

## **PESQUISA OPERACIONAL APLICADA NA ÁREA DE LOGÍSTICA DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO EM UMA TRANSPORTADORA DO MUNICÍPIO DE FRANCA/SP**

Rodrigo Henrique Cruz Francisco

Thalisa Maria Jati Gilberto

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho consistiu em analisar os problemas e restrições existentes no processo logístico de distribuição de cargas, de uma transportadora de encomendas de veículos rodoviários, no município de Franca/SP. Através desta análise, será proposto um modelo de grafo computacional para ser aplicado, que envolve decidir qual meio de transporte utilizar para determinados destino e carga transportada, e a utilização da máxima capacidade possível dos veículos, que certamente minimizará o custo do transporte. Tais fatos são identificados por problema clássico de roteirização de veículos, com carga fracionada, que consistem em diminuir os custos fixos de manutenção da frota de veículos, e variáveis que é proporcional à distância percorrida. A Pesquisa Operacional é uma ferramenta proposta para solução de sucessivos problemas de rotas, e designação de veículos, através de um desenvolvimento de linguagem de programação linear e o MP-Simplex. Para a construção do algoritmo, será utilizada a ferramenta solver, um suplemento do *Microsoft Excel*, em linguagem VBA que será utilizado como simulador para teste de hipóteses, e melhor análise dos resultados. Com a viabilidade do modelo implementado, serão analisados e comparados os dados de custos e tempo em roteiros antes e depois da aplicação do parâmetro matemático de roteirização, utilizado para estruturação do software de diferentes instâncias dos problemas.

Palavra-chave: Logística de Transporte, Pesquisa Operacional, Roteirização, MP-Simplex.

### **ABSTRACT**

The objective of this work was to analyze the problems and restrictions that exist in the logistic process of cargo distribution, from a parcel carrier of road vehicles, in the city of Franca / SP. Through this analysis, a computational model will be proposed to be applied, which involves deciding which means of transport to use for certain destination and cargo carried, and the use of the maximum possible capacity of the vehicles, which will certainly minimize the cost of transportation. These facts are identified by a classic vehicle routing problem with a fractional load, which consists in reducing the fixed costs of maintenance of the fleet of vehicles, and variables that is proportional to the distance traveled. The Operational Research is a proposed tool for the solution of successive problems of routes, and vehicle designation, through a development of linear programming language and MP-Simplex. For the construction of the algorithm, the solver tool, a Microsoft Excel add-on, will be used in VBA language that will be used

as a simulator to test hypotheses, and a better analysis of the results. With the feasibility of the implemented model, cost and time data will be analyzed and compared in scripts before and after the application of the mathematical parameter of routing used for structuring the software, for different instances of problems.

Keyword: Transport Logistics, Operational Research, Routing, MP-Simplex.

## 1 INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário é o mais utilizado em toda extensão do território brasileiro, caracterizado pela flexibilidade de operação, este se destaca nas entregas de porta em porta (*door to door*), oferece diversos meios de frota por localidade e tipos de cargas, e se adequa de forma prática, as intercorrências da demanda.

Na gestão de Transporte, os métodos da pesquisa operacional são aplicados nos problemas de roteamento de veículos, que buscam identificar a melhor rota a ser percorrida com o mínimo custo entre o tempo e menor distância possível, sem passar repetitivamente pelo mesmo cliente, e sempre visando a capacidade de carga do veículo.

O sucesso de uma empresa necessita de uma gama de fatores estratégicos. A logística de transporte busca atender as necessidades dos mercados consumidores quanto à qualidade dos produtos, como os prazos na entrega, no local certo, na hora e momento, uns dos recursos para solucionar estes problemas complexos existente são o aprimoramento da tecnologia da informação, associado nas técnicas da pesquisa operacional que envolve aplicações de programação no transporte de cargas em rotas otimizada.

O objetivo deste estudo está direcionado a redução dos custos logísticos de transporte rodoviário, através do desenvolvimento da pesquisa operacional para qual resulta a designação das rotas de veículos a serem utilizados, tendo o intuito de tornar propicio o aproveitamento da capacidade dos mesmos na coleta e entrega de mercadorias.

O foco deste estudo é demonstrar que através da implementação de técnicas da Pesquisa Operacional na plataforma do *Microsoft Excel* e programa de mapeamento geográfico foi possível contribuir no aprimoramento do caso, a qual, a causa para realização deste trabalho está diante do aperfeiçoamento do sistema de

logística de transporte, com o intuito de alcançar a minimização dos custos total mensal, e o melhoramento do planejamento estratégico competitivo das rotas.

A metodologia escolhida para este estudo será na forma de estudo de caso, através dos dados coletados da empresa estudada e das possíveis rotas programadas pelos próprios motorista, o período desta coleta de dados com a relação as frotas e os faturamentos que será apresentado foram realizados entre os meses de abril a junho do ano de 2018.

O embasamento teórico para o aprofundamento será a revisão bibliográfica dos autores consagrados, documento técnicos e a análise documental internas para profundar o nível de informações do trabalho.

Estes dados serão aplicados através do método da varredura, Clark-White pelo *Microsoft Excel Solver* e programa de mapeamento geográfico do *Google Maps* foi possível contribuir no aprimoramento do caso.

## **2 Referencial teórico**

### **2.1 A logística no segmento de transporte**

A gestão da cadeia de suprimento ou também como conhecido *Supply Chain Management* (SCM) é um sistema que consiste em administrar os fluxos de bens e serviço, finanças e informações anexada de uma cadeia integrada com diversos integrantes, englobando: fornecedores, fabricantes, atacadista, varejo e clientes finais. Estas integrações são conjuntas de todos elementos responsáveis pelo funcionamento da cadeia de suprimento, inserindo tecnologia da informação e técnicas operacionais são essenciais para promover um processo logístico de excelência entre as etapas de cadeia de suprimento, como: estoque, transporte e custo.

Segundo Novaes (2007, p.13) “todo o processo logístico, que vai da matéria-prima até o consumidor final, é considerado entidade única, sistêmica, em que cada parte do sistema depende das demais e deve ser ajustada visando o todo”

Amplia-se o conceito de desempenho em todo processo logístico deste o custo dos componentes das organizações, estoque como principal, qualidade e nível de serviço, e o sistema de transporte que passa a ser analisado não mais de forma estanque, e sim com importância nos relacionamentos entre custos e serviços

logísticos, sendo inicial o âmbito organizacional, e depois em toda cadeia logística. (CAIXETA-FILHO, 2001)

A função essencial da logística é estudar como o gerenciamento pode melhorar o nível de rentabilidade nas atividades de distribuição ao clientes e consumidores, por meio de planejamento, organização e controle efetivo para as operações de locomoção e estocagem facilitar o fluxo de produtos (BALLOU, 2011).

Segundo Caixeta-Filho (2001, p.13) “A logística, na qual o transporte é normalmente seu principal componente, é vista como a última fronteira para a redução dos custos das empresas”. No entanto não se planeja uma direção no desenvolvimento de nível regional e nacional, sem amoldamento da infraestrutura de transporte.

Cada setor representa uma porcentagem médias do dispêndio dos setores primitivos nas empresas, sendo o transporte destaca com 41,9%, estoque 18,7%, armazenagem 19% e setor administrativo 20,4%, podendo variar com os anos e estrutura de cada empresa. Estas atividades que são de magnitude primordial para consecução dos designo logísticos de custo e grau de ofício, são nomeadas primitiva por contribuir com maior parte do custo total da logística, e são fundamentais para o seu gerenciamento e excussão. (BALLOU, 2011)

## **2.2 Pesquisa operacional**

A pesquisa operacional é área que analisa e investiga o sistema do mundo real, ela utiliza modelos matemáticos de estatística e algoritmos, para identificação com mais clareza as restrições e gargalos no sistema logístico, para assim propor pontos de melhorias ou otimização dos desempenhos, e auxiliar na tomada de decisões empresariais.

“Pesquisa operacional é a aplicação de métodos científicos a problemas, complexos para auxiliar no processo de decisões, tais como projetar, planejar e operar sistemas em situações que requerem alocações eficientes de recursos escassos.” (ARENALES,2011).

Segundo Hillier et al (2013), diversas técnicas são utilizadas para o desenvolvimento de soluções ótima dos problemas de pesquisa operacional, sendo programação linear, gráfico de Gantt, *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) e *Critical Path Method* (CPM), são utilizados principalmente por conceitos de

Redes (grafos) para planejar e visualizar a coordenação das operações do projeto, ou seja, para o Planejamento e Controle de Projetos, são desenvolvidos através de software como Lindo e Excel (Ferramenta Solver). As técnicas, segundo o autor, são aplicadas em diversas áreas como: Análise de investimento, planejamento da produção, Logística, Análise dos custos de transporte, redes de distribuição, localização de empresas e etc.

“Programação linear é um aprimoramento da técnica de resolução de sistema de equações lineares via inversões sucessivas de matrizes, com a vantagem de incorporar uma equação linear adicional representativa relacionada com um comportamento que deve ser otimizado”. (CAIXETA-FILHO, 2001)

A ferramenta de pesquisa operacional software Lindo (*Linear Interactive Discrete Optimizer*) abrange em construir e solucionar modelos de otimização linear, não lineares, com restrições quadráticas, estocástica e programação inteira. Com o sistema pode-se analisar o amoldamento dos resultados e corrigir pequenas modificações nos dados e parâmetros para atingir um ótimo resultado.

O solver é um sistema complementar desenvolvido no Excel, para análise de dados sensíveis, é utilizado para mostrar os resultados nas células variáveis, ou células de saídas, para vários valores de amostragem dentro dos conjuntos de dados. Em cada valor de amostragem, o solver é acionado para resolver o problema do tipo de roteirização que são direcionados a logística de transporte.

Segundo a Microsoft, o solver trabalha com grupo de células, chamado por “Variáveis de Decisão” usadas na computação para analisar caso, com intento de encontrar um valor ótimo (máximo ou mínimo) em uma fórmula dentro de uma célula com nome-objetiva, exposta a restrições ou limites nos valores de outras células de fórmula em planilha. “O Solver ajusta os valores nas células da variável de decisão para satisfazer os limites das células de restrição e produzir o resultado desejado para a célula objetiva” (Microsoft Excel, 2016).

### **2.3 Sistema de informação geográfico**

O sistema de informação geográfico é de base funcional dos programas de roteirização, denominado por software de geoprocessamento, geoinformação, geotecnologia ou como propriamente dito SIG (sistema de Informação geográfico), a qual segundos OZEMOV; SMITH; SICHERMAN, (1981) apud Hamada (2007) são

uma série de funções automatizadas, que proporciona aos especialistas atribuições avançadas de coletar, processar, armazenar dados, e oferecer informações com referências geográficas.

#### **2.4 Software de roteirização**

O intuito da logística com software de algoritmos desenvolvidos são de promover agilidade no processo, visando a minimização do custo de deslocamento de produtos na capacidade (transporte) e no tempo (estoque). Para tal, são desenvolvidos vários dispositivos que assessora os profissionais nestas atividades, projetando e programando rota otimizada para ser percorrida por transporte que definam as necessidades do centro de distribuição ou entreposto. Mas esta ferramenta importante depende de alguns elementos primordiais para seu bom desempenho, entre eles estão a atualização dos dados de informações que geralmente são fundamentados no Sistema de Informação Geográfico (GIS), que necessita do envolvimento de todos *stakeholders* para causar contínuas atualizações no banco de informações do dispositivo. (LOPES e MELO, 2003)

Em modos utilitários, o objetivo deste mecanismo é de otimizar o planejamento do processo das entregas por meio das restrições da capacidade dos veículos, quantidade de encomenda e ponto de entrega (localização) de modo que o dispêndio seja minimizado ao máximo.

#### **2.5 Problemas de roteirização**

Os problemas de roteirização de veículos (*Vehicle Routing Problems - VRPs*), que são de natureza combinatória, pertencem a uma categoria ampla de problemas de pesquisa operacional conhecida como problemas de otimização de rede. Nessa categoria, encontram-se problemas clássicos, como problema de fluxo máximo, problema do caminho mínimo, problema de transporte, problema de designação (GOLDEN; BALL; BODIN, 1981)

De acordo com Laporte et al. (2002) no processo de roteirização de veículos, existe o problema de deliberar os roteiros das frotas, que minimizem o custo total de serviço, deste o início ao término do CD, ou base dos veículos, proporcionando cada ponto de atendimento precisamente uma vez, dentro da demanda de cada rota, e não excedendo a capacidade máxima dos veículos que opera.

Em conformidade com os autores, a roteirização envolve diversos aspectos complexos, como analisar a escala de clientes, tipo e capacidade dos veículos utilizados nas operações, estudos do tempo de entrega, a proporção e peso da carga, gargalos e restrições no percurso de trajeto. Para um desempenho eficaz e eficiente nestas atividades são necessários conhecimentos técnicos e ferramentas específicas, que proporcionará planejar as entregas de forma ágil, decidir rotas otimizadas, e alcançar processos de qualidade dentro dos padrões específicos exigido pelo cliente.

## **2.6 Técnicas para roteirização e programação**

O método da varredura discerne com um artifício mais simples, por não exigir grandes aplicações computacionais, pode ser calculado de forma mais rápida ou até mesmo ser produzido a mão por itinerários de pequenas proporções.

Por ser um sistema fácil de executar, ele opera com menos precisão, de acordo com Ballou (2005) quando transportado para um software e programado de forma computacional, seus resultados são mais eficientes sem precisar de uma memória expansiva. Para uma diversidade dos problemas ao se projetar computacionalmente seu indicador médio de erro pode chegar aproximadamente 10%. Este nível de erro pode ser aceitável quando obtido em pequenos pedidos de um curto lead time e define-se por umas boas soluções em oposição as ótimas.

A desvantagem destas táticas está relacionada com o modo que são formadas as rotas. O sistema possui dois procedimentos, sendo os pontos destinados ao transporte primitivo e as deliberações das sequências de pontos nos trajetos. Estes dois procedimentos não desenvolvem uma análise adequada entre os parâmetros das questões de janelas de tempos e tempo máximo de uma rota.

O método da varredura segundo Ballou (2005) e Novaes (2007), pode ser circunstanciado como segue:

- Posicione os pontos total anexando os depósitos dentro de uma grade ou mapa.
- Direcione o depósito (CD) como centro, definir um traço reto em qualquer eixo. Rotacione o traço no sentido anti-horário, ou sentido horário, até que os pontos entrelacem (inclua um cliente)
- Avaliar o cliente, se ele está de acordo com a programação do roteiro e aplicar análise de todas as possíveis restrições, entre a quantidade do produtos transportados

se adequam ao limite de capacidade do veículo e o tempo de atendimento deste novo cliente não ultrapassa a jornada de trabalho permitida, se entre estas restrições não for restringidas, o novo ponto de atendimento poderá ser adicionado ao roteiro.

- Caso não, prossiga com a roteirização do traço até o entrelaçamento do ponto seguinte.

- Caso sim, elimine o último ponto e determine o percurso. Com o traço, inicia um novo itinerário pelo último ponto excluído do roteiro anterior. Prosseguindo de forma que todos os pontos sejam disponibilizados às trajetórias.

- Por meio de cada roteiro são necessários estudar e aplicar método de melhoria de modo a minimizar os percursos, sequenciar os pontos próximos, tendo por ciência a resolução pelo método da “gota d’água” ou aplicação de indefinidos algoritmo que elucide o problema do caixeiro viajante.

O método das economias também conhecido por método Clarke-Wright, dispõe de uma ampla flexibilidade de resolver certos problemas com inúmeras faixas de restrições práticas, que são hábeis de elaborar soluções iminente da ótima.

O método de Clarke-Wright, segundo Ballou (2005) e Novaes (2007), são aplicados com resultados ótimos em problemas restrito, tal como utilizado na base de elaboração do programa de roteirização ou na otimização do sistema georreferenciamento, apresentando que a execução das economias dá a solvências de somente 2% de erro médio. Podendo trabalhar com diversas restrições práticas, o método pode criar em especial as rotas e a sequência de pontos nos itinerários ao mesmo tempo.

O objetivo do método das economias são de minimizar ao máximo a distância de deslocamento por todos os transportes e indiretamente minimizar o número dos veículos imprescindível para adequar-se a todos pontos. A lógica do método está ao iniciar com um veículo-padrão (modelo) que possa atender a cada ponto e voltar ao depósito.

Conforme Ballou (2005) a essência robusta da aproximação das economias permite a integração de muitas restrições que igualam importante aplicações efetivas. Esta prática do método de concomitantemente contribuir um ponto a uma rota e de posicioná-la na sequência apropriada do ponto no trajeto que lhe atribui robustez. De modo conseqüente, antes de um ponto integrar para uma rota são necessárias a



análise de restrição: verificar se o tempo do percurso excede seu limite máximo permitido de tempo de direção, se o intervalo de descanso é incluso ao roteiro e se o veículo utilizado está de acordo com a quantidade de volume disponível.

O método de Clarke e Wright segundo Novaes (2001) inicia-se com um estudo de todas as combinações prováveis entre os nós, sequencialmente são alinhadas as combinações na ordem de menor distância. Atribuído às consideráveis relações de menor percurso tendem a ser desenvolvido por pontos próximo do CD, mas distantes entre si, ou seja, os roteiros vão sendo desenvolvidos através da melhor rota onde proporciona menor caminho a ser feito.

### **3 ESTUDO DE CASO**

Aplicando-se os parâmetros teóricos apresentados nos primeiros capítulos foi mensurada a rota de uma transportadora de encomendas na região sudeste do estado de São Paulo, localizado na cidade de Franca. Foram estudados a rota atual realizada pela empresa e a rota após utilização da técnica matemática geradas pelo método das “economias” na plataforma da *Microsoft Excel* em auxílio da ferramenta solver.

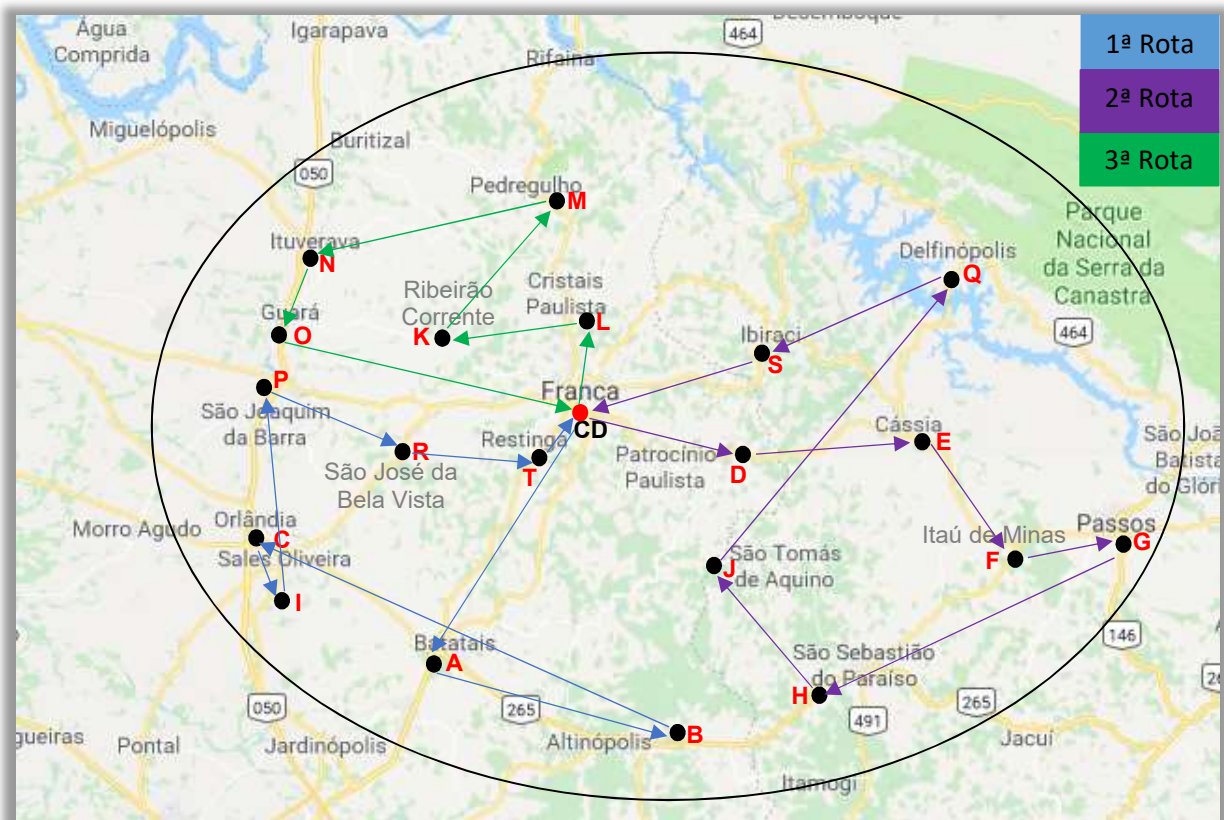
Foram analisados antes e depois da execução do método, o tempo, os dispêndios e a averiguação de outras restrições relevantes que foram apurados durante o processo de logística de transporte da empresa.

De acordo com a averiguação do processo de entregas e segundo os entregadores cada atendimento tem duração em média 20 minutos com apoio dos carrinhos de mão e outras ferramentas ágeis de locomoção as mercadorias e os deslocamentos são realizados em uma velocidade máxima permitida 80km/h, deste o CD até a cidade destino (trajeto por rodovia). No percurso por dentro da cidade pode-se chegar a velocidade máxima permitida de 60km/h (trajeto por avenidas e ruas) se necessário. Admitindo que o sistema operação da empresa trabalha 26 dias por mês, sendo as entregas executada a cada 7 dias por cada ponto.

Os operadores de transporte trabalham 8 horas/dia com uma média de uma hora de carregamento das mercadorias nos veículos, no momento que está no CD. Os motoristas recebem um salário fixo mensal e não ganham por produtividade, portanto este tipo de dispêndio não será examinado neste estudo.

São considerados que nos pontos (A, C, G e N) dispõem de locais de entrega em pontos duplos como são representados pela figura 1 o itinerário frequentemente executado pela empresa segundo o critério dos condutores da empresa, seguindo por si a uma sequência de horário de atendimento dos clientes.

**Figura 1** – Percurso realizado pela empresa



**Fonte:** Google Maps (2018, adaptado)

O espaço total ou bolsão como mais conhecidos segundo Novaes (2001), são onde percorrem o tráfego de coleta e entregas de aproximadamente 868 km/ semana. Por meio deste espaço, são executados através da empresa três roteiros diferentes, o primeiro itinerário contém área de 278 km de rodagem, o segundo itinerário 373 km e o terceiro roteiro 217 km. Está análise foi realizada obedecendo a restrição de velocidade máxima permitida pela empresa 60km/h.

Baseando nas informações adquiridas será calculado a KM mensal percorrida, o tempo gasto dentro do circuito e o dispêndio na atual programação. Logo após será comparado o antes e o depois da aplicação do método de roteirização.

Para efetuar os cálculos, serão ponderadas as demandas fixas (tamanho do pedido, podendo variar no cotidiano da empresa) de cada parada (pontos) e as coordenadas de acordo com cada localidade através do *Microsoft Excel*, como mostra na tabela 1, as relações pertinentes ao pedido semanal.

**Tabela 1** - Descrição dos locais de entregas de acordo com as coordenadas geográfica e peso do pedido de cada cliente

Pontos Nº	Local	X	Y	Tamanho do Pedido
CD	Franca, BR	-20,5279408	-47,3919106	-----
Ponto A*	Batatais, BR	-20,8996696	-47,5859413	1.702 kg
Ponto B	Altinópolis, BR	35,0368805	32,4071388	252 Kg
Ponto C	Orlândia, BR	-20,7197304	-47,8849602	1.245 Kg
Ponto D*	Patrocínio Paulista, BR	-20,6389408	-47,2823105	690 Kg
Ponto E	Cássia, BR	-20,5830002	-48,9169998	380 Kg
Ponto F	Itaú de Minas, BR	40,8105000	17,3905299	506 Kg
Ponto G*	Passos, BR	-20,7208500	-46,6099396	990 Kg
Ponto H*	São Sebastião do Paraíso, BR	-20,9171906	-46,9915085	795 Kg
Ponto I	Sales de Oliveira, BR	-22,8324399	-42,0225200	358 Kg
Ponto J	São Tomas de Aquino, BR	-19,9485900	-43,9395600	84 Kg
Ponto K	Ribeirão Corrente, BR	-20,4588299	-47,5906601	425 Kg
Ponto L	Cristais Paulista, BR	-21,5304241	-46,6473007	635 Kg
Ponto M	Pedregulho, BR	-20,2558403	-47,4766388	840 Kg
Ponto N*	Ituverava, BR	-20,3337002	-47,7971191	1.225 Kg
Ponto O	Guará, BR	-22,6512600	-43,2256900	589 Kg
Ponto P*	São Joaquim da Barra, BR	-20,5829792	-47,8597107	262 Kg
Ponto Q	Delfinópolis, BR	35,0368805	32,4071388	223 Kg
Ponto R	São José da Bela Vista, BR	-23,5516300	-46,7791405	147 Kg
Ponto S	Ibiraci, BR	-20,4647293	-47,1255608	209 Kg
Ponto T	Restinga, BR	-20,6031895	-47,4822998	275 Kg

\*Representa-se o peso da carga para atender os dois locais do ponto da cidade.

Fonte: O autor (2018)

De acordo com estes parâmetros averiguados serão recalculados os custos com acréscimo 2% a cada 40kg extra no consumo de combustível, como representado na tabela 1. Na 1º rota onde foi identificada a ultrapassagem do peso das cargas transportadas e as horas extra referente ao tempo de trabalho excedido na 2º rota. Com objetivo de atingir um valor real gasto pela empresa, e assim propor melhores soluções para reduzir o custo total mensal.

**Tabela 2** - Calculando o custo total mensal de acordo peso da capacidade excedida na 1º rota e a hora extra na 2º rota.

DESCRIÇÃO	1º ROTA	2º ROTA	3º ROTA
KM MENSAL	1.290,62 Km	1.697,82 KM	887,45 Km
TEMPO DO CIRCUITO	7,10 horas	8,35 horas	5,16 horas
TEMPO TOTAL DO CIRCUITO/ MÊS	26,35 horas	30,98 horas	19,13 horas
CUSTO FIXO /KM RODADO	R\$ 2,74	R\$ 2,38	R\$ 2,28
CUSTOS FIXOS/ MÊS	R\$: 5.389,58	R\$ 5.389,58 + R\$: 9,74/ hora extra	R\$: 5.389,58
CUSTO VARIÁVEL/ MÊS	R\$: 3.536,30	R\$ 4.040,81	R\$: 2.023,39
CUSTO UNITÁRIO ENTREGA	R\$: 0,57	R\$: 0,66	R\$: 0,54
CUSTO MENSAL DO VEÍCULO ROTA	R\$: 8.925,88	R\$: 9.440,13	R\$: 7.412,97
<b>CUSTO TOTAL MENSAL</b>		<b>R\$: 25.778,98</b>	
<b>CUSTO TOTAL ANUAL</b>		<b>R\$: 309.347,76</b>	

Fonte: O autor (2018)

Logo após a análise das restrições serão ordenadas todas as variáveis que definem uma melhor rota, de modelo de análise em grafos, segundo a concepção do caixeiro viajante e o método das economias, aplicado na plataforma *Microsoft Excel* ferramenta solver, como mostra a figura 2.

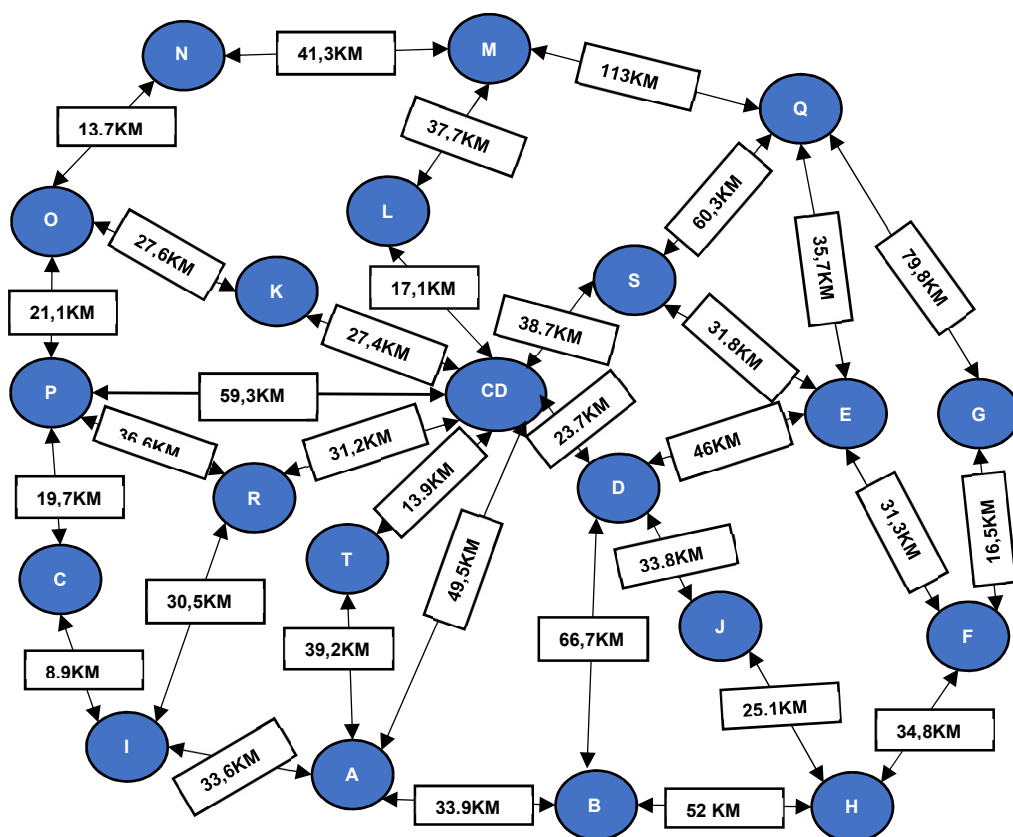
**Figura 2** - Ligação de distância entre todos os pontos de atendimento

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1		49,5	83,4	70,6	23,7	69,7	101	117,5	82,6	61,7	57,5	27,4	17,1	54,8	68,7	13,7	59,3	99	31,2	38,7	13,9
2	49,5		33,9	42,5	73,2	119,2	120,9	137,4	86,1	33,6	107	76,9	66,6	104,3	118,2	104,5	108,8	148,5	64,1	88,2	39,2
3	83,4	33,9		76,4	107,1	153,1	87	103,5	52,2	67,5	77,3	110,8	100,5	138,2	152,1	138,4	142,7	182,4	98	122,1	73,1
4	70,6	42,5	76,4		102,7	148,7	163,4	179,9	128,6	8,9	136,5	106,4	87,7	125,4	54,5	40,8	19,7	169,6	39,4	109,3	81,7
5	23,7	73,2	107,1	102,7		46	77,3	93,8	58,9	106,8	33,8	51,1	40,08	78,5	92,4	78,7	83	81,7	54,9	62,4	37,6
6	69,7	119,2	153,1	148,7	46		31,3	47,8	104,9	152,8	79,8	97,1	86,8	124,5	138,4	124,7	129	35,7	100,9	31,8	83,6
7	101	120,9	87	163,4	77,3	31,3		16,5	34,8	184,1	59,9	128,4	118,1	155,8	169,7	156	160,3	67	132,2	63,1	114,9
8	117,5	137,4	103,5	179,9	93,8	47,8	16,5		51,3	200,6	76,4	144,9	134,6	172,3	186,2	172,5	176,8	79,8	148,7	79,6	131,4
9	82,6	86,1	52,2	128,6	58,9	104,9	34,8	51,3		119,7	25,1	110	99,7	137,4	151,3	137,6	141,9	101,8	113,8	97,9	96,5
10	61,7	33,6	67,5	8,9	106,8	152,8	184,1	200,6	119,7		140,6	89,1	78,8	116,5	63,4	49,4	28,6	160,7	30,5	100,4	30,5
11	57,5	107	77,3	136,5	33,8	79,8	59,9	76,4	25,1	140,6		84,9	74,6	112,3	123,2	112,5	116,8	115,5	88,7	96,2	71,4
12	27,4	76,9	110,8	106,4	51,1	97,1	128,4	144,9	110	89,1	84,9		44,5	82,2	41,3	27,6	48,7	126,4	58,6	66,1	41,3
13	17,1	66,6	100,5	87,7	40,08	86,8	118,1	134,6	99,7	78,8	74,6	44,5		37,7	58,4	72,1	76,4	116,1	48,3	55,8	31
14	54,8	104,3	138,2	125,4	78,5	124,5	155,8	172,3	137,4	116,5	112,3	82,2	37,7		96,1	109,8	114,1	113	86	93,5	68,7
15	68,7	118,2	152,1	54,5	92,4	138,4	169,7	186,2	151,3	63,4	123,2	41,3	58,4	96,1		13,7	34,8	154,3	71,4	107,4	82,6
16	13,7	104,5	138,4	40,8	78,7	124,7	156	172,5	137,6	49,4	112,5	27,6	72,1	109,8	13,7		21,1	154	57,7	93,7	68,9
17	59,3	108,8	142,7	19,7	83	129	160,3	176,8	141,9	28,6	116,8	48,7	76,4	114,1	34,8	21,1		158,3	36,6	98	73,2
18	99	148,5	182,4	169,6	81,7	35,7	67	79,8	101,8	160,7	115,5	126,4	116,1	113	154,3	154	158,3		130,2	60,3	112,9
19	31,2	64,1	98	39,4	54,9	100,9	132,2	148,7	113,8	30,5	88,7	58,6	48,3	86	71,4	57,7	36,6	130,2		69,9	45,1
20	38,7	88,2	122,1	109,3	62,4	31,8	63,1	79,6	97,9	100,4	96,2	66,1	55,8	93,5	107,4	93,7	98	60,3	69,9		52,6
21	13,9	39,2	73,1	81,7	37,6	83,6	114,9	131,4	96,5	30,5	71,4	41,3	31	68,7	82,6	68,9	73,2	112,9	45,1	52,6	

Fonte: O autor (2018) adaptado pela plataforma *Microsoft Excel*.

De acordo com a restrição do *Microsoft Excel* como dito anteriormente o limite de 200 variáveis calculáveis, restringe o cálculo direto dos pontos totais do grafo, tendo que dividir a análise nas rotas onde corresponde a limitação da capacidade do veículo. Neste caso, como mostra a figura 3, será utilizado o método da varredura para separação dos pontos, para obter uma visão mais clara do melhor caminho a ser percorrido pela transportadora.

**Figura 3** - Estrutura dos pontos para cálculo no MP-Simplex do Solver

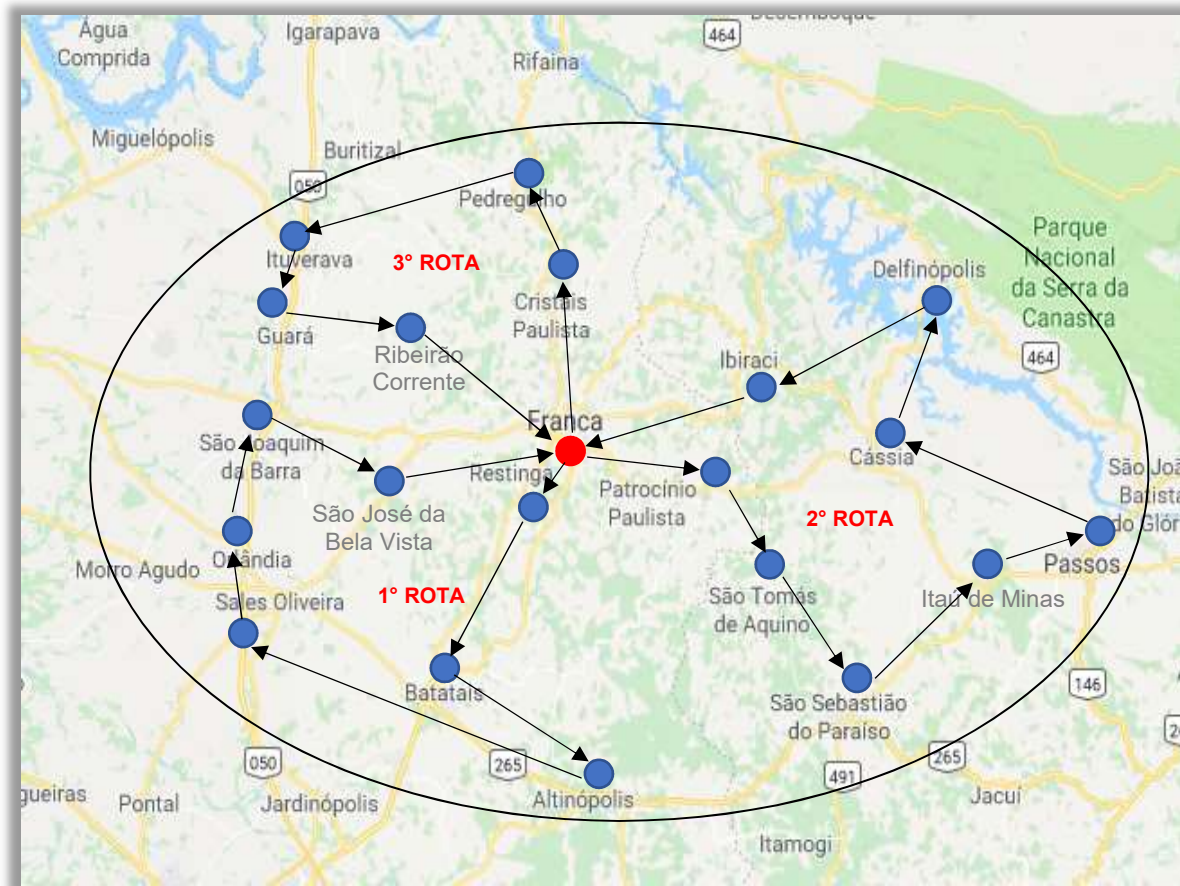


Fonte: O autor (2018)

Diante desta análise foi encontrado uma rota otimizada pelo Excel Solver de modo MP-Simplex, como retrata a figura: 4, onde estabelece o princípio da aplicação do método das economias sem a restrição da capacidade encontrada na 1º rota.

Fonte: Google Maps (2018, adaptado)

Figura 4 - Rota otimizada encontrada pelo solver sem restrição da capacidade



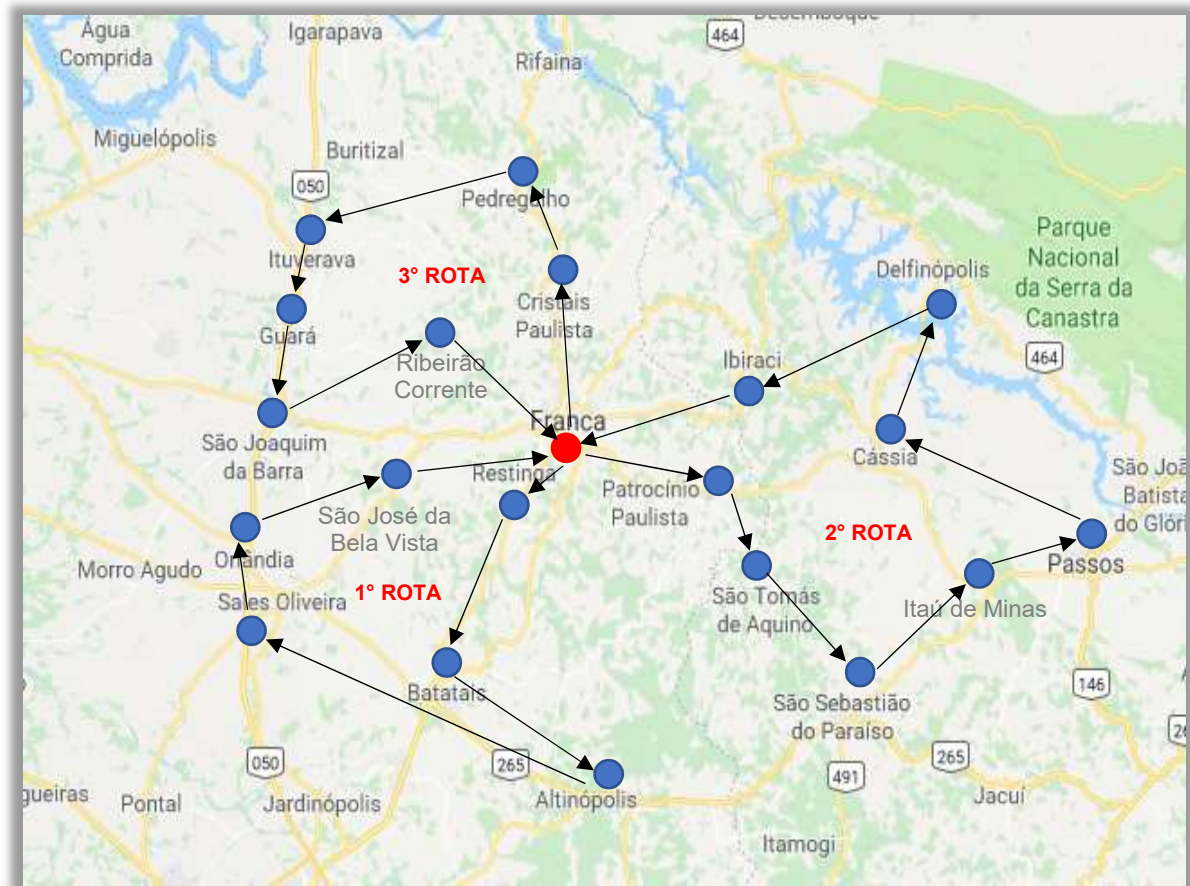
De acordo com esta análise, o Solver obteve solução ótima, comparados com rota utilizadas anteriormente pela empresa, uma área total de circulação de 868Km a ferramenta compilou um trajeto de 738,4Km em média 17,55% a menos do atual operado pela empresa.

De acordo com a análise dos resultados obtidos através da apuração das restrições, conclui-se que a restrição impactada no processo é de capacidade de carga excedida, detectado na 1º rota, provindo da média do peso de pedidos por pontos de entrega e a capacidade útil do veículo, deduz que para atender todos os pontos são necessário balancear peso pedido com rota onde o veículo está ocioso de capacidade. Seguindo número máximo de atendimento possíveis por área máxima que possa ser percorrida. Utilizando a matriz da pesquisa operacional no modo simplex, será possível tracejar uma rota otimizada, levando a deferência da restrição. Analisando unicamente a circunstância da jornada de trabalho, seria possível atender

todos os pontos e mais alguns de acordo com área máxima disponível, isto tornaria um percurso maior do que visitado pela empresa.

Derivando dos resultados calculados nas etapas anteriores, programam-se uma melhor rota. Este resultado é considerado ótimo segundo a análise do solver, dentro das circunstâncias encontradas. Com aplicação do método pode obter um erro médio de 2%. A figura 5 retrata a menor rota traçada baseada na aplicação do método economias.

**Figura 5** - Rota após aplicação das restrições e o método Clarke-Wright



**Fonte:** Google Maps (2018, adaptado)

Conforme a nova rota programada na figura 1, obteve-se um resultado notável, a (1ª rota 229 Km, 2ª rota 316,4 Km e 3ª rota 193 Km) que proporcionou um balanceamento no peso dos pedidos entregues. Isto resultou-se em um melhor desempenho do veículo e reduzindo o gasto extra de combustível, como estava acontecendo no roteiro anterior. Este equilíbrio demonstrado resultará na minimização dos custos total por mês.

Cálculo da estrutura operacional de tempo e custos mensais baseados na aplicação do método de roteirização para recalcular os custos de uma nova rota, será adotado os novos traços e área total dos roteiros otimizado, estipulado pelo Método das Economias e *Microsoft Excel Solver*, tendo o intuito de comparar os custos do roteiro anterior utilizado pela empresa e os custos do novo roteiro após a aplicação do método. Como mostra a tabela: 3 dos dispêndios.

**Tabela 3** - Custo total mensal e anual após a aplicação do método de roteirização

DESCRIÇÃO	1º ROTA	2º ROTA	3º ROTA
KM TOTAL/MÊS	935,99 Km	1.292,80 Km	789,21 Km
TEMPO DO CIRCUITO	5,14 horas	6,87 horas	4,70 horas
TEMPO TOTAL DO CIRCUITO/ MÊS	19,07 horas	25,49 horas	17,44 horas
CUSTO FIXOS / KM RODADO	R\$: 2,33	R\$: 2,33	R\$: 2,33
CUSTOS FIXOS / MÊS		<b>R\$: 5.389,58</b>	
CUSTO VARIÁVEL / MÊS	R\$:2.180,86	R\$: 3.012,22	R\$: 1.838,86
CUSTO UNITÁRIO ENTREGA MENSAL	R\$: 0,51	R\$: 0,58	R\$: 0,49
CUSTO MENSAL DO VEÍCULO	R\$: 7.570,44	R\$: 8.401,80	R\$: 7.228,44
<b>CUSTO TOTAL MENSAL</b>		<b>R\$: 23.200,68</b>	
<b>CUSTO TOTAL ANUAL</b>		<b>R\$: 278.408,16</b>	
<b>ECONOMIA MENSAL OBTIDA</b>		<b>11,11%</b>	

Fonte: O autor (2018)

Comparando os resultados obtidos com a roteirização antes e depois da aplicação, são denotadas reduções dos custos totais mensais de R\$: 25.778,98 para R\$: 23.200,68, ou seja, uma média de 11,11% a menos no dispêndio total mensal. Somando-se o valor economizado anualmente resultará um total de R\$: 30.939,60 e o custo médio por entrega obteve uma redução de 12%. Em relação ao tempo, avaliado anualmente antes e depois da aplicação do método de roteirização, são utilizadas 917,52 horas, ao ser aplicado o método, as horas consumida anualmente reduz para 744 horas, economizando 173,52 horas de operação ou aproximadamente 7 dias.



## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Considerando a concretização das coletas como é realizada atualmente executou-se, mediante de técnicas de Pesquisa Operacional, uma análise dos conceitos de boa roteirização, aplicado ao método e após modelagem de uma roteirização de veículos com entregas fracionadas, janela de tempo e delineamento da frota.

Pode-se confirmar na prática que problemas deste modelo e desta dimensão não são suscetível de resolução exata, devido sua complexidade, e que a inserção de um método atinge bem o intuito de melhoria proposto. A técnica de resolução adotada, fundamentada na heurística Clarke-Wright de Ballou (2005) e a plataforma Microsoft Excel solver é uma adaptação e simplificação do método original com a necessidade da empresa estuda. Após modelagem computacional com as informações extraídas do programa real, detectou que o Excel tem restrição de fórmulas no processo de cálculo do solver com capacidade de 200 variáveis, com isto o cálculo de roteirização teve de ser realizado por etapas de rotas. Logo após comprovou-se a viabilidade da aplicação deste paradigma na área de logística de transportes que resultou uma redução de 12% dos custos totais através do novo roteiro programado.

Cabe, ainda, lembrar que, no processo anterior de roteirização, ou seja, antes da aplicação do método, a escolha dos pontos de entregas eram realizadas por decisão própria do entregador, seguindo seu próprio intuito. Após este estudo na empresa, e com a representação dos resultados obtidos, ouve uma mudança decisória, que determinou o entregador seguir conforme projeta o novo modelo de rota otimizada, que define o menor gasto por quilometro rodado.

Baseando no método das economias (Clarke-Wright) praticado neste trabalho, o resultado pode obter solução ótima e como representado por uma média de 1,98% de erro, onde torna um dos mais utilizado no desenvolvimento do software de roteirização. Casos excepcional podem ocorrer como imprevisto no trânsito, interferências climáticas, problemas de manutenção do veículo e entre outros. Para um novo passo, poderia ser elaborado uma análise estatística mais precisa, através dos estudos de inteligência artificial na gestão de frotas para um melhor incremento nas empresas de logística de transportes.

## REFERÊNCIAS

ARENALES, MARCOS, ARMENTANO, VINÍCIUS; MORABITO, REINALDO; YANASSE, HORACIO; **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia**; Rio de Janeiro: Elsevier Abepro, 2011. Recurso digital (ABEPRO-Campus)

BALLOU, RONARD H. **Logística empresarial**: transporte, administração de matérias e distribuição física; tradução Hugo T.Y. Yoshizaki- 1. Ed.- 24. reimpr. - São Paulo: Atlas, 2011.

\_\_\_\_\_. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/Logística empresarial**. 4ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 532 p. Reimpressão 2005.

CAIXETA-FILHO, JOSÉ VICENTE. **Pesquisa operacional**: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais. São Paulo: Atlas, 2001.

GOLDEN, B; BALL, M; BODIN, L. **Current and future research Direction in network optimization** *Computer & Operations Research*, v8, n2, p. 71-81, 1981.

HAMADA, E; GONÇALVES, R. R.V. **Introdução ao Geoprocessamento: princípios básicos e aplicação**. Embrapa meio ambiente. Jaguariúna-SP, 2007

Disponível em < [http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos\\_67.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_67.pdf) >. Acessado: 18 abril 2018.

HILLIER, FREDERICK S., LIEBERMAN, GERALD j. **Introdução à Pesquisa Operacional** -9.ed – 24. Reimpr- São Paulo: Grupo a educação S.A e McGRAW-HILL EDUCATION.

LOPES, L. A. S; MELO, C. S. Jr. **Roteirização simplificada**. Revista Tecnológica, ano VIII, nº 89, 2003.

MICROSOFT: **Define and solve a problem by using Solver** - Office Support



Disponível:<http://support.office.com/en-us/article/define-and-solve-a-problem-by-using-solver> – Acesso: 08/03/2018

NOVAES, ANTONIO GALVÃO. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. 1° Ed. Rio de Janeiro. Campus. 2001.