – Programa de Engenharia de Sistemas Logísticos da EP/USP  
Edson Felipe Capovilla Trevisan – Programa de Engenharia de Sistemas Logísticos da EP/USP  
Roberto Carlos Hallau Silva – Celulose Riograndense  
Otemar Alencastro dos Santos - Celulose Riograndense

#### **Resumo:**

A unidade industrial da Celulose Riograndense localiza-se no município de Guaíba (RS), região metropolitana de Porto Alegre, às margens da Lagoa dos Patos. Sua localização possibilita acesso direto aos modais rodoviário e hidroviário. Embora não exista acesso direto ao modal ferroviário pela fábrica, esse modo de transporte pode ser utilizado como um dos segmentos de transporte de toras de madeira do interior do Estado do RS até o Porto de Pelotas. O escopo do trabalho compreende: a análise da logística de abastecimento de madeira (frota e portos) a partir de mapa de origem da madeira, separado por regiões do Estado do RS e o transporte de celulose da fábrica até o sistema portuário de Rio Grande; a proposta e avaliação de cenários intermodais para o transporte de madeira e de celulose; e a análise e escolha da logística de cada cenário de transporte para madeira e celulose (frota e portos), com a aprovação dos conceitos de projeto. O objetivo principal foi desenvolver um modelo para a avaliação de todas as alternativas intermodais possíveis e especialmente buscar a sinergia e a integração entre logística inbound de abastecimento de madeira e logística outbound de escoamento de celulose.

#### **1 - Introdução**

A CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE é uma empresa brasileira que é a maior fabricante gaúcha de celulose branqueada de fibra curta de eucalipto, e cujo controle acionário pertence ao grupo chileno CMPC. Sua unidade industrial, localizada em Guaíba, região metropolitana de Porto Alegre, e os direitos do projeto de expansão de capacidade, foram adquiridos junto à FIBRIA S.A., sucessora da Aracruz celulose S. A. em dezembro de 2009.

Em junho de 2010 a Celulose Riograndense decidiu retomar o projeto de expansão do site de Guaíba, com a implantação de uma nova unidade industrial para produção de celulose.

Na atual conjuntura, o enfoque da CPMC é avaliar alternativas de transporte de madeira para a fábrica visando a melhor relação entre custo logístico, investimento, confiabilidade, risco social

e impacto ambiental. Adicionalmente, novas oportunidades de compra de terras em novos locais, com ênfase para buscar sinergias entre o transporte hidroviário de toras de madeira e de fardos de celulose para o porto de Rio Grande (RS).

Tendo em vista o mercado interno e externo, há necessidade de se transportar cerca de 6 milhões de toneladas de madeira para a unidade de Guaíba. As regiões de origem da madeira estão localizadas de forma homogênea no estado do Rio Grande do Sul, com exceção da área próxima à fábrica, onde há maior oferta do insumo.

#### **2 - Modais de transporte**

Há diversas alternativas intermodais para o transporte de madeira.

No caso do modal rodoviário, há basicamente serviços integrados de logística a clientes de

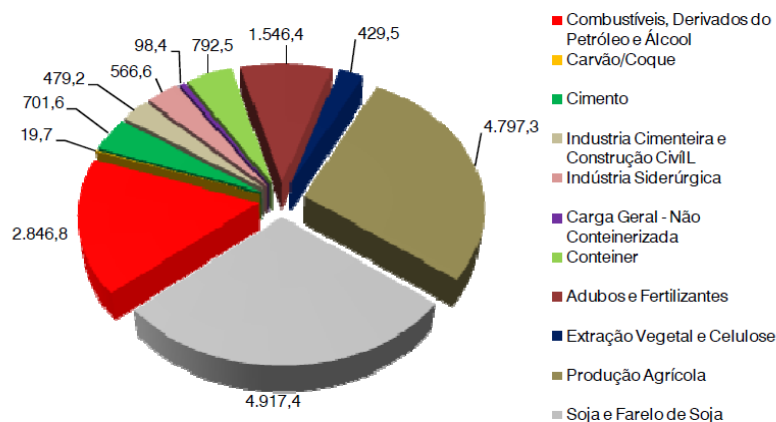


Figura 1 - Principais cargas transportadas pela ALL - América Latina  
Logística na malha sul

Fonte: ANTT - Agência Nacional dos Transportes Terrestres

três alternativas de acesso a fábrica:

1. O trevo de Guaíba, localizado na rodovia BR-116, mais especificamente ao sul do entroncamento com a rodovia BR-290, no sentido de Pelotas e Porto de Rio Grande;
2. O trevo de Eldorado do Sul, ao norte de Guaíba, localizado na rodovia federal BR-290, mais especificamente no trecho entre Porto Alegre e o entroncamento com a rodovia BR-116 (a oeste de Porto Alegre);
3. O trevo de Barra do Ribeiro, ao sul de Guaíba, localizado na rodovia BR-116.

O transporte ferroviário no Rio Grande do Sul, por sua vez, é realizado pela ALL – América Latina Logística. A empresa foi criada em março de 1997, quando a então Ferrovia Sul Atlântico venceu o processo de licitação para concessão para prestar o serviço público de transporte ferroviário de cargas na malha Sul (PR, SC, RS) da Rede Ferroviária Federal (RFFSA) e passou a operar a malha no Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul pelo período de 30 anos. Em 1998, por meio de contrato operacional, a companhia assumiu as operações da malha sul paulista pertencente à Ferrobán. Com a aquisição de ferrovias nas regiões central e norte da Argentina em 1999, a empresa passou a adotar o nome América Latina Logística. Em 2001, a ALL arrendou os ativos operacionais da Delara, uma das maiores empresa de transportes rodoviários no Brasil, com a finalidade de realizar apenas operações ferroviárias e expandir seu foco, oferecendo

médio e grande porte. A ALL atende três segmentos de negócios: commodities agrícolas, produtos industriais e serviços rodoviários.

De acordo com os dados mais recentes do Relatório Anual de Acompanhamento das Concessões Ferroviárias da ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres, correspondente ao ano de 2009, as principais cargas transportadas na chamada malha sul da ALL, que abrange os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Figura 1), medida em termos de toneladas-km úteis (TKU) são soja e farelo de soja (29%), produtos agrícolas (28%) e combustíveis, derivados do petróleo e álcool (17%), totalizando 74% do total de cargas movimentadas. O transporte de toras de madeira, parte do grupo extração vegetal e celulose, respondeu por apenas 1,7% do total de TKU da malha sul da ALL no ano 2009. Um dos fluxos importantes é o da Fíbria, a partir de Araucária (PR) para diferentes destinos como Tatuí, Iperó e Agua Branca.

A Figura 2 ilustra a malha ferroviária e os principais terminais da ALL na região de interesse para os fluxos de madeira para a fábrica da CMPC Celulose Riograndense e de celulose a partir da fábrica para o porto de Rio Grande.



Figura 2- Malha da ALL na região de interesse

Fonte: ANTT - Agência Nacional dos Transportes Terrestres

Como pode-se observar, a ferrovia está distante de Guaíba, passando ao norte dos rios Jacuí e Taquari e atingindo diretamente Porto Alegre, o que impede, tanto pela distância quanto por essas barreiras geográficas, o acesso direto à fábrica, mesmo com a eventual construção de um ramal de acesso, que teria extensão superior a 40 km.

Dessa forma, fica inviabilizado o transporte ferroviário tanto de celulose para Rio Grande quanto o abastecimento de madeira para a fábrica diretamente pelo modal ferroviário. Para a celulose, além do acesso rodoviário, o percurso ferroviário para Rio Grande, passando por Santa Maria e Cacequi, é muito superior às alternativas de transporte rodoviário ou hidroviário, ambos diretos terminal a terminal.

Com relação ao modal hidroviário, a unidade Guaíba possui uma localização privilegiada em termos de acessibilidade: está localizada à beira da Lagoa dos Patos, permitindo a navegação até o Porto de Rio Grande como também o acesso aos Rios Jacuí e Taquari, como mostrado na **Figura 3**.

A Lagoa dos Patos possui extensão aproximada de 250 km, largura de cerca de até 50km e em torno de 300 km de vias navegáveis. Possui disposição paralela ao litoral do Rio Grande do Sul, separada do Oceano Atlântico por uma restinga. Na extremidade norte, junto ao município de Porto Alegre, encontra-se o delta de rios importantes como o Jacuí e o Taquari, no local conhecido como Rio Guaíba, uma formação com características de rio, de estuário e de lago. Ao sul, a Lagoa dos Patos comunica-se com o Oceano Atlântico pelo canal natural formado

entre as cidades de Rio Grande e São José do Norte e com a Lagoa Mangueira com o Canal de São Gonçalo.



Figura 3: Sistema Hidroviário do Rio Grande do Sul

A Lagoa dos Patos é navegada desde meados do século 18. A navegação interior inicia em Rio Grande, nas proximidades de São José do Norte. As condições de navegação podem se tornar desfavoráveis na presença de ventos fortes, que ocasionam pequenas ondas em toda a sua extensão, afetando primordialmente as pequenas embarcações e aquelas com grande área vélica.

O Rio Grande do Sul é um estado com tradição de transporte hidroviário. Data da década de 50 passada um plano hidroviário para viabilizar a navegação nos rios Jacuí e Taquari, com a construção das barragens de Fandango, Dom Marco e Amarópolis no Jacuí, de forma a assegurar calado de 2,50 m da foz até o Porto de Cachoeira, e da Barragem de Bom Retiro do Sul no Rio Taquari, viabilizando a navegação até o Porto de Estrela, também com calado de 2,50 m.

O rio Jacuí tem suas principais nascentes localizadas no planalto gaúcho, cerca de 10 km a leste da cidade de Passo Fundo, numa altitude aproximada de 730 m. Seu comprimento total é cerca de 860 km. No município de Triunfo

recebe o rio Taquari, encorpando ainda mais o volume de suas águas. Deságua no chamado Delta do Jacuí, um conjunto de canais, ilhas e pântanos, onde também deságuam os rios Gravataí, Sinos e Caí, a partir do qual é formado o Lago Guaíba, que banha os municípios de Porto Alegre, Eldorado do Sul, Guaíba, Barra do Ribeiro e Viamão. A partir de Guaíba, as águas vão para a Lagoa dos Patos e daí, por seqüência, para o Oceano Atlântico. O Lago Guaíba possui área de 547 quilômetros quadrados, comprimento de 50 quilômetros e largura variável entre 900 metros e 19 quilômetros.

O rio Jacuí possui um trecho navegável de 352Km, da sua foz no Lago Guaíba até a UHE de Dona Francisca, a montante de Cachoeira do Sul. O trecho de interesse para o transporte hidroviário de madeira começa em Cachoeira do Sul até a unidade da CMPC, com extensão de 254 km, e que corresponde ao segmento inferior do rio Jacuí e Lago Guaíba. Nesse trecho, existem três barramentos dotados de eclusas, de forma a viabilizar o transporte hidroviário: Amarópolis, Dom Marco e Fandango.

### 3 - Metodologia

Lakatos e Marconi (1991) definem método científico como um conjunto coerente de procedimentos racionais ou lógico-racionais para o alinhamento de pensamentos visando alcançar um objetivo comum. Sendo assim, definiu-se os seguintes passos, baseado em Gualda (1995):

1. Estruturação do problema;
2. Observações e absorção de conhecimentos;
3. Construção do Modelo/Teoria;
4. Teste do Modelo/Teoria;
5. Obtenção da solução;
6. Análise e validação da solução.

Neste contexto, os trabalhos de Stopford, M. (2009) e Branch, A. E. (2007) nortearam o desenvolvimento da teoria de custos de navegação e viabilidade técnica, enquanto os trabalhos de Brito, T.B. (2008) e Winston, W. (2003), guiaram o desenvolvimento da análise qualitativa das alternativas e também o desenvolvimento do modelo de simulação.

Com relação ao modelo de simulação de eventos discretos, este foi elaborado para a determinação das características da logística inbound e outbound da empresa (frota, estrutura dos terminais, capacidade de armazenagem entre outros), possibilitando uma análise de custo mais precisa.

No que tange ao desenvolvimento deste modelo, a metodologia utilizada foi baseada nos passos propostos por Pedgen et al. (1995) e posteriormente modificados por Botter (2002). Estas etapas são compostas basicamente por:

- a) Definição do problema;
- b) Planejamento do projeto;
- c) Definição do sistema;
- d) Formulação conceitual do modelo;
- e) Projeto preliminar do experimento;
- f) Preparação dos dados de entrada;
- g) Codificação do modelo;
- h) Verificação e validação do modelo;
- i) Projeto final do experimento;
- j) Experimentação e análises de sensibilidades;
- k) Análise e interpretação dos resultados;
- l) Implementação e documentação.

Paralelamente, Chwif & Medina (2006), nortearam o desenvolvimento do modelo. Estes autores dividem a elaboração do modelo em três etapas principais (Figura 4):

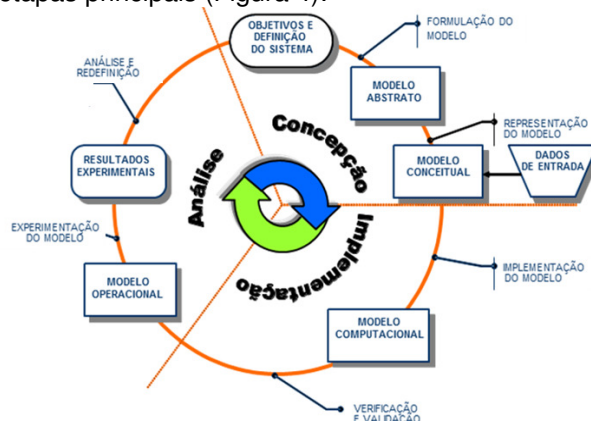


Figura 4– Metodologia de desenvolvimento do modelo de simulação (Chwif e Medina (2006)

- 1) Conceção: onde se definem o sistema e os objetivos, além de se realizar o levantamento de dados e a modelagem conceitual;
- 2) Implementação: elabora-se o modelo computacional propriamente dito, sua verificação e validação;
- 3) Análise: onde são realizadas as simulações desejadas, análises de sensibilidade e análise de resultados.

### 4 - Embarcações para o transporte hidroviário

Com relação as embarcações para o transporte hidroviário no Rio Jacuí, foram consideradas

conjuntos empurrador-barcaça. A **Tabela 1** apresenta as características do comboio.

Tabela 1 - Características do comboio fluvial

BARCAÇA - RIO PARDO	CARACTERÍSTICAS
Capacidade no calado 2,75 m (t)	2000
Comprimento (m)	84,5
Boca (m)	12
Calado máximo (m)	2.75
Pontal (m)	3.75
Acondicionamento da carga	Porão
EMPURRADOR RIO PARDO	CARACTERÍSTICAS
Potencia instalada	900/1000 HP
Potencia (continua)	900 HP
Comprimento (m)	20
Boca (m)	11
Pontal (m)	2.7

Por sua vez, o transporte na Lagoa dos Patos será realizado por um autopropelido de capacidade aproximada de 5,600 toneladas, que transportará 350 fardos de 16 toneladas. A carga de retorno oriunda de Pelotas é menos densa, possibilitando o carregamento de aproximadamente 4,300 toneladas.

## 5 - Estudo da sinergia de transporte em Pelotas

Vários cenários foram estudados no transporte de madeira e celulose pela Lagoa dos Patos e pelo Rio Jacuí. A seguir, será apresentado o cenário que considera o transporte intermodal de toras rodo-ferro-hidroviário, escoando madeira da região oeste do estado, passando pelo terminal de Pelotas, onde os autopropelidos são carregados rumo a Guaíba. Uma vez descarregadas as toras, a embarcação é limpa e carregada com celulose, realizando o trajeto Guaíba – Rio Grande. Apesar das quantidades de madeira e celulose serem iguais no cenário T1.5 (1.5 MTPA de tora e 1.5 MTA de celulose), há um desbalanceamento de fluxo devido à menor densidade das toras. Já no cenário de T2.5, o quantidade transportada de toras é de 2.5 MTA, causando um desbalanceamento ainda maior.

O carregamento de descarregamento de produtos é feito por máquinas Liehber 954, com produtividade variando entre 300 e 600 toneladas por hora.

Os resultados são apresentados a seguir.

Tabela 2 - Ocupação dos terminais e número de viagens necessárias

Cenário	T1.5	T2.5
Frota necessária de auto-propelidos	4	5

### Movimentação de carga

Qtde entregue em RG (t)	1,547,840	1,551,200
Qtde entregue em Guaíba (t)	1,536,154	2,524,734

### Ocupação dos terminais

Ocupação Equipto Caminhão Pelotas	0%	44%
Ocupação Equipto Trem Pelotas	66%	66%
Ocupação Terminal em Pelotas	55%	50%
Ocupação terminal Guaíba Madeira	63%	54%
Ocupação terminal Guaíba Celulose	34%	34%
Ocupação terminal Rio Grande	34%	34%

### Viagens dos auto-propelidos

# viagens RG-P	276	277
# viagens P-G	354	582
# viagens G-RG	276	277
# viagens G-P	78	305
# viagens RG-G	0	0

A partir da tabela, observa-se que as taxas de ocupação dos equipamentos são aceitáveis, sendo menores que 70%, e houve uma pequena quantidade de viagens vazias (78, no total), no trajeto Guaíba-Pelotas.

Além disso, a composição dos tempos de ciclo é apresentada na Tabela 3. Observa-se que há um *tradeoff* entre investimento em equipamentos nos portos e frota. Com o investimento portuário, haveria diminuição no tempo de carga/descarga e consequentemente uma diminuição no tempo de ciclo, podendo diminuir o número de embarcações necessárias. Essa análise não será realizada no presente trabalho.

A sinergia de transporte de toras e celulose possibilitou uma redução de cerca de 40% no custo total hidroviário na Lagoa dos Patos, que já é reduzido se comparado com outros modais.

**Tabela 3 – Composição dos tempos de ciclo**

Cenário	T1.5	T2.5
Frota mínima necessária de auto-propelidos	4	5

**Composição do ciclo completo do auto-propelido**

Tempo em fila no berço de Guaíba - Celulose (h)	0.0	0.3
Atracação/Desatracação no berço de Guaíba - Celulose (h)	1.0	1.0
Carregamento no berço de Guaíba - Celulose (h)	9.3	9.3
Navegação entre Guaíba e Rio Grande (h)	20.0	20.0
Tempo em fila no berço de Rio Grande (h)	1.1	1.7
Atracação/Desatracação no berço de Rio Grande (h)	1.0	1.0
Descarregamento no berço de Rio Grande (h)	9.3	9.3
Navegação entre Rio Grande e Pelotas (h)	4.0	4.0
Tempo em fila no berço de Pelotas (h)	5.3	3.2
Atracação/Desatracação no berço de Pelotas (h)	1.0	1.0
Carregamento no berço de Pelotas (h)	12.0	6.0
Navegação entre Pelotas e Guaíba - Madeira (h)	20.0	20.0
Tempo em fila no berço de Guaíba - Madeira (h)	1.6	1.2
Atracação/Desatracação no berço de Guaíba - Madeira (h)	1.0	1.0
Descarregamento no berço de Guaíba - Madeira (h)	14.4	7.2

**Total 101.1 86.3**

**Composição do ciclo Guaíba-Pelotas do auto-propelido**

Tempo em fila no berço de Pelotas (h)	5.3	3.2
Atracação/Desatracação no berço de Pelotas (h)	1.0	1.0
Carregamento no berço de Pelotas (h)	12.0	6.0
Navegação entre Pelotas e Guaíba - Madeira (h)	20.0	20.0
Tempo em fila no berço de Guaíba - Madeira (h)	1.6	1.2
Atracação/Desatracação no berço de Guaíba - Madeira (h)	1.0	1.0
Descarregamento no berço de Guaíba - Madeira (h)	14.4	7.2
Navegação entre Guaíba e Pelotas (h)	20.0	20.0

**Total 75.3 59.7**

**6 - Análise dos modais**

As implicações da alternativa puramente rodoviária são, num primeiro instante, os

impactos urbanos atuais e futuros na região de Guaíba, em especial na Av. Castelo Branco (do trevo de acesso na BR-116 até a entrada da fábrica). Em regime uniforme, sempre haveria um caminhão carregado de madeira na entrada da Av. Castelo Branco outro no meio e outro chegando na fábrica, e outros três retornando, dados os fluxos estimados. Ou seja, 6 ou mais veículos pesados de madeira simultaneamente nessa via. No entanto, fluxo uniforme e regular raramente existe, ainda mais em esse tratando de uma via importante para o município de Guaíba, com vocação de acesso e com uma ocupação lindeira ao longo da via que tende a aumentar, à medida em que cresce a sua importância como via de tráfego de passagem, atraindo estabelecimentos comerciais e de serviços que, por sua vez, geram mais tráfego de veículos circulando e estacionando. Isso tudo, agravado pelo aclave no sentido em que trafegam os caminhões carregados, e por um semáforo de ciclo longo, provoca perturbações no tráfego ao longo da Av. Castelo Branco que pode ocasionar acúmulo de caminhões, fila, dificuldade de trafegar e cruzar a via, etc. Nesse contexto, caminhões de grande porte transportando madeira são muito intrusivos, “agredem” o espaço urbano, e podem passar a serem vistos pela população como os “culpados” pelos problemas de trânsito na Av. Castelo Branco, levando as autoridades municipais a tomarem medidas restritivas à sua circulação e prejudicando o abastecimento de madeira para a fábrica.

Cabe também observar que a expansão de fábrica causará um aumento de pelo menos 5 vezes o fluxo de caminhões ao seu redor, se essa opção fosse escolhida, que por si só já seria um grande impacto para a população local. Deve-se considerar ainda o município de Guaíba encontra-se dentro de uma importante região metropolitana, a de Porto Alegre. Caso seja construída uma nova ponte sobre o Guaíba, ligando a zona sul de Porto Alegre a Barra do Ribeiro, como parte de um projeto maior de um rodoanel para a região metropolitana, podem se agravar as condições de tráfego em Guaíba e Barra do Ribeiro, e também nas rodovias do entorno, em particular a BR-116 e a BR-290, importantes acessos para a fábrica da CMPC.

Assim, é fundamental conhecer não só os riscos como as alternativas ao transporte puramente rodoviário para abastecimento de madeira para a fábrica. Em linhas gerais, existem duas alternativas principais, ambas utilizando o modal hidroviário, uma vez que a ferrovia está distante da fábrica e não pode ser considerada um modal



de abastecimento de madeira para a fábrica: pelo Rio Jacuí, via Rio Pardo, Cachoeira do Sul ou General Câmara, ou pela Lagoa dos Patos, via Pelotas.

Dentre as alternativas hidroviárias através do Rio Jacuí, a alternativa de embarque em Rio Pardo parece ser a mais promissora das três. A navegação a partir de Cachoeira do Sul exige muitas intervenções na regularização do canal de navegação, investimentos de maior porte, derrocamentos de difícil licenciamento ambiental, operação difícil na transposição da barragem de Dom Marco, necessidade de assegurar vazão mínima no Jacuí. Já o transporte hidroviário via General Câmara implica em um “desvio” no trajeto dos caminhões, com um percurso rodoviário adicional equivalente ao percurso direto até a fábrica, o que naturalmente aumenta os custos de transporte dessa alternativa, uma vez que tem que ser adicionados os custos de carga, transporte hidroviário e descarga. Por outro lado, é a mais favorável do ponto de vista de navegação, uma vez que não há riscos ou obstáculos maiores, não há necessidade de dragagem e podem ser utilizadas embarcações maiores, reduzindo assim os custos unitários (em termos de R\$ por tonelada-km), porém que não são suficientes para compensar o acréscimo de custo rodoviário de acesso a General Câmara, e os custos de carga e descarga.

Nas alternativas de transporte através do Jacuí, pressupõe-se um sistema de transporte dedicado, sem carga de retorno. Nesse sentido, o uso de comboios hidroviários do tipo barcaça-empurrador é favorável, uma vez que as barcaças podem trabalhar descopladas dos empurradores, de modo que os empurradores, que correspondem a investimentos mais expressivos na frota, não tenham que aguardar o carregamento e a descarga das barcaças e possam operar quase que ininterruptamente, com paradas apenas para acoplamento/desacoplamento de barcaças e abastecimento.

Já a alternativa hidroviária via Pelotas apresenta a grande virtude de possibilitar o transporte da madeira como carga de retorno da celulose destinada a Rio Grande, possibilitando assim, reduzir o custo desse transporte. Por outro lado, o transporte na Lagoa dos Patos exige embarcações do tipo auto-propelido, não permitindo o uso de comboios do tipo empurrador-barcaça como no rio Jacuí, tendo em vista as condições mais desfavoráveis de navegação com vento. Por outro lado, o transporte de madeira nas embarcações de celulose implica necessidade adicional de frota, mesmo que os fluxos nos dois sentidos sejam

equilibrados, uma vez que aumenta o tempo de ciclo das embarcações em relação ao transporte direto de celulose no percurso Guaíba-Rio Grande: além do tempo adicional de navegação para atingir Pelotas, há os tempos de atracação e desatracação, carga e descarga da madeira, e limpeza da embarcação após a descarga da madeira, a fim de evitar o risco de contaminação da celulose por resíduos de madeira.

Deve-se destacar ainda que dependendo da necessidade de transporte de madeira a partir de Pelotas (mais especificamente quantidades maiores) pode haver um desequilíbrio ou desbalanceamento de fluxos, o que levaria à necessidade de viagens vazias entre Guaíba e Pelotas, a fim de buscar madeira, já que não haveria tanta celulose para ser levada até Rio Grande em todas as viagens partindo de Guaíba. Isso acarretaria um aumento de custo no transporte de madeira via Pelotas, mas ainda atrativo.

Os resultados e as análises realizadas não indicam haver claramente uma alternativa mais vantajosa do ponto de vista de custos logísticos para abastecimento de madeira. Em todas elas, com exceção da madeira da região sul do estado, o transporte puramente rodoviário em geral é mais barato. E a análise depende de cada município, e da sua posição relativa aos possíveis terminais de embarque. Por outro lado, há os riscos do abastecimento rodoviário, que precisam ser ponderados face aos custos e aos riscos de cada uma das alternativas, considerando as possíveis origens da madeira, algo que não pode ser simplesmente quantificado em custos.

Nesse sentido, uma análise envolvendo os riscos e contingências dos modais foi elaborada, conforme apresentado na Figura 5. O risco médio do modal rodoviário se deve a vários motivos, dentre os quais destacam-se: possibilidade de proibição de circulação de caminhões a medida em que os impactos na área urbana, tais como poluição, tráfego intenso e acidentes, passam ocorrer; e possibilidade do aumento do frete em função da procura pelo modal.

Modal	Riscos do modal	Contingências possíveis
Rodoviário	Médio	Baixo tempo de interrupção de vias, baixa possibilidade de proibição de tráfego de toras de madeira, exceto na área urbana de Guaíba, maior flexibilidade na inserção de caminhões para pequenas variações de demandas.
Ferroviário	Alto	Médio tempo de interrupção de vias, risco de rupturas contratuais, ambiente não concorrencial, overbooking, frete não controlável.
Hidroviário pelo Jacuí	Médio	Baixo tempo de interrupção de vias, maior dificuldade na obtenção de licenças ambientais, interferência de terceiros no tráfego das edusas, maior dependência junto a órgãos governamentais.
Hidroviário pela Lagoa dos Patos	Baixo	Baixo tempo de interrupção de vias, menor dificuldade na obtenção de licenças ambientais por já existir tráfego na via.

Figura 5 - Riscos dos modais

CHWIF, L., & MEDINA, A. (2007). Modelagem e Simulação de Eventos Discretos. São Paulo: Ed. do Autor.

BRANCH, A. E. (2007). Elements of Shipping (8ª Edição ed.). Routledge.

BOTTER, R.C. (2002). Tratamento de dados em simulação discreta, Tese de Livre-Docência apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

BRITO, T.B. (2008). Modelagem e simulação de um terminal regulador de contêineres. Trabalho de Formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

GUALDA, N.D.F. (1995). Terminais de Transporte: contribuição ao planejamento e ao dimensionamento operacional". Tese de Livre Docência apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

## 7 - Conclusões

A metodologia apresentada se mostrou adequada no dimensionamento do transporte intermodal, especialmente com relação à frota de embarcações necessária para o transporte de madeira e celulose.

As questões técnicas sobre navegabilidade do Rio Jacuí e Lagoa dos Patos fornecem ao tomador de decisões a possibilidade de se trabalhar com dois sistemas hidroviários simultaneamente, sendo competitivo com relação aos custos e muito superior com relação aos impactos ambientais e riscos econômico-sociais.

## 8 - Referência bibliográfica

LAKATOS, E. M., & MARCONI, M. A. (1991). Metodologia Científica. São Paulo: Ed. Atlas.

STOPFORD, M. (2009). Maritime Economics (3ª Edição ed.). Routledge.

WINSTON, W. (2003). Operations Research Applications and Algorithms (4ª Edição ed.). Thompson.