

TRANSPORTE HIDROVIÁRIO DE CARGAS: PROPOSTA DE MODELO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS DE LINHA NA NAVEGAÇÃO INTERIOR BRASILEIRA

INLAND WATERWAY CARGO TRANSPORTATION: LINE COSTS ESTIMATE MODEL PROPOSAL IN BRAZILIAN INLAND NAVIGATION

TRANSPORTE FLUVIAL DE CARGAS: PROPUESTA DE UN MODELO PARA ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LÍNEA EN LA NAVEGACIÓN INTERIOR BRASILEÑA

Luís Eduardo Bender

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Técnico em Regulação de Serviços de Transportes Aquaviários na Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ)

Endereço: Unidade Regional de Porto Alegre – UREPL/ANTAQ, Travessa Francisco de Leonardo Truda, 40, Conjuntos 92 a 94, Edifício FORMAC, Centro Histórico, CEP: 90.010-050, Porto Alegre, RS, Brasil
Telefone: (51) 2117-8450

E-mail: leduardobender@gmail.com

Fernando Dutra Michel

Mestre em Engenharia Industrial com ênfase em Transporte pela PUC-RIO

Professor Assistente do Departamento Engenharia de Produção e Transportes (DEPROT) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Endereço: Escola de Engenharia da UFRGS, Av. Osvaldo Aranha, 99, Sala 515, Centro Histórico, CEP: 90.035-190, Porto Alegre, RS, Brasil.

Telefone: (51) 3308-3596

E-mail: fernandodmichel@gmail.com

Artigo recebido em 22/11/2018. Revisado por pares em 07/07/2017. Reformulado em 09/07/2018. Recomendado para publicação em 23/07/2018. Publicado em 31/08/2018. Avaliado pelo Sistema *double blind review*.



RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um modelo de estimativa de custos de linha do transporte hidroviário de cargas para embarcações que operam na navegação interior brasileira. A partir da revisão da literatura, foram adotadas fórmulas para o cálculo de cada componente de custo do modo hidroviário para compor o modelo, que foi aplicado para sua validação e para simulação de cenários operacionais de hidrovias brasileiras. Os resultados da aplicação confirmaram e refletiram aspectos constantes na literatura a respeito do transporte hidroviário, levando à conclusão de que o modelo proposto é válido.

Palavras-chave: Transporte Hidroviário de Cargas; Custos do Transporte Hidroviário; Modelo de Estimativa de Custos; Navegação Interior Brasileira.

ABSTRACT

The objective of this work is to present the development of a model for the estimate of line costs of the waterway cargo transportation for vessels operating in Brazilian inland navigation. Equations to calculate each cost component of the waterway mode were obtained from the literature review and they were used to compose the model, which was applied for its validation and for the simulation of Brazilian waterway operating scenarios. The results of the application confirmed and reflected aspects presented by the literature regarding waterway transport, and they led to the conclusion that the proposed model is valid.

Keywords: Inland Waterway Cargo Transportation; Inland Waterway Transportation Costs; Costs Estimate Model; Brazilian Inland Navigation.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo presentar el desarrollo de un modelo de estimación de costos de línea del transporte fluvial de cargas para embarcaciones que operan en la navegación interior brasileña. A partir de la revisión de la literatura, se adoptaron fórmulas para el cálculo de cada componente de costo del modo fluvial para componer el modelo, que fue aplicado para su validación y para simulación de escenarios operacionales de hidrovías brasileñas. Los resultados de la aplicación confirmaron y reflejaron aspectos constantes en la literatura acerca del transporte fluvial, llevando a la conclusión de que el modelo propuesto es válido.

Palabras clave: Transporte Fluvial de Cargas; Costos del Transporte Fluvial; Modelo de Estimación de Costos; Navegación Interior Brasileña.

1 INTRODUÇÃO

O modo hidroviário de transporte de cargas mostra-se muito adequado a operações de grande escala, sendo capaz de movimentar grandes volumes a longas distâncias com relativos baixos consumo de combustível e emissão de poluentes atmosféricos. Entretanto, verifica-se no cenário atual a elevada concentração da matriz brasileira de transporte de cargas no modo rodoviário, cujas vias de tráfego apresentam históricas más condições estruturais e de conservação, que são pioradas com o tráfego crescente de veículos de carga nas rodovias. O desequilíbrio da matriz de transporte de cargas acaba onerando os custos de abastecimento interno e prejudicando as exportações, alavancando o problema logístico denominado “custo Brasil”.

O Brasil apresenta condições favoráveis à utilização do transporte hidroviário, possuindo diversos rios propícios à navegação, que configuram uma solução natural para uma desvantagem desse modo de transporte: o limitado escopo geográfico de suas vias, que são menos extensas do que as de qualquer outro modo de transporte (BALLOU, 2006; BOWERSOX et al, 2006). Para que o modo possa ser mais utilizado, é fundamental conhecer a fundo suas características e particularidades, sendo o custo do transporte uma das principais, de modo que, no planejamento de soluções logísticas que visem a uma matriz de transporte mais equilibrada, possam ser realizadas comparações entre os diferentes modos de transporte, sobretudo sob o viés econômico-financeiro. Para a CNT – Confederação Nacional do Transporte (2013), a concretização do modo hidroviário de transporte no Brasil tem como maior entrave a ausência de estudos e análises detalhadas do sistema hidroviário.

Apesar de menos explorado do que poderia (e deveria) ser, o transporte hidroviário que é desenvolvido no Brasil apresenta consideráveis diferenças de escala. Enquanto que na bacia hidrográfica do Atlântico Sul, que apresenta trechos navegáveis de até 500 km, são utilizadas embarcações automotoras de no máximo 5.000 toneladas de capacidade, em razão da impossibilidade de utilização de comboios fluviais (MIGUEMS, 1996), nas hidrovias da bacia Amazônica grandes comboios de até 30.000 toneladas navegam por até 2.500 km.

Considerando o baixo número de estudos a respeito dos custos e as particularidades do modo hidroviário, o objetivo deste estudo é a proposição de um modelo de cálculo para

estimativa dos custos de linha do transporte hidroviário de cargas no Brasil, que possa ser aplicado para qualquer tipo de embarcação e adaptável aos diversos contextos operacionais da navegação interior brasileira. Além de apresentar o modelo proposto, são feitas simulações através de sua aplicação e discutidos os resultados.

2 CUSTOS DO TRANSPORTE HIDROVIÁRIO

Os transportes fluvial e lacustre são denominados transporte hidroviário interior ou navegação interior, que é realizada em percurso nacional ou internacional em hidrovias interiores do continente – rios, lagos, canais, lagoas, baías, angras, enseadas e áreas marítimas consideradas abrigadas (CAMPOS NETO et al., 2014; MARINHA DO BRASIL, 2005).

Em razão de sua dependência, em grande parte das vezes, por integrações logísticas com outros modos de transporte, o custo do transporte hidroviário pode ser analisado pelos custos incorridos em toda a cadeia logística do transporte de mercadorias – globalmente, no transporte porta-a-porta. Mais do que a remuneração pelos custos do transporte hidroviário em si, que engloba todos os itens que fazem possível o deslocamento da embarcação pela hidrovia, o frete pago pelo usuário – embarcador ou consignatário da carga – cobre também custos com transbordo e intermodalidade. Os custos de transbordo estão associados à movimentação da carga em portos ou terminais de origem e destino da embarcação que a transporta. Referem-se à soma dos custos com equipamentos e mão-de-obra para carregamento ou descarregamento da embarcação, além de eventual cobrança por armazenagem da mercadoria na área portuária. Já os custos de intermodalidade consistem no pagamento pela transferência por outro modo de transporte, desde a origem (ou destino) da carga até o seu terminal de embarque (ou desembarque). Este estudo está restrito ao custo de linha, expressão utilizada pelo DNPVN (BRASIL, 1970) em referência ao custo somente do transporte por embarcação, sem considerar os custos nos terminais portuários ou de intermodalidade.

Os estudos acerca do transporte hidroviário estão menos presentes na literatura do que os do transporte marítimo. Além das vias navegáveis, que se restringem ao interior do continente, o modo hidroviário difere do marítimo pelas embarcações, que, de acordo com Alfredini e Arasaki (2009), possuem menor calado relativamente ao comprimento e à boca do

casco, pequena borda livre, possibilitada pela navegação em águas abrigadas, e baixas alturas de suas estruturas, podendo navegar sob estruturas de pequenas alturas livres. Entretanto, as maneiras de estimar os custos dos dois modos de transporte aquaviário são bastante similares, sendo muitas vezes a do hidroviário uma adaptação da análise do marítimo.

Apesar de não haver uma metodologia de custeio consensual na indústria marítima e em sua literatura, Stopford (1997) desenvolve um método de cálculo dos custos do transporte marítimo bastante difundido, e propõe uma classificação dos componentes de custo em operacionais, de viagem, de capital, de manutenção periódica (docagem) e de movimentação da carga. Também para o transporte marítimo, mais especificamente para navios tanque, Turan et al. (2009) propõem um modelo de cálculo para estimativa dos custos de produção de um navio, sua manutenção periódica e combustível baseado na otimização da utilização do aço na construção naval, fazendo algumas adaptações às fórmulas de Stopford (1997) e calculando itens como provisão de docagem e consumo de combustível de modo mais analítico.

A navegação interior desenvolvida na Europa é uma forte referência na literatura a respeito do modo hidroviário. Um estudo completo foi realizado pela *European Commission* (2004), analisando a estrutura de custos dos armadores que operam nas várias hidrovias do continente e desenvolvendo estimativas de itens de custo para relações embarcação-hidrovia típicas. Contudo, os dados de custo desse estudo não se mostram diretamente aplicáveis à realidade brasileira, por serem valores monetários em moeda estrangeira, além de refletirem realidade operacional e econômica distinta.

No Brasil, o Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis – DNPVN (BRASIL, 1970) apresenta estimativas de custo do transporte para automotores e comboios fluviais, baseado em estudos realizados para hidrovias europeias, com dados apresentados em moeda corrente à época. Padovezi (2003), em seu modelo de procedimento de projetos de comboios fluviais, apresenta um formulário para estimativa do custo do transporte para esse tipo de embarcação, que é aplicado para as hidrovias dos rios Tietê e Araguaia.

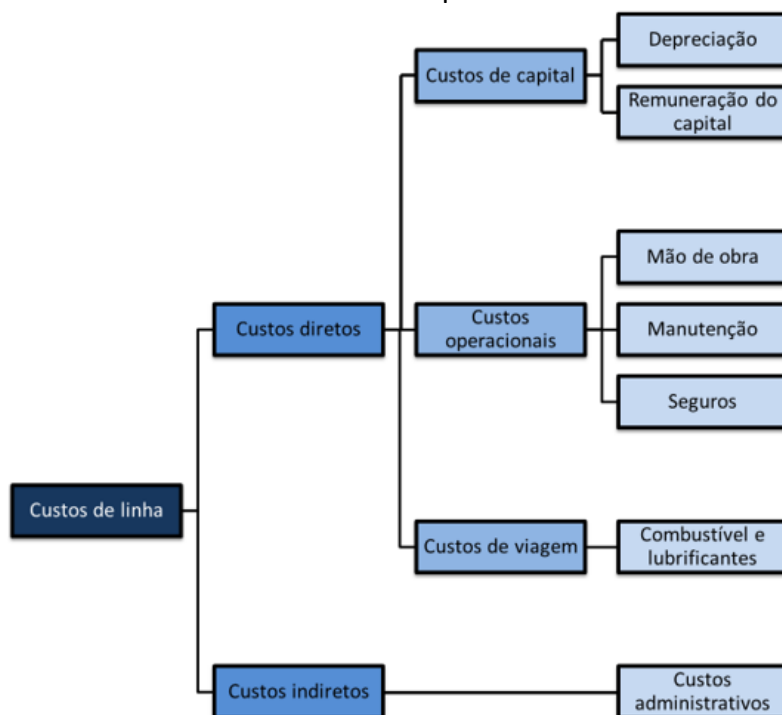
Os itens que compõem o custo de linha do transporte hidroviário apresentam suas particularidades. Os trabalhadores que tripulam embarcações na navegação interior

denominam-se fluviários, e detalhes do funcionamento do trabalho embarcado foram encontrados na NORMAM-13 (MARINHA DO BRASIL, 2003) e na Convenção Coletiva De Trabalho 2014/2015 dos sindicatos SINDARSUL – Sindicato dos Armadores de Navegação Interior dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Mato Grosso do Sul e SINFLUMAR – Sindicato dos Trabalhadores em Transportes Marítimos e Fluviais do Estado do Rio Grande do Sul (SINDARSUL, 2014). Para detalhes qualitativos acerca de seguros e manutenção de embarcações foram consultados, respectivamente, Vianna (2016) e Lindemann (2006).

3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO

O modelo proposto teve seu desenvolvimento iniciado pela definição dos componentes de custo a serem estimados, sendo estruturado conforme figura a seguir, com base em Stopford (1997) e *European Commission* (2004).

Figura 1 – Estrutura dos custos de linha do transporte hidroviário



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Foram buscados na literatura e avaliados métodos de cálculo de cada componente do custo de linha para adoção no modelo. Para os custos de capital, foram adotadas e adaptadas as fórmulas utilizadas por Valente et al. (2011). O formulário para cálculo dos custos com mão

de obra foi criado pelos autores a partir de informações da Convenção Coletiva de Trabalho 2014/2015 (SINDARSUL, 2014) celebrada entre o Sindicato dos Armadores de Navegação Interior dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Mato Grosso do Sul – SINDARSUL e o Sindicato dos Trabalhadores em Transporte Marítimo e Fluvial do Rio Grande do Sul – SINFLUMAR, que estabelece em detalhes o modo como a remuneração dos trabalhadores deve ser paga. Para os custos de manutenção e com seguros, foram adotadas fórmulas e percentuais utilizados pelo DNPVN (BRASIL, 1970). Por fim, para os custos com combustível e lubrificantes, foi adaptada a fórmula utilizada por Turan et al. (2009) em seu modelo, que leva em conta, além do consumo específico dos motores, o deslocamento da embarcação, refletindo a quantidade de carga que a embarcação está transportando.

O quadro 1 a seguir apresenta a formulação adotada para todos os cálculos do modelo, para estimativa do custo de linha mensal individualizada para uma embarcação de carga qualquer da navegação interior.

Quadro 1 – Formulário do modelo proposto

Fórmula	Legenda
$CL = (C_{dep} + C_{RC} + C_{MO} + C_{man} + C_{seg} + C_{CL}) \cdot (1 + p_{adm}) \quad (1)$	CL = custo de linha; C _{dep} = custo da depreciação da embarcação; C _{RC} = custo da remuneração do capital; C _{MO} = custo da mão de obra; C _{man} = custo de manutenção da embarcação; C _{seg} = custo com seguros da embarcação; C _{CL} = custo com combustível e lubrificantes; p _{adm} = relação histórica entre custos indiretos e diretos.
$C_{dep} = \frac{VE_{n-1} - VE_n}{12} \quad (2)$ $VE_n = VE_{aq} \cdot \left[1 - \left(1 - \sqrt[u]{\frac{VE_{res}}{VE_{aq}}} \right)^n \right] \quad (3)$	C _{dep} = custo da depreciação da embarcação; VE _{n-1} = valor da embarcação no ano anterior “n-1”; VE _n = valor da embarcação de idade “n”. VE _{aq} = valor de aquisição da embarcação; VE _{res} = valor residual da embarcação; n = idade da embarcação; u = vida útil da embarcação.
$C_{RC} = \frac{1}{12} \cdot \left[\frac{(VE_{aq} - VE_n) \cdot (u^* + 1) \cdot j}{2 \cdot u^*} + VE_n \cdot j \right] \quad (4)$	C _{RC} = custo da remuneração do capital; VE _{aq} = valor de aquisição da embarcação; VE _n = valor da embarcação de idade “n”; u* = prazo de financiamento da embarcação; j = taxa anual de juros.
$C_{MO} = R_{trip} + AB \quad (5)$	C _{MO} = custo da mão de obra; R _{trip} = remuneração da tripulação;

$R_{trip} = N_{TT} \cdot (1 + ES) \cdot \sum_1^{N_{trip}} (SB_i + A_{IP} + AN + HE + GV) \quad (6)$ $AI = p_i \cdot (SB + HE) \quad (7)$ $AP = p_p \cdot (SB + HE) \quad (8)$ $HE = (1 + p_{HE}) \cdot \frac{h_{ext}}{h_{mês}} \cdot SB \quad (9)$ $AN = p_{AN} \cdot \frac{h_{not}}{h_{mês}} \cdot SB \quad (10)$ $GV = \frac{1}{2} \cdot (p_{GV} \cdot \frac{d_{mês}}{d_{base}} \cdot SB) \quad (11)$ $AB = N_{TT} \cdot N_{trip} \cdot \frac{D_{ET}}{N_{DM}} \cdot CB \quad (12)$	<p>AB = custo da alimentação a bordo; N_{TT} = número de turnos de tripulação; N_{trip} = número de tripulantes; SB = salário-base; i = categoria do trabalhador fluvial; A_{IP} = adicional de insalubridade ou de periculosidade; AI = adicional de insalubridade; AP = adicional de periculosidade; AN = adicional noturno; HE = valor das horas extras; GV = gratificação por viagem; ES = encargos sociais; p_i = percentual de insalubridade; p_p = percentual de periculosidade; p_{HE} = percentual de acréscimo por horas extras; h_{ext} = número de horas extras no mês; h_{mês} = total de horas trabalhadas no mês; p_{AN} = percentual de adicional noturno; h_{not} = número de horas de trabalho noturno; p_{GV} = percentual de gratificação por viagem; d_{mês} = distância mensal navegada; d_{base} = distância-base para gratificação por viagem; D_{ET} = duração do embarque de um turno; N_{DM} = número de dias no mês; CB = valor da Cesta Básica de Alimentos do Dieese.</p>
$C_{man} = \frac{p_{man} \cdot VE_{aq}}{12} \quad (13)$	<p>C_{man} = custo de manutenção da embarcação; p_{man} = percentual de manutenção; VE_{aq} = valor de aquisição da embarcação.</p>
$C_{seg} = \frac{p_{seg} \cdot VE_{aq}}{12} \quad (14)$	<p>C_{seg} = custo com seguros da embarcação; p_{seg} = percentual de seguros; VE_{aq} = valor de aquisição da embarcação.</p>
$C_{CL} = \left(\frac{f_p \cdot CE \cdot P_{\Delta i} \cdot d_{mês} \cdot Pr_{comb}}{v \cdot \rho} \right) \cdot (1 + p_{lub}) \quad (15)$ $P_{\Delta i} = \frac{(\Delta_i)^{\frac{2}{3}} \cdot v^3}{C} \quad (16)$ $\Delta_i = LWT + DWT_{máx} \cdot p_{DWT} \quad (17)$	<p>C_{CL} = custo com combustível e lubrificantes; f_p = fator de redução da potência dos motores; CE = consumo específico dos motores; P_{Δi} = potência necessária para o deslocamento da embarcação na condição de carregamento "i"; d_{mês} = distância mensal navegada; Pr_{comb} = preço do combustível; v = velocidade média da embarcação; ρ = densidade do combustível; p_{lub} = percentual para lubrificantes; Δ_i = deslocamento da embarcação na condição de carregamento "i"; C = coeficiente de <i>Admiralty</i>; LWT = deslocamento leve da embarcação;</p>

$$C = \frac{(\Delta_{m\acute{a}x})^{\frac{2}{3}} \cdot v^3}{P_{nom}} \quad (18)$$

DWT_{máx} = capacidade máxima de carga;
 p_{DWT} = percentual de utilização da capacidade de carga;
 Δ_{máx} = deslocamento máximo da embarcação;
 P_{nom} = potência propulsiva nominal da embarcação.

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

4 APLICAÇÃO DO MODELO

O modelo proposto foi aplicado, primeiramente, para verificação de sua validade, através da comparação de resultados com dados de custo reais de uma embarcação automotora de um armador do Rio Grande do Sul. Outra aplicação foi realizada, simulando operação de embarcações em cenários fictícios, para análise e comparação do comportamento e da evolução do custo de linha para embarcações com capacidades de carga distintas navegando por hidrovias de diferentes extensões. Também foi avaliado o comportamento da parcela variável dos custos de linha para diferentes possibilidades de modo operacional das embarcações. Para isso, foram definidos os cenários operacionais simulados e os dados de entrada do modelo. A aplicação teve sua operacionalização facilitada pela montagem de uma planilha eletrônica, tornando automáticos os diversos cálculos necessários.

4.1 VALIDAÇÃO

Para esta aplicação, foram utilizados dados de entrada reais, seguindo rigorosamente valores informados pela empresa armadora para o mês simulado, como, por exemplo, distância navegada, quantidade de carga transportada e os dados da embarcação. Por questão de sigilo, requerido pela empresa, esses dados não são divulgados, sendo mostrados na tabela 1 a seguir os resultados reais para os principais itens de custo informados pela empresa, assim como os resultados obtidos da aplicação do modelo para os dados reais.

Tabela 1 – Comparativo de itens de custo direto para validação do modelo proposto

Item	Símbolo	Estimado		Real	
		Valor	Peso	Valor	Peso
Mão de obra	C _{MO}	R\$ 67.596,90	26%	R\$ 111.572,00	40%
Manutenção	C _{man}	R\$ 58.333,33	23%	R\$ 56.183,00	20%
Seguros	C _{seg}	R\$ 25.000,00	10%	R\$ 11.414,00	4%
Combustível e lubrificantes	C _{CL}	R\$ 106.772,85	41%	R\$ 102.154,00	36%
Total		R\$ 257.966,64	100%	R\$ 281.323,00	100%

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Com exceção do custo de mão de obra, a comparação dos resultados estimados pelo modelo com os fornecidos pelo armador apresenta valores bastante próximos como estimativa. A maior diferença, entre os custos de mão de obra, pode ser explicada por uma particularidade da empresa: o pagamento de gratificações em valores cerca de 9 vezes maiores do que o convencionado pelo acordo coletivo dos sindicatos (SINDARSUL, 2014) e que é calculado pelo modelo. Para os custos com seguros, a diferença se deve, provavelmente, aos percentuais adotados no modelo, que seguiu o cálculo apresentado pelo DNPVN (BRASIL, 1970). No comparativo não foram abordados os custos de capital, pois o armador não considera em suas atividades custos de depreciação ou de remuneração do capital em função da idade da embarcação avaliada. Contudo, a ausência desses dados não prejudica a análise de validade do modelo, uma vez que tais itens são custos contábeis calculados com o uso de fórmulas universais da engenharia econômica.

Além da análise pelo cruzamento dos resultados do modelo com os dados reais, de um modo geral, os resultados que o modelo apresenta estão de acordo com o que afirmaram armadores entrevistados na Pesquisa CNT da Navegação Interior (CNT, 2013), com relação ao peso dos seus itens de custo, sendo combustível o item de maior peso e mão de obra o segundo. Dessa forma, com exceção dos itens de custo com capital, que a pesquisa da CNT não aborda, o modelo apresenta resultados que estão de acordo com a percepção dos empresários do setor.

4.2 CENÁRIOS E EMBARCAÇÕES SIMULADAS

Para as demais aplicações do modelo, foram criados dois cenários operacionais fictícios e para cada um foram simuladas as operações de duas configurações distintas de embarcações. Os cenários representam de modo aproximado, com relação à quantidade de carga transportada (ANTAQ, 2017) e distâncias navegadas (ANTAQ, 2012), a realidade operacional de duas hidrovias brasileiras: do Sul (cenário 1) e do rio Madeira (cenário 2). No primeiro cenário, foram considerados terminais portuários distantes 300 km, entre os quais deveria ser transportada uma demanda de carga anual de 1,5 milhão de toneladas de granéis sólidos. Para o segundo cenário, a distância entre origem e destino considerada foi de 2.500

km e a demanda de carga fixada foi de 5,5 milhões de toneladas. As demandas de carga de ambos os cenários foram divididas igualmente nos dois sentidos de viagem e igualmente distribuídas ao longo dos 12 meses de um ano. Foi considerado que os terminais portuários possuíam capacidades de carregamento e de descarregamento das embarcações de, respectivamente, 2.000 t/h e 400 t/h.

Foram utilizadas na aplicação duas embarcações características, aptas ao transporte de granéis sólidos: um automotor de 4.500 toneladas de capacidade de carga, representando as embarcações mais recentes a entrarem em operação na hidrovia do Sul, e um comboio fluvial de 30.000 toneladas de capacidade, formado por um empurrador e 20 chatas de 1.500 toneladas de capacidade cada, composição típica da hidrovia do rio Madeira. Não foi considerada nenhuma restrição à navegabilidade das embarcações nos cenários simulados. Cada operação de transporte compreendeu um ciclo de carga, viagem e descarga, de modo que a quantidade de operações realizadas por mês por cada embarcação, igualmente dividida entre as unidades da frota, e a frota de embarcações necessária para o atendimento da demanda, apresentadas como dado de entrada do modelo, foram calculadas de acordo com os tempos de viagem, carregamento e descarregamento. Ainda, foi considerado que as embarcações navegaram sempre carregando a totalidade de suas capacidades de carga, o que gerou percentuais de tempo ocioso para cada embarcação das frotas, cujo custo foi considerado englobado pelos componentes fixos do custo de linha.

4.3 DADOS DE ENTRADA

Os dados de entrada necessários para a aplicação do modelo de cálculo proposto foram divididos conforme classificação feita por Valente et al. (2011) em aplicação do MCMD para o modo rodoviário, e são informações sobre a embarcação avaliada, sua tripulação, a empresa armadora, os preços de insumos e a operação de transporte. A tabela 2 a seguir apresenta os dados da operação de transporte, que são função direta do cenário de aplicação configurado.

Tabela 2 – Dados da operação de transporte para entrada no modelo

	Unidade	Cenário 1		Cenário 2	
		Automotor	Comboio	Automotor	Comboio
Demanda de carga anual	t	1.500.000	1.500.000	5.500.000	5.500.000
			0		0

Número de operações	op.	333	50	1.222	183
Distância entre portos	km	300	300	2.500	2.500
Duração da viagem	h	20	32	169	270
Duração do embarque	h	2	15	2	15
Duração do desembarque	h	11	75	11	75
Capacidade de atendimento por embarcação	op./ano	260	72	48	24
Frota de embarcações necessária	quant.	2	1	26	8
Distância mensal navegada por embarcação	km	4.167	1.250	9.793	4.774
Percentual de utilização da capacidade de carga	%	100	100	100	100
Percentual de tempo ocioso	%	36	30	2	6

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Alguns dos dados necessários para a aplicação, sobretudo informações sobre embarcações, foram obtidos junto a dois armadores que operam na hidrovia do Sul, por não terem sido encontrados em fontes de domínio público. As fontes para os dados de entrada da tripulação foram a Convenção Coletiva de Trabalho 2014/2015 dos sindicatos dos fluviais e armadores (SINDARSUL, 2014) e a CLT (BRASIL, 1943), enquanto que os dados da empresa foram definidos pelos autores conforme informações dos armadores. Para os dados de preço, o período de referência é o primeiro trimestre de 2017. As tabelas 3 a 6 a seguir apresentam os demais dados de entrada necessários para a aplicação do modelo.

Tabela 3 – Dados da embarcação para entrada no modelo

	Símbolo	Unidade	Automotor	Comboio
Capacidade máxima de carga	DWT _{máx}	t	4.500	30.000
Deslocamento leve	LWT	t	1.125	7.750
Valor de aquisição	VE _{aq}	R\$	30.000.000,00	95.000.000,00
Valor residual	VE _{res}	R\$	3.000.000,00	9.500.000,00
Idade	n	anos	1	1
Vida útil da embarcação	u	anos	50	50
Prazo de financiamento	u*	anos	20	20
Potência propulsiva	P _{nom}	HP	1.200	1.800
Consumo específico dos motores	CE	g/kW.h	0,211	0,215
Fator de redução da potência dos motores	f _p	%	85	85
Velocidade média	v	nós	8	5
Tripulação	N _{trip}	quant.	7	15
Capitão Fluvial	CFL	quant.	0	1
Piloto Fluvial	PLF	quant.	1	1
Mestre Fluvial	MFL	quant.	1	1
Marinheiro Fluvial de Convés	MFC	quant.	2	6
Conductor Maquinista Motorista Fluvial	CTF	quant.	1	2
Marinheiro Fluvial De Máquinas	MFM	quant.	1	2
Cozinheiro	CZA	quant.	1	2

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Tabela 4 – Dados da tripulação para entrada no modelo

	Símbolo	Unidade	Valor
--	---------	---------	-------

Número de dias no mês	N_{DM}	dias	30
Total de horas trabalhadas no mês	$h_{mês}$	h	220
Duração do embarque de um turno	D_{ET}	dias	14
Número de horas de trabalho noturno	h_{not}	h	45
Número de horas extras	h_{ext}	h	91
Número de turnos de tripulação	N_{TT}	turnos	2
Percentual de acréscimo para as horas extras	p_{HE}	%	50
Percentual de adicional noturno	p_{AN}	%	25
Percentual de insalubridade			
Seções de convés e câmara	p_I	%	20
Seção de máquinas	p_I	%	40
Percentual de gratificação por viagem	p_{GV}	%	8,5
Distância-base para gratificação por viagem	d_{base}	km	500

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Tabela 5 – Dados de preço para entrada no modelo

	Símbolo	Unidade	Valor
Preço do combustível	Pr_{comb}	R\$	2,98
Valor da Cesta Básica de Alimentos do Dieese	CB	R\$	437,22
Salário-base:			
Capitão Fluvial	SB_{CFL}	R\$	1.976,95
Piloto Fluvial	SB_{PLF}	R\$	1.719,60
Mestre Fluvial	SB_{MFL}	R\$	1.322,82
Marinheiro Fluvial de Convés	SB_{MFC}	R\$	1.153,43
Conductor Maquinista Motorista Fluvial	SB_{CTF}	R\$	1.322,82
Marinheiro Fluvial De Máquinas	SB_{MFM}	R\$	1.153,43
Cozinheiro	SB_{CZA}	R\$	1.153,43

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Tabela 6 – Dados da empresa para entrada no modelo

	Símbolo	Unidade	Valor
Encargos sociais	ES	%	120
Taxa anual de juros	j	%	12
Percentual de custos administrativos	p_{CA}	%	10

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

4.4 RESULTADOS E ANÁLISES

A tabela 7 apresenta os resultados da aplicação do modelo para cada combinação de cenário e de tipo de embarcação simulada. Esses resultados foram expressos em unidades de R\$/t, uma vez que, usualmente, fretes são pagos nesta unidade de valor. Tais valores representam o custo unitário global da operação de transporte, para atendimento da demanda de carga fixada com cada um dos tipos de embarcação avaliados, e equivalem ao custo de linha de cada embarcação multiplicado pela quantidade de embarcações da frota e dividido pela tonelagem transportada.

Tabela 7 – Custo de linha por tonelada para as combinações simuladas

Cenário	Distância entre terminais (km)	Demanda anual de carga (t)	Automotor	Comboio
---------	--------------------------------	----------------------------	-----------	---------

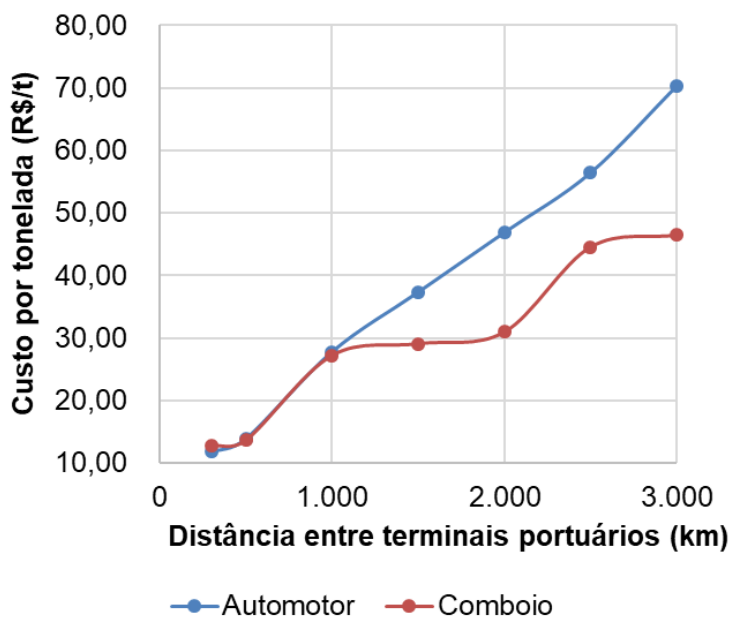
1	300	1.500.000	R\$ 11,82	R\$ 12,85
2	2.500	5.500.000	R\$ 56,81	R\$ 34,98

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Os resultados para as combinações “cenário-embarcação” evidenciam que a influência do tipo de embarcação no custo de linha é acentuada com o ganho de escala da operação de transporte, seja com aumento da distância entre terminais ou da quantidade de carga transportada. No mesmo sentido, a diferença de custos entre os tipos de embarcações apresenta crescimento à medida que aumenta a escala da operação. Particularidades de uma hidrovia, como seu comprimento navegável ou dimensões de seu canal de navegação, que determinam a capacidade de embarcações-típicas, geram reflexo direto no custo de linha e devem sempre ser levadas em conta em uma análise econômica do modo hidroviário, sobretudo na definição de uma embarcação-tipo a ser adotada. É válido ressaltar que a análise desses resultados não leva em conta a contribuição do custo do transbordo na operação, mas que, em princípio, esse pode ser considerado igual pra todos os casos de distância e quantidade de carga transportada, não invalidando, assim, as conclusões obtidas.

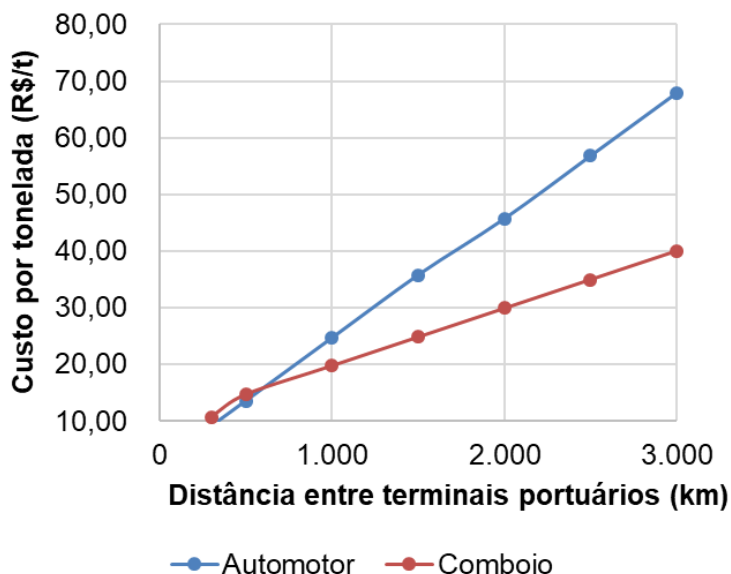
Foram realizados novos cálculos do custo de linha, sendo mantidos todos os dados de entrada e de cenários já definidos, mas variando e expandindo as distâncias navegadas, de 250 até 3.000 km. Com esses resultados, foram construídos os gráficos apresentados nas figuras 6 e 7 seguintes.

Figura 6 – Evolução do custo para a demanda anual de 1,5 milhão de toneladas



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Figura 7 – Evolução do custo para a demanda anual de 5,5 milhões de toneladas



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Uma análise comparativa dos resultados expressos nos gráficos acima confirma a influência da escala da operação no custo de linha unitário. Para uma mesma distância, há redução dos valores com o aumento da demanda de carga a ser transportada. A escala também reflete o comportamento da curva de custos do comboio fluvial na primeira situação, de menor demanda de carga, que apresenta patamares estáveis e crescimento sempre que a combinação “demanda-distância” torna necessária a inclusão de uma nova embarcação na frota, refletindo o peso dos custos de capital para esse tipo de embarcação. No segundo gráfico, a curva do comboio já apresenta comportamento linear, indicando que a escala de carga transportada faz o peso dos custos de capital ser mais bem diluído no custo de linha.

Outra forma de avaliação da aplicação do modelo é feita através da apresentação dos resultados mensais para uma unidade da frota, dividindo custo total da frota pela quantidade de embarcações, para avaliação da estrutura de custos entre automotor e comboio simulados. Para isso, foi escolhido o cenário 1, cujos custos de linha unitários mostrados na tabela 7 para os dois tipos de embarcação resultaram mais próximos. A tabela 8 a seguir apresenta os resultados mensais dos itens de custo e seus percentuais de participação na composição dos custos diretos totais.

Tabela 8 – Custos mensais e pesos dos itens diretos do custo de linha para o cenário 1

Item	Símbolo	Automotor		Comboio	
		Valor	Peso	Valor	Peso
Depreciação	C _{dep}	R\$ 112.518,53	17%	R\$ 356.308,69	24%
Remuneração do capital	C _{RC}	R\$ 171.750,00	26%	R\$ 543.875,00	37%
Mão de obra	C _{MO}	R\$ 99.224,10	15%	R\$ 190.748,16	13%
Manutenção	C _{man}	R\$ 87.500,00	13%	R\$ 130.416,67	9%
Seguros	C _{seg}	R\$ 37.500,00	6%	R\$ 118.750,00	8%
Combustível e lubrificantes	C _{CL}	R\$ 162.982,03	24%	R\$ 119.571,65	8%
Total		R\$ 671.474,66	100%	R\$ 1.459.670,18	100%

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Embora os custos unitários para o cenário 1 tenham resultado em valores relativamente próximos (R\$ 11,82/t para o automotor e R\$ 12,85/t para o comboio), os resultados individualizados revelam considerável diferença entre os pesos de cada item na estrutura de custos dos dois tipos de embarcação, principalmente para os custos de capital e de combustível e lubrificantes. Para o comboio, o peso dos custos de capital equivale a mais de 60% dos custos diretos totais, gerando os patamares na curva custo-distância anteriormente mencionados. É possível inferir, dessa forma, que a adoção de comboios para operação em uma hidrovia deve ser precedida de análises econômicas precisas, para que o retorno do capital investido pelo empresário seja garantido.

Os resultados até aqui apresentados dependeram das condições de operação definidas para a simulação. Outra abordagem que pode ser feita na aplicação é definir que as embarcações operaram transportando por viagem somente a quantidade de carga necessária para atender a demanda operando em 100% do tempo, ao contrário do que foi feito, em que a capacidade de carga foi totalmente utilizada e as embarcações permaneceram algum tempo ociosas. A tabela 9 a seguir apresenta os resultados dessa opção de operação, para a qual foram alterados alguns dados de entrada, novamente individualizados por embarcação e para o cenário 1 definido e apenas para o automotor, para simplificar a análise.

Tabela 9 – Resultados comparativos da variação dos percentuais de utilização da capacidade de carga e do tempo ocioso

Utilização da capacidade de carga – p _{DWT} (%)	Tempo ocioso (%)	Custo mensal com combustível e lubrificantes – C _{CL}	Custo de linha por tonelada	Distância mensal navegada (km)
100	36	R\$ 162.982,03	R\$ 11,82	4.167
64	0	R\$ 203.054,72	R\$ 12,66	6.510

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Os resultados apresentados acima para a modificação do modo de operação revelam

que a opção inicialmente adotada é mais vantajosa, de utilizar 100% da capacidade de carga das embarcações, refletindo em menores custos unitários e de combustível e lubrificantes, uma vez que, transportando menos carga, seriam necessárias mais viagens e uma maior quilometragem seria percorrida.

Outra alternativa operacional seria manter a utilização total da capacidade de carga das embarcações e modificar a velocidade média de navegação. A tabela 10 a seguir apresenta os resultados para essa nova simulação, em que foi adotada a mínima velocidade necessária para atendimento da demanda de 1,5 milhão de toneladas de carga do cenário 1 com a embarcação automotora (4,15 nós).

Tabela 10 – Resultados comparativos da variação da velocidade média operacional e do percentual de tempo ocioso

Utilização da capacidade de carga – p_{DWT} (%)	Tempo ocioso (%)	Velocidade média – v (nós)	Custo mensal com combustível e lubrificantes – C_{CL}	Custo de linha por tonelada	Distância mensal navegada (km)
100	36	8,00	R\$ 162.982,03	R\$ 11,82	4.167
100	0	4,15	R\$ 43.858,62	R\$ 9,72	4.167

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Diferentemente do caso anterior, a opção de redução de velocidade proporcionaria considerável redução do custo mensal com combustível e do custo de linha unitário. Entretanto, essa redução é possibilitada exclusivamente pela forma como o cenário foi proposto, fixando a demanda anual de carga. Caso avaliada a capacidade de produção da embarcação, em toneladas transportadas por período de tempo, mantendo aberta a quantidade de carga a ser transportada, o resultado seria diferente. Assim, foi feita nova simulação, para uma unidade de embarcação automotora, sendo avaliados os custos mensais com combustível e lubrificantes e unitário por tonelada na situação de máxima capacidade de atendimento nas velocidades definidas, no cenário 1, mas sem fixar demanda de carga. A tabela 11 a seguir apresenta os resultados dessa análise.

Tabela 11 – Resultados comparativos da variação da velocidade média operacional sem demanda fixa de carga

Utilização da capacidade de carga – p_{DWT} (%)	Tempo ocioso (%)	Velocidade média – v (nós)	Carga total transportada (t/ano)	Custo mensal com combustível e lubrificantes – C_{CL}	Custo de linha por tonelada	Distância mensal navegada (km)
100	0	8,00	1.165.000	R\$ 253.165,42	R\$ 8,72	6.472
100	0	4,15	750.000	R\$ 43.858,62	R\$ 9,72	4.167

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Para esse último caso, a redução de velocidade, apesar de diminuir o custo mensal com combustível, não representaria redução de custo unitário do transporte, uma vez que, navegando a menor velocidade, a capacidade de transporte em longo prazo reduz consideravelmente (cai de 1,165 para 0,750 milhão de toneladas). Consumo de combustível (e, por consequência, seu custo) e velocidade estão fortemente relacionados, e os resultados dessa simulação estão de acordo com informações existentes na literatura sobre o assunto. Górski et al. (2013) afirmam que o fator que mais influencia o consumo de combustível é a velocidade, e, segundo Wang et al. (2013), o consumo claramente cresce mais do que linearmente em relação ao aumento da velocidade. Por outro lado, além do consumo, a velocidade de navegação influencia a capacidade de transporte da embarcação, pois quanto maior for a velocidade, maior será a quantidade de viagens que a embarcação poderá realizar ao longo do tempo e, conseqüentemente, maior será a quantidade de carga transportada, de modo que uma velocidade ótima de navegação é desejável para equilibrar os compromissos entre a entrega da carga, a capacidade de transporte e o custo com combustível (WANG et al., 2013).

Uma última análise comparativa que pode ser feita utilizando o modelo é com relação à formulação de Turan et al. (2009) adotada, de considerar a condição de carregamento da embarcação, ou seja, a quantidade de carga que está transportando. Muitas vezes, por restrições da hidrovia ou até mesmo ausência de carga de retorno, a embarcação navega transportando menos carga ou lastreada, sem atingir seu deslocamento máximo, o que na realidade reflete em menor consumo de combustível. Essa diferença de consumo é levada em conta pela fórmula do cálculo de combustível adotada, com os fatores calculados pelas fórmulas 16 a 18 apresentadas no quadro 1. Para ilustrar a diferença, foi simulado novamente, para os dados de entrada definidos para o cenário 1 e para uma embarcação automotora, o comparativo apresentado na tabela 12, considerando as fórmulas de Turan et al. (2009) e, além disso, outra alternativa levando em conta somente o consumo específico dos motores da embarcação.

Tabela 12 – Resultados comparativos considerando ou não condição de carregamento da embarcação proposta por Turan et al. (2009)

	Utilização da capacidade de carga – p_{DWT} (%)	Custo mensal com combustível e lubrificantes – C_{CL}	Custo de linha por tonelada	Distância mensal navegada (km)
Considerando condição de carregamento	64	R\$ 203.054,72	R\$ 12,66	6.510
Desconsiderando condição de carregamento	64	R\$ 341.503,38	R\$ 15,10	6.510

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Como esperado, os resultados do comparativo indicam uma considerável redução do custo mensal com combustível e lubrificantes devido à adoção das fórmulas de Turan et al. (2009), refletindo também em menor custo de linha unitário por tonelada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de cálculo proposto neste estudo mostrou-se adequado e útil para a estimativa dos custos de linha do modo hidroviário de transporte de cargas. Os resultados das simulações realizadas com a aplicação do modelo foram condizentes com alguns aspectos sobre o transporte hidroviário encontrados na literatura e refletiram as condicionantes determinadas pelos dados de entrada, e, conjuntamente com os resultados da validação, indicam a validade do modelo proposto. Todos os 6 itens de custos diretos estimados dependem de algum fator associado a características da embarcação. Assim, é importante e adequado que o modelo tenha sido estruturado para calcular o custo de linha de maneira individualizada por embarcação, abrangendo fatores que influenciam no custo e contemplando diferenças entre embarcações de características distintas.

Com relação a outros métodos e modelos de estimativa de custos do transporte hidroviário, apesar das semelhanças em razão, sobretudo, das fontes das fórmulas adotadas, o modelo proposto apresenta diferenças positivas, como a consideração da condição de carregamento da embarcação no cálculo do custo com combustível e lubrificantes e o grau de detalhamento do formulário para cálculo dos custos com mão de obra, dois dos itens de custo mais onerosos para os armadores, que tornam a estimativa mais precisa. Em um setor ainda pouco explorado, em que a concorrência entre empresas transportadoras é menor ou inexistente, é importante conhecer os custos com a maior precisão possível, para utilização em comparações de alternativas de modos de transporte e na análise e no planejamento de investimentos em logística.

A diferença entre o real e o estimado para o custo com seguros no resultado do comparativo de validação do modelo e a fórmula para custo com provisão de docagem de Turan et al. (2009) indicam ser possível aprimorar, em estudos futuros, o cálculo desses dois itens de custo, através do desenvolvimento de regressões lineares levando em conta fatores que influenciam os custos desses itens apontados na literatura. Outra sugestão para novos estudos é a aplicação e a validação do modelo proposto com um universo maior de empresas armadoras, em diferentes regiões brasileiras.

REFERÊNCIAS

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2009.

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Anuário**. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/Anuario/>>. Acesso em: 03 set. 2017.

ANTAQ. Hidrovias brasileiras. **Indicadores do transporte de cargas: tonelada útil transportada (t) e tonelada quilômetro útil (TKU) 2012**. Brasília: ANTAQ, 2012. Disponível em: <<http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2017/03/Transporte-de-Cargas-nas-Hidrovias-Brasileiras-2012-TKU.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2017.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão logística de cadeias de suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Estudo geral [das] vias navegáveis interiores do Brasil**. [S. l.]: Consórcio Franco Brasileiro/SGTE-LASA, [1970?], v. 1.

BRASIL. Presidência da República. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Decreto-lei n. 5.452**, de 1º de maio de 1943. Aprova a Consolidação das Leis do Trabalho. Brasília, DF, 1943. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del5452.htm>. Acesso em: 17 ago. 2017.

CAMPOS NETO, C. A da S.; PAULA, J. M. P. de.; POMPERMAYER, F. M. Hidrovias no Brasil: perspectiva histórica, custos e institucionalidade. Rio de Janeiro: IPEA, 2014. **Texto para Discussão n. 1931**. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2714/1/TD_1931.pdf>. Acesso em: 03 set. 2017.

CNT. **Pesquisa CNT da navegação interior 2013**. Brasília: CNT, 2013. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Pesquisa/pesquisa-cnt-navegacao-interior>>. Acesso em: 07 ago. 2017.

EUROPEAN COMMISSION. **Prospects of Inland navigation within the enlarged Europe**. [S. l.: s. n.], 2004. Disponível em:

<https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/inland/studies/doc/2004_pine_report_report_full.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2017.

GÓRSKI, W.; ABRAMOWICZ-GERIGK, T.; BURCIU, Z. The influence of ship operational parameters on fuel consumption. **Scientific Journals – Maritime University of Szczecin**. [S. l.], p. 49-54, 2013. Disponível em:

<<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-914aae3b-fa7c-4546-b508-717f8488120a>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

LINDEMANN, J. Modelo de apoio à decisão estratégica de terceirização da atividade de manutenção de embarcações: um estudo de caso. 2006. 105 f. **Dissertação (Mestrado em Administração e Negócios)** – Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <<http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/5587>>. Acesso em: 19 ago. 2017.

MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Portos e Costas. **Normas da Autoridade Marítima para Aquaviários – NORMAM-13/DPC**. [S. l.], 2003. Disponível em:

<https://www.dpc.mar.mil.br/sites/default/files/normam13_0.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2017.

MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Portos e Costas. **Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação Interior – NORMAM-02/DPC**. [S. l.], 2005.

Disponível em: <https://www.dpc.mar.mil.br/sites/default/files/normam02_1.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2017.

MIGUEMS, A. P. **Navegação: a ciência e a arte**. Niterói, 1996. v. 3.

PADOVEZI, C. D. Conceito de embarcações adaptadas à via aplicado à navegação fluvial no Brasil. 2003. 215 p. **Tese Doutorado** – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SINDARSUL. **Convenção Coletiva De Trabalho 2014/2015**. Sindicato dos Armadores de Navegação Interior dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Mato Grosso do Sul. Disponível em:

<www.sindarsul.com.br/Sindarsul_Sinflumar_CCT_2014_2015_transmitida.doc>. Acesso em: 17 ago. 2017.

STOPFORD, M. **Maritime Economics**. London: Routledge, 1997.

TURAN, O. et al. Maintenance/repair and production oriented life cycle cost/earning model for ship structural optimisation during conceptual design stage. **Ships and Offshore Structures**, [S. l.], v. 4, n 2, p. 107-125, May 2009. Disponível em:

<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17445300802564220>>. Acesso em: 19 ago. 2017.

VALENTE, A. M. et al. **Gerenciamento de transportes e frotas**. 2 ed. rev. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

VIANNA, G. M. **Direito Marítimo**. Rio de Janeiro: FGV, 2016. Disponível em: <https://direitorio.fgv.br/sites/direitorio.fgv.br/files/u1882/direito_maritimo_2016-2_1.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2017.

WANG, S.; MENG, Q.; LIU, Z. Bunker consumption optimization methods in shipping: A critical review and extensions. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**. [S. l.], v. 53, p. 49-62, July 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554513000264>>. Acesso em: 30 ago. 2017.