

**IMPACTOS DA LOGÍSTICA COLABORATIVA NA EFICIÊNCIA FINANCEIRA E AMBIENTAL: UM ESTUDO DE CASO NA CADEIA PRODUTIVA DA CERVEJA**

**RODRIGO DUARTE SOLIANI**  
INSTITUTO FEDERAL DO ACRE (IFAC)

**ANA RITA TIRADENTES TERRA ARGOUD**

**JOÃO BATISTA DE CAMARGO JÚNIOR**

**CÉSAR GOMES DE FREITAS**

# IMPACTOS DA LOGÍSTICA COLABORATIVA NA EFICIÊNCIA FINANCEIRA E AMBIENTAL: UM ESTUDO DE CASO NA CADEIA PRODUTIVA DA CERVEJA

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das análises realizada na avaliação de uma Cadeia de Suprimentos é o grau de concentração e o envolvimento do trabalho das empresas que formam a cadeia. Esse fator é importante, pois, via de regra, dele depende um maior valor agregado ao produto final. Porém, esse fator será inegavelmente maior para os sistemas mais eficientes ou para os integrantes que apresentam equilíbrio econômico entre seus parceiros diretos. O desenvolvimento de sinergias constitui um jogo “ganha-ganha”, visto que os membros da cadeia atuam em modo colaborativo e com o pensamento em atender ao consumidor final, com preço mais atraente e maior nível de serviço prestado (BARRATT, 2004).

As organizações que trabalham de maneira independente ou desarticulada no âmbito de uma cadeia de suprimentos percebem resultados negativos ou “soma-zero” para todos os diversos elos da cadeia, caso o cliente final venha a optar pelo produto do concorrente em função da maior eficiência dos processos de distribuição. A integração entre os participantes dessa atividade é fundamental para convergir em incentivos, trocar informações e alinhar custos e ganhos. Desta forma, diferentes articulações de sincronização das ações passaram a ser implementadas nas cadeias, saindo do mercado livre, passando pela cooperação, coordenação e chegando à colaboração (ALMEIDA; VIEIRA, 2013).

A ideia da Logística Colaborativa, que deve estar dentre as medidas a serem adotadas por uma organização, na expectativa de que tenha uma atuação caracterizada como sustentável, desempenhando atividades para que seu produto atenda à sociedade, refletindo assim, em lucros e mitigação dos impactos negativos ao meio ambiente. Isso é particularmente verdadeiro para o Brasil, um país de dimensões continentais em que o transporte rodoviário se tornou o modal dominante, responsável por 60% do transporte de carga no país (LEAL, 2018).

Dentro dos três pilares da sustentabilidade (econômico, social e ambiental) (PURVIS; MAO; ROBINSON, 2019), esta pesquisa se propõe a investigar dois deles: o econômico, com o custo de transporte, e o ambiental, com a emissão de CO<sub>2</sub> da operação. Dessa forma, este artigo discute a colaboração logística no transporte rodoviário e ressalta a relevância dessa prática como forma de reduzir os custos de entrega e as emissões de gases de efeito estufa na cadeia produtiva da cerveja. Em um mercado competitivo, a redução de custos devido a economias de escala no curto e no longo prazo, constitui uma questão competitiva fundamental para as empresas. Sendo assim, o principal objetivo desse trabalho é mediante a análise de diferentes cenários, quantificar a economia gerada com o aumento da eficiência e mensurar a melhora na emissão de CO<sub>2</sub> por tonelada transportada alcançados com a colaboração entre duas empresas do setor produtivo cervejeiro no Brasil. Nas próximas seções serão apresentados conceitos sobre logística e transporte colaborativos e relação entre logística e sustentabilidade.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Logística Colaborativa

Segundo Nagarajan *et al.* (2013), a logística colaborativa pode ser definida como as ações logísticas voltadas para a integração dos participantes da cadeia por meio das modernas tecnologias da informação e comunicação. O objetivo dessa prática é desenvolver estratégias e planos operacionais cooperativos, beneficiando principalmente o consumidor com melhores produtos e melhores serviços agregados, trazendo vantagens competitivas para todos os participantes e proporcionando a integração de toda a cadeia. Dessa forma, aumenta a troca de informações mediante o compartilhamento de recursos físicos, sistêmicos e humanos.

Na literatura internacional, a logística colaborativa é tratada como uma forma de estratégia da empresa para reduzir custos e aumentar sua eficiência. Wang (2014) descreve a

logística colaborativa como uma colaboração funcional que leva a economias de integração, coordenando atividades interdependentes. Ainda nessa linha, Carvalho *et al.* (2016) acreditam que a colaboração no processo logístico pode simplificar e tornar mais eficaz o desenvolvimento dos processos, relativamente ao tempo e à qualidade, explorando o conhecimento de pessoas específicas desses processos que trabalham dentro da organização. No circuito da cadeia de suprimentos, a logística colaborativa tem se constituído em uma nova tendência de relação entre os principais integrantes envolvidos, por oportunizar benefícios aos planos estratégicos da organização. Essa prática proporciona diminuição de custos, elevação no nível de serviço, redução de inventário, flexibilidade das operações e consolidação nos negócios (ZHOU; HUI; LIANG, 2011).

A logística colaborativa está setORIZADA em duas vertentes principais. A primeira delas é a colaboração tratada como vertical, que é realizada por fornecedores e clientes. Já a segunda é a colaboração horizontal, existente entre concorrentes, que, por sua vez, quebra paradigmas devido à falta de confiança entre as empresas envolvidas (KOTZAB *et al.*, 2019). Dentre suas propostas de atuação, a logística colaborativa busca empreender ações para diminuir os custos do processo no sentido de reduzir o preço final do produto. Por este aspecto, é preciso que ocorra o compartilhamento de informações, conhecimentos, competências e tecnologias entre as companhias para elevar sua competitividade frente à concorrência. Assim, a colaboração, em sua prática, é considerada um tema de elevada complexidade em função da blindagem que as empresas sustentam devido à desconfiança e foco em obter vantagem competitiva (SILVA; BARROS; PRADO, 2013).

As parcerias oportunizam benefícios relevantes para as organizações que sofrem com deficiências em certas competências e recursos, possibilitando a união de potencialidades para desenvolver vantagens competitivas que não são possíveis obter trabalhando isoladamente. Elas permitem também que a empresa tenha acesso com mais facilidade a novos mercados e oportunidades de sinergias operacionais e aprendizagens mútuas (CALDEIRA *et al.*, 2012).

Ressalta-se que a expectativa de ganhos com a implementação da Logística Colaborativa é, geralmente, mais significativa que no trabalho com a logística tradicional, pois nesta, a redução de custos fica apenas nas operações de transportes. Já na abordagem colaborativa, idealizada e estabelecida desde o começo do projeto, gera-se mais benefícios, como redução de custos, melhoria no nível de serviço, diminuição de inventário, precisão das previsões, flexibilidade operacional e fortalecimento global da cadeia de suprimentos, redução de excesso de estoque e melhoria da precisão das previsões e o atendimento ao cliente (ALMEIDA; VIEIRA, 2013).

A dinâmica da Logística Colaborativa, na visão de Buller (2012), evidencia o fortalecimento das potencialidades das organizações participantes, configurando melhorias no desempenho de suas atuações por meio do compartilhamento de informações, tecnologias e recursos.

## **2.2 Transporte Colaborativo**

O transporte ocupa um terço do valor dos custos de logística e influencia o desempenho do sistema logístico imensamente (KUMAR; SHIRISHA, 2014). Nesse contexto, a logística de transporte representa um aspecto estratégico, com o intuito de avaliar o valor agregado na aplicação de cada modal de transporte na movimentação de carga, analisando a confiabilidade, a composição de custos e realizando as adequações necessárias ao objetivo da logística da empresa. Para tanto, é importante a formulação de estratégias de otimização do transporte, refletindo em economia e diminuição dos valores finais do produto (BASSAN; WITTMANN; LORENZI JUNIOR, 2018).

O transporte colaborativo tem o foco para a consolidação da carga, procurando concentrar diversos produtos de variados fornecedores que fazem uso da mesma rota, reduzindo a movimentação do veículo com capacidade ociosa. O propósito que move a otimização do

espaço no veículo é conseguir taxas de transporte mais interessantes por meio de um melhor aproveitamento da capacidade do equipamento. O conceito de consolidação vem de vários anos e as práticas são intensamente empregadas no processo de transporte (GANSTERER; HARTL, 2020).

Chan e Zhang (2011) afirmam que a implementação da gestão de transporte colaborativo, também conhecida como *Collaborative Transportation Management* (CTM), se apresenta com a proposta de elevar a eficiência das operações de transporte (reduzir o tempo de trajeto e entrega, melhorar do frete retorno e diminuir o transporte com capacidade ociosa), elevar vendas, baixar os custos fixos e o capital de giro empregado, reduzir os estoques na cadeia de suprimentos, maximizar a satisfação dos clientes, gastar menos tempo com a realização de inventários, reduzir o índice de erros e desperdícios, aprimorar a troca de informações entre os parceiros, aumentar o nível de serviço, otimizar o uso dos equipamentos e da mão de obra, além da oportunidade de se obter taxas menores para a realização dos contratos.

A colaboração entre diferentes empresas é uma maneira eficaz de melhorar as operações logísticas de ambas. Um exemplo é quando duas empresas usam um mesmo armazém para dividir seus custos fixos, ou então quando estas distribuem um ou mais produtos para a mesma região contratam um mesmo transportador para distribuir para ambas empresas, ou ainda, quando duas empresas de transporte compartilham informações sobre ordens de transporte para permitir viagens de retorno (GUAJARDO; RÖNNQVIST, 2016).

Neste contexto, Kotzab *et al.*, (2019) destacam, dentre os potenciais benefícios do transporte colaborativo, o aproveitamento dos recursos de transporte empregados na operação. Em algumas situações, a colaboração fica evidenciada apenas entre o embarcador e seus transportadores, com melhorias na comunicação e na visibilidade das cargas, no entanto, em outros casos mais abrangentes, o que acontece é o compartilhamento dos veículos em “fluxos casados” de movimentação de mercadorias. Nesse sentido, integrantes da mesma cadeia ou embarcadores com cargas para complemento se aproximam para constituir ciclos de elevado rendimento, acordando cargas de retorno.

### **3. METODOLOGIA**

A fim de realizar a análise de diferentes cenários e quantificar a economia gerada com o aumento da eficiência, bem como mensurar a melhora na emissão de CO<sub>2</sub> por tonelada transportada alcançados com a colaboração entre as empresas, este trabalho se orienta pela pesquisa já desenvolvida por Soliani, Innocentini e Carmo (2020), empregando a metodologia lá desenvolvida com as devidas alterações para o presente caso.

Além disso, esta pesquisa utiliza-se da metodologia do estudo de caso, uma vez que esta justifica-se pois o estudo de caso permite entender de forma profunda um fenômeno do mundo real (YIN, 2015). A pesquisa propõe um modelo matemático voltado à logística colaborativa aplicado a um cenário real entre as empresas com resultados em termos de custo de transporte e de eficiência energética.

#### **3.1 Projeto de Logística Colaborativa**

Cabe destacar que, em razão de fins éticos de pesquisa, os nomes das empresas não serão mencionados, utilizando-se os nomes fictícios de “Empresa A” e “Empresa B” para identificá-las. A Empresa A trabalha como fornecedora de Maltose (principal componente do malte, usado na fabricação de cerveja) para a Empresa B, que atua na produção e distribuição de cerveja e outras bebidas. Devido ao próximo relacionamento comercial entre ambas, houve um crescente interesse de trabalharem juntas, buscando oportunidades de sinergias operacionais que facilitassem as iniciativas de colaboração.

As empresas integram a mesma cadeia de suprimentos e se uniram para formar um ciclo de alta produtividade, combinando cargas de retorno por meio do compartilhamento de veículos em “fluxos casados”.

A Empresa A fabrica e vende adoçantes, amidos, ingredientes nutricionais e soluções de biomateriais derivados da moagem e processamento de milho e outros materiais à base de amido. Suas atividades incluem transformar milho, tapioca, batata e outros vegetais e frutas em ingredientes de valor agregado e biomateriais para alimentos, bebidas, papel e papelão ondulado, fabricação de cerveja e outras indústrias. Ela foi fundada em 1906 e está sediada em Westchester, IL (EUA). No Brasil possui seis fábricas estrategicamente localizadas em Trombudo Central – SC; Balsa Nova – PR; Conchal – SP; Mogi Guaçu – SP; Alcântara – RJ; Cabo de Santo Agostinho - PE e um escritório em São Paulo – SP para atender a demanda dos mais variados produtos do norte a sul do país.

A Empresa B atua no gerenciamento, produção e distribuição de cerveja e outros produtos de bebidas. Opera em mais de 70 países, com 165 cervejarias, mais de 85.000 funcionários e mais de 250 marcas. A empresa foi fundada em 27 de março de 1952 e está sediada em Amsterdã, Holanda. No Brasil, possui 12 cervejarias, 2 microcervejarias, 1 xaroparia e 29 centros de distribuição espalhados pelo país.

Foi identificado uma oportunidade na cidade de Ponta Grossa/PR, onde ambas possuem operações. A Empresa A atende um cliente no município e a Empresa B possui uma planta na localidade, com entregas em cidades onde a Empresa A possui operações.

Os processos de carregamento e descarregamento normalmente são as atividades mais improdutivas do processo logístico, pois geralmente necessitam do auxílio da equipe do armazém, sendo o momento em que o motorista precisa aguardar o trabalho de outras pessoas, além de cumprir procedimentos burocráticos relacionados à liberação da carga (KELLER; KELLER, 2013). Tendo isso em mente, em fevereiro de 2019 as carretas da Empresa A começaram a operar com uma placa de identificação para terem preferência na carga e descarga nas fábricas da Empresa B.

Este projeto visa tornar os processos de entrega mais ágeis e eficientes, gerando economia de recursos e trazendo maior visibilidade para as marcas. Assim, a unidade de Mogi Guaçu (SP) da Empresa A envia um carregamento de amido ensacado (50 kg/big bag) para a fábrica de um cliente em Ponta Grossa (PR). Após a descarga, o veículo se desloca até uma unidade da Empresa B, que também se localiza em Ponta Grossa (PR). O veículo carrega os produtos acabados da Empresa B (cervejas em lata ou garrafa – paletizada) destinados à Jundiá (SP) ou Sorocaba (SP). Depois da descarga em um dos destinos da Empresa B, o veículo retorna à planta da Empresa A em Mogi Guaçu (SP) para um novo carregamento de Amido Ensacado para o cliente de Ponta Grossa (PR). O objetivo é utilizar possíveis trechos vazios das empresas onde não há viagens de retorno nas malhas cruzando com rotas de ambas as empresas.

Os instrumentos de coleta de dados utilizados na pesquisa foram coleta documental e entrevista. Na coleta documental foram usados dados brutos disponibilizados por ambas as empresas. A entrevista foi realizada a distância no mês de março de 2020 por meio de um roteiro semiestruturado. Os entrevistados foram os coordenadores de logística das Empresas A e B, selecionados pelas suas atuações diretas nas operações das empresas estudadas. O roteiro semiestruturado criado pelos pesquisadores deste estudo visava coletar informações de caracterização do perfil dos caminhões utilizados (t), o consumo de combustível (km/L), carga movimentada (t), os valores das tarifas de transporte (R\$/t) e as rotas praticadas (km).

### 3.2 Modelo Matemático para a Logística Colaborativa

O presente trabalho propõe um modelo matemático para a logística colaborativa esquematizada na Figura 1. Neste sentido, dois quesitos são considerados no modelo, a saber: a melhora dos indicadores financeiro e ambiental da operação logística.

No que diz respeito ao indicador financeiro, o modelo tem como objetivo mensurar o custo das atividades de transporte com a adoção do modelo de logística colaborativa. Já no indicador ambiental, o modelo pretende mostrar que diante das atuais preocupações com as questões de sustentabilidade e preservação ambiental, o emprego da logística colaborativa permite a redução do quociente entre a emissão de CO<sub>2</sub> e carga transportada pela frota. A fim de desenvolver a modelagem matemática para este trabalho, as seguintes considerações foram feitas:

- a) Será denominado Trajeto 1 a rota Empresa A (Mogi Guaçu/SP) x Cliente (Ponta Grossa/PR);
- b) Será denominado Trajeto 2 o deslocamento interno na cidade de Ponta Grossa/PR (Cliente x Empresa B);
- c) Será denominado Trajeto 3 a rota Empresa B (Ponta Grossa/PR) x Empresa B (Sumaré/PR);
- d) Será denominado Trajeto 4 o deslocamento entre a Empresa B (Sumaré/SP) e Empresa A (Mogi Guaçu/SP);
- e) O número de caminhões que participam da logística colaborativa é função da demanda das empresas;
- f) O custo de transporte é calculado através do valor do frete por tonelada (R\$/t). Quando o caminhão se encontra vazio é empregado neste calculo sua capacidade de carga.

De posse das considerações anteriores, o modelo matemático faz uso para execução dos cálculos os dados coletados apresentados na Tabela 1, a seguir.

**Tabela 1 - Dados coletados**

Variável	Valor
Carga mensal (t)	2.194,00
Capacidade de carga do caminhão (t)	25,00
Valor do frete carregado (R\$/t)	89,00
Valor do frete vazio (R\$/t)	57,85
Consumo médio do caminhão carregado (km/L)	3,40
Consumo médio do caminhão vazio (km/L)	2,20

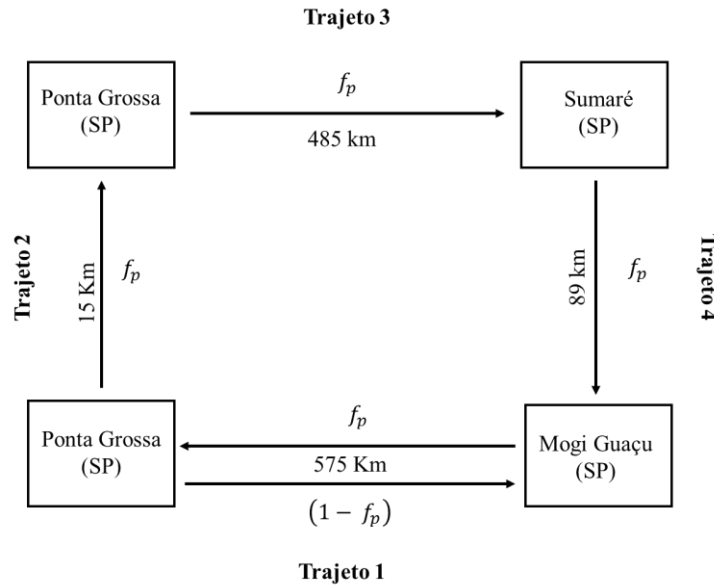
Fonte: Autores (2020)

#### 3.2.1 Modelo Matemático para Análise do Custo de Transporte

O modelo matemático proposto para a análise do custo de transporte tem como objetivo mensurar o retorno que a logística colaborativa proporciona à empresa transportadora com a melhor utilização da frota. Como pode ser observado por Soliani, Innocentini e Carmo (2020), assim como em Caldeira *et al.* (2012), essencialmente a logística colaborativa tem como objetivo aumentar a utilização da frota, evitando que esta circule vazia. Para isso, a logística colaborativa se apoia na melhor integração entre parceiros comerciais de modo a desenvolver entre eles uma simbiose, a fim de favorecer a ambos com a redução dos custos operacionais. A

Figura 1 apresenta cada um dos trajetos analisados e a fração da frota que participa da logística colaborativa, aqui definida como  $f_p$ . Neste sentido,  $1 - f_p$  denota a fração da frota que não participa da logística colaborativa, e, portanto, retorna vazia.

**Figura 1** - Esquema simplificado do modelo proposto



Fonte: Autores (2020)

Conforme a Figura 1, no Trajeto 1 se considera que a Empresa A sempre emprega a totalidade de sua frota. No entanto, ao longo dos demais trajetos, a utilização da frota está condicionada a demanda da Empresa B, a qual fará uso de apenas uma fração da frota  $f_p$ . Neste sentido, a parcela da frota não utilizada pela logística colaborativa retorna pelo mesmo Trajeto 1 a fim de ser novamente carregada pela Empresa A.

Os cálculos necessários ao modelo são realizados considerando-se as informações contidas na Tabela 2.

**Tabela 2** - Métricas da análise do custo de transporte

Métrica	Equação
Receita obtida com o frete	$R_i(f_p) = f_p \cdot CTT \cdot VFC \cdot T_i$
Custo de rodar vazio no Trajeto i	$C_i(f_p) = (1 - f_p) \cdot CTT \cdot VFV \cdot T_i$
Lucro no Trajeto i	$L_i(f_p) = [R(f_p) - C(f_p)] \cdot T_i$
I-ésimo trajeto	$T_i = 1, \quad i = 1,2,3,4$
Retorno máximo	$RMAX = 2 \cdot CTT \cdot VFC$

Fonte: Autores (2020)

Onde

$f_p$ : fração da frota que participa da logística colaborativa.

$CTT$ : carga total transportada.

$VFV$ : Valor do frete vazio.

$L_i(f_p)$ : Lucro

O cálculo do indicador financeiro é feito considerando-se as métricas da Tabela 2, sendo matematicamente descrito por:

$$EF(f_p) = \frac{\sum_{i=1,3} R_i(f_p) - \sum_{i=1,2,4} C_i(f_p)}{RMAX} \quad (1)$$

### 3.2.2 Modelo Matemático para Análise Ambiental

A análise ambiental aqui desenvolvida considera a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida pelos caminhões ao trafegarem pelos trajetos carregados e vazios, tendo como objetivo demonstrar que ao rodarem carregados, o quociente entre o a quantidade de CO<sub>2</sub> produzida e a carga transportada se reduz.

Para a conversão de consumo de combustível em emissões de CO<sub>2</sub>, foi utilizada a metodologia *GHG Protocol*, que é a ferramenta de contabilidade internacional mais usada por governos e empresas para entender, quantificar e gerenciar as emissões de Gases de Efeito Estufa. Ela serve de base para quase todos os padrões e programas de GEE do mundo (da *International Standards Organization (ISO)* ao *The Climate Registry*), além de centenas de inventários de GEE preparados por empresas ao redor do mundo (IRMA, 2017). A metodologia adota os fatores convertidos para kg/L, sendo que o fator de emissão utilizado foi o de 2,603 kg CO<sub>2</sub>/L, extraído da última atualização da ferramenta divulgada em fevereiro de 2020 (GHG PROTOCOL BRASIL, 2020).

A fim de calcular a quantidade de gás carbono produzida ao longo dos trajetos apresentados na

Figura 1, empregaram-se as seguintes relações matemáticas respectivamente para os trajetos carregado e vazio.

$$QCO2_c = \left(\frac{CTT}{TCC}\right) \cdot \left(\frac{D_i}{CCC}\right) \cdot T_i \cdot f_p \cdot fep, \quad i = 1,3 \quad (2)$$

$$QCO2_{vazio} = \left(\frac{CTT}{TCC}\right) \cdot \left(\frac{D_i}{CCV}\right) \cdot T_i \cdot f_p \cdot fep, \quad i = 1,2,4 \quad (3)$$

Sendo

CTT: Carga total transportada

TCC: Tonelagem do caminhão.

$D_i$ : referee a distância do trajeto  $i$ .

CCC: Consumo do caminhão carregado.

$f_p$ : fração da frota que participa da logística colaborativa

$Fep$ : fator de emissão 2,603 kg CO<sub>2</sub>/L

$T_i, i = 1, 2,3,4$ : trajeto analisado.

A eficiência energética é calculada por:

$$EF = \frac{f(\bar{x})}{g(\bar{y})} = \frac{kgCO2}{Tonelada}$$

Onde:



$$\begin{aligned}
f(\bar{x}) = & \sum_{i=1,3} f_p \cdot \left(\frac{CTT}{TCC}\right) \cdot \left(\frac{D_i}{CCC}\right) \cdot fep \cdot T_i \\
& + \sum_{i=2,4} f_p \cdot \left(\frac{CTT}{TCC}\right) \cdot \left(\frac{D_i}{CCV}\right) \cdot fep \cdot T_2 \\
& + (1 - f_p) \cdot \left(\frac{CTT}{TCC}\right) \cdot \left(\frac{D_i}{CCV}\right) \cdot fep \\
& \cdot T_1
\end{aligned} \tag{4}$$

$$g(\bar{y}) = CTT \cdot (1 + f_p) \tag{5}$$

Portanto, a equação da análise evidencia que quanto melhor for aproveitada a capacidade de transporte de carga da frota, menor será a relação entre a quantidade de CO<sub>2</sub> produzida e carga transportada.

#### 4. RESULTADOS

A seguir apresentam-se os resultados da colaboração entre as empresas estudadas em termos do custo do transporte e resultados ambientais.

##### 4.1 Resultados do Custo de Transporte

Para o cálculo dos parâmetros apresentados na Tabela 2 os valores de participação da frota  $f_p$  variam a cada 10.

A Tabela 3, traz os valores das receitas obtidas ao longo dos Trajetos 1 e 3. Os valores obtidos no Trajeto 1 são fixos, pois assume-se que a Empresa A sempre faz uso da totalidade da sua frota, assim a receita é máxima ao longo deste trajeto, ao passo que, no Trajeto 3, a receita é função da demanda da Empresa B.

**Tabela 3 - Custo de transporte dos Trajetos 1 e 3**

$f_p$	$T_1(f_p)$ [R\$]	$T_3(f_p)$ [R\$]
0,00	195.290,95	0
0,10	195.290,95	19.529,09
0,20	195.290,95	39.058,19
0,30	195.290,95	58.587,28
0,40	195.290,95	78.116,38
0,50	195.290,95	97.645,47
0,60	195.290,95	117.174,57
0,70	195.290,95	136.703,66
0,80	195.290,95	156.232,76
0,90	195.290,95	175.761,85
1,00	195.290,95	195.290,95

Fonte: Autores (2020)

A fim de se determinar o custo da frota rodando vazia, considerou-se o valor do frete vazio dado na Tabela 2. Este valor considera os custos fixos e iguais ao do caminhão carregado (diária do motorista, manutenção, depreciação, pedágio etc), sendo apenas o consumo variável.

**Tabela 4 -** Custo de transporte da frota rodando vazia nos Trajetos 1, 2 e 3

$f_p$	$C_1(f_p)$ [R\$]	$C_2(f_p)$ [R\$]	$C_3(f_p)$ [R\$]
0,00	126.939,12	0	0
0,10	114.245,21	12.693,91	12.693,91
0,20	101.551,29	25.387,82	25.387,82
0,30	88.857,38	38.081,74	38.081,74
0,40	76.163,47	50.775,65	50.775,65
0,50	63.469,56	63.469,56	63.469,56
0,60	50.775,65	76.163,47	76.163,47
0,70	38.081,74	88.857,38	88.857,38
0,80	25.387,82	101.551,29	101.551,29
0,90	12.693,91	114.245,21	114.245,21
1,00	0	126.939,12	126.939,12

Fonte: Autores (2020)

A Tabela 5 calcula o lucro em função da fração da frota que participa da logística colaborativa considerando as receitas menos os custos.

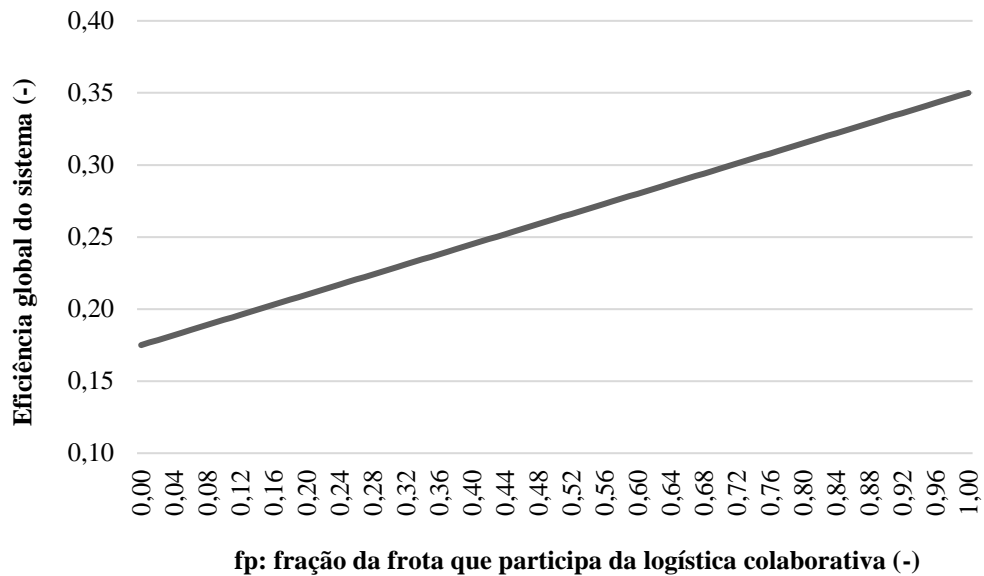
**Tabela 5 –** Resultado da logística colaborativa em função de fração da frota ( $f_p$ ) que participa da logística colaborativa

$f_p$	$L(f_p)$ [R\$]	$EF(f_p)$
0,00	68.351,83	0,18
0,10	75.187,02	0,19
0,20	82.022,20	0,21
0,30	88.857,38	0,23
0,40	95.692,57	0,25
0,50	102.527,75	0,26
0,60	109.362,93	0,28
0,70	116.198,12	0,3
0,80	123.033,30	0,32
0,90	129.868,48	0,33
1,00	136.703,66	0,35

Fonte: Autores (2020)

De modo a facilitar a interpretação dos resultados apresentados, foram gerados uma serie de gráficos para tal fim. Na Figura , tem-se graficamente a relação entre  $f_p$  e  $L_p$ , onde é possível observar que a eficiência global do sistema varia linearmente com a fração da frota que participa da logística colaborativa. Além disso, fica evidente na figura que há um aumento significativo da eficiência global quando se utiliza a totalidade da frota na logística colaborativa.

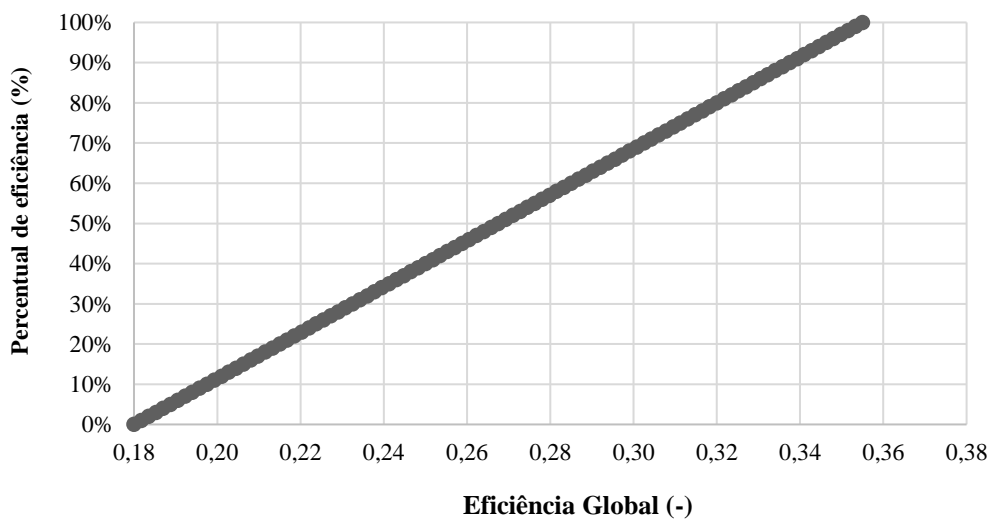
**Figura 2** - Eficiência global em função de fração da frota (fp) que participa da logística colaborativa



Fonte: Autores (2020)

O comportamento citado anteriormente é quantificado considerando-se o desempenho inicial sem a participação a logística colaborativa. Neste sentido, ao observar a Figura , nota-se que em relação ao desempenho inicial a eficiência global da operação de transporte aumentou 100%.

**Figura 3** - Eficiência global da operação de transporte



Fonte: Autores (2020)

Portanto, com os resultados apresentados torna-se evidente a melhoria de desempenho financeiro que a logística colaborativa proporciona ao ser empregada pelas empresas de transportadoras.

## 4.2 Resultados ambientais

A partir das discussões e do modelo matemático apresentado na seção 3.2.2, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 6, onde é possível observar que à medida que a porcentagem da frota que participa da logística colaborativa aumenta, há uma sensível redução no quociente entre a quantidade de CO<sub>2</sub> produzida e a carga transportada. Quantitativamente com toda frota participando há uma redução em 40% na relação kg CO<sub>2</sub> por tonelada, além do dobro de carga estar sendo transportada.

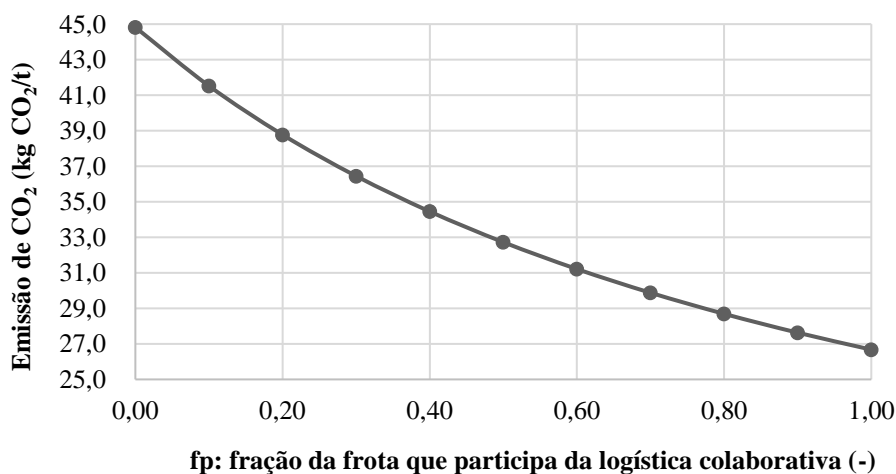
**Tabela 6 - Resultados para o modelo ambiental**

Fração da frota (fp)	kg CO <sub>2</sub> /t	Carga transportada (t)	Incremento (%)
0,00	44,822	2.194,28	0%
0,10	41,522	2.413,71	7%
0,20	38,773	2.633,14	13%
0,30	36,447	2.852,56	19%
0,40	34,453	3.071,99	23%
0,50	32,724	3.291,42	27%
0,60	31,212	3.510,85	30%
0,70	29,878	3.730,28	33%
0,80	28,692	3.949,71	36%
0,90	27,631	4.169,13	38%
1,00	26,676	4.388,56	40%

Fonte: Autores (2020)

Na Figura pode-se observar o perfil de redução da relação kg CO<sub>2</sub>/t, em que para 0% da frota participando da logística colaborativa se tem para cada tonelada transportada 45 kg de CO<sub>2</sub> emitido, ao passo que, para a totalidade da frota participando da logística colaborativa, se produz 26,676 kg de CO<sub>2</sub>, evidenciando o papel da logística colaborativa na redução das emissões.

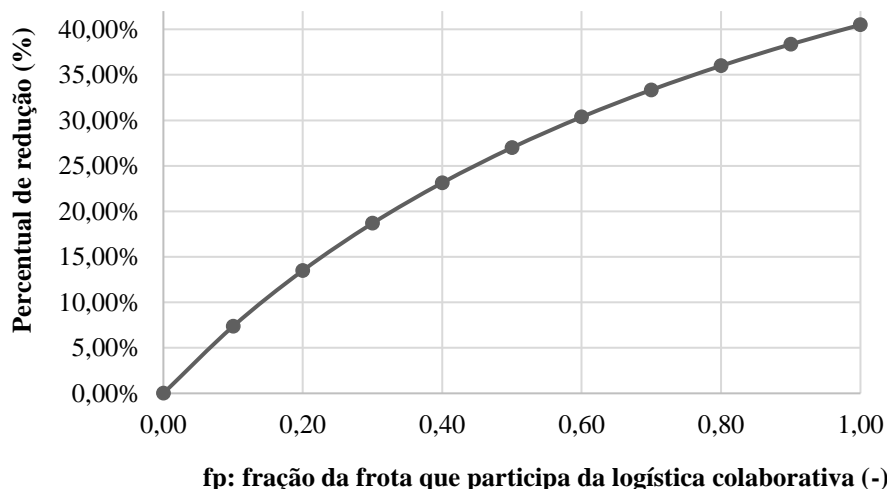
**Figura 4 - Emissões de CO<sub>2</sub> em função de fração da frota (fp) que participa da logística colaborativa**



Fonte: Autores (2020)

Por sua vez, a Figura mostra a porcentagem de redução da quantidade de kg CO<sub>2</sub> emitida por tonelada transportada em função da porcentagem da frota que participa da logística colaborativa. Assim, observa-se que há uma redução de 40% na relação mencionada.

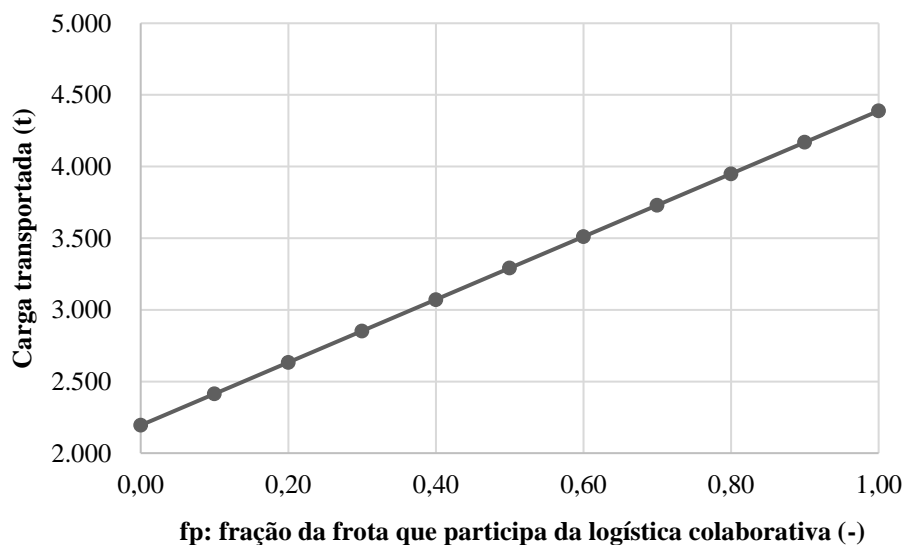
**Figura 5** – Percentual de redução das emissões de CO<sub>2</sub> em função de fração da frota (fp) que participa da logística colaborativa



Fonte: Autores (2020)

Fundamentalmente a logística colaborativa visa reduzir os trajetos que a frota percorre sem carga. Neste sentido, o gráfico da Figura mostra a carga total transportada pelos caminhões em função da porcentagem de caminhões que participam da logística colaborativa. É possível observar para 100% da frota participando desta dinâmica, a carga total transportada é duplicada.

**Figura 6** - Carga total transportada em função de fração da frota (fp) que participa da logística colaborativa



Fonte: Autores (2020)

Os resultados até aqui apresentados demonstram que a prática constante da colaboração no transporte de cargas contribui de maneira significativa para a sinergia dos negócios, a partir do desenvolvimento de atividades com menor utilização de recursos materiais (como combustível

e manutenção de frotas), e consequente redução nos impactos ambientais (a partir da redução na quilometragem e assim, emissão de GEE), provocando impactos cada vez mais positivos, sejam financeiros ou ecológicos.

## **5. DISCUSSÃO**

A partir da análise dos resultados obtidos pelo modelo matemático para mensurar o aumento da eficiência financeira, e consequentemente o incremento no lucro, é fácil compreender o papel que a logística colaborativa assume na redução dos custos de transportes das cargas, uma vez que, inicialmente a eficiência financeira identificada era de 17,5%, o que resultava em um lucro de R\$ 68.352, ao passo que, quando a totalidade da frota participa da logística colaborativa, a eficiência financeira passa a ser de 35%, aumentando o resultado para R\$136.704, portanto, a logística colaborativa foi responsável por dobrar o lucro obtido.

Por outro lado, ao se considerar os resultados obtidos pelo modelo quanto à eficiência ambiental, e consequente redução de danos ao meio ambiente, observa-se que, sem o uso da logística colaborativa tinha-se um quociente de 44,82 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada transportada, enquanto que, quando a frota participa na sua totalidade da logística colaborativa, o quociente se reduz para 26,68 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada transportada. Portanto, a logística colaborativa foi responsável em reduzir o impacto ambiental da operação em aproximadamente 40%.

Os resultados aqui apresentados estão em consonância com os resultados apresentados na literatura da área. Soliani, Innocentini e Carmo (2020) aferiram em sua pesquisa eficiência financeira de 38% e ambiental de 31%, portanto, próximo aos resultados aqui apresentados. Para Savitz (2013), cada vez mais percebe-se a valorização de empresas que prezam pela economia e sustentabilidade nos negócios. Isso pode-se confirmar também a partir da própria conceituação da logística que aponta diretamente para a colaboração, uma vez que tem como principal objetivo o atendimento às demandas de clientes com eficiência e eficácia.

Corroborando os achados de Savitz (2013), o coordenador de logística da Empresa A afirma que “Além de estreitar ainda mais os laços com os nossos clientes, conseguir aplicar veículos dedicados nessas operações casadas reforça ainda mais nosso compromisso em implementar modelos diferenciados de contratação logística, visando encantar todos os stakeholders envolvidos no processo. Em pouco tempo de utilização, já tivemos muitos feedbacks positivos em relação a utilização desses veículos.

Para o coordenador de Logística da Empresa B, há um grande reforço na marca e engajamento dos parceiros e fornecedores, pois “Com veículos dedicados e envelopados com nossa marca, temos um engajamento maior da transportadora e respectivos motoristas, que assimilam ainda mais nossos valores como companhia, sendo de fato uma extensão da empresa e não somente um prestador de serviços”.

Segundo Soosay e Hyland (2015), a colaboração torna as empresas mais competitivas, e consequentemente mais fortes perante o mercado. Mas, para que isso ocorra de maneira efetiva, é preciso que aconteça, além da troca de informações, maior poder de negociação com fornecedores, capilaridade na distribuição e fidelização dos recursos de transporte. Com essas práticas, os resultados monetários se mostram satisfatórios a médio e longo prazos. Outro ponto de destaque para a colaboração, segundo Tacla, Lima Júnior e Botter (2006), volta-se para os motoristas, uma vez que diminui o trabalho deles na busca por transporte de retorno e a espera nas operações de carga e descarga. Ainda segundo o estudo de Tacla, Lima Júnior e Botter (2006), em que se observa a relevância nos resultados financeiros a partir da utilização da logística colaborativa, a partir da integração das estratégias e táticas da colaboração, é possível a construção de um cenário favorável à conjugação de rotas e, portanto, economia na contratação de frete. Para além desse ponto, os autores também apontam para as vantagens não financeiras, como a economia de custos fixos de caminhões, com menor tempo nas filas para descarga, benefícios ambientais diretos, uma vez que há redução na emissão de GEE e também

benefícios para a população, com menos caminhões circulando e conseqüentemente, menores níveis de congestionamentos e ruídos.

## 6. CONCLUSÕES

Tanto para o modelo financeiro quanto para o modelo ambiental fica evidente que a logística colaborativa tem fundamental importância para o aumento do retorno financeiro e a sustentabilidade ambiental, uma vez que os resultados apontam aumento de 100% da eficiência financeira global, fazendo com que o índice saltasse de 17,5% para 35%. No aspecto ambiental ocorreu uma redução de aproximadamente 40% na relação de kg CO<sub>2</sub> emitido por tonelada transportada, o seja, de 44,88 kg CO<sub>2</sub>/t para 26,67 kg CO<sub>2</sub>/t. Neste sentido, os resultados obtidos encorajam os pesquisadores a desenvolver modelos mais refinados para esta problemática, considerando os custos do km rodado com o caminhão vazio e cheio, as demandas de cada uma das empresas por dia ao longo de um mês e a possível introdução de novos parceiros nos trajetos onde os caminhões ainda rodam vazio.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. M. D. P.; VIEIRA, J. G. V. Logística colaborativa: um estudo com fornecedores de supermercados de pequeno e médio porte. *Revista Gestão Industrial*. v. 9, n. 3, 2013. <https://doi.org/10.3895/S1808-04482013000300011>
- BARRATT, M. Understanding the meaning of collaboration in the supply chain. *Supply Chain Management*, v. 9, n. 1, p. 30-42, 2004. <https://doi.org/10.1108/13598540410517566>
- BASSAN, F. V.; WITTMANN, M. B; LORENZI JUNIOR, D. Logística de transporte: uma análise da produção científica entre 2007 e 2016. *Empreendedorismo, Gestão e Negócios*. Pirassununga, SP, v. 7, n. 7, p. 430-450, mar. 2018.
- BULLER, S. L. Logística empresarial. Curitiba: IESDE Brasil, 2012.
- CALDEIRA, A. et al. Estratégias de cooperação para a inovação: um estudo exploratório. *Anais EnANPAD*, Rio de Janeiro, ANPAD, 2012. Disponível em: [http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2012\\_ESO1367.pdf](http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2012_ESO1367.pdf)
- CARVALHO, M. S.; MAGALHÃES, D.; VARELA, M. L. Definition of a collaborative working model to the logistics area using design for Six Sigma. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 33 No. 4, 2016. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2014-0190>
- CHAN, F. T. S.; ZHANG, T. The impact of collaborative transportation management on supply chain performance: a simulation approach. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2319-2329, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.020>
- GANSTERER, M., HARTL, R.F. Shared resources in collaborative vehicle routing. *TOP* 28, 1–20, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11750-020-00541-6>
- GHG PROTOCOL BRASIL. Ferramenta de Cálculo. Programa Brasileiro GHG Protocol. FGV, São Paulo, 2020. Disponível em: <http://ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo/?locale=pt-br>
- GUAJARDO, M; RÖNNQVIST, M. A review on cost allocation methods in collaborative transportation. *International Transactions Operational Research*. 23(3), 371–392, 2016. <https://doi.org/10.1111/itor.12205>
- IRMA. Information Resources Management Association. *Natural Resources Management: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. IGI Global, 2017.

KELLER, S.B., AND KELLER, B.C. The Definitive Guide to Warehousing: Managing the Storage and Handling of Materials and Products in the Supply Chain. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2013.

KOTZAB, H.; DARKOW, I. L.; BÄUMLER, I.; GEORGI, C. Coordination, cooperation and collaboration in logistics and supply chains: a bibliometric analysis. Production, vol 29. São Paulo, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.20180088>

KUMAR, G. S.; SHIRISHA, P. Transportation the Key Player in Logistics Management. Journal of Business Management & Social Sciences Research (JBM&SSR). Volume 3, No.1, pp. 14-20, 2014.

LEAL, C. C. M. Transporte de Carga no Distrito Federal: Questões e desafios. Companhia de Planejamento do Distrito Federal – Codeplan, Brasília-DF, 2018. Disponível em: <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/TD-53-Transporte-de-Carga-no-Distrito-Federal.pdf>

NAGARAJAN, V.; SAVITSKIE, K.; RANGANATHAN, S.; SEN, S.; ALEXANDROV, A. The effect of environmental uncertainty, information quality, and collaborative logistics on supply chain flexibility of small manufacturing firms in India. Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics, Vol. 25 No. 5, pp. 784-802, 2013. <https://doi.org/10.1108/APJML-09-2011-0065>

PURVIS, B., MAO, Y. & ROBINSON, D. Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. Sustain Sci 14, 681–695, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>

SAVITZ, A. The Triple Bottom Line: How Today's Best-Run Companies Are Achieving Economic, Social and Environmental Success - and How You Can Too (2nd ed.). San Francisco, CA: John Wiley & Sons, 2013.

SILVA, V. M. D.; BARROS, T. D.; PRADO, J. R. Logística colaborativa: um estudo de caso no setor de armazenagem e logística. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 33., 2013, Salvador. Anais ENEGEP, Rio de Janeiro, ABEPRO, 2013. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013\\_TN\\_STO\\_177\\_009\\_22172.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_177_009_22172.pdf)

SOLIANI, R. D.; INNOCENTINI, M. D. M.; CARMO, M. C. Collaborative logistics and eco-efficiency indicators: an analysis of soy and fertilizer transportation in the ports of Santos and Paranaguá. Independent Journal of Management & Production. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.14807/ijmp.v11i5.1303>

SOOSAY, C.A.; HYLAND, P. A decade of supply chain collaboration and directions for future research. Supply Chain Management, Vol. 20 No. 6, pp. 613-630, 2015. <https://doi.org/10.1108/SCM-06-2015-0217>

TACLA, D.; LIMA JUNIOR; O. F.; BOTTER, R. C. A collaborative transportation proposal for urban deliveries: costs and environmental savings. Urban Transport XII. Urban Transport and the Environment in the 21st Century. Prage, Czech Republic, 2006. Disponível em: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/89/16762>

WANG, X; KOPFER, H. Collaborative transportation planning of less-than-truckload freight. OR Spectrum, 36, 357-380, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00291-013-0331-x>

YIN, R. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZHOU, G.; HUI, Y. V.; LIANG, L. Strategic alliance in freight consolidation. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Atlanta, US, v. 47, n. 1, p.18-29, jan.2011. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2010.07.002>