

ROTEAMENTO DE VEÍCULOS E DIMENSIONAMENTO DE FROTA USANDO O LABLOG

VEHICLE ROUTING AND FLEET SIZING USING THE LABLOG

CLARA MIRANDA MARQUES¹, MARCOS RICARDO ROSA GEORGES^{2*}

1. Acadêmico do curso de graduação do curso de Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica de Campinas; 2. Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e dos cursos de graduação em Administração e Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

* Rua Professor Dr. Euryclides de Jesus Zerbini, 1516, Pq. Rural Fazenda Santa Cândida, Campinas, São Paulo, Brasil. CEP: 13087-571.
marcos.georges@puc-campinas.edu.br

Recebido em 31/08/2023. Aceito para publicação em 07/10/2023

RESUMO

Neste artigo, aborda-se a gestão logística com foco no roteamento de veículos e dimensionamento de frota por meio de um jogo sério de tabuleiro, o LabLog. O roteamento de veículos é uma tarefa complexa que envolve a definição da ordem de visitas a vários destinos visando a eficiência da entrega. Há diversos métodos para rotear veículos, e neste artigo foram aplicados os métodos da varredura, do vizinho mais próximo, das economias e do caixeiro viajante. O estudo emprega o LabLog, um jogo sério de tabuleiro que utiliza mapa, cartas, dados e demais elementos lúdicos para criar cenários de um sistema de distribuição logística. Foram criados dois experimentos com sorteio de 20 clientes e 25 clientes sobre os quais aplicou-se os métodos de roteamento. Os resultados mostram a aplicação detalhada dos métodos e o resultado das rotas de entrega de forma lúdica e agradável.

PALAVRAS-CHAVE: Logística; Roteamento de Veículos; Jogos Sérios.

ABSTRACT

This article addresses logistics management with a focus on vehicle routing and fleet sizing through a serious board game, LabLog. Vehicle routing is a multifaceted undertaking that encompasses the determination of the sequence of stops at various destinations to enhance delivery efficiency. There are several methods for routing vehicles, and in this article the sweep, nearest neighbor, economies, and traveling salesman methods have been applied. The study uses LabLog, a serious board game that uses maps, cards, data and other recreational elements to create scenarios for a logistics distribution system. Two experiments were created with a draw of 20 clients and 25 clients on which the routing methods were applied. The results show the detailed application of the methods and the result of the delivery routes in a playful and pleasant way.

KEYWORDS: Logistics; Vehicle Routing; Serious Games.

1. INTRODUÇÃO

Conforme o *Council of Supply Chain Management Professional* (CSCMP, 2023)¹, o gerenciamento logístico abrange várias atividades, como controle de transporte, gestão de estoques, atendimento de pedidos, entre outras. Ele unifica funções como marketing, vendas, finanças e tecnologia da informação, coordenando todas as etapas do

planejamento e execução. O gerenciamento da cadeia de suprimentos, conforme o CSCMP (2023), envolve o planejamento e controle de todas as atividades de fornecimento, conversão e gestão logística. Isso inclui a coordenação com parceiros como fornecedores, intermediários, provedores de serviços terceirizados e clientes. Resumidamente, abrange a gestão de oferta e demanda entre as empresas da cadeia.

Com base nas definições de logística empresarial e gerenciamento da cadeia de suprimentos, o escopo deste artigo envolve a criação de cenários para o planejamento de transportes usando um jogo sério de tabuleiro. O objetivo é fornecer uma ferramenta de grande relevância para os departamentos de administração e engenharia de produção, proporcionando aos estudantes uma experiência prática que estimule o desenvolvimento de habilidades e competências essenciais para a gestão logística. Com essa perspectiva, este artigo visa analisar o jogo sério LabLog na gestão de transportes, usando cenários baseados no objeto de estudo. O objetivo é simular situações reais de planejamento considerando custos, prazos, modais e outros aspectos logísticos relevantes. A seguir, uma breve introdução à gestão logística empresarial, gestão de transportes e jogos educativos contextualiza os objetivos da pesquisa.

Logística Empresarial

A gestão eficaz dos procedimentos logísticos na cadeia de abastecimento desempenha um papel crucial no sucesso de uma empresa, e as estratégias corporativas desempenham um papel fundamental nesse gerenciamento. No âmbito global, o Brasil está classificado em 56º lugar em desempenho logístico de acordo com o relatório Logistics Performance Index do Banco Mundial, abrangendo 167 nações. Curiosamente, o país se encontra em uma posição mais favorável, em 51º lugar, quando se trata da infraestrutura logística, apesar das carências e da falta de investimentos. Quanto à qualidade e competência logística, o Brasil atinge sua melhor colocação no relatório, ocupando o 46º lugar².

A logística tem o objetivo de atender de forma eficiente o cliente no nível de serviço prometido, e para isso é preciso definir estratégia em três dimensões fundamentais, que são: gestão de transporte, gestão de estoques e localização de instalações. Ballou (2009)³ ilustra bem essa sua visão de

logística conforme representado na Figura 1, onde o objetivo de serviço ao cliente está no centro do planejamento, organização e controle logístico, e que são necessárias definir estratégias de estoque, transporte e localização para prover o serviço logístico prometido.



Figura 1. Triângulo de Ballou. Fonte: Ballou (2009, p. 45).

Entre essas atividades primordiais, o transporte desempenha papel fundamental da logística. O planejamento, organização e controle das operações de transporte envolvem várias decisões e atividades, entre elas o roteamento de veículos, o dimensionamento da frota.

Roteamento de veículos

O transporte desempenha um papel essencial na logística, sendo responsável não apenas pelo movimento físico, mas também pelos principais custos logísticos. Ainda, os diferentes modais de transporte desempenham funções econômicas que promovem a integração entre diversas sociedades produtoras de diferentes tipos de bens.

Na gestão de transporte, as principais decisões envolvem a seleção do modal, a roteirização de veículos, a programação, a consolidação de embarque, o cálculo do frete e o dimensionamento da frota. Essas decisões são essenciais e têm um impacto significativo no processo logístico como um todo.

Platt (2015), citado por Silva (2022)⁴, afirma que o roteamento na cadeia de suprimentos oferece benefícios como a redução de custos, o aumento do valor para o cliente, a entrega ágil, a otimização do espaço dos veículos, a melhoria do atendimento ao cliente e o aumento da produtividade.

Segundo Georges (2014)⁵, o problema de roteamento ou roteirização de veículos (do inglês *Vehicle Routing Problem*) foi formulado pela primeira vez por Dantzig e Ramser em 1959. A roteirização consiste na definição da sequência de paradas do veículo da frota, visando atender a diferentes pontos geograficamente dispersos e predefinidos que demandam atendimento.

Esse processo de planejamento de rotas é essencial para reduzir os custos logísticos e melhorar a qualidade do serviço prestado. A utilização de indicadores-chave de desempenho (KPIs) pode otimizar ainda mais esse processo. Portanto, é essencial que o gestor de transporte possua habilidades para tomar decisões estratégicas e táticas eficientes, visando a otimização das operações logísticas, a redução de custos e o aumento da eficiência do processo de transporte.

A seguir, serão apresentados os métodos de roteamento que foram utilizados neste trabalho e que são os métodos mais comumente abordados em livros textos de logística e

aplicados na prática, que são os métodos da varredura, o método das economias, o método do vizinho mais próximo e o método exato do caixeiro viajante.

Método da varredura

O método da varredura é um procedimento visual e não requer cálculo matemático. Ele parte do princípio que uma boa rota não pode conter caminhos que se cruzam. Para Novaes (2007)⁷, a abordagem de Varredura é a menos complicada ainda que seja menos precisa. Nesse método, os locais de parada são agrupados em segmentos para simplificar o atendimento, resultando na criação de itinerários específicos para cada segmento até que todos os locais sejam abrangidos.

Os procedimentos descritos por Ballou (2009)³ para a correta aplicação deste modelo são os seguintes: I) Definir a empresa ou centro de distribuição onde o produto está como ponto de origem, traçando um eixo que o atravessa; II) Girar o eixo no sentido anti-horário ao redor do ponto de origem até que um destino seja incluído; III) Avaliar o destino potencial considerando a quantidade de mercadorias necessárias e o tempo para a atividade. Se a adição não ultrapassar limites de veículo ou jornada de trabalho, adiciona-se à rota atual; IV) Se um destino exceder limites do roteiro atual, encerra-se e inicia-se um novo a partir desse ponto. O processo se encerra quando todos os destinos forem incluídos; V) Para cada roteiro definido, utiliza-se um método de melhoria para obter rotas mais curtas e econômicas.

O método é indicado quando há um número razoável de clientes e é necessário responder rapidamente à organização de cargas, devido às restrições de capacidade e tempo^{3,6,7}.

Método das economias

Uma considerável proporção das estratégias de roteamento foi desenvolvida em reconhecimento aos seus originadores. Destacam-se entre esses métodos o Clarke & Wright, ou método das economias.

O método das economias, assim como o método da varredura e o método do vizinho, são métodos heurísticos e não métodos exatos. Ou seja, não é garantida que a solução obtida será sempre a solução ótima. Mas, em contrapartida, são métodos de baixa complexidade que se traduz em rápida solução. A ideia central do método das economias é iniciar o problema com rotas de entrega única, e ir agrupando as entregas conforme a partir da maior economia obtida.

Método do vizinho mais próximo

O método do vizinho mais próximo, também conhecido como método de interpolação por vizinho mais próximo, segundo a explicação de Santos (2006)⁸, é frequentemente empregado para obter uma solução inicial ao problema, a qual é subsequentemente refinada gradualmente através de outras técnicas e modelos.

É um modelo matemático que quantifica a distância entre dois pontos com base na diferença euclidiana. Esse método começa a partir de um ponto de referência, e em seguida, identifica o ponto de chegada ou entrega mais próximo, ou seja, o ponto que apresenta a menor distância. Por ser caracterizado por sua simplicidade e rapidez de

aplicação, é apropriado mesmo para situações de elevada complexidade.

Método do caixeiro viajante

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV), do inglês “*Travelling Salesman Problem (TSP)*”, foi originalmente proposto por Miller, Tucker e Zemlin em 1960. O PCV consiste em encontrar a rota de menor distância que um vendedor deve percorrer, passando por cada cidade apenas uma vez e retornando à cidade de origem.

Amplamente estudado no campo da matemática computacional, o PCV possui aplicações no setor de transportes, abordado como a formulação de uma rota que tem início e término no mesmo ponto, passando por diversos locais, com o intuito de minimizar custos, tempo e distância percorrida. À medida que se parte da origem e se alcança cada ponto, um grafo é construído, e a combinação desses grafos percorridos compõe o caminho total (SOUZA & ROMERO, 2014)⁹.

Conforme a síntese realizada por Higino *et al.* (2017)¹⁰, o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) consiste em tomar decisões acerca de quais veículos devem ser atribuídos a clientes específicos, de modo a estabelecer rotas que resultem em minimização do custo financeiro ou do tempo de execução. Ao longo das últimas décadas, o PCV tem sido abordado por meio de diversas adaptações, com diferentes níveis de complexidade, para atender às múltiplas restrições impostas pelas organizações (Otoni *et al.*, 2015)¹¹.

Esse problema está diretamente relacionado ao conceito de grafo, que envolve a interconexão de pontos (Picoli *et al.*)¹². Quando uma rota é encontrada, na qual todos os pontos são visitados uma vez e a viagem começa e termina no mesmo ponto, tem-se o chamado ciclo hamiltoniano.

Dimensionamento de frota

O ato de determinar o tamanho ideal de uma frota de veículos consiste em estabelecer o número apropriado de veículos necessário para satisfazer a necessidade de transporte, enquanto se busca alcançar a relação mais vantajosa entre o custo e os benefícios oferecidos pelos veículos da frota. No método NTC&Logística de cálculo de custos, estima-se a produtividade do transporte com base no número de viagens mensais do veículo de transporte. Para o cálculo são necessárias as variáveis:

p = percurso em km; h = tempo de carga;
 H = disponibilidade mensal do veículo em horas;
 V = velocidade operacional do veículo em km/h;
 n = número de viagens mensais;
 Qm = quilometragem mensal percorrida;
 t = capacidade de carga útil;
 Pm = produção mensal;
 P = produção mensal necessária; f = frota necessária.

Tem-se que: Tempo de duração de uma viagem = $h + (p/V)$; número de viagens possíveis $n = H/(h + (p/V))$; $Qm = p \times n$; $Pm = n \times t$; $f = P/Pm$.

Com esse formulário, é possível dimensionar a frota necessária de veículos para atender as demandas (REIS, 2013)¹³.

Jogos sérios e LabLog

Um jogo sério, também conhecido como *serious game*,

é um jogo desenvolvido com o propósito de transmitir conteúdo educacional ou de treinamento, visando objetivos específicos, como aprendizado, mudança comportamental, aprimoramento de habilidades ou resolução de problemas¹⁴.

Segundo Neidenbach *et al.* (2020)¹⁵, citando Caillois (2017), a gamificação é uma abordagem pedagógica e lúdica que pode ser utilizada nas organizações para promover o aprendizado dos funcionários e o bom funcionamento das empresas. Ela consiste em uma estratégia de ensino-aprendizagem que estimula a construção de sentido e a acumulação de experiências anteriores por meio de mecanismos que facilitam a resolução de problemas de gestão e eficiência operacional, resultando em aumento da produtividade empresarial.

A gamificação, segundo Alves (2015)¹⁶, consiste na incorporação de elementos de jogos em atividades do dia a dia, utilizando componentes como competição, cooperação, exploração, premiação e storytelling. Essa abordagem busca tornar atividades rotineiras mais envolventes e motivadoras para os participantes, promovendo a aprendizagem e o desenvolvimento pessoal e profissional.

Além disso, a gamificação oferece mecanismos e ferramentas que tornam o processo de aprendizado mais atrativo e eficaz, contribuindo para a criação de um ambiente de trabalho engajador e produtivo¹⁵.

No contexto do uso de jogos sérios e gamificação como formas de ampliar as possibilidades de aprendizado, vários jogos sérios de tabuleiro foram desenvolvidos no Brasil para o estudo da logística. Um exemplo é o Jogo da Logística desenvolvido por Georges (2009)¹⁷ e Georges (2010)¹⁸.

O Jogo da Logística simula a gestão de uma empresa em sua cadeia de suprimentos, desde a compra de matérias-primas até a entrega do produto aos clientes. Seu objetivo é proporcionar aos alunos uma experiência prática e imersiva no mundo da logística, permitindo uma melhor compreensão dos desafios e complexidades envolvidos nessa área, atenuando as dificuldades encontradas no ensino da logística, conforme apontam Georges & Seydell (2008)¹⁹.

O LabLog é um laboratório de logística que evoluiu do Jogo da Logística, e traz consigo diversos elementos em comum com o jogo, como tabuleiro, cartas, dados e peças que permite elaborar diversos cenários úteis no processo de ensino aprendizagem. A Figura 2 exhibe uma imagem do LabLog.



Figura 2. LabLog, o laboratório de logística. Fonte: <https://www.lablogistica.com.br/>

O tabuleiro do LabLog contém um mapa de um país fictício, cujas cidades têm nomes de pedras. O tabuleiro também contém uma área quadriculada para projetar o armazém, um recorte de cidade e o mapa mundi. Mais além, o LabLog traz diversas peças que são miniaturas de veículos, de produtos, de prateleiras e equipamentos de movimentação que permite a elaboração de projetos de armazéns e construção de rotas sobre o tabuleiro.

O LabLog não é um jogo, pois ele não possui uma dinâmica e nem faz uso de mecânicas de jogos. Ele é apenas um artefato. Mas é possível executar a mesma dinâmica e mecânicas do Jogo da Logística e usar o LabLog como um jogo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado neste estudo consiste basicamente em o tabuleiro do LabLog e seu mapa principal, tal como ilustra a Figura 3 a seguir.



Figura 3. Mapa do jogo de tabuleiro LabLog. Fonte: <https://www.lablogistica.com.br/>

Não será usado outras partes do tabuleiro e do LabLog, pois o foco deste estudo reside apenas nos métodos de roteamento de veículos.

A metodologia deste trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e quantitativa, de abordagem descritiva, executada sob a forma de experimentação, usando o LabLog como simulador de cenários para os experimentos feitos.

Foram feitos cinco experimentos, denominados fase 1, fase 2, 3, 4, e fase 5. A cada fase, uma nova complexidade é incluída no cenário. Em cada fase, foram aplicados os métodos de roteamento e o dimensionamento da frota, e avaliados os resultados do método e a capacidade do LabLog em produzir cenários.

A implantação dos métodos de roteamento e o dimensionamento da frota foram feitos com apoio de planilhas eletrônicas (MS Excel) e uso do Solver. A seção seguinte detalha os resultados obtidos.

3. RESULTADOS

Inicialmente, foram selecionadas aleatoriamente 20 cidades do LabLog para formar a base de clientes e foi selecionado aleatoriamente uma cidade para ser o fornecedor do produto, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Coordenadas das cidades, demandas anuais e custo do frete.

N	Cliente	X	Y	Demanda Média Anual	Custo Frete \$/km
Cliente 1	Rubelita	35	6,5	182	1
Cliente 2	Agata	29,5	19	182	1
Cliente 3	Drusas	23	48	182	1
Cliente 4	Pérola	7,5	24,5	182	1
Cliente 5	Moldavita	23,5	20	182	1
Cliente 6	Jaspe	27	48	182	1
Cliente 7	Jade	42	18	182	1
Cliente 8	Zircônia	30	55	182	1
Cliente 9	Turquesa	27	8,5	182	1
Cliente 10	Turmalina	31	23	182	1
Cliente 11	Safira	11	48,5	182	1
Cliente 12	Quartzo	20	58	182	1
Cliente 13	Nácar	10	52	182	1
Cliente 14	Esmeralda	8	17	182	1
Cliente 15	Fluorita	39	35	182	1
Cliente 16	Citrino	42	15	182	1
Cliente 17	Cornalina	41,5	31,5	182	1
Cliente 18	Ametista	47	24	182	1
Cliente 19	Dolomita	8	34	182	1
Cliente 20	Malaquita	35	46	182	1
Fornecedor 1	Selenita	28	36	182	0,7
CD		26,89	31,72		

Fonte: adaptado do LabLog.

Para cada cidade selecionada foram obtidas as informações das coordenadas X e Y através do tabuleiro, bem como a demanda média anual em número de paletes e o custo de transportar uma unidade de paletes por quilometro. A demanda média foi calculada a partir da definição do jogo que estabelece que cada cliente terá sua demanda semanal a partir do sorteio de um dado comum de 6 faces.

Utilizando o método das médias ponderadas, calculou-se que a localização do centro de distribuição CD se deu em (26,89; 31,72), por proximidade, na cidade de Amazonita.

Além disso, a Tabela 2 mostra os dados de dimensões do produto escolhido para mercadoria e do veículo para transporte. O truck comporta um volume total de 109,01 m³, sendo que o produto tem dimensão total de 1,92 m³. A Tabela 2 indica as médias de vendas diárias, bem como suas demandas diárias em volume. As dimensões fazem parte das cartas do jogo, enquanto as vendas diárias foram simuladas de maneira aleatória no Excel.

Tabela 2. Dimensões de volume de carga do veículo e dimensões do produto.

	COMP (m ³)	LARG (m ³)	ALTURA (m ³)	VOLUME TOTAL (m ³)
TRUCK	15,30	2,50	2,85	109,01
Produto 2	1,20	1,00	1,60	1,92

Fonte: adaptado do LabLog.

Para melhor visualização da localização, as cidades foram dispostas conforme a Figura 4, distribuídas conforme suas coordenadas no plano cartesiano.

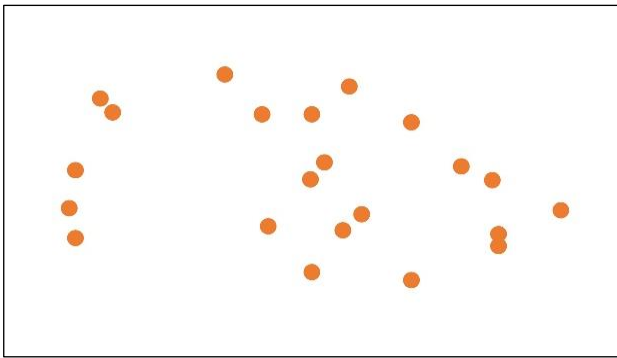


Figura 4. Localização das cidades. Fonte: elaboração própria.

Fase 1

Nesta primeira fase, conta-se com 20 clientes, além de 1 fornecedor e 1 centro de distribuição para um único tipo de produto. A aplicação do método da varredura seguiu os passos propostos por Ballou (2009)³. Para traçar a rota, leva-se em consideração que o caminhão tem capacidade máxima para transportar 109,01 m³. Caso a inclusão do novo cliente ultrapasse o limite da rota, esta é encerrada e inicia-se uma nova a partir deste cliente. A Tabela 3 mostra o volume total de cada rota para demandas geradas aleatoriamente. O resultado é demonstrado na Figura 5 e na Tabela 4.

Tabela 3. Demonstrativo de rotas.

	n	Cidade	m3	Volume
ROTA 1	17	Cornalina	26,88	103,68
	15	Fluorita	17,28	
	20	Malaquita	7,68	
	8	Zircônia	28,8	
	6	Jaspe	23,04	
ROTA 2	3	Drusas	23,04	101,76
	12	Quartzo	28,8	
	13	Nácar	11,52	
	11	Safira	24,96	
ROTA 3	14	Pérola	28,8	96
	5	Moldavita	30,72	
ROTA 4	9	Turquesa	30,72	69,12
	2	Ágata	24,96	
ROTA 5	19	Dolomita	13,44	78,72
	10	Turmalina	42,24	
ROTA 6	16	Citrino	36,48	82,56
	7	Jade	46,08	
	18	Ametista	36,48	

Fonte: elaboração própria.

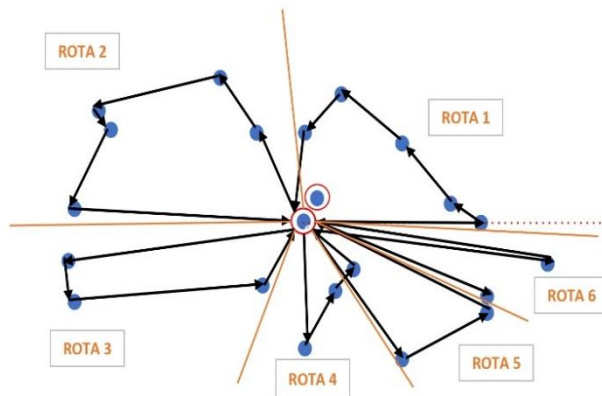


Figura 5. Roteirização pelo método da varredura. Fonte: elaboração própria.

Tabela 4. Sequenciamento método da varredura.

ROTA 1	ROTA 2	ROTA 3	ROTA 4	ROTA 5	ROTA 6
CD	CD	CD	CD	CD	CD
Cornalina	Drusas	Pérola	Turquesa	Turmalina	Jade
Fluorita	Quartzo	Esmeralda	Ágata	Citrino	Ametista
Malaquita	Nácar	Moldavita	Dolomita	CD	CD
Zircônia	Safira	CD	CD		
Jaspe	Dolomita				
CD	CD				
103,68 m ²	101,76 m ²	96,00 m ²	69,12 m ²	78,72 m ²	82,56 m ²

Fonte: elaboração própria.

Fase 2

A Fase 2 conta com 20 clientes, 2 fornecedores, 2 tipos de produto e 1 centro de distribuição. A roteirização é feita pelo método das economias. Os fornecedores são as cidades de Selenita e Rubi, e o CD continua sendo Amazonia.

Para a roteirização, deve-se utilizar a tabela de distâncias (Tabela 5) entre cada uma das 20 cidades que compõe a base de clientes, para então calcular a tabela das economias (Tabela 6), mostradas abaixo, respectivamente.

Tabela 5. Tabela de Distâncias.

	CD	Rubieta	Agata	Drusas	Pérola	Moldavita	Jaspe	Jade	Zircônia	Turquesa	Turmalina	Safira	Quartzo	Nácar	Esmeralda	Fluorita	Citrino	Cornalina	Ametista	Dolomita	Malaquita
CD	0	26,47	12,96	18,76	20,69	12,18	18,3	20,89	23,51	23,51	5,338	23,19	27,19	28,61	23,94	12,34	22,31	16,6	21,52	19,04	16,93
1 Rubieta	26,47	0	13,96	4,32	32,97	17,78	42,28	15,48	48,78	82,88	18,98	48,97	35,84	32,94	20,97	28,78	11,01	23,88	22,22	38,54	39,3
2 Agata	12,96	13,96	0	23,72	22,68	0,885	23,13	12,54	38	10,79	4,272	14,82	40,14	38,38	22,58	18,62	13,12	17,85	18,2	28,22	27,35
3 Drusas	18,76	4,32	23,72	0	28,15	28	4	85,51	9,899	89,7	26,25	12,01	10,44	13,6	34,44	20,62	88,08	24,78	33,94	20,52	14,17
4 Pérola	20,69	32,97	22,68	28,15	0	16,62	80,14	85,11	87,9	25,22	28,55	24,25	35,76	27,61	7,517	43,2	83,78	84,71	39,5	53,11	82,91
5 Moldavita	12,18	17,78	0,885	28,15	16,62	0	38,12	18,61	35,6	17,02	8,078	31,12	18,16	34,73	15,79	21,27	19,16	17,36	23,84	20,89	26,43
6 Jaspe	18,3	42,28	23,13	4	80,14	38,12	0	83,54	7,916	38,7	25,23	16,01	32,31	7,740	36,36	17,09	36,25	21,97	33,24	23,5	8,246
7 Jade	20,89	15,48	12,54	38	85,51	18,61	33,54	0	38,9	37,56	12,08	43,48	45,62	46,68	34,91	17,26	3	13,51	7,91	37,58	28,86
8 Zircônia	23,51	48,78	38	9,899	37,9	35,6	7,516	38,9	0	46,6	32,02	20,08	10,44	20,23	43,91	21,83	41,76	21,16	35,36	30,41	50,3
9 Turquesa	23,51	8,246	10,79	39,7	25,22	12,02	39,5	17,78	46,6	0	15,04	43,08	49,59	48,7	20,81	29,09	18,35	27,19	23,3	31,8	38,34
10 Turmalina	5,338	10,88	4,272	26,25	23,55	8,078	25,32	12,08	32,02	15,04	0	32,41	38,67	35,81	23,77	14,42	13,6	13,51	18,03	25,3	23,35
11 Safira	23,19	48,97	35,84	12,01	24,25	31,12	18,03	49,49	20,08	43,08	32,01	0	13,09	3,89	33,84	31,08	40,64	34,92	43,55	34,81	24,13
12 Quartzo	27,19	32,94	40,14	10,44	39,78	38,38	12,3	45,18	10,44	49,09	38,69	13,09	0	11,46	42,72	29,83	48,83	34,12	43,42	28,83	19,23
13 Nácar	28,61	51,92	38,38	13,6	27,62	36,73	17,46	46,89	20,22	46,7	38,81	3,84	13,85	0	39,06	33,62	48,92	31,58	46,4	38,11	25,71
14 Esmeralda	23,94	28,97	21,59	34,41	7,517	15,79	36,36	34,03	41,91	20,41	23,77	31,84	42,42	35,98	0	39,85	31,06	38,5	39,62	17	39,62
15 Fluorita	12,34	28,78	18,61	20,62	83,2	31,27	17,09	17,26	21,93	29,09	14,42	31,08	28,83	35,85	20,27	4,301	13,6	11,01	11,7		
16 Citrino	22,31	11,01	13,12	38,08	35,78	19,16	36,25	3	41,76	36,25	13,6	45,44	48,3	48,92	24,96	20,27	0	16,51	10,3	38,95	31,78
17 Cornalina	16,6	23,88	17,34	24,78	34,71	21,26	21,97	13,51	36,16	27,19	13,21	34,92	34,17	37,58	36,5	40,91	16,51	0	9,304	33,59	15,89
18 Ametista	21,52	37,17	18,2	33,94	39,5	23,84	31,74	7,81	35,36	35,3	16,03	43,55	43,47	44,4	39,63	13,5	10,3	9,301	0	46,26	25,05
19 Dolomita	19,04	38,54	28,22	20,52	53,13	20,89	23,6	37,58	30,41	31,8	25,3	14,81	38,83	38,11	17	31,02	38,93	33,58	40,16	0	39,06
20 Malaquita	16,93	39,3	27,35	13,17	34,91	28,43	8,246	38,85	10,3	38,34	23,35	24,13	19,21	25,71	30,62	11,7	31,78	15,89	25,06	29,55	0

Fonte: dados do LabLog.

Tabela 6. Tabela das Economias.

	CD	Rubieta	Agata	Drusas	Pérola	Moldavita	Jaspe	Jade	Zircônia	Turquesa	Turmalina	Safira	Quartzo	Nácar	Esmeralda	Fluorita	Citrino	Cornalina	Ametista	Dolomita	Malaquita	
CD	0																					
1 Rubieta	26,47	0,03	14,30	20,92	0,51	33,40	1,27	41,73	19,11	1,21	0,07	0,97	71,44	10,23	37,97	15,24	26,78	5,97	1,40			
2 Agata	12,96	13,96	0	22,86	3,55	24,61	4,76	28,47	22,11	5,07	3,81	4,84	19,11	10,68	26,15	14,03	20,08	5,38	5,64			
3 Drusas	18,76	4,32	23,72	0	29,06	1,64	30,37	0,55	0,13	27,88	33,51	29,57	6,27	8,69	1,20	8,37	4,34	15,28	23,03			
4 Pérola	20,69	32,97	22,68	28,15	0	15,26	6,45	8,97	18,97	6,78	10,57	12,33	18,69	37,22	0,03	7,42	0,38	3,71	30,22	2,27		
5 Moldavita	12,18	17,78	0,885	28,15	16,62	0	27,13	1,21	13,98	0,05	23,67	13,72	4,13	1,21	3,87	20,34	3,16	15,53	5,43	9,97	10,34	0,19
6 Jaspe	18,3	42,28	23,13	38	85,51	18,61	33,54	0	3,15	32,19	0,31	0,80	23,42	31,28	25,29	388,00	11,15	2,37	8,94	8,38	11,74	24,49
7 Jade	20,89	15,48	12,54	38	85,51	18,61	33,54	0	5,00	26,30	17,92	0,03	0,11	30,32	15,87	30,98	21,48	34,10	1,26	7,26		
8 Zircônia	23,51	48,78	38	9,899	37,9	35,6	7,516	38,9	0	0,41	1,11	26,56	40,28	29,70	5,24	13,12	4,26	11,94	3,97	12,35	29,84	
9 Turquesa	23,51	8,246	10,79	39,7	25,22	12,02	39,5	17,78	46,6	0	0,22	46,63	6,96	29,67	19,23	19,74	1,66					
10 Turmalina	5,338	10,88	4,272	26,25	23,55	8,078	25,32	12,08	32,02	15,04	0	0,31	0,12	0,23	9,79	7,74	38,53	10,71	15,11	8,16	2,71	
11 Safira	23,19	48,97	35,84	12,01	24,25	31,12	18,03	49,49	20,08	43,08	32,01	0	0,11	0,11	33,84	31,08	40,64	34,92	43,55	34,81	24,13	
12 Quartzo	27,19	32,94	40,14	10,44	39,78	38,38	12,3	45,18	10,44	49,09	38,69	13,09	0	0,11	41,94	8,41	5,90	1,40	7,67	5,30	19,40	24,42
13 Nácar	28,61	51,92	38,38	13,6	27,62	36,73	17,46	46,89	20,22	46,7	38,81	3,84	13,85	0	15,30	3,30	0,01	3,49	1,54	27,34	17,14	
14 Esmeralda	23,94	28,97	21,59	34,41	7,517	15,79	36,36	34,03	41,91	20,41	23,77	31,84	42,42	35,98	0	0,64	12,40	1,04	5,84	25,88	0,36	
15 Fluorita	12,34	28,78	18,61	20,62	83,2	31,27	17,09	17,26	21,93	29,09	14,42	31,08	28,83	35,85	20,27	4,301	13,6	11,01	11,7			
16 Citrino	22,31	11,01	13,12	38,08	35,78	19,16	36,25	3	41,76	36,25	13,6	45,44	48,3	48,92	24,96	20,27	0	16,51	10,3	38,95	31,78	
17 Cornalina	16,6	23,88	17,34	24,78	34,71	21,26	21,97	13,51	36,16	27,19	13,21	34,92	34,17	37,58	36,5	40,91	16,51	0	9,304	33,59	15,89	
18 Ametista	21,52	37,17	18,2	33,94	39,5	23,84	31,74	7,81	35,36	35,3	16,03	43,55	43,47	4								

Quartzo → Nácar → Safira → Dolomita → Pérola → Esmeralda → Moldavita → Ágata → Turquesa → Rubelita → Citrino → Jade → Ametista → Fluorita → Cornalina → Turmalina → CD. Assim, totalizou-se um percurso de 201,5 km rodados, mostrado na Figura 6.

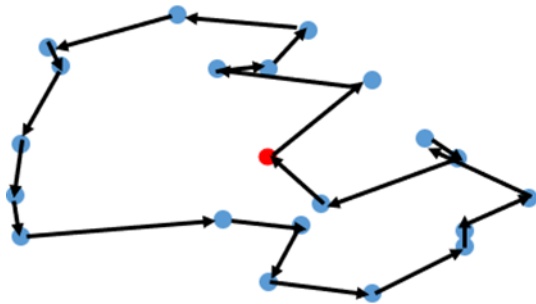


Figura 6. Roteirização pelo método das economias. Fonte: elaboração própria.

A Tabela 7 a seguir mostra a sequência de cidades a ser percorrida pela rota segundo o método das economias. Não foi considerada a capacidade do veículo nessa rota. No entanto, para considerar a capacidade, basta somar a demanda de cada cliente até o limite do veículo para determinar o fim da rota, e a nova rota inicia no próximo cliente até novamente atingir a capacidade do veículo.

Tabela 7. Distância percorrida pelo método das economias.

Método das Economias		
From	To	Distância percorrida em km
CD	-----> Malaquita	16,4
Malaquita	-----> Drusas	12,2
Drusas	-----> Jaspe	4,0
Jaspe	-----> Zircônia	7,6
Zircônia	-----> Quartzo	10,4
Quartzo	-----> Nácar	11,7
Nácar	-----> Safira	3,6
Safira	-----> Dolomita	14,8
Dolomita	-----> Pérola	9,5
Pérola	-----> Esmeralda	7,5
Esmeralda	-----> Moldavita	15,8
Moldavita	-----> Ágata	6,1
Ágata	-----> Turquesa	10,8
Turquesa	-----> Rubelita	8,3
Rubelita	-----> Citrino	11,0
Citrino	-----> Jade	3,0
Jade	-----> Ametista	7,8
Ametista	-----> Fluorita	13,6
Fluorita	-----> Cornalina	4,3
Cornalina	-----> Turmalina	13,5
Turmalina	-----> CD	9,6
TOTAL		201,5

Fonte: elaboração própria.

Fase 3

Nesta terceira fase, contamos com 20 clientes, 4 produtos, 2 fornecedores e 1 CD e a roteirização é feita usando o método do vizinho mais próximo, além de haver o dimensionamento da frota.

No método do vizinho mais próximo, a rota escolhida a partir do CD é aquela da cidade com menor distância a partir da origem, observada na Tabela 8. Desse modo, a roteirização final totaliza um percurso de 190,95 km rodados.

Tabela 8 – Roteirização pelo método do vizinho mais próximo.

Método do Vizinho Mais Próximo		
From	To	Distância percorrida em km
CD	-----> Turmalina	9,62
Turmalina	-----> Ágata	4,27
Ágata	-----> Moldavita	6,08
Moldavita	-----> Turquesa	12
Turquesa	-----> Rubelita	8,25
Rubelita	-----> Citrino	11
Citrino	-----> Jade	3
Jade	-----> Ametista	7,81
Ametista	-----> Cornalina	9,3
Cornalina	-----> Fluorita	4,3
Fluorita	-----> Malaquita	11,7
Malaquita	-----> Jaspe	8,25
Jaspe	-----> Drusas	4
Drusas	-----> Zircônia	9,9
Zircônia	-----> Quartzo	10,4
Quartzo	-----> Nácar	11,7
Nácar	-----> Safira	3,64
Safira	-----> Dolomita	14,8
Dolomita	-----> Pérola	9,51
Pérola	-----> Esmeralda	7,52
Esmeralda	-----> CD	23,9
TOTAL		190,95

Fonte: elaboração própria.

Na Figura 7 observa-se a construção da rota no plano cartesiano.

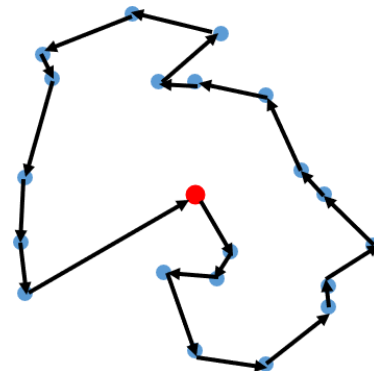


Figura 7. Roteirização pelo método do vizinho mais próximo. Fonte: elaboração própria.

Para o dimensionamento da frota, deve-se considerar algumas informações importantes. Neste caso, o transporte utilizado será um semirreboque. De acordo com as cartas do LabLog, este veículo comporta 25 toneladas, tendo dimensões 15,30 m x 2,50 m x 2,85 m, uma velocidade média de 55 km/h e leva em torno de 50 min para carga ou descarga completa. Também vamos considerar que ele vai operar 10 horas por dia, 25 dias no mês, ou seja, 250 horas mensais. Assim, a Tabela 9 informa as variáveis necessárias para o cálculo do dimensionamento da frota, conforme teorizado na sessão anterior.

Tabela 9. Variáveis para o dimensionamento da frota.

P	Percurso [km]	190,95
h	Tempo de carga e descarga [h]	0,83
H	Disponibilidade mensal [h]	250,00
V	Velocidade operacional [km/h]	55,00
n	Número de viagens mensais	58,07

Fonte: elaboração própria.

Com os dados da tabela acima, o número de viagens mensais n foi dado por $n = H / (h + P/V)$. Substituindo os valores, tem-se $n = 250 / (0,83 + 190,95/55)$. Portanto, foi determinado que o número de viagens mensais é de 58,07.

Calculado n, podemos calcular a quilometragem mensal percorrida, dada por $Qm = p \times n$. Como o percurso $p = 190,95\text{ km}$ e $n = 58,07$, tem-se $Qm = 11088,46 \text{ km/mês}$.

Conhecida a capacidade de carga do veículo $t = 25t$, sua produção mensal Pm é resultado do produto $Pm = n \times t$. Assim, $Pm = 58,07 \times 25 = 1451,75$.

Ainda, sabe-se que a demanda mensal de cada produto para cada cliente é de 3,5. Sendo 20 clientes e sabendo que o Fornecedor 1 abastece os produtos P1 e P2, e o Fornecedor 2 abastece os produtos P3 e P4, cada fornecedor despense de 140 unidades mensais para serem distribuídas entre seus clientes a cada mês. A Tabela 10 contém informações sobre os valores de tonelada/produto, bem como demanda total mensal e quantidade mensal de toneladas.

Tabela 10. Demandas mensais por fornecedor.

Tonelada/produto	Fornecedor 1		Fornecedor 2	
	P1	P2	P3	P4
	0,5	0,3	1	0,7
Demanda total	140 unidades		140 unidades	
Qtd Toneladas	56		119	
Toneladas mensais	175			

Fonte: elaboração própria.

Com esse valor, pode-se enfim dimensionar a frota f necessária para o roteiro conhecido, através da equação $f = Pm / P = 1451,75 / 175$. O valor f é igual a 8,30. Portanto, são necessários 9 veículos do tipo semirreboque para atender as demandas necessárias de transporte dos produtos para os 20 clientes.

é feita usando o método do vizinho mais próximo. Também será realizado o cálculo do frete.

Neste caso, como aumenta-se a quantidade de clientes, cujo mesmos são diferentes dos casos anteriores, é feita uma nova tabela de distâncias, mostrada na Tabela 11.

Tabela 11. Coordenadas, demandas anuais, custo do frete e distância até o CD dos clientes.

N	Cidade	X	Y	Dm P1	Dm P2	Dm P3	Dm P4	Demanda Média Anual	Custo Frete \$/km	Distância até CD
Cliente 1	Amazonita	27	30	182	182	182	182	728	1,0	0,83
Cliente 2	Ambar	19	50,5	182	182	182	182	728	1,0	21,34
Cliente 3	Ametista	47	24	182	182	182	182	728	1,0	20,93
Cliente 4	Cianita	22	10	182	182	182	182	728	1,0	21,45
Cliente 5	Citrino	42	15	182	182	182	182	728	1,0	21,65
Cliente 6	Cornalina	41,5	31,5	182	182	182	182	728	1,0	14,31
Cliente 7	Diamante	18	24,5	182	182	182	182	728	1,0	11,16
Cliente 8	Dolomita	8	34	182	182	182	182	728	1,0	19,47
Cliente 9	Drusas	23	48	182	182	182	182	728	1,0	17,70
Cliente 10	Esmeralda	8	17	182	182	182	182	728	1,0	23,66
Cliente 11	Fluorita	39	35	182	182	182	182	728	1,0	12,51
Cliente 12	Granalla	39	26,5	182	182	182	182	728	1,0	12,55
Cliente 13	Hematita	12	24,5	182	182	182	182	728	1,0	16,46
Cliente 14	Jade	42	18	182	182	182	182	728	1,0	19,56
Cliente 15	Jaspe	27	48	182	182	182	182	728	1,0	17,20
Cliente 16	Lazúli	17	52	182	182	182	182	728	1,0	23,52
Cliente 17	Malaquita	35	46	182	182	182	182	728	1,0	17,08
Cliente 18	Moldavita	23,5	20	182	182	182	182	728	1,0	11,42
Cliente 19	Nácar	10	52	182	182	182	182	728	1,0	27,30
Cliente 20	Onix	16	31	182	182	182	182	728	1,0	11,21
Cliente 21	Opala	5	29	182	182	182	182	728	1,0	22,28
Cliente 22	Pérola	7,5	24,5	182	182	182	182	728	1,0	20,69
Cliente 23	Pirita	26	55	182	182	182	182	728	1,0	24,22
Cliente 24	Quartzto	20	58	182	182	182	182	728	1,0	28,13
Cliente 25	Rubelita	35	6,5	182	182	182	182	728	1,0	25,52
Fornecedor 1	Zarifa	33	32	4550	4550	0	0	9100	0,7	5,91
Fornecedor 2	Rubi	31	14	0	0	4550	0	4550	0,7	17,23
Fornecedor 3	Selenita	28	36	0	0	0	4550	4550	0,7	5,25
CD 1		27,21	30,81							

Fonte: elaboração própria.

Tabela 12. Tabela de distâncias das cidades da Fase 4

CD	CD																										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Amazonita	0,0	0,8	21,3	20,9	21,4	21,6	14,3	11,2	19,5	17,7	23,7	12,5	12,6	16,5	19,6	17,2	23,5	17,1	11,4	27,3	11,2	22,3	20,7	24,2	28,1	25,5	
Ambar	1	0,8	0,0	22,0	20,9	20,6	21,2	14,6	10,5	19,4	18,4	23,0	13,0	12,5	16,0	19,2	18,0	24,2	17,9	10,6	27,8	11,0	22,0	20,3	25,0	28,9	24,8
Ametista	2	21,3	22,0	0,0	38,6	40,6	42,3	29,4	26,0	19,8	4,7	35,3	25,3	31,2	26,9	39,8	8,4	2,5	16,6	30,8	9,1	19,7	25,7	28,4	8,3	7,6	46,8
Cianita	3	20,9	20,9	38,6	0,0	28,7	10,3	9,3	29,0	40,3	33,9	39,6	13,6	8,4	35,0	7,8	31,2	41,0	25,1	23,8	46,4	31,8	42,3	39,5	37,4	43,4	21,2
Citrino	4	21,4	20,6	40,6	28,7	0,0	20,6	29,0	15,0	27,8	38,0	15,7	30,2	23,7	17,6	21,5	38,3	42,3	38,3	10,1	43,7	21,8	25,5	20,5	45,2	48,0	13,5
Cornalina	5	21,6	21,2	42,3	10,3	20,6	0,0	16,5	25,8	38,9	38,1	34,1	20,2	11,9	31,5	3,0	36,2	44,7	31,8	19,2	48,9	30,5	39,6	35,8	43,1	48,3	11,0
Diamante	6	14,3	14,6	29,4	9,3	29,0	16,5	0,0	24,5	33,6	24,8	36,5	4,3	5,6	30,3	13,5	22,0	31,9	15,9	21,4	37,6	25,5	36,6	34,7	28,2	34,1	25,8
Dolomita	7	11,2	10,5	26,0	29,0	15,0	25,8	24,5	0,0	13,8	24,0	12,5	23,5	21,1	6,0	24,9	25,2	27,5	27,4	7,1	28,6	6,8	13,8	10,5	31,5	33,6	24,8
Drusas	8	19,5	19,4	19,8	40,3	27,8	38,9	33,6	13,8	0,0	20,5	17,0	31,0	31,9	10,3	37,6	23,6	20,1	29,5	20,9	18,1	8,5	5,8	9,5	27,7	26,8	38,5
Esmeralda	9	17,7	18,4	4,7	33,9	38,0	38,1	24,8	24,0	20,5	0,0	34,4	20,6	26,8	25,9	35,5	4,0	7,2	12,2	28,0	13,6	18,4	26,2	28,2	7,6	10,4	43,2
Fluorita	10	23,7	23,0	35,3	39,6	15,7	34,1	36,5	12,5	17,0	34,4	0,0	35,8	32,4	8,5	34,0	36,4	36,1	39,6	15,8	35,1	16,1	12,4	7,5	42,0	42,7	29,0
Granalla	11	12,5	13,0	25,3	13,6	30,2	20,2	4,3	23,5	31,0	20,6	35,8	0,0	8,5	29,0	17,3	17,7	27,8	11,7	21,6	33,6	23,3	34,5	33,2	23,9	29,8	28,8
Hematita	12	12,6	12,5	31,2	8,4	23,7	11,9	5,6	21,1	31,9	26,8	32,4	8,5	0,0	27,1	9,0	24,6	33,7	19,9	16,8	38,6	23,4	34,1	31,6	31,3	36,8	20,4
Jade	13	16,5	16,0	26,9	35,0	17,6	31,5	30,3	6,0	10,3	25,9	8,5	29,0	27,1	0,0	30,7	27,9	28,0	31,5	12,3	27,6	7,6	8,3	4,5	33,6	34,4	29,2
Jaspe	14	19,6	19,2	39,8	7,8	21,5	3,0	13,5	24,9	37,6	35,5	34,0	17,3	9,0	30,7	0,0	33,5	42,2	28,9	18,6	46,7	29,1	38,6	35,1	40,3	45,7	13,5
Lazúli	15	17,2	18,0	8,4	31,2	38,3	36,2	22,0	25,2	23,6	4,0	36,4	17,7	24,6	27,9	33,5	0,0	10,8	8,2	28,2	17,5	20,2	29,1	30,5	7,1	12,2	42,3
Malaquita	16	23,5	24,2	2,5	41,0	42,3	44,7	31,9	27,5	20,1	7,2	36,1	27,8	33,7	28,0	42,2	10,8	0,0	19,0	32,7	7,0	21,0	25,9	29,1	9,5	6,7	48,9
Moldavita	17	17,1	17,9	16,6	25,1	38,3	31,8	15,9	27,4	29,5	12,2	39,6	11,7	19,9	31,5	28,9	8,2	19,0	0,0	28,4	25,7	24,2	34,5	34,9	12,7	19,2	39,5
Nácar	18	11,4	10,6	30,8	23,8	10,1	19,2	21,4	7,1	20,9	28,0	15,8	21,6	16,8	12,3	18,6	28,2	32,7	28,4	0,0	34,7	13,3	20,6	16,6	35,1	38,2	17,7
Onix	19	27,3	27,8	9,1	46,4	43,7	48,9	37,6	28,6	18,1	13,6	35,1	33,6	38,6	27,6	46,7	17,5	7,0	25,7	34,7	0,0	21,8	23,5	27,6	16,3	11,7	51,9
Opala	20	11,2	11,0	19,7	31,8	21,8	30,5	25,5	6,8	8,5	18,4	16,1	23,3	23,4	7,6	29,1	20,2	21,0	24,2	13,3	21,8	0,0	11,2	10,7	26,0	27,3	31,0
Pérola	21	22,3	22,0	25,7	42,3	25,5	39,6	36,6	13,8	5,8	26,2	12,4	34,5	34,1	8,3	38,6	29,1	25,9	34,5	20,6	23,5	11,2	0,0	5,1	33,4	32,6	37,5
Pirita	22	20,7	20,3	28,4	39,5	20,5	35,8	34,7	10,5	9,5	28,2	7,5	33,2	31,6	4,5	35,1	30,5	29,1	34,9	16,6	27,6	10,7	5,1	0,0	35,7	35,8	32,9
Quartzto	23	24,2	25,0	8,3	37,4	45,2	43,1	28,2	31,5	27,7	7,6	42,0	23,9	31,3	33,6	40,3	7,1	9,5	12,7	35,1	16,3	26,0	33,4	35,7	0,0	6,7	49,3
Rubelita	24	28,1	28,9	7,6	43,4	48,0	48,3	34,1	33,6	26,8	10,4	42,7	29,8	36,8	34,4	45,7	12,2	6,7	19,2	38,2	11,7	27,3	32,6	35,8	6,7	0,0	53,6
	25	25,5	24,8	46,8	21,2	13,5	11,0	25,8	24,8	38,5	43,2	29,0	28,8	20,4	29,2	13,5	42,3	48,9	39,5	17,7	51,9	31,0	37,5	32,9	49,3	53,6	0,0

Fonte: elaboração própria

Fase 4

Nesta quarta fase, trabalharemos com 25 clientes, 4 produtos, 2 fornecedores e 1 CD. Além disso, a roteirização

Usando do método do vizinho mais próximo, como explicado anteriormente, a rota finalizada para a fase 4 é mostrada a na Figura 8 a seguir.

A Tabela 13 exibe a sequência de entregas para 25 clientes e usando o método do vizinho mais próximo, que resultou numa distância total percorrida de 237,8 km.

Sabendo-se que para o veículo selecionado (semirreboque) o custo do frete é de R\$3,90 por km rodado, o cálculo do frete é mostrado na Tabela 14.

Assim, o gasto total com o frete para o percurso traçado é de R\$927,42 considerando os custos fictícios do LabLog.

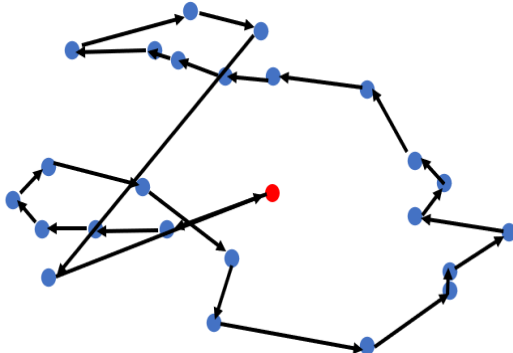


Figura 8. Roteirização pelo método do vizinho mais próximo da Fase 4. Fonte: elaboração própria.

Tabela 13. Roteirização pelo método vizinho mais próximo.

Método do Vizinho Mais Próximo			
From	To	Distância percorrida em km	
CD	----->	Amazonita	0,8
Amazonita	----->	Diamante	10,5
Diamante	----->	Hematita	6,0
Hematita	----->	Pérola	4,5
Pérola	----->	Opala	5,1
Opala	----->	Dolomita	5,8
Dolomita	----->	Onix	8,5
Onix	----->	Moldavita	13,3
Moldavita	----->	Cianita	10,1
Cianita	----->	Rubelita	13,5
Rubelita	----->	Citrino	11,0
Citrino	----->	Jade	3,0
Jade	----->	Ametista	7,8
Ametista	----->	Granalía	8,4
Granalía	----->	Cornalina	5,6
Cornalina	----->	Fluorita	4,3
Fluorita	----->	Malaquita	11,7
Malaquita	----->	Jaspe	8,2
Jaspe	----->	Drusas	4,0
Drusas	----->	Ambar	4,7
Ambar	----->	Lazúli	2,5
Lazúli	----->	Quartzo	6,7
Quartzo	----->	Pirita	6,7
Pirita	----->	Nácar	16,3
Nácar	----->	Esmeralda	35,1
Esmeralda	----->	CD	23,7
TOTAL			237,8

Fonte: elaboração própria.

Tabela 14. Cálculo do frete por cidade.

Cidade	Km percorridos	Frete \$/km	Frete Total
CD	0,8	R\$ 3,90	R\$ 3,12
Amazonita	10,5	R\$ 3,90	R\$ 40,95
Diamante	6,0	R\$ 3,90	R\$ 23,40
Hematita	4,5	R\$ 3,90	R\$ 17,55
Pérola	5,1	R\$ 3,90	R\$ 19,89
Opala	5,8	R\$ 3,90	R\$ 22,62
Dolomita	8,5	R\$ 3,90	R\$ 33,15
Onix	13,3	R\$ 3,90	R\$ 51,87
Moldavita	10,1	R\$ 3,90	R\$ 39,39
Cianita	13,5	R\$ 3,90	R\$ 52,65
Rubelita	11,0	R\$ 3,90	R\$ 42,90
Citrino	3,0	R\$ 3,90	R\$ 11,70
Jade	7,8	R\$ 3,90	R\$ 30,42
Ametista	8,4	R\$ 3,90	R\$ 32,76
Granalía	5,6	R\$ 3,90	R\$ 21,84
Cornalina	4,3	R\$ 3,90	R\$ 16,77
Fluorita	11,7	R\$ 3,90	R\$ 45,63
Malaquita	8,2	R\$ 3,90	R\$ 31,98
Jaspe	4,0	R\$ 3,90	R\$ 15,60
Drusas	4,7	R\$ 3,90	R\$ 18,33
Ambar	2,5	R\$ 3,90	R\$ 9,75
Lazúli	6,7	R\$ 3,90	R\$ 26,13
Quartzo	6,7	R\$ 3,90	R\$ 26,13
Pirita	16,3	R\$ 3,90	R\$ 63,57
Nácar	35,1	R\$ 3,90	R\$ 136,89
Esmeralda	23,7	R\$ 3,90	R\$ 92,43
TOTAL			R\$ 927,42

Fonte: elaboração própria.

Fase 5

Na quinta e última fase, o a logística de transportes é feita com 25 clientes, 4 produtos, 3 fornecedores e 1 CD, sendo a roteirização feita pelo método do caixeiro viajante.

Tabela 15. Coordenadas das cidades da Fase 5.

N	Cidade	X	Y
Cliente 1	Amazonita	27	30
Cliente 2	Ambar	19	50,5
Cliente 3	Ametista	47	24
Cliente 4	Cianita	22	10
Cliente 5	Citrino	42	15
Cliente 6	Cornalina	41,5	31,5
Cliente 7	Diamante	18	24,5
Cliente 8	Dolomita	8	34
Cliente 9	Drusas	23	48
Cliente 10	Esmeralda	8	17
Cliente 11	Fluorita	39	35
Cliente 12	Granalía	39	26,5
Cliente 13	Hematita	12	24,5
Cliente 14	Jade	42	18
Cliente 15	Jaspe	27	48
Cliente 16	Lazúli	17	52
Cliente 17	Malaquita	35	46
Cliente 18	Moldavita	23,5	20
Cliente 19	Nácar	10	52
Cliente 20	Onix	16	31
Cliente 21	Opala	5	29
Cliente 22	Pérola	7,5	24,5
Cliente 23	Pirita	26	55
Cliente 24	Quartzo	20	58
Cliente 25	Rubelita	35	6,5
Fornecedor 1	Zarifa	33	32
Fornecedor 2	Rubi	31	14
Fornecedor 3	Selenita	28	36
CD		27,21	30,81

Fonte: adaptado do LabLog.

Para a resolução do método do caixeiro viajante, utilizou a ferramenta ‘Solver’ do Excel para encontrar a solução ótima. O primeiro passo é montar a tabela From/To (como se segue abaixo) e colocar uma sugestão de rota. Na coluna distância percorrida, a função ‘@ÍNDICE’ é utilizada para coletar os dados da tabela de distâncias, como o exemplo ‘=@ÍNDICE(\$M\$42:\$AL\$67;P5+1;R5+1)’.

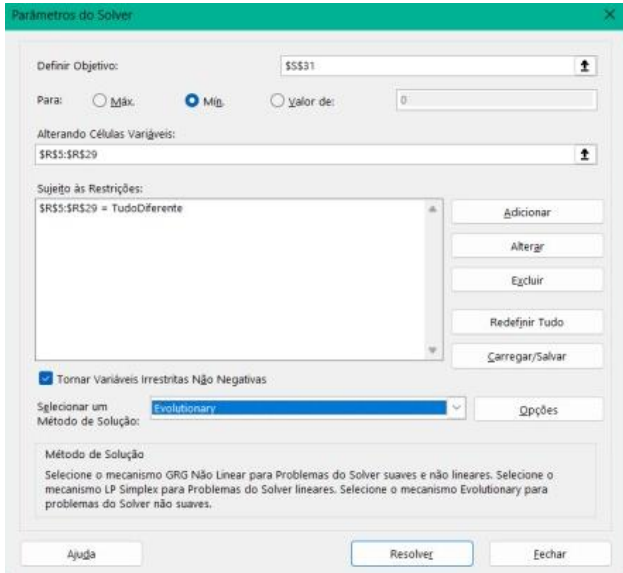


Figura 9 . Parâmetros do Solver. Fonte: elaboração própria.

Tabela 17. Roteirização pelo método do caixeiro viajante da Fase 5.

Caixeiro Viajante			Distância percorrida em km
From	To		
0	---->	1	0,8
1	---->	18	10,6
18	---->	4	10,1
4	---->	25	13,5
25	---->	5	11,0
5	---->	14	3,0
14	---->	3	7,8
3	---->	12	8,4
12	---->	6	5,6
6	---->	11	4,3
11	---->	17	11,7
17	---->	15	8,2
15	---->	9	4,0
9	---->	23	7,6
23	---->	24	6,7
24	---->	2	7,6
2	---->	16	2,5
16	---->	19	7,0
19	---->	8	18,1
8	---->	21	5,8
21	---->	22	5,1
22	---->	10	7,5
10	---->	13	8,5
13	---->	7	6,0
7	---->	20	6,8
20	---->	0	11,2
TOTAL			199,6

Fonte: elaboração própria.

Em seguida, aciona-se o solver com os seguintes

parâmetros: Célula objetivo, \$\$\$31; minimizar; alterando células variáveis, \$R\$5:\$R\$29; Sujeito às restrições, \$R\$5:\$R\$29 = TudoDiferente; Método de solução, Evolutionary, como mostra a Figura 9.

A solução ótima encontrada pelo Solver percorreu 199,6 km, sendo a seguinte (Tabela 17).

Neste caso, a rota foi definida por CD – Amazonita– Moldavita – Cianita – Rubelita – Citrino – Jade – Ametista – Granalia – Cornalina – Fluorita – Malaquita– Jaspe – Drusas – Pirita – Quartzo – Ambar – Lazúli – Nácar – Dolomita – Opala – Pérola – Esmeralda – Hematita – Diamante – Onix – CD, percorrendo-se 199,6km ao total.

A Figura 10 contém a visualização da rota pelo método do caixeiro viajante, proposta para a Fase 5.

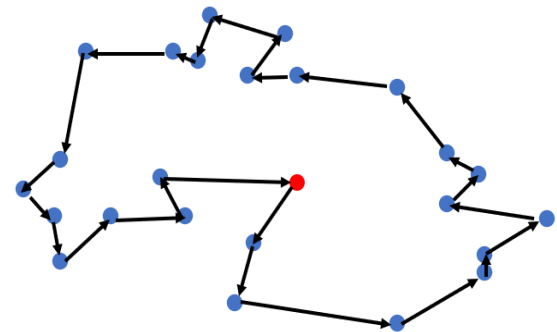


Figura 10. Roteirização pelo método do Caixeiro Viajante. Fonte: elaboração própria.

4. DISCUSSÃO

A discussão dos resultados com base nos dados apresentados revela importantes aspectos que merecem destaque.

Inicialmente, a utilização dos métodos da varredura, das economias e do vizinho mais próximo para a roteirização permitiu explorar diferentes abordagens na otimização do trajeto, considerando o custo e a distância percorrida. No entanto, observa-se que as distâncias variaram significativamente entre os métodos, indicando a relevância de escolher adequadamente o método a ser aplicado em um contexto específico.

Na fase 1, ao empregar o método da varredura, o trajeto teve uma distância muito elevada devido ao fato da necessidade de realizar muitas rotas voltando ao CD, por conta do limite de carga, evidenciando que esse método não resultou no menor percurso em comparação com as fases posteriores. Já na fase 2, ao utilizar o método das economias, a rota diminuiu para 201,5 km, demonstrando uma maior eficiência em comparação com o método da varredura.

A introdução do método do vizinho mais próximo na fase 3 resultou em uma rota de 190,95 km, novamente mostrando uma tendência de redução da distância percorrida. Isso indica que a consideração da proximidade entre os pontos de entrega pode gerar economias significativas no trajeto. Além disso, a fase 3 também introduziu o dimensionamento da frota, enfatizando a importância de calcular adequadamente o número de veículos necessários para atender à demanda. Na fase 4, com a introdução de mais novos cinco clientes no trajeto, o método do vizinho mais próximo resultou em um percurso de 240,4 km.

Por fim, na fase 5, a utilização do método do caixeiro

viajante, por meio da ferramenta Solver do Excel, resultou em uma rota de 199,6 km. É notável que esse método resultou em uma distância significativamente menor, se comparado à fase anterior, sendo importante considerar que o método do caixeiro viajante é mais complexo e pode ser mais adequado para situações com restrições específicas.

Em resumo, a discussão dos resultados destaca a importância de escolher o método de roteirização mais adequado para o contexto logístico específico, considerando fatores como a quantidade de pontos de entrega, custos, tempo e restrições operacionais. Além disso, a introdução de heurísticas e métodos de otimização pode contribuir para a melhoria da eficiência logística, embora seja necessário equilibrar a complexidade desses métodos com os resultados obtidos.

Um ponto relevante observado foi o impacto positivo na redução de custos logísticos conforme melhoria da técnica de roteirização utilizada, partindo de uma mais simples para uma mais complexa. Ao utilizar a solução do Caixeiro Viajante, a empresa obteve uma rota otimizada que minimizou as distâncias percorridas. Essa redução de custos é de extrema importância para as empresas, uma vez que contribui para aprimorar a eficiência operacional e a rentabilidade da operação logística.

Além disso, o uso do LabLog como ferramenta de aprendizado e compreensão dos conceitos de logística e gestão de transportes mostrou-se efetivo.

Ainda, é necessário ressaltar que a aplicação do estudo se restringe ao cenário do jogo LabLog e aos dados fictícios apresentados. Para uma maior generalização dos resultados, seria necessário realizar análises em cenários reais, utilizando dados atualizados. Por fim, vale ressaltar que, embora os resultados deste estudo sejam específicos para o contexto do LabLog e suas cidades fictícias, a metodologia e as abordagens utilizadas podem ser aplicadas em outros cenários logísticos que envolvam a otimização da rota de entrega.

5. CONCLUSÃO

Em resumo, este estudo avaliou diversos métodos de roteirização de veículos no contexto do jogo educacional LabLog. Cada método apresentou vantagens e limitações específicas, dependendo das características do problema. A escolha do método apropriado deve considerar fatores como o número de clientes, restrições de capacidade e objetivos logísticos. O uso do LabLog como ferramenta educacional se mostrou eficaz para aplicar conceitos logísticos em situações práticas. Em última análise, este trabalho realça a importância de uma abordagem prática e diversificada para capacitar profissionais na complexa área da gestão logística.

A contribuição do presente artigo confirmou o potencial da combinação das metodologias estudadas para otimizar a gestão logística. No entanto, reconhece-se as limitações do estudo, como o uso de um contexto fictício e uma abordagem simplificada. É sugerida a realização de estudos adicionais em cenários reais e a exploração de técnicas mais avançadas. Para o futuro, espera-se um aprimoramento contínuo das estratégias logísticas e o uso de jogos sérios para o desenvolvimento de habilidades dos profissionais da área.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de iniciação científica no âmbito do programa PIBIQ e ao Grupo Engenho por disponibilizar o LabLog.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Council of Supply Chain Management Professional (CSCMP). CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary. Disponível em https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx Acessado em 02 mar. 2023.
- [2] The World Bank. International logistics performance index: LPI Global Rankings 2018. 2018. Disponível em: <<https://lpi.worldbank.org/international/global>>. Acesso em: 02 mar. 2023.
- [3] Ballou, R. H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial. Editora Bookman. 5ed. Porto Alegre, 2009.
- [4] Silva, T. Roteamento de veículos: estudo de caso em uma empresa localizada na cidade de Araguaína – TO, 2022. [Trabalho de conclusão de curso]. Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, Tocantins, 2016.
- [5] Georges, Marcos Ricardo Rosa. Rotas Solidárias: um estudo das rotas de coleta de materiais recicláveis numa cooperativa popular de coleta e seleção de recicláveis. Revista Gestão Industrial, v. 10, n. 1, 2014.
- [6] Marques, Clara Miranda *et al.* Ensino da Logística para Graduação Através de um Jogo Sério. In: Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP. Anais...Lorena (SP) EEL-USP, 2022. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/saeopro2022/499234-ensino-da-logistica-para-graduacao-atraves-de-um-jogo-serio/>>. Acesso em: 18 jun. 2023.
- [7] Novaes, Antonio Galvão. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- [8] Santos, R. L. Uma aplicação de algoritmos de colônias de formigas em problemas de roteirização de veículos com janelas de tempo. 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- [9] Souza, S. S. F.; Romero, R. Algoritmo Imunológico Artificial CLONALG e Algoritmo Genético Aplicados ao Problema do Caixeiro Viajante. In: Anais do Congresso de Matemática Aplicada e Computacional Sul, 1., Curitiba, PR, Brasil, setembro 2014. Disponível em: <<https://proceedings.sbmec.org.br/sbmec/article/view/307/309>> Acesso em: 18 jun. 2023.
- [10] Higino, W.; Chaves, A. A.; Melo, V. V. Univariate Marginal Distribution Algorithm and Random Variable Neighbourhood Descent Applied to the Vehicle Routing Problem with Private Fleet and Common Carrier. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Blumenau, SC, Brasil, 2017. p. 59. Disponível em:<<http://www.sbp2017.iltc.br/pdf/168052.pdf>> Acesso em: 18 jun. 2023.
- [11] Ottoni, A. L. C. *et al.* Análise do desempenho do aprendizado por reforço na solução do problema do caixeiro viajante. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, Natal, RN, Brasil, 2015. p. 12. Disponível em: <<http://swge.inf.br/SBAI2015/anais/017.pdf>> Acesso

em: 18 jun. 2023.

- [12] Picoli, J. G. *et al.* Proposta de uma ferramenta computacional para facilitar a aprendizagem sobre caminhamento em grafos. *Brazilian Applied Science Review*, v. 3, n. 1, p. 712-720, 2019. Disponível em: <<http://www.brjd.com.br/index.php/BASR/article/view/864/742>>.
- [13] Reis, Neuto Gonçalves dos. Como Calcular Custos e Fretes: Custos Operacionais. [2013]. 142 slides. Cursos NTC – São Paulo.
- [14] Leitão, Thiago; Silva, Fanny; Xexéu, Geraldo. Análise de métodos de design de jogos sérios sob a ótica da Design Science Research. In: *Trilha de Artes & Design – Artigos Completos – Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGAMES)*, 20. , 2021, Online. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2021. p. 40-47. DOI:https://doi.org/10.5753/sbgames_estendido.2021.19623.
- [15] Neidembach, S. F.; Cepellos, V. M.; Pereira, J. J. Gamificação nas organizações: processos de aprendizado e construção de sentido. *Cadernos EBAPE.BR*, Rio de Janeiro, RJ, v. 18, n. Especial, p. 729-741, 2020. DOI: 10.1590/1679-395120190137. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/cadernos_ebape/article/view/82420> Acesso em: 18 jun. 2023.
- [16] Alves, F. *Gamification: como criar experiências de aprendizagem engajadoras*. São Paulo: DVS Editora, 2015.
- [17] Georges, Marcos Ricardo Rosa. O jogo da logística. *Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais*, v. 12, 2009.
- [18] Georges, Marcos Ricardo Rosa. O Jogo da Logística e suas variantes no problema de localização de instalações. *Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais*, v. 13, 2010.
- [19] Georges, Marcos Ricardo Rosa; Seydell, Maria Rachel Russo. Dificuldades no ensino da logística. In: *V CONVIBRA–Congresso Virtual Brasileiro de Administração*. 2008.