



APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DO CENTRO DE GRAVIDADE E AHP PARA LOCALIZAÇÃO DA GARAGEM DE UMA TRANSPORTADORA DE CARGAS PERIGOSAS

APPLICATION OF GRAVITY CENTER METHOD AND AHP METHOD FOR LOCATING A GARAGE OF A DANGEROUS GOODS TRANSPORTER

APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE CENTRO DE GRAVEDAD Y AHP PARA LA LOCALIZACIÓN DE UN GARAJE DE UN TRANSPORTADOR DE MERCANCÍAS PELIGROSAS

Brenda Schulz Bastos ¹, Arthur Vieira Venturin ², & Thiara Cezana Gomes ^{3*}

^{1 2 3} Universidade Federal do Espírito Santo, Campus Goiabeiras

¹ brenda.bastos@edu.ufes.br ² arthur.venturin@edu.ufes.br ³ thiara.gomes@ufes.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 08.10.2024

Aprovado: 08.01.2025

Disponibilizado: 14.03.2025

PALAVRAS-CHAVE: Localização; Transporte de carga; Centro de Gravidade; Análise Multicritério.

KEYWORDS: Location; Freight transport; Gravity Center; Multicriteria Analysis.

PALABRAS CLAVE: Ubicación; Tráfico de mercancías; Centro de Gravedad; Análisis multicriterio

*Autor Correspondente: Gomes, T. C.

RESUMO

A matriz de transporte do Brasil é predominantemente rodoviária, sendo esse modo de transporte de grande relevância para o país. Quando se trata de veículos que transportam cargas perigosas, como caminhões que abastecem postos, destaca-se a alta competitividade e a operação com margens apertadas. Nesse contexto, a redução de custos se faz necessária por meio de um elemento fundamental no triângulo do planejamento de estratégias logísticas/gerenciamento da cadeia de suprimentos: a localização. Assim, o objetivo da pesquisa é definir o local para instalação da garagem de uma empresa transportadora de combustíveis, com base na aplicação dos métodos do Centro de Gravidade e *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Para isso, fez-se necessário compreender o contexto da empresa, coletar dados, aplicar os métodos e, por fim, analisar os resultados. Foram considerados aspectos como custos de transporte, localização e volume movimentado por fornecedores e clientes, além de critérios qualitativos como segurança e acessibilidade. A implementação dos dois métodos se mostrou eficaz no auxílio à tomada de decisão para indicação do melhor local para a nova garagem da empresa. Ressalta-se a importância da análise de critérios quantitativos e qualitativos durante o processo de localização de instalações.

ABSTRACT

Brazil's transport matrix is predominantly road, and this mode of transport is of great relevance for the country. When it comes to vehicles that transport dangerous loads,

such as trucks that supply gas stations, the high competitiveness and operation with tight margins stand out. In this context, cost reduction is necessary through a fundamental element in the logistics strategy planning/supply chain management triangle: location. Thus, the objective of the research is to define the location for installing the garage of a fuel transport company, based on the application of the Center of Gravity and AHP methods. To do this, it was necessary to understand the company's context, collect data, apply the methods and, finally, analyze the results. Aspects such as transportation costs, location and volume moved by suppliers and customers were considered, in addition to qualitative criteria such as safety and accessibility. The use of both methods proved effective in assisting decision-making in indicating the best location for the company's new garage. The importance of analyzing quantitative and qualitative criteria during the process of locating facilities is highlighted.

RESUMEN

La matriz de transporte de Brasil es predominantemente vial, y este modo de transporte es de gran relevancia para el país. Cuando se trata de vehículos que transportan cargas peligrosas, como camiones que abastecen a gasolineras, destaca la alta competitividad y el funcionamiento con márgenes ajustados. En este contexto, la reducción de costes es necesaria a través de un elemento fundamental en el triángulo planificación de la estrategia logística/gestión de la cadena de suministro: la ubicación. Así, el objetivo de la investigación es definir la ubicación para la instalación del garaje de una empresa transportadora de combustible, basándose en la aplicación de los métodos del Centro de Gravedad y AHP. Para ello, fue necesario comprender el contexto de la empresa, recopilar datos, aplicar los métodos y, finalmente, analizar los resultados. Se consideraron aspectos como los costos de transporte, la ubicación y el volumen movido por proveedores y clientes, además de criterios cualitativos como la seguridad y la accesibilidad. La implementación de ambos métodos resultó eficaz para ayudar a la toma de decisiones para indicar la mejor ubicación para el nuevo garaje de la empresa. Se destaca la importancia de analizar criterios cuantitativos y cualitativos durante el proceso de localización de instalaciones.

INTRODUÇÃO

No cenário global há discussões sobre fontes alternativas de energia utilizadas por veículos, apesar disso, combustíveis fósseis ainda são intensamente utilizados. O Balanço Energético Nacional, relativo ao ano de 2022, registrou um aumento de 3,0% no consumo de óleo diesel fóssil e de 9,4% de gasolina automotiva. Ademais, o setor de transporte respondeu por 72% do consumo total energético de óleo diesel fóssil no Brasil (Empresa de Pesquisa Energética [EPE], 2023). No país, esses combustíveis alimentam os setores industrial, agrícola e de transportes, impactando parte da economia e auxiliando as principais movimentações de carga do Brasil.

A empresa analisada neste estudo realiza o transporte de carga de produtos perigosos, especificamente, combustíveis. Modelos de caminhões específicos são responsáveis pela circulação desses combustíveis saindo de bases/distribuidores a postos para, então, abastecer outros veículos. Esse tipo de carga é considerado produto perigoso por representar risco à saúde das pessoas, ao meio ambiente ou à segurança pública. Por conseguinte, os transportes devem atender as regulamentações referentes à adequação, sinalização, documentação, entre outros (Agência Nacional de Transportes Terrestres [ANTT], 2012).

Assim, os caminhões-tanque se destacam como importantes veículos propulsores da distribuição de combustíveis no Brasil. Entretanto, o transporte de combustível auxiliado pelo modo rodoviário tem um custo operacional elevado, vasta dependência das condições das estradas e constante necessidade de equilibrar a eficiência ao mercado de margens apertadas (Gaertner, 2024).

Na cadeia logística, as decisões de localização têm efeito direto nos custos e na capacidade de atendimentos aos clientes. Independentemente do perfil da organização, seja pública ou privada, a decisão de localizar instalações deve integrar o planejamento estratégico, sobretudo frente à necessidade de satisfazer múltiplos objetivos, muitos deles conflitantes, estabelecidos a partir de critérios quantitativos e qualitativos (Owen & Daskin, 1998). Os critérios a serem analisados são numerosos, podendo ser classificados em estratégicos, tecnológicos, macroeconômicos, políticos, de infraestrutura, competitivos e operacionais (Chopra & Meindl, 2011).

Assim, o objetivo deste estudo é definir o local para instalação da garagem da empresa transportadora de combustíveis, com base na aplicação dos métodos do Centro de Gravidade e *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Com isso, almeja-se uma tomada de decisão mais assertiva, ao incluir fatores quantitativos e qualitativos, apoiados por modelos matemáticos.

O conteúdo do artigo está estruturado, além desta Introdução, da seguinte maneira: a seção de Referencial Teórico aborda uma breve revisão bibliográfica associada à localização de facilidades, incluindo os dois métodos utilizados na pesquisa – Centro de Gravidade e AHP; posteriormente, a apresentação da empresa e as etapas metodológicas estão detalhadas na Metodologia; detalhes da implementação e as análises dos resultados dos dois métodos estão destacados em Resultados e Discussões; por fim, as contribuições do estudo e as implicações dos resultados para estudos futuros se encontram nas Considerações Finais.

REFERENCIAL TEÓRICO

LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES

O problema de localizar facilidades desempenha um papel significativo no projeto de uma rede de suprimentos. O termo “facilidades” é utilizado para representar postos de saúde, centros de reaproveitamento, escolas, fábricas, antenas etc., enquanto “clientes” refere-se, por exemplo, a bairros, unidades de vendas, estudantes, dentre outros. (Ferri et al., 2015).

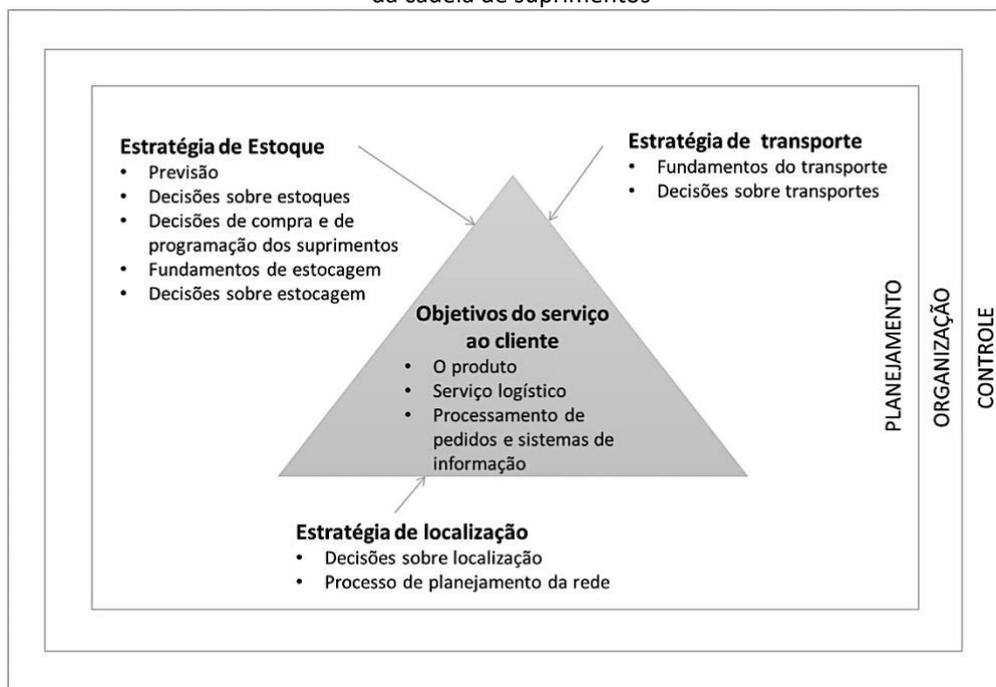
Dessa maneira, busca-se determinar locais, normalmente a partir de um conjunto de locais candidatos, para a instalação de facilidades que atendam às demandas de clientes, de forma que, pelo menos uma medida de utilidade seja otimizada. Por exemplo, custo de logística, tempo de transporte, custo das emissões de carbono e cobertura do cliente (Das et al., 2023; Silva et al., 2021; Araújo et al., 2020; Ferri et al., 2015; Chopra & Meindl, 2011; Rozental & Pizzolato, 2009).

As decisões de localização visam o aumento da proximidade da demanda e, assim, a redução dos custos de transporte; a maximização da área de cobertura; a melhoria do nível de acessibilidade dos clientes; a redução dos custos com instalações; dentre outros (Mapa & Lima, 2012). Em uma rede, a qualidade dos serviços prestados depende da localização das facilidades em conexão com outras instalações (Das et al., 2023).

Na gestão logística, o planejamento segue um triângulo de decisão primário de localização, estoque e transporte, sendo o serviço aos clientes o resultado dessas decisões. Os conceitos intrínsecos ao triângulo proposto por Ballou (2006) são fundamentais para o planejamento e entendimento das relações na gestão da cadeia de suprimentos e enfatiza a importância estratégica da localização, sendo ela orientada a atingir os objetivos de serviço ao cliente e totalmente vinculada a estratégia de transporte e estocagem. Cada lado do triângulo possui elementos essenciais e, a depender do mercado e segmento da empresa estudada, esses tópicos ganham maior ou menor relevância.

A partir da análise da Figura 1, é possível examinar quando se trata de localização, quais instalações devem ser utilizadas, quais clientes devem ser atendidos a partir de qual instalação e como minimizar os custos totais para atender da melhor forma o cliente (Melo et al., 2009). Essas discussões levam ao entendimento de quais variáveis influenciam nesse processo, sendo elas: as alterações na demanda de bens e serviços; e as alterações na oferta de insumos para a operação (Slack et al., 2013).

Figura 1. O triângulo do planejamento em relação às principais atividades de logística/gerenciamento da cadeia de suprimentos



Fonte: Ballou (2006).

Ainda há outros fatores relevantes na escolha de um local, por exemplo, a existência de facilidades e incentivos fiscais, qualidade de vida e serviços essenciais, proximidade dos mercados consumidores e fornecedores e localização dos concorrentes (Alves & Alves, 2015). Ao considerar a acessibilidade, é importante entender as rotas de acesso, distância entre o local e os fornecedores e clientes e a disponibilidade de mão de obra para acessar o local, e ao analisar a área de implementação, um olhar sobre os custos é primordial (Romero, 2006). Outras características podem ser relevantes, como a quantidade de locais de partida e a estruturação da rota (Takebayashi, 2015).

Ressalta-se que para a definição prática da localização, fatores quantitativos e qualitativos devem ser considerados, sendo os últimos de difícil mensuração, mas de importância primordial na decisão final (Gomes & Rosa, 2022). Assim, métodos e modelos que auxiliem o tomador de decisão na escolha do melhor local para sua unidade produtiva ou de serviço são de grande valia. Dentre os métodos para auxílio à localização de instalações, pode-se listar o método do Centro de Gravidade e o método multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP), detalhados na sequência.

MÉTODO DO CENTRO DE GRAVIDADE

O método do Centro de Gravidade é usado para encontrar localizações que minimizem o custo de transporte de matérias-primas dos fornecedores e de produtos acabados aos mercados atendidos. O modelo supõe que o custo de transporte cresce linearmente com a quantidade embarcada. Tanto os mercados quanto as fontes de suprimentos podem ser distribuídos como pontos de grade em um plano. Todas as distâncias são calculadas como a distância geométrica entre dois pontos no plano (Chopra & Meindl, 2011).

Dessa forma, para localizar uma única instalação que recebe matéria-prima de fontes de suprimentos e envia produto acabado a mercados, as informações básicas para aplicação do método são:

x_n, y_n : coordenadas de localização, de um mercado ou de uma fonte de suprimento n ;
 F_n : custo unitário de transporte entre a instalação e o mercado ou a fonte de suprimentos n ;
 D_n : quantidade a ser enviada entre a instalação e o mercado ou a fonte de suprimentos n .

Se (x, y) é o local selecionado para instalação, a distância d_n entre a instalação no local (x, y) e a fonte de suprimentos n ou entre o local (x, y) e o mercado n é dada pela Equação (1).

$$d_n = \sqrt{(x - x_n)^2 + (y - y_n)^2} \quad (1)$$

O custo total de transporte (TC) é dado pela Equação (2).

$$TC = \sum_{n=1}^k d_n D_n F_n \quad (2)$$

A localização ótima é aquela que minimiza o TC na Equação (2), ou seja, o custo total de transporte. A solução pode ser obtida com auxílio do suplemento Solver do Microsoft Excel, sendo as variáveis de decisão (x, y) as coordenadas correspondentes à localização da nova instalação.

Ressalta-se que as coordenadas exatas fornecidas pelo modelo podem não corresponder a uma localização viável. Caso isso aconteça, o gestor deverá procurar por locais desejáveis próximos das coordenadas ótimas que possuam infraestrutura exigida, força de trabalho apropriada disponível e outros fatores relevantes para organização analisada (Chopra & Meindl, 2011).

O método do Centro de Gravidade também pode ser resolvido usando-se o seguinte procedimento iterativo (Chopra & Meindl, 2011).

- (1) Para cada fonte de suprimentos ou mercado n , avaliar d_n , conforme definido na Equação (1);
- (2) Obter um novo local (x', y') para a instalação, segundo Equações (3) e (4);

$$x' = \frac{\sum_{n=1}^k \frac{D_n F_n x_n}{d_n}}{\sum_{n=1}^k \frac{D_n F_n}{d_n}} \quad (3)$$

$$y' = \frac{\sum_{n=1}^k \frac{D_n F_n y_n}{d_n}}{\sum_{n=1}^k \frac{D_n F_n}{d_n}} \quad (4)$$

- (3) Se o novo local (x', y') for quase o mesmo que (x, y) , parar. Caso contrário, definir $(x, y) = (x', y')$ e retornar à etapa (1).

Na literatura, há variadas aplicações do método do Centro de Gravidade, por exemplo, escolha de localização geográfica para a instalação de transportadora rodoviária de cargas (Souza et al., 2015; Pereira et al., 2019); escola pública (Sousa et al., 2019); estoque central de empresa do setor sucroenergético (Alfredo & Campanini, 2022); agroindústria de açaí (Cardoso et al., 2019); centro de coleta para a economia circular do óleo de cozinha (Bittencourt & Servare Junior, 2021), dentre outras. Trata-se de um método clássico, consolidado na literatura e a confiabilidade dos resultados dependerá da precisão dos dados de entrada (Borella & Silva, 2019).

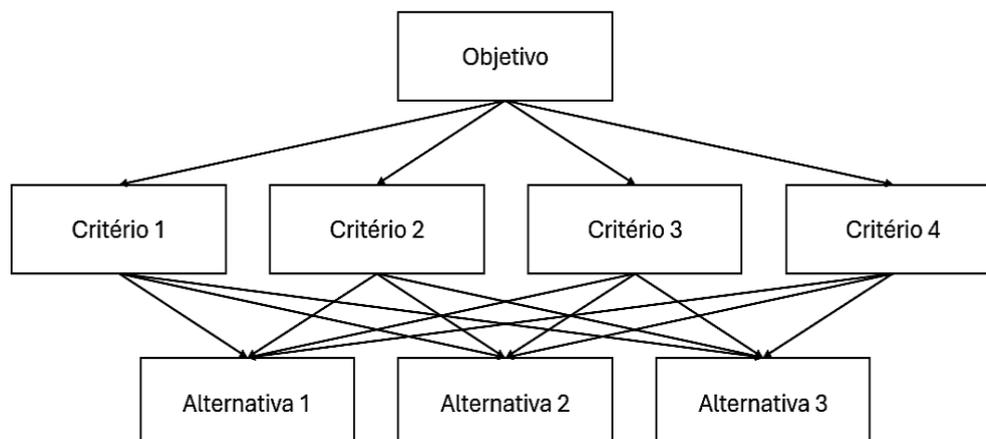
ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método multicritério de apoio à decisão que possibilita uma avaliação subjetiva de um conjunto de alternativas selecionadas por meio de múltiplos critérios e organizadas em uma estrutura hierárquica (Sinuany-Stern et al., 2000). As diversas áreas de aplicação incluem, por exemplo, engenharia, educação, indústria e governo (Tortorella & Fogliatto, 2008).

O AHP é uma das abordagens alternativas para quando o tomador de decisão utiliza seu julgamento e conhecimento para realizar uma avaliação binária entre critérios intangíveis e tangíveis (Millet, 1997). Nesse método, a experiência e o conhecimento das pessoas são tão necessários quanto os dados utilizados (Gonçalves et al., 2003). A aplicação do AHP se baseia em três princípios do pensamento analítico: *(i)* estruturação do problema em hierarquias; *(ii)* definição de prioridades e julgamentos; *(iii)* consistência lógica (Costa & Moll, 1999).

Primeiramente, faz-se necessário representar o problema em níveis hierárquicos descendentes, no qual o objetivo é colocado no topo da estrutura, seguido pelos critérios (e subcritérios, quando houver) nos níveis intermediários e, por fim, as alternativas disponíveis. A exposição do problema deve ser explícita, precisa e estruturada em formato hierárquico, disposta em forma de árvore (Gonçalves & Assumpção, 2014), conforme Figura 2. A ordenação hierárquica possibilita ao decisor ter uma visualização global do sistema e de seus componentes, bem como interações destes componentes e os impactos que os mesmos exercem sobre o sistema (Wernke & Bornia, 2001).

Figura 2. Estrutura hierárquica com base em quatro critérios e três alternativas



Fonte: adaptado de Saaty (1977).

Após a construção da hierarquia lógica, os tomadores de decisão avaliam sistematicamente as alternativas por meio da comparação, par a par, dentro de cada um dos critérios. Essa comparação pode fundamentar-se em dados concretos das alternativas ou julgamentos humanos como forma de informação subjacente (Saaty, 2008).

A Figura 3 apresenta, genericamente, a matriz de julgamento das n alternativas (a_1, a_2, \dots, a_n) em relação ao critério C_1 , na qual x_{ij} representa as entradas de julgamento com i e j variando de 1 a n . É possível notar que a matriz gera relações recíprocas, logo, para cada julgamento registrado na posição x_{ij} , há um valor igual a $1/x_{ij}$ na posição recíproca. Os elementos x_{ij} obedecem às seguintes regras: (i) se $x_{ij} = \alpha$, então $x_{ji} = 1/\alpha$, $\alpha \neq 0$, onde α é o valor numérico do julgamento baseado na escala de Saaty (1977), representada na Tabela 1; (ii) se a_i é julgado de igual importância relativa a a_j , então $x_{ij} = 1$ e $x_{ji} = 1$; e, em particular, $x_{ij} = 1, \forall i = j$.

Figura 3. Matriz de julgamento do método AHP

C_1	a_1	a_2	...	a_n
a_1	1	x_{12}	...	x_{1n}
a_2	$1/x_{12}$	1	...	x_{2n}
...
a_n	$1/x_{n1}$	$1/x_{n2}$...	1

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

O julgamento deve ser baseado na escala de Saaty (1977), conforme a Tabela 1, buscando-se inicialmente o julgamento conceitual e, em seguida, a conversão para a escala numérica, a fim de registrá-lo na matriz.

Tabela 1. Escala de importância para realização do comparativo no AHP

Intensidade de importância em escala absoluta	Escala conceitual	Descrição
1	Igual importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada de um elemento sobre o outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente um atributo em relação ao outro.
5	Forte importância	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um atributo em relação ao outro.
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro	Um atributo é fortemente favorecido em relação ao outro; seu predomínio de importância é demonstrado na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um atributo em relação ao outro com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes	Quando se procura uma condição de favorecimento entre duas definições.

Fonte: Saaty (1977).

O AHP é baseado em comparações paritárias por tomadores de decisão que julgam preferências entre alternativas usando critérios diferentes. Ainda que os profissionais julgadores detenham de amplo conhecimento e experiência, pode haver inconsistências, especialmente quando existir muitas comparações a serem feitas no modelo (Taylor, 2010). Logo, de maneira a validar os julgamentos e assegurar que são consistentes, recorre-se ao cálculo do Índice de Consistência (IC), segundo equação (5).

$$IC = \frac{|\lambda_{\text{máx}} - n|}{(n - 1)} \quad (5)$$

Onde, n : representa a ordem da matriz; $\lambda_{\text{máx}}$: estimador de autovalor máximo de julgamentos paritários.

A equação (6) apresenta o cálculo do estimador de autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$).

$$\lambda_{\text{máx}} = T \cdot w \quad (6)$$

Onde, T : somatório das colunas das matrizes; w : autovetor normalizado para $\sum w_i = 1$.

Com intuito de avaliar a inconsistência em função da ordem máxima da matriz de julgamento, Saaty e Vargas (2001) utilizam a Razão de Consistência (RC) obtida por meio da equação (7).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (7)$$

Onde, o índice randômico de consistência (IR), obtido para uma matriz recíproca, com elementos não negativos gerados de forma randômica. A Tabela 2 ilustra os resultados para IR em função da ordem da matriz randômica utilizada.

Tabela 2. Escala de importância para realização do comparativo no AHP

Ordem da matriz (n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de IR	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Fonte: Saaty (1977).

Os julgamentos da matriz de decisão são considerados consistentes se: $RC = 0$ para $n = 2$, $RC < 0,05$ para $n = 3$, $RC < 0,09$ para $n = 4$ e $RC \leq 0,10$ para $n > 4$. Caso contrário, existe alguma inconsistência nos julgamentos e o especialista deve ser solicitado a rever a sua opinião (Alves & Alves, 2015).

Especificamente no âmbito da localização de facilidades, há pesquisas utilizando o método AHP para localizar terminal portuário (Loureiro et al., 2015); Centro de Distribuição (CD) em zona secundária (Gonçalves & Assumpção, 2014); Unidade de Pronto Atendimento (UPA) 24 h (Briozzo & Musetti, 2015); unidade fabril do ramo automotivo (Alves & Alves, 2015), dentre outros. É possível notar que o AHP se aplica à tomada de decisão em diversos cenários complexos.

METODOLOGIA

APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa estudada oferece transporte de combustível, categorizado como transporte rodoviário de produtos perigosos, para postos nos estados do Espírito Santo (ES) e Bahia (BA). Ela foi criada em dezembro de 2021, mas teve seu primeiro caminhão em operação no final de 2022. Atualmente, possui em sua frota cinco caminhões com capacidades variadas, sendo dois caminhões de 15 mil litros; dois caminhões de 20 mil litros e um caminhão de 23 mil litros.

No total, atuam na empresa cinco motoristas. Dois deles são responsáveis pelos caminhões e, com isso, os veículos permanecem estacionados em suas garagens particulares ou próximos às suas residências. Com intuito de modificar essa prática, recentemente, a empresa alugou um espaço na cidade de Serra/ES. Entretanto, a decisão foi tomada segundo a intuição gerencial, sem apoio de sistemas de auxílio à decisão. Por ser uma empresa nova, os dados estão mantidos em canais informais de comunicação, em vista disso, a colaboração dos sócios-gestores para o trabalho foi primordial.

ETAPAS DA PESQUISA

O desenvolvimento da pesquisa foi dividido em cinco etapas: definição da problemática; escolha dos métodos; levantamento de dados; aplicação dos métodos; e análise dos resultados. Na primeira etapa, ao entender o contexto da empresa, as limitações de informações e aspectos mais relevantes para as suas atividades, definiu-se o problema a ser solucionado, sendo esse a escolha da melhor região para localização da garagem dos caminhões da empresa estudada.

A segunda etapa consistiu em escolher os métodos a serem utilizados, com base no levantamento bibliográfico e nas informações prévias obtidas por meio de entrevistas com os sócios-gestores. Assim, para o desenvolvimento da pesquisa foram aplicados os métodos do Centro de Gravidade e *Analytic Hierarchy Process* (AHP). O intuito de utilizar as duas abordagens foi mesclar uma metodologia puramente quantitativa, no primeiro caso, e qualiquantitativa, no caso do método AHP. E, dessa maneira, possibilitar a discussão de cenários e maior efetividade na resolução da questão proposta.

A partir disso, na terceira etapa houve o levantamento de dados para que na etapa seguinte houvesse a aplicação dos métodos selecionados. A quarta etapa foi realizada com a auxílio do suplemento Solver do Microsoft Excel para o método do Centro de Gravidade e do *software* SuperDecisions para o AHP. Por fim, a quinta etapa envolveu a análise dos resultados e o levantamento de novos estudos a partir das possibilidades encontradas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os detalhes de aplicação dos dois métodos e, ao final da seção, uma comparação dos resultados obtidos.

APLICAÇÃO E ANÁLISE DO MÉTODO DO CENTRO DE GRAVIDADE

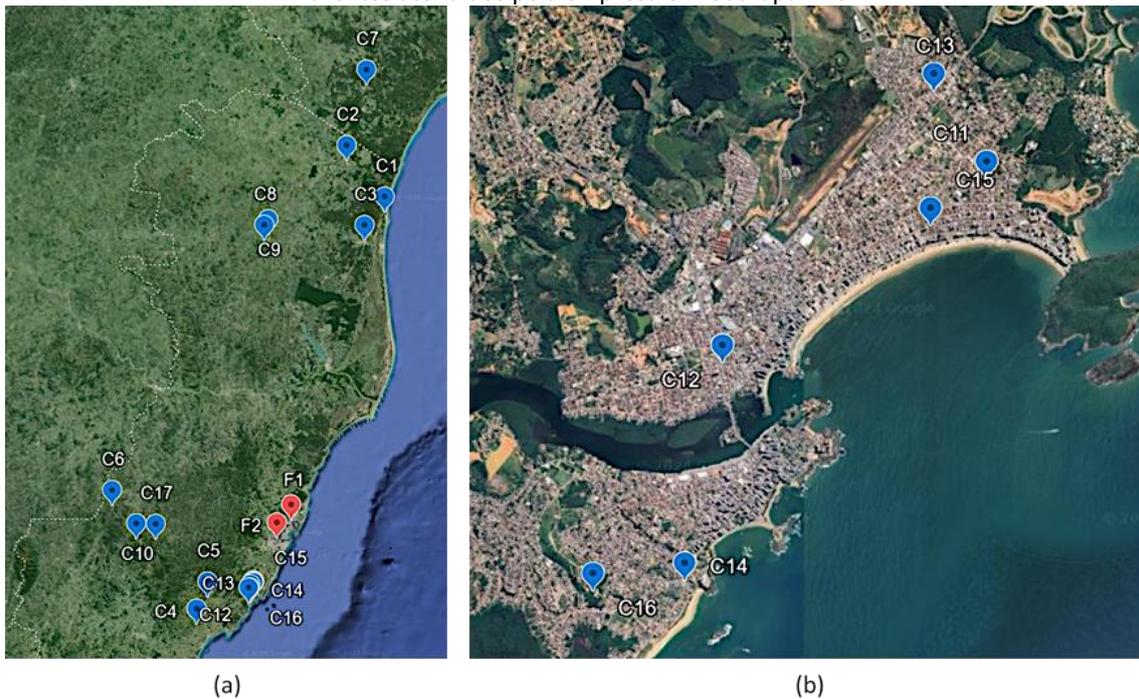
Iniciou-se o estudo com a identificação dos clientes da empresa transportadora de combustível e de seus fornecedores. A partir dessa coleta, foram identificados 49 clientes atendidos e dois fornecedores. Dos 49 clientes, 32 possuem frequência mínima de pedidos e são identificados como *Cost Insurance and Freight* (CIF), os outros 17 clientes possuem alta de recorrência de pedidos e são identificados como *Free On Board* ou *Freight On Board* (FOB).

Na modalidade FOB, o preço cobrado pelo fornecedor não inclui o transporte, por essa razão a empresa compradora tem a responsabilidade de contratá-lo e de realizar a retirada do produto. No CIF, o custo de transportes não é especificado como algo separado, portanto, o preço da mercadoria já inclui o frete, sendo o fornecedor responsável pela entrega.

Para o estudo de caso, foram considerados somente os postos/empresas atendidas em regime FOB, de maneira a obter um resultado mais fidedigno à realidade da empresa, visto que todos os pedidos de clientes CIF são esporádicos. No que diz respeito aos fornecedores, os dois listados são utilizados, frequentemente, o que define de onde virá o combustível é o preço do dia e a melhor rota possível no dia específico, considerando a escolha do cliente final.

Definidos clientes e fornecedores, suas localizações foram plotadas no Google Earth. A Figura 4a apresenta uma visão ampliada da distribuição dos clientes no mapa e na Figura 4b tem-se uma visão focada da cidade de Guarapari/ES, onde a empresa possui alguns clientes geograficamente próximos. Apesar da empresa atuar em dois estados brasileiros (ES e BA), percebe-se que o estado do ES possui o maior mercado, concentrando uma quantidade de 16 pontos. O Quadro 1 apresenta a identificação e código de cada localidade considerada.

Figura 4. (a) Visão total dos clientes atendidos e fornecedores contratados pela empresa. (b) Visão focada dos clientes atendidos pela empresa em Guarapari-ES



Fonte: Google Earth (2024).

Quadro 1. Identificação dos locais dos clientes e fornecedores

Tipo	Código	Identificação do Local
Fornecedor	F1	Serra - ES
Fornecedor	F2	Vila Velha - ES
Cliente	C1	Conceição da Barra - ES
Cliente	C2	Pedro Canário - ES
Cliente	C3	São Mateus - ES
Cliente	C4	Iconha - ES
Cliente	C5	Alfredo Chaves - ES
Cliente	C6	Brejetuba - ES
Cliente	C7	Nova Viçosa - BA
Cliente	C8, C9	Nova Venécia - ES
Cliente	C10	Venda Nova do Imigrante - ES
Cliente	C11, C12, C13, C14, C15, C16	Guarapari - ES
Cliente	C17	Domingos Martins - ES

Fonte: Autores (2024).

O método do Centro de Gravidade foi implementado com auxílio do suplemento Solver do Microsoft Excel. Com isso, buscou-se encontrar as coordenadas geográficas ideais para a localização de uma nova garagem para os caminhões da empresa, visando a minimização dos custos de transporte.

Para a estruturação do problema, os valores do mês de maio do ano de 2024 referentes ao volume de carga transportada para cada cliente foram coletados e determinou-se a quantidade (D_n), em litros por mês. Para obtenção do D_i dos fornecedores, o volume total mensal dos clientes foi dividido igualmente entre os dois fornecedores, pois a variação, mês a mês, de acordo com as informações da empresa analisada foi mínima.

Para a determinação do custo de transporte (F_n) foram utilizados os valores do frete para cada localidade cedidos pela empresa. Para os fornecedores, foi utilizada média de custo de frete dos 17 clientes, visto que para atender aos clientes, é necessário passar inicialmente no fornecedor. Parcelas dos custos de transporte incluindo diesel, salário dos motoristas e custo de manutenção foram considerados, assim o custo do frete sofre variação a depender da localidade.

As coordenadas geográficas, em graus decimais, x_n e y_n foram obtidas por meio da plotagem dos pontos no mapa no Google Earth. Para a análise, fez-se necessário o cálculo das distâncias entre os pontos de análise (x_n e y_n) e as variáveis de decisão (x, y), obtendo, assim, o d_n . Os dados anteriores estão resumidos na Tabela 3 e serviram de base para obtenção dos valores de (x, y), visando a minimização de TC .

Tabela 3. Dados coletados para aplicação no Solver do Microsoft Excel

Fornecedor/ Cliente	Custo R\$/L-km (F_n)	Quantidade em L (D_n)	x_n	y_n	d_n
F1	0,037	650.000	-40,2675	-20,2297	0,0081
F2	0,037	650.000	-40,3494	-20,3276	0,1278
C1	0,047	160.000	-39,7398	-18,5702	1,7385
C2	0,060	180.000	-39,9558	-18,2937	1,9569
C3	0,050	140.000	-39,8530	-18,7238	1,5587
C4	0,030	160.000	-40,8113	-20,7941	0,7831
C5	0,031	135.000	-40,7478	-20,6467	0,6347
C6	0,038	120.000	-41,2930	-20,1504	1,0218
C7	0,065	240.000	-39,8444	-17,8850	2,3786
C8	0,060	20.000	-40,4220	-18,7238	1,5081
C9	0,060	20.000	-40,3997	-18,6938	1,5359
C10	0,023	60.000	-41,1551	-20,3302	0,8876
C11	0,023	10.000	-40,4798	-20,6478	0,4707
C12	0,023	10.000	-40,5010	-20,6622	0,4931
C13	0,023	10.000	-40,4840	-20,6409	0,4664
C14	0,023	10.000	-40,5041	-20,6793	0,5097
C15	0,023	10.000	-40,4843	-20,6515	0,4760
C16	0,023	10.000	-40,5114	-20,6801	0,5138
C17	0,037	5.000	-41,0439	-20,3333	0,7778

Fonte: Autores (2024).

Para a aplicação do Solver, foram definidas as células da função objetivo e as células das variáveis de decisão. Não há restrições à análise. O método de solução definido foi o GRG não linear, dado a natureza do problema. Após execução do modelo, foram obtidas as coordenadas $x = -40,273838$ e $y = -20,22456$ para a possível localização da garagem, obtendo custo total de R\$ 102.054,73.

Na Figura 5a, é possível observar as coordenadas obtidas com auxílio do método do Centro de Gravidade, juntamente com os demais nós de clientes e fornecedores. Nota-se, segundo Figura 5b, que a localização escolhida é bem próxima ao fornecedor F1, fato esperado por dois fatores. O primeiro fator é que para qualquer entrega, é necessário que o caminhão passe por um fornecedor, então era esperado que as coordenadas escolhidas fossem perto de algum deles. O segundo fator é que os clientes localizados ao Norte do estado do ES somam a maioria da demanda mensal, então era acreditado que o local escolhido fosse mais ao norte devido à demanda.

Figura 5. (a) Local escolhido com auxílio do método do Centro de Gravidade. (b) Aproximação do mapa no local escolhido

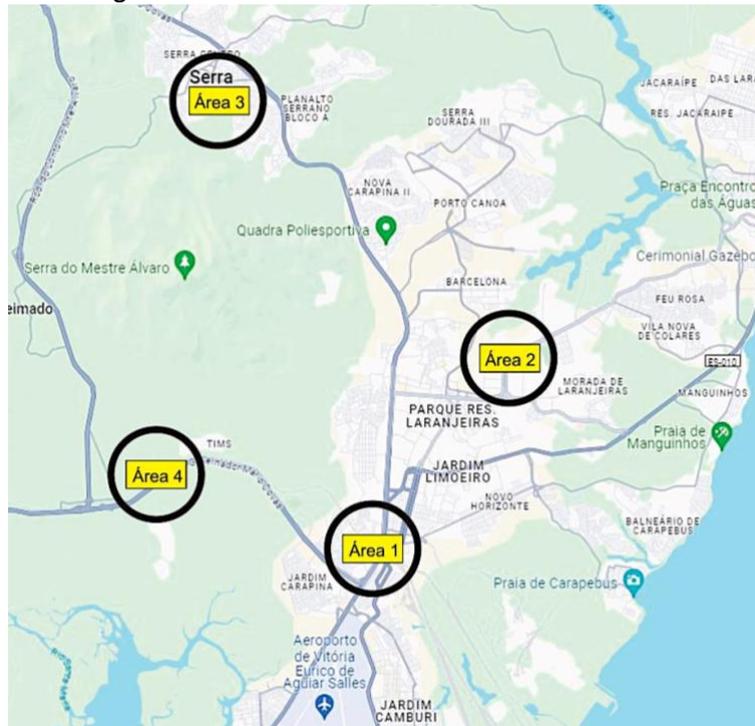


Fonte: Google Earth (2024).

APLICAÇÃO E ANÁLISE DO MÉTODO AHP

A aplicação do AHP teve início com a definição do problema de decisão, contextualizado da seguinte forma: “seleção de um local (área) para instalar a garagem de uma transportadora de cargas perigosas”.

Posteriormente, houve a definição de áreas para análise do método. Essas alternativas foram identificadas na cidade da Serra/ES, levando em consideração o resultado do método do Centro de Gravidade, além da localização de polos industriais e áreas não residenciais da cidade, onde seria possível o funcionamento de um galpão para acomodar os caminhões. A Figura 6 ilustra a localização das áreas definidas, que são circulares com 2 km de diâmetro. O Quadro 2 apresenta os bairros contidos nas áreas definidas. Ressalta-se que o ponto de análise em cada área definida foi o ponto central da circunferência.

Figura 6. Divisão das áreas a serem analisadas no AHP

Fonte: Autores (2024)

Quadro 2. Divisão das áreas a serem analisadas no AHP

Área	Descrição de abrangência
A1	Bairros Carapina, Central Carapina, Grande Carapina, Eurico Salles, São Geraldo, Hélio Ferraz, ES. Bairro CIVIT II, ES.
A3	Bairros Cascata, Vista da Serra I, Santo Antônio, Maria Niobe e Caçaroca, ES.
A4	Bairros Polo Industrial Piracema, TIMS e Jacuí, ES.

Fonte: Autores (2024).

Os critérios foram definidos segundo levantamento bibliográfico e reuniões juntamente com sócios-gestores da empresa estudada. Ao final, foram escolhidos como critérios: (i) proximidade aos motoristas; (ii) facilidade de acesso a alguma via principal; (iii) proximidade ao fornecedor; (iv) segurança da vizinhança; (v) custo do terreno. Definiu-se também a importância de cada critério, numa escala de 1 a 10, onde 10 é o muito importante e 1 é pouco importante, com base nas preferências da empresa.

Para a proximidade aos motoristas, foi mensurado o tempo do trajeto, com auxílio do Google Maps, do ponto central da área até o ponto central de Serra Sede, região onde residem quatro dos cinco motoristas da empresa. Para a facilidade de acesso a alguma via principal, foi mensurado o tempo do trajeto, novamente com auxílio do Google Maps, do ponto central da área até alguma Rodovia Estadual ou Federal. Para a proximidade a um fornecedor, foi mensurado o tempo do trajeto, com auxílio do Google Maps, do ponto central da área até o fornecedor mais próximo.

Para a segurança, foi definida uma escala de 1 a 10, onde 10 é muito seguro e 1 pouco seguro, e cada área recebeu uma nota baseada em conversas com moradores e comerciantes da região a respeito da segurança dos bairros.

Para o custo, foi realizada uma pesquisa de valores de terrenos em cada área. Foram pesquisados terrenos sem estrutura prévia e a medida do terreno foi escolhida levando-se em consideração a medida de seis caminhões-tanque (estipulou-se 20 m de comprimento por 2,6 m de largura) um ao lado do outro com folga de 2 m entre eles. Ainda foi considerada uma área de manobra de 50 m². Com isso, chegou-se ao valor de 602 m² de área total. Devido à disponibilidade do mercado imobiliário, os terrenos avaliados foram de 600 m² a 700 m². A Tabela 4 ilustra os critérios escolhidos com base nas respectivas referências, os a importância de cada critério e os valores definidos para cada critério e área.

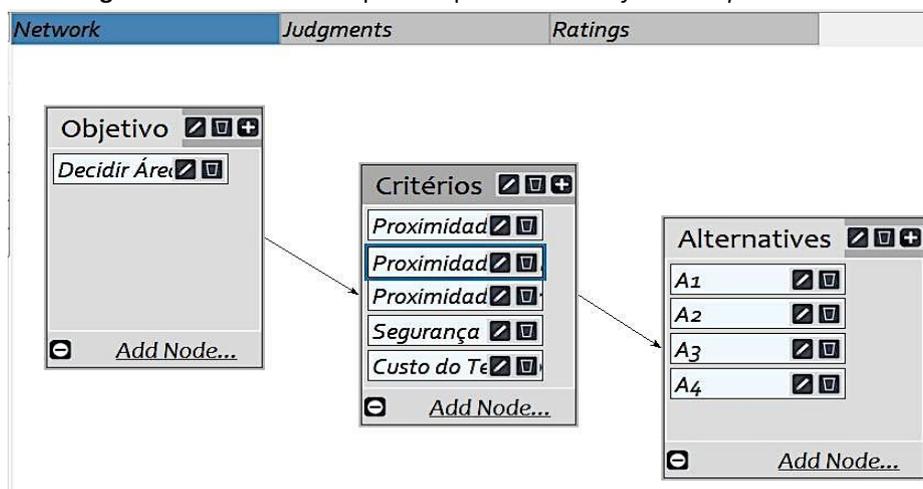
Tabela 4. Valor dos critérios para cada área e a importância

Critério	Referência	Importância	A1	A2	A3	A4
Proximidade aos motoristas	Romero (2006)	8	20 min	18 min	5 min	18 min
Proximidade de uma via principal	Pereira et al., 2019; Romero (2006)	6	3 min	7 min	3 min	2 min
Proximidade a um fornecedor	Pereira et al., 2019; Freeman & Styles (2014)	7	6 min	13 min	19 min	12 min
Segurança	Gonçalves & Assumpção (2014)	5	3	7	8	5
Custo do terreno	Freeman & Styles (2014); Gonçalves & Assumpção (2014)	4	R\$ 670 mil	R\$ 370 mil	R\$ 669 mil	R\$ 650 mil

Fonte: Autores (2024).

O método AHP foi implementado com auxílio do *software* SuperDecisions. Na Figura 7 é possível observar a estrutura hierárquica desenvolvida, incluindo o objetivo, os critérios e as alternativas descritas anteriormente. As relações de dependência existentes entre os nós do “Objetivo” e “Critérios”, e entre os nós dos “Critérios” e “Alternatives” foram realizadas.

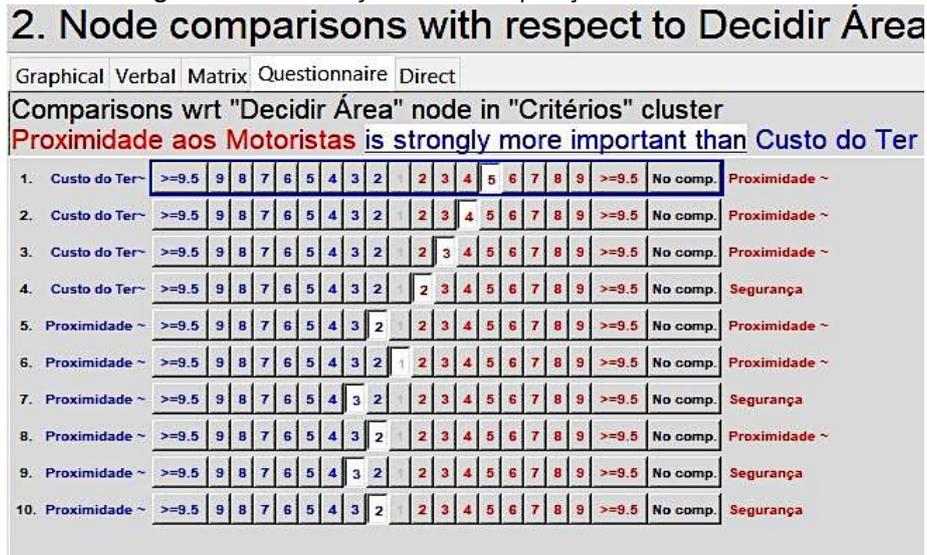
Figura 7. Estrutura hierárquica do problema no *software* SuperDecisions



Fonte: SuperDecisions (2024).

Após a construção da hierarquia lógica, sucedeu-se o estágio de comparação aos pares. Os julgamentos dos tomadores de decisão com respeito à importância de um atributo em relação a outro foram realizados de forma subjetiva e transformados para um valor numérico, usando-se a escala de Saaty de 1 a 9 (Tabela 1). Para isso, utilizou-se a *interface* de questionário do *software* SuperDecisions, conforme Figura 8. No exemplo, o respondente indica que a “proximidade aos motoristas” é fortemente mais importante que o “custo do terreno”, conforme a escala fundamental.

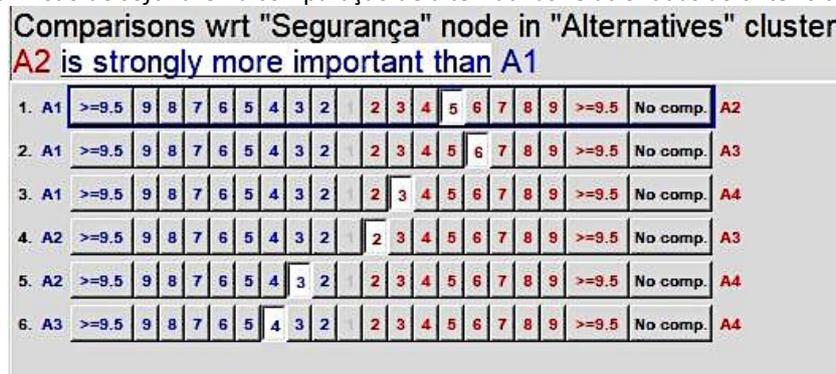
Figura 8. Visão do software na comparação critério a critério



Fonte: SuperDecisions (2024).

O preenchimento dos questionários foi realizado pelos sócios-gestores da empresa, embasados pela experiência na área e pelos dados concretos coletados e resumidos na Tabela 4, buscando consenso e validade aos valores atribuídos. Desta forma, todos os locais foram comparados em relação a cada critério, e cada critério foi comparado em relação ao objetivo final de selecionar um local (área) para instalar a garagem de uma transportadora de cargas perigosas. Na Figura 9, apresenta-se um exemplo da comparação das alternativas de localização (A1, A2, A3 e A4) em relação ao critério “Segurança”.

Figura 9. Visão do software na comparação de alternativas relacionadas ao critério segurança



Fonte: SuperDecisions (2024).

A aplicação do AHP indicou A3 como a melhor alternativa para a solução do problema proposto, seguido de A1, posteriormente A4 e, por fim, A2. Isso se deve principalmente por conta da importância do critério “Proximidade aos Motoristas”. A Tabela 5 apresenta um resumo dos resultados, sendo possível ranquear e identificar o local que, na visão dos participantes da pesquisa, atende melhor as suas análises.

Tabela 5. Resultados obtidos no software SuperDecision

Área	Pontuação	Ranking
A1	0,259523	2
A2	0,15293	4
A3	0,357109	1
A4	0,230438	3

Fonte: Autores (2024).

Em busca de resultados mais assertivos, foi feita a análise da consistência dos julgamentos paritários e os resultados exibidos na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados da Razão de Consistência obtida no *software SuperDecisions*

Itens de comparação	Valor de consistência
Entre critérios	0,03290
Alternativas com relação ao critério custo do terreno	0,02271
Alternativas com relação ao critério proximidade aos motoristas	0,02271
Alternativas com relação ao critério proximidade a um fornecedor	0,05536
Alternativas com relação ao critério proximidade a uma via principal	0,04251
Alternativas com relação ao critério segurança	0,02951

Fonte: Autores (2024).

Nota-se que todos os julgamentos apresentaram razão de consistência abaixo de 0,1, fato que assinala qualidade na tomada de decisão pelos gestores.

COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELOS DOIS MÉTODOS

As coordenadas obtidas a partir da implementação do método do Centro de Gravidade, $x = -40,273838$ e $y = -20,22456$, forneceram um resultado satisfatório considerando os custos unitários de transporte, as coordenadas dos fornecedores e clientes, e os volumes ofertados e demandados. A posição vai ao encontro da Área 1 (A1) e se baseia, exclusivamente, em fatores quantitativos, no caso, a minimização dos custos de transporte. Em contrapartida, ao considerar aspectos qualitativos, igualmente importantes para a empresa, o método AHP resultou na escolha da Área 3 (A3). A Tabela 7 apresenta um resumo dos resultados encontrados.

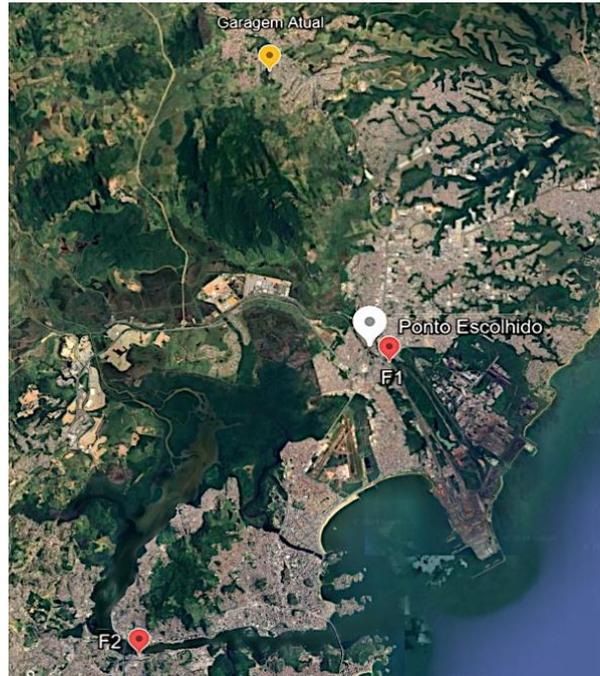
Tabela 7. Resumo dos resultados

Método	Ferramenta computacional	Critério(s) de escolha	Resultados
Centro de Gravidade	<i>Solver do Microsoft Excel</i>	Minimização dos custos de transporte	Coordenadas (-40,273838; -20,22456): A1
AHP	<i>SuperDecisions</i>	Custo do terreno Proximidade aos motoristas Proximidade a um fornecedor Proximidade a uma via principal Segurança	Ranking dos locais: A3, A1, A4, A2, respectivamente, 1º, 2º, 3º e 4º lugar.

Fonte: Autores (2024).

Apesar dos resultados diferentes entre os métodos, A1 foi a segunda melhor opção no ranqueamento do AHP. Assim, buscando uma melhor comparação entre os modelos e considerando que A3 é, atualmente, onde se localiza a garagem alugada da empresa, as coordenadas de A3 foram inseridas na planilha de cálculos do Microsoft Excel para obter o valor do custo mínimo. A Figura 10 ilustra a diferença entre as posições geográficas dos dois pontos, sendo A1 nomeado “Ponto Escolhido” e A3 “Garagem Atual”.

Figura 10. Visualização dos pontos da garagem atual e local A1 escolhido pelo método do Centro de Gravidade



Fonte: Google Earth (2024).

Após inserir as informações para cálculo dos custos de transporte considerando o local A3, o resultado foi de R\$ 102.895,26. Isso indica que mesmo maior que a somatória de custos de A1, a diferença de valores foi de apenas R\$ 840,53. Dessa maneira, a área A3 também se mostra viável no âmbito quantitativo, pois agrega um custo interessante, além das questões qualitativas de segurança e proximidade de vias principais, motoristas e fornecedores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A empresa de transporte de carga analisada neste estudo possui previsão de aumento da frota. Nesse cenário, a escolha da localização para uma nova garagem se fez necessária. O consequente aumento dos custos, por conta do crescimento da empresa, indicou que o melhor local deve buscar a minimização dos custos. Ademais, por meio de levantamento bibliográfico e entrevistas com sócios-gestores da empresa, identificou-se que boas escolhas perpassam pelos critérios de proximidade aos motoristas, facilidade de acesso a alguma via principal, proximidade ao fornecedor, segurança da vizinhança e custo do terreno.

A pesquisa propôs o uso de dois métodos: Centro de Gravidade e AHP. O primeiro, de caráter quantitativo, visou a minimização dos custos de transporte. Enquanto o segundo, de abordagem qualiquantitativa, permitiu identificar e priorizar os critérios mais importantes, de forma a viabilizar a instalação da garagem. Assim, tornou-se possível implementar e analisar os métodos para consequente definição do local da garagem.

Os locais escolhidos, A1 e A3, mostraram-se boas opções dados os critérios listados, sendo o local A1 o que obteve menor somatório de custos de transporte e o A3 o que alcançou melhor resultado por meio do método AHP. Pelo valor de diferença do custo minimizado ser, consideravelmente, pequeno em relação ao total e, por esse ser um local que atende aos requisitos qualitativos, cabe ao tomador de decisão ponderar e definir em qual das duas regiões será a localização da garagem.

A utilização combinada dos métodos do Centro de Gravidade e AHP permitiu a inclusão de variados aspectos, como econômicos, estruturais e de segurança. A união de fatores qualitativos e quantitativos, auxiliados por modelos matemáticos, contribuiu para a redução das limitações dos métodos quando usados de maneira segregada, tornando a tomada de decisão mais assertiva.

Ao considerar que a empresa ainda está na fase da infância, sabe-se que há muitos passos para o alcance da maturidade. As reuniões realizadas junto aos sócios-gestores, a dificuldade na obtenção de alguns dados relevantes para a aplicação dos métodos e as conclusões feitas a partir dos resultados demonstram que outros caminhos de estudo são possíveis. Sugere-se avaliar a maturidade da empresa e os indicadores atuais, desenvolver um sistema de acompanhamento de dados a partir das viagens feitas, dimensionar a frota da empresa e analisar novos cenários e uma cartela de custos mais abrangente para o problema de localização.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Transportes Terrestres. (2012). *O transporte terrestre de produtos perigosos no Mercosul*. Recuperado de <https://portal.antt.gov.br/documents/359159/391167/Transportes+de+produtos+perigosos+no+MERCOSUL+-+vers%C3%A3o+ANTT.pdf/d05a3b99-36e5-5b32-c44c-a794a5df0910?t=1592228787347>
- Alves, J. R. X., & Alves, J. M. (2015). Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP). *Production*, 25(1), 13-26. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132014005000023>
- Araújo, E. J., Chaves, A. A., & Lorena, L. A. (2020). A mathematical model for the coverage location problem with overlap control. *Computers & Industrial engineering*, 146, 106548. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106548>
- Ballou, R. H. (2006). *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial*. Bookman editora. 5. ed. Porto Alegre: Bookman.
- Bittencourt, B. N. & Servare Junior, M. W. J. (2021). Centro de gravidade para localizar centro de coleta para a economia circular do óleo de cozinha em Vitória, ES. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 7(5), 194-206. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v7i5.37047>
- Borella, M. R. C., & Silva, G. C. (2019). Estudo logístico para instalação de novo CD: abordagem didática de um caso real. *Revista Produção Online*, 19(3), 896-922. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v19i3.3330>
- Briozzo, R. A., & Musetti, M. A. (2015). Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento—UPA 24 h. *Gestão & Produção*, 22(4), 805-819. <https://doi.org/10.1590/0104-530X975-13>
- Cardoso, D. P. de A., Pereira, M. W da S., Macambira, M. V. R., Jasto, A. de O., Silva, R. G da. (2019). Aplicação do método do centro de gravidade para implantação de uma agroindústria de açaí no Estado do Pará. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Santos, SP, Brasil, 39.
- Chopra, S. & Meindl, P. (2011). *Gestão da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operações*. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Costa, H. G. & Moll, R. N. (1999). Emprego do método de análise hierárquica (AHP) na seleção de variedades para o plantio de cana-de-açúcar. *Gestão & Produção*, 6, 243-256. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X1999000300009>
- Das, S. K., Pervin, M., Roy, S. K., & Weber, G. W. (2023). Multi-objective solid transportation-location problem with variable carbon emission in inventory management: a hybrid approach. *Annals of Operations Research*, 1-27. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03809-z>
- Empresa de Pesquisa Energética. (2023). *Balanco Energético Nacional 2023: Ano base 2022*. Recuperado de <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>
- Ferri, G. L., Chaves, G. D. L. D., & Ribeiro, G. M. (2015). Analysis and location of urban solid waste collection/inspection centers for a reverse logistics network: a case study in São Mateus-ES. *Production*, 25, 27-42. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132014005000014>
- Freeman, J., & Styles, C. (2014). Does location matter to export performance? *International Marketing Review*, 31(2), 181-208. <https://doi.org/10.1108/IMR-02-2013-0039>
- Gaertner, J. V. C. (2024). *Os desafios do transporte de combustível no Brasil* (Monografia). Escola de Direito, Negócios e Administração, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiás, Brasil.
- Gomes, T. C. & Rosa, R. A. (2022). Modelo matemático para definição de centros de distribuição em redes logísticas de suprimentos para plataformas de petróleo. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 8(3), 214-233. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i3.38020>
- Gonçalves, W. & Assumpção, M. R. P. (2014). Localização de Centro de Distribuição em zona secundária: proposta

- de um método por meio do Analytic Hierarchy Process (AHP). *Revista Espacios*, 35(11), 17. Recuperado de <https://www.revistaespacios.com/a14v35n11/14351117.html>
- Gonçalves, M. E., Marins, F. A. S., & Salomon, V. A. P. (2003). Aplicação do AHP na escolha da localização da reitoria de uma universidade multi-campi. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Natal, RN, Brasil, 35.
- Loureiro, J. F., Freitas, R. R., & Gonçalves, W. (2015). Proposta de um método de localização para expansão de um terminal portuário por meio do Analytic Hierarchy Process (AHP). *Revista Espacios*, 36(10), 7. Recuperado de <https://www.revistaespacios.com/a15v36n10/15361008.html>
- Mapa, S. M. S. & Lima, R. D. S. (2012). Uso combinado de sistemas de informações geográficas para transportes e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações. *Gestão & Produção*, 19, 119-136. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2012000100009>
- Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha-Da-Gama, F. (2009). Facility location and supply chain management—A review. *European Journal of Operational Research*, 196(2), 401-412. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.05.007>
- Millet, I. (1997). The effectiveness of alternative preference elicitation methods in the analytic hierarchy process. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6(1), 41-51. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1360\(199701\)6:1<41::AID-MCDA122>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1360(199701)6:1<41::AID-MCDA122>3.0.CO;2-D)
- Owen, S. H. & Daskin, M. S. (1998). Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research*, 111(3), 423-447. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00186-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00186-6)
- Pereira, N. de S., Souza, F. J. S. de, David, C. C., & Farias Junior, L. R. (2019). Aplicação dos métodos centro de gravidade e ponderação dos fatores: estudo de caso em uma empresa transportadora de cargas. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(5), 100-116. Recuperado de <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/27651>
- Romero, B. de C. (2006). *Análise da localização de plataformas logísticas: aplicação ao caso do ETSP - Entrepósito Terminal São Paulo - da CEAGESP* (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo. Recuperado de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3148/tde-04092006-175748/>
- Rozental, M. & Pizzolato, N. D. (2009). Localização de shopping center de vizinhança, estudo de caso: Barra da Tijuca, Rio de Janeiro/RJ. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, 1, 3, 199-207. Recuperado de <https://www.podesenvolvimento.org.br/podesenvolvimento/article/view/16>
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, T. L. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales. Serie A. Matematicas*, 102, 251-318. <https://doi.org/10.1007/BF03191825>
- Saaty, T. L. & Vargas, L. G. (2001). *Models, methods, concepts applications of the analytic hierarchy process*. Norwell: Kluwer Academic Publishers. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1>
- Silva, A., Aloise, D., Coelho, L. C., & Rocha, C. (2021). Heuristics for the dynamic facility location problem with modular capacities. *European Journal of Operational Research*, 290(2), 435-452. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.08.018>
- Sinuany-Stern, Z., Mehrez, A., & Hadad, Y. (2000). An AHP/DEA methodology for ranking decision-making units. *International transactions in operational research*, 7(2), 109-124. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2000.tb00189.x>
- Slack, N., Chambers, S., Johnston, R., & Betts, A. (2013). *Gerenciamento de Operações e de Processos: Princípios e práticas de impacto estratégico*. Bookman Editora.
- Sousa, L. S. M., Pontes, H. J. L., Abreu, L. R., & Albertin, M. R. (2019). Aplicação dos métodos Smarts, Smarter e Centro de Gravidade para a decisão de localização de uma escola pública. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(1), 74-100. Recuperado de https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/V05N01_05
- Souza, F. J. S. de; Pereira, N. de S. & Pontes, H. L. J. (2015). Aplicação do método do centro de gravidade para decisão de localização de uma transportadora rodoviária de cargas. *Anais do XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Fortaleza, CE, Brasil, 15p. Recuperado de <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/53754>
- Takebayashi, F. (2015). *Um modelo de localização-roteirização de instalações de transferência para distribuição de carga urbana baseado no método de cluster-first routesecond*. (Dissertação de mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. Recuperado de https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3148/tde16112015-113249/publico/Dissertacao_Fabiana.pdf
- Taylor, B. W. (2010). *Introduction to management science* (10th ed.). New Jersey: Pearson/Prentice Hall.
- Tortorella, G. L., & Fogliatto, F. S. (2008). Planejamento sistemático de layout com apoio de análise de decisão multicritério. *Production*, 18, 609-624. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132008000300015>
- Wernke, R. & Bornia, A. C. (2001). A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais. *Revista Contabilidade & Finanças*, 12(25), 60-71. <https://doi.org/10.1590/S1519-70772001000100004>