

Campus São Mateus
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO POR ANÁLISE MULTICRITÉRIO

LOCATION OF DISTRIBUTION CENTERS THROUGH MULTICRITERIA ANALYSIS

LOCALIZACIÓN DE CENTROS DE DISTRIBUCIÓN MEDIANTE ANÁLISIS MULTICRITERIO

Ana Giulia Nascimento Pinto¹, Cláudia Regina de Freitas², & José Roberto Dale Luche^{3*}

^{1 2 3} Universidade Estadual Paulista, FEG-UNESP

¹giulia.nascimento@unesp.br ²psicocrfreitas@gmail.com ³dale.luche@unesp.br

ARTIGO INFO.

Publicado: 06.12.2024

PALAVRAS-CHAVE: Lógica difusa; Centro de distribuição; Análise multicritério.

KEYWORDS: Fuzzy Logic; Distribution Center; Multicriteria Analysis.

PALABRAS CLAVE: Lógica difusa; Centro de Distribución; Análisis Multicriterio.

*Autor Correspondente: Luche, J. R. D.

RESUMO

A localização de um centro de distribuição (CD) pode agregar valor significativo a uma empresa, ajustando suas entregas para chegarem no tempo programado e/ou expandindo sua carteira de clientes. Os critérios analisados na tomada de decisão para a determinação de uma unidade industrial muitas vezes podem ser subjetivos, com cada especialista trazendo diferentes conhecimentos baseados em sua experiência profissional. Portanto, a transformação desses dados para permitir uma análise multicritério é essencial. Este estudo de caso avalia a implantação de centros de distribuição no estado de São Paulo, considerando cidades com clientes localizados. Utilizando informações de onze clientes e considerando os centros das cidades como pontos de localização, os clientes foram divididos em três grupos. Foram analisadas três possíveis localizações para o Grupo 1, quatro para o Grupo 2 e duas para o Grupo 3. Aplicou-se a Teoria de Fuzzy, que envolve as etapas de Fuzzificação, Base de Regras, Inferência e Defuzzificação, convertendo critérios subjetivos em números para determinar a melhor localização para cada grupo. Os resultados indicaram Sorocaba como a localização ideal para o Grupo 1, Bragança Paulista para o Grupo 2, e São José dos Campos ou Caçapava para o Grupo 3, ambas atendendo aos critérios após a defuzzificação.

ABSTRACT

The location of a distribution center (DC) can add significant value to a company by ensuring deliveries arrive on schedule and/or expanding its customer base. The criteria analyzed in decision-making for determining an industrial unit are often subjective, with each expert bringing different knowledge based on their professional experience. Therefore, transforming this data to enable a multicriteria

analysis is essential. This case study evaluates the establishment of distribution centers in the state of São Paulo, considering cities with client locations. Using data from eleven clients and considering city centers as reference points, the clients were divided into three groups. Three possible locations were analyzed for Group 1, four for Group 2, and two for Group 3. Fuzzy Theory was applied, involving the stages of Fuzzification, Rule Base, Inference, and Defuzzification, converting subjective criteria into numerical values to determine the best location for each group. The results indicated Sorocaba as the ideal location for Group 1, Bragança Paulista for Group 2, and São José dos Campos or Caçapava for Group 3, both meeting the criteria after defuzzification.

RESUMEN

La ubicación de un centro de distribución (CD) puede agregar un valor significativo a una empresa, al asegurar que las entregas lleguen a tiempo y/o al expandir su cartera de clientes. Los criterios analizados en la toma de decisiones para determinar una unidad industrial son a menudo subjetivos, ya que cada especialista aporta diferentes conocimientos basados en su experiencia profesional. Por lo tanto, es esencial transformar estos datos para permitir un análisis multicriterio. Este estudio de caso evalúa la implementación de centros de distribución en el estado de São Paulo, considerando ciudades con clientes ubicados. Utilizando datos de once clientes y considerando los centros de las ciudades como puntos de referencia, los clientes se dividieron en tres grupos. Se analizaron tres posibles ubicaciones para el Grupo 1, cuatro para el Grupo 2 y dos para el Grupo 3. Se aplicó la Teoría Fuzzy, que involucra las etapas de Fuzzificación, Base de Reglas, Inferencia y Defuzzificación, convirtiendo criterios subjetivos en valores numéricos para determinar la mejor ubicación para cada grupo. Los resultados indicaron Sorocaba como la ubicación ideal para el Grupo 1, Bragança Paulista para el Grupo 2, y São José dos Campos o Caçapava para el Grupo 3, ambas cumpliendo con los criterios después de la defuzzificación.

INTRODUÇÃO

As grandes indústrias concentram-se na construção de armazéns próximos às suas fábricas para que estes sirvam como uma extensão da unidade produtiva. Dessa forma, o produto final é alocado no armazém, evitando paradas na linha de produção devido à falta de espaço para armazenagem (Guazzelli e Cunha, 2015). Os Centros de Distribuição (CDs) agregam valor à logística, estocando materiais e organizando o fluxo de distribuição para clientes distantes do polo industrial. A análise das localizações dos CDs é importante, pois influencia diretamente a capacidade de realizar vendas, especialmente quando o tempo de entrega é um fator decisivo para o cliente (Hale e Moberg, 2003).

A inserção de CDs na cadeia logística permite que clientes em localidades remotas sejam atendidos com maior eficiência, aumentando o giro de estoque e reduzindo a necessidade de armazenamento excessivo de material (Farah, 2002). No caso da empresa estudada, existem restrições de armazenagem devido às características dos produtos, com regras específicas de empilhamento definidas pela área de saúde, segurança e meio ambiente (SSMA). Essas regras limitam o espaço disponível, o que torna necessária a criação de armazéns para auxiliar as plantas próximas e a implantação de CDs em locais onde não há unidades fabris.

Este estudo foca na problemática da localização de unidades industriais, onde há clientes instalados e é necessário melhorar a agilidade de atendimento. A otimização da localização pode resultar em reduções significativas de viagens e custos, trazendo melhorias para a empresa. A questão central deste trabalho é determinar a melhor localidade para um grupo de clientes, considerando uma série de critérios relevantes.

As indústrias brasileiras enfrentam desafios significativos na identificação de locais ideais para seus Centros de Distribuição, de forma que o processo logístico se torne ágil, eficiente e com grande potencial na região. A empresa pode oferecer produtos com um excelente custo-benefício, mas se não conseguir cumprir prazos de entrega ágeis e confiáveis, pode perder vendas, levando a paradas produtivas nas fábricas dos clientes ou falta de espaço para armazenagem, o que pode resultar na perda de posição como fornecedor prioritário.

Os critérios a serem analisados durante a implantação de um projeto de determinação de localização são numerosos, tornando as decisões e análises complexas. O processo de definição do local escolhido envolve muitas variáveis, uma vez que as definições e regras a serem analisadas frequentemente geram muitas possibilidades.

O objetivo geral deste estudo visa definir os melhores locais para a construção e/ou implantação de novos centros de distribuição. Para alcançar este objetivo, foi necessário desenvolver uma ferramenta computacional que apoie a tomada de decisão na determinação da localização de CDs. Foram selecionados critérios básicos como pré-requisitos para a instalação de uma nova unidade, que são trabalhados dentro da lógica fuzzy para definir as melhores localidades.

Este estudo é aplicado a uma empresa do setor petroquímico, que produz principalmente pellets de polietileno e polipropileno. A pesquisa se limita a clientes, armazéns e plantas produtoras localizadas no estado de São Paulo.

O artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta o referencial teórico e revisa os modelos de localização e critérios de decisão utilizados na literatura. A seção 3 descreve os materiais e métodos utilizados no estudo, incluindo a coleta de dados e a aplicação da teoria de Fuzzy. A seção 4 detalha o estudo de caso, incluindo a análise das localizações e os resultados obtidos. Por fim, a seção 5 discute as conclusões e as implicações dos resultados para a empresa estudada e para futuras pesquisas.

REFERENCIAL TEÓRICO

A localização de centros de distribuição (CDs) é uma questão central na logística, influenciando diretamente a eficiência e os custos operacionais de uma empresa. Diversos modelos e critérios são utilizados na literatura para determinar a localização ideal de CDs, cada um com suas vantagens e limitações.

2.1. Modelos de Localização

Os modelos de localização podem ser classificados em várias categorias, incluindo modelos de localização discreta, contínua e de rede. Os modelos de localização discreta consideram um conjunto pré-selecionado de locais possíveis, enquanto os modelos contínuos permitem que qualquer ponto dentro de uma região seja considerado. Modelos de rede, por sua vez, restringem as localizações possíveis aos nós e arcos de uma rede (Guazzelli e Cunha, 2015).

Entre as funções objetivo mais comuns na ciência da localização estão as funções minisum e minimax. A função minisum visa minimizar o custo total de transporte, enquanto a função minimax busca minimizar a maior distância entre um ponto de demanda e o centro de distribuição (Hale e Moberg, 2003, Gholami e Fathali, 2021). Outros modelos importantes incluem a cobertura de conjunto, que minimiza a quantidade de novas instalações necessárias para cobrir uma região, e a cobertura máxima, que maximiza a área atendida por um número fixo de instalações (Özcan et al., 2011).

2.2. Critérios de Decisão

A seleção de critérios para a localização de CDs pode variar amplamente, dependendo das necessidades específicas da empresa e do contexto operacional. Critérios econômicos, estruturais e ambientais são frequentemente considerados. Critérios econômicos incluem a minimização dos custos de transporte e operação, enquanto critérios estruturais podem envolver a capacidade de armazenagem e a acessibilidade às principais rodovias (Ballou, 2009; Farah, 2002).

Critérios ambientais, como a redução de emissões de CO₂, também estão ganhando importância, especialmente com o aumento das preocupações ambientais e regulatórias. Empresas estão cada vez mais buscando localizar seus CDs em áreas que permitam uma logística mais sustentável (Rosseto e Aragão, 2018). Alinhadas à pauta de Sustentabilidade 2030 da ONU, muitas empresas estão adotando práticas que contribuam para os Objetivos de

Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovendo uma redução significativa nas emissões de gases de efeito estufa e melhorando a eficiência energética em suas operações logísticas.

2.3. Decisões Multicritérios

A tomada de decisão multicritério é essencial em problemas de localização de CDs, dada a diversidade de critérios a serem considerados. Métodos como TOPSIS, AHP, ELECTRE e a Teoria de Fuzzy são amplamente utilizados.

- TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution): Este método classifica as alternativas com base na proximidade a uma solução ideal, considerando tanto a maximização da distância do ponto ideal negativo quanto a minimização da distância do ponto ideal positivo (Özcan et al., 2011; Wang, 2020).
- AHP (Analytic Hierarchy Process): O AHP estrutura a decisão em uma hierarquia de critérios e subcritérios, permitindo comparações par a par e atribuição de pesos a cada critério (Saaty, 1980; Moslem, 2023).
- ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité): Utilizado para decisões que requerem comparação par a par, o ELECTRE é eficaz em situações em que há necessidade de avaliar a concordância e discordância entre as alternativas (Roy, 1991; Taherdoost e Madanchian, 2023).
- Teoria de Fuzzy: A teoria de conjuntos fuzzy é especialmente útil quando os critérios são qualitativos e subjetivos. Ela permite a conversão de dados subjetivos em valores numéricos, facilitando a análise quantitativa. A Teoria de Fuzzy possui etapas como fuzzificação, inferência e defuzzificação, que ajudam a transformar opiniões e conhecimentos qualitativos em informações quantitativas (Zadeh, 1965; Cury, 1999; Jahanshahi, 2023).

2.4. Aplicação da Teoria de Fuzzy

A Teoria de Fuzzy, proposta por Zadeh (1965), é utilizada para lidar com incertezas e imprecisões inerentes a muitos problemas de tomada de decisão. Em contextos de localização de CDs, ela permite que variáveis qualitativas sejam tratadas de maneira quantitativa, facilitando a análise comparativa entre diferentes alternativas (Carlsson e Fullér, 1996).

A aplicação da Teoria de Fuzzy envolve a criação de conjuntos fuzzy para cada critério, definição de regras de inferência e, finalmente, a defuzzificação para obter um valor numérico que represente a adequação de cada alternativa. Este método é particularmente útil quando os dados são incompletos ou imprecisos, permitindo uma avaliação mais flexível e robusta das alternativas.

MATERIAIS, MÉTODOS E PROBLEMA ESTUDADO

3.1. Especificações e Delimitações da Pesquisa

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada e quantitativa, focando na solução de um problema real presente em uma empresa do setor petroquímico. A pesquisa visa definir as melhores localizações para novos centros de distribuição (CDs) com base em uma análise multicritério suportada pela teoria de fuzzy. A pesquisa se limita a clientes, armazéns e plantas produtoras localizadas no estado de São Paulo.

3.2. Coleta de Dados

A coleta de dados envolveu entrevistas com especialistas da empresa, incluindo engenheiros de produção e especialistas em ciência de dados, que forneceram informações sobre critérios relevantes para a localização de CDs. Os dados utilizados no estudo incluem:

- Plantas Produtoras: Localizadas no polo petroquímico de Santo André, São Paulo.
- Armazéns: Também localizados no polo petroquímico de Santo André.
- Clientes: Distribuídos em diversas cidades do estado de São Paulo, com informações sobre a localização aproximada e volume de compras mensais.

3.3. Critérios Analisados

Baseado nas entrevistas e na revisão bibliográfica, os critérios selecionados para a análise foram:

- Capacidade de Armazenagem: A capacidade ideal dos CDs deve estar entre 30 e 34 mil toneladas.
- Facilidade de Acesso a Estradas: A proximidade com rodovias principais é importante para reduzir custos de transporte. As rodovias de interesse incluem Anchieta, Imigrantes, Anhanguera, Ayrton Senna-Carvalho Pinto, Bandeirantes, Castello Branco, Fernão Dias, Presidente Dutra, Raposo Tavares e Régis Bittencourt.
- Incentivos Fiscais: Os incentivos fiscais oferecidos pelas cidades podem impactar significativamente os custos operacionais. Cidades que oferecem isenções de impostos e taxas são preferidas.
- Localização da Fábrica: A proximidade das plantas produtoras deve ser considerada para reduzir o tempo e custo de transporte interno.
- Sustentabilidade: A redução das emissões de CO₂ através da otimização das rotas de transporte é um critério importante, alinhado com a política de sustentabilidade da empresa.

3.4. Aplicação da Teoria de Fuzzy

A teoria de fuzzy foi aplicada em três etapas principais: fuzzificação, base de regras e defuzzificação.

- Fuzzificação: Conjuntos fuzzy foram definidos para cada critério, transformando variáveis qualitativas em termos linguísticos e valores numéricos. Por exemplo, a capacidade de armazenagem foi classificada como baixa, média ou alta, com intervalos definidos de 14 a 44 mil toneladas.
- Base de Regras: Regras fuzzy foram estabelecidas para determinar a pertinência de cada alternativa em relação aos critérios. Estas regras ajudaram a traduzir o conhecimento dos especialistas em uma forma utilizável pelo modelo matemático.
- Defuzzificação: O processo final envolveu a conversão dos valores fuzzy em números precisos para identificar as localizações mais adequadas para os CDs.

3.5. Análise das Localizações

Para a análise, foram considerados três grupos de clientes, cada um representando uma microrregião diferente no estado de São Paulo:

Grupo 1: Inclui as cidades de Itu, Sorocaba, Boituva e Itapetininga.

Grupo 2: Abrange Bragança Paulista, Itatiba, Piracaia e Atibaia.

Grupo 3: Inclui Jacareí, São José dos Campos e Pindamonhangaba.

O ponto médio (baricentro) para cada grupo foi determinado utilizando ferramentas como Google Maps e GeoGebra, identificando possíveis localidades para os novos CDs.

3.6. Possibilidades de Localização

As localidades analisadas para cada grupo de clientes foram:

Grupo 1: Sorocaba, Capela do Alto, Araçoiaba da Serra.

Grupo 2: Bragança Paulista, Piracaia, Atibaia, Itatiba.

Grupo 3: São José dos Campos, Caçapava.

Essas localidades foram avaliadas utilizando a teoria de fuzzy para determinar qual delas melhor atende aos critérios definidos.

3.7. Redução de Viagens

A instalação dos novos CDs tem o potencial de reduzir significativamente o número de viagens necessárias para atender aos clientes. Por exemplo, a unificação do transporte entre a planta e o CD pode reduzir as viagens de 52 para 22 no Grupo 1, de 64 para 25 no Grupo 2 e de 2295 para 250 no Grupo 3. Esta redução não só diminui os custos de transporte, mas também contribui para a sustentabilidade ao reduzir as emissões de CO₂.

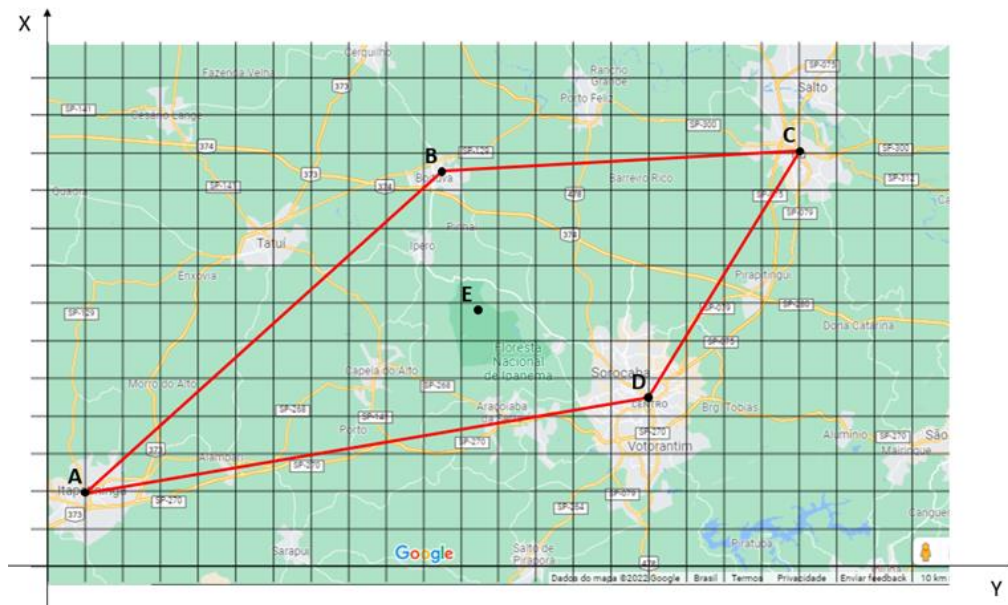
ESTUDO DE CASO

4.1. Estudo quanto à localização

A análise da localidade inicia-se com a determinação do ponto médio entre os clientes de cada grupo. Para isso, foram utilizadas duas ferramentas: Google Maps e GeoGebra.

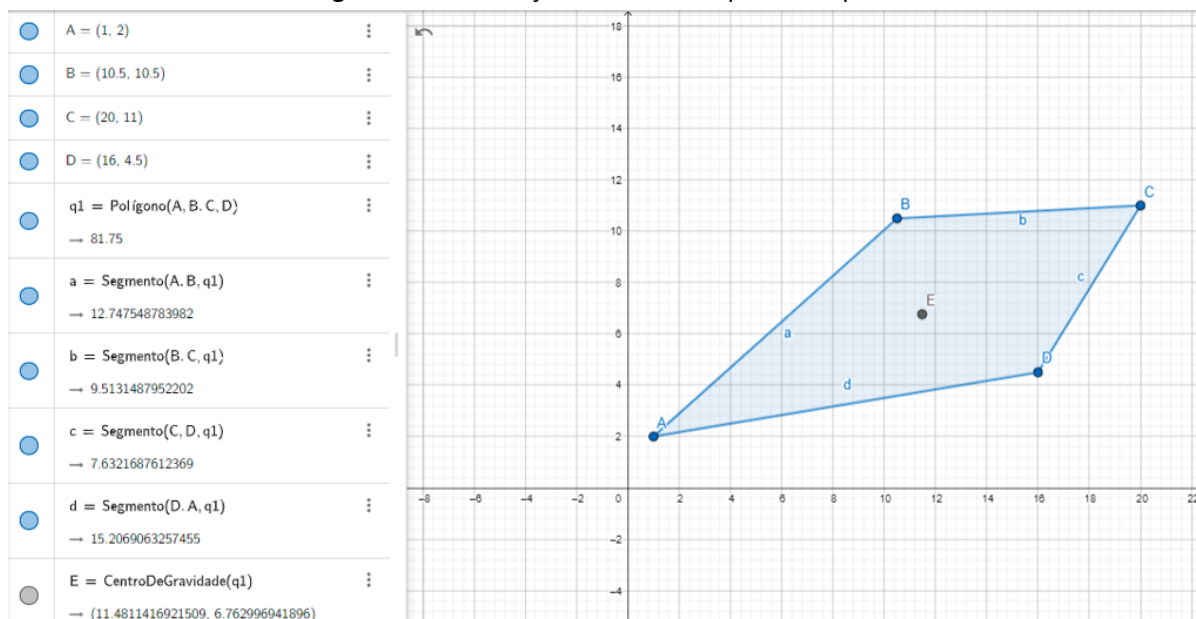
No Google Maps, foi utilizada uma escala de 1 centímetro para 10 quilômetros, sobrepondo-se uma figura quadriculada com dimensões de 1x1 cm.

O grupo 1 inclui as cidades de Itapetininga (A), Boituva (B), Itu (C) e Sorocaba (D). Essas cidades foram representadas pelos pontos correspondentes aos centros das cidades, permitindo a plotagem do gráfico mostrado na Figura 1.

Figura 1. Localização das Cidades do Grupo 1

Fonte: Google Maps.

Com os pontos A a D, utilizou-se a ferramenta GeoGebra (Figura 2) para auxiliar na identificação do centro de gravidade (baricentro), representado pela letra E.

Figura 2. Determinação do Baricentro para o Grupo 1

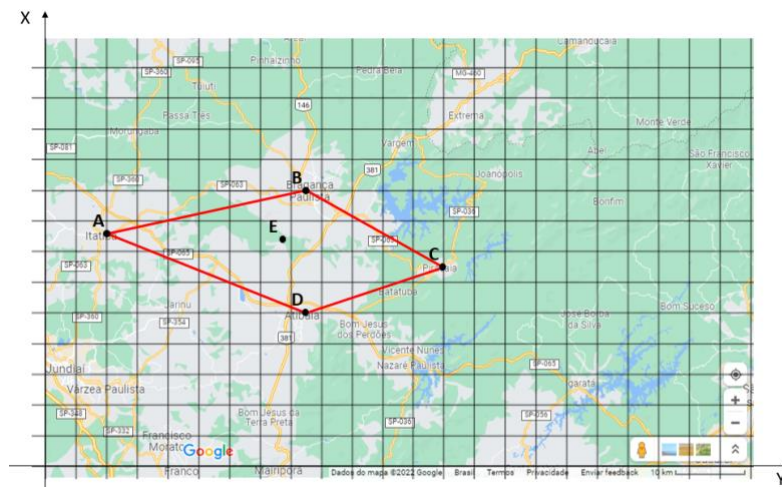
Fonte: GeoGebra.

A identificação do centro de gravidade permitiu localizar o baricentro dos pontos, que está situado na Floresta Nacional de Ipanema (Figura 1). Devido à localização do centro de gravidade se encontrar em um local sem condições estruturais e/ou terrenos adequados para a implantação de centros de distribuição, foi necessário considerar um raio maior, incluindo cidades vizinhas como possibilidades. As cidades consideradas foram: Capela do Alto, Iperó, Pinhal, Araçoiaba da Serra e Sorocaba. Em função da necessidade de proximidade com uma rodovia, as cidades de Iperó e Pinhal foram descartadas, prosseguindo a análise apenas com Capela do Alto, Araçoiaba da Serra e Sorocaba.

O grupo 2 inclui Itatiba (A), Bragança Paulista (B), Piracaia (C) e Atibaia (D). Essas cidades estão localizadas na microrregião de Bragança Paulista. Para calcular o ponto médio, foi mantida a premissa de utilizar o centro da cidade. Na Figura 3, os pontos representam os centros das cidades, conectados por linhas para facilitar a identificação do baricentro. Esses pontos foram levados para o GeoGebra, onde foi possível identificar o centro de gravidade, representado pela letra E na Figura 3.

O centro de gravidade se encontra em um local sem uma cidade, o que impede a implantação de centros de distribuição. Portanto, foram analisadas as cidades vizinhas ao ponto: Piracaia, Atibaia, Bragança Paulista e Itatiba.

Figura 3. Centro das Cidades do Grupo 2

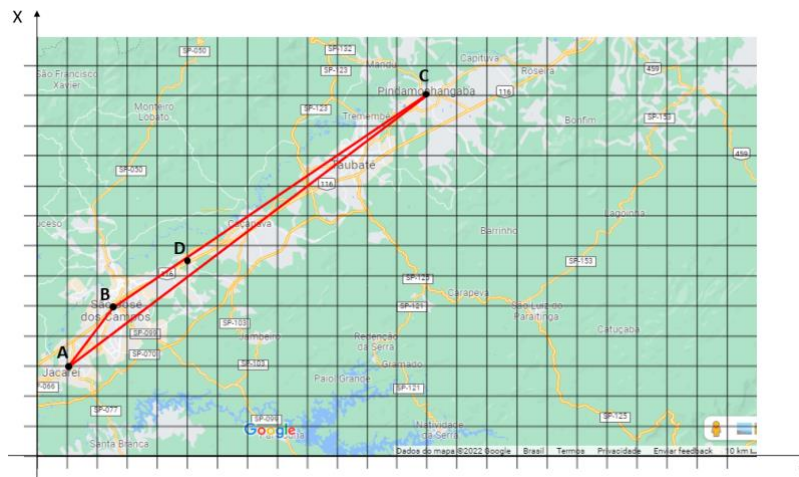


Fonte: Google Maps

O grupo 3 inclui as cidades de Jacareí (A), São José dos Campos (B) e Pindamonhangaba (C), todas localizadas na microrregião de São José dos Campos, conforme sinalizado na Figura 4. Para calcular o ponto médio, foi mantida a premissa de utilizar o centro da cidade. Os pontos localizados foram inseridos no GeoGebra, onde o centro de gravidade (baricentro) foi identificado e representado pela letra D na Figura 4. O centro de gravidade está localizado entre São José dos Campos e Caçapava.

Como o centro de gravidade se encontra entre duas cidades, as localizações estudadas serão: São José dos Campos e Caçapava.

Figura 4. Centro das Cidades do Grupo 3



Fonte: Google Maps.

4.2. Fuzzificação

O módulo de fuzzificação foi realizado para cada critério estipulado na seção 3.3, determinando os valores de entrada. Os valores utilizados durante o módulo de fuzzificação foram obtidos em entrevistas com um funcionário especialista.

4.2.1 Base de Regras Fuzzy

a. Capacidade de Armazenagem: Os centros de distribuição da empresa possuem padrões de capacidade de armazenagem variando de 14 a 44 mil toneladas, sendo considerado ótimo o intervalo de 30-34 mil toneladas, por representar um valor intermediário. O conjunto fuzzy para essa variável abrangerá o intervalo de 14 a 44 mil toneladas. A capacidade de armazenagem foi então considerada média para todas as possibilidades, com capacidade em torno de 30 mil toneladas, uma vez que não há informações detalhadas sobre unidades específicas.

b. Facilidade de Acesso a Estradas: Para a facilidade de acesso a estradas, considera-se a proximidade com rodovias principais. As rodovias principais identificadas pelo especialista estão listadas no Quadro 1.

Quadro 1. Rodovias Principais

NOME DA RODOVIA	SIGLA
Anchieta	SP-150
Imigrantes	SP-160
Anhanguera	SP-330
Ayrton Senna-Carvalho Pinto	SP-070
Bandeirantes	SP-348
Castello Branco	SP-280
Fernão Dias	BR-381
Presidente Dutra	BR-116
Raposo Tavares	SP-270
Régis Bittencourt	BR-116

O critério de facilidade de acesso a estradas varia de zero a 10, onde zero representa locais sem acesso a rodovias principais e 10 representa locais situados diretamente nas rodovias principais. A facilidade de acesso a estradas foi definida a partir da localização dos centros das cidades até as rodovias classificadas como principais, utilizando termos "alto" para cidades nas rodovias principais, "médio" para cidades em rodovias de acesso e "baixo" para cidades fora dessas rodovias.

c. Incentivos Fiscais: Os incentivos fiscais variam entre cidades, conforme seus planos de expansão. O critério de incentivos fiscais é analisado comparando as possibilidades de localidades, atribuindo o valor 10 à localidade com maior oferta de incentivos e 0 àquela com menor oferta. As informações coletadas foram:

- Grupo 1:

P1: Isenção de Taxa de Fiscalização e Funcionamento, IPTU e ISS (Capela do Alto).

P2: Sem informações.

P3: Isenção de IPTU, ISS, Taxa de construção, ISSQN, Taxa de Fiscalização e Funcionamento e ITBI (Sorocaba).

- Grupo 2:

P1: Sem informações.

P2: Isenção de IPTU e ISS de até 2%.

P3: Isenção de IPTU, ISSQN, ITBI, Taxa de Licença de Localização, Taxa de Serviço pela expedição de Alvarás, entre outros (Bragança Paulista).

P4: Sem informações.

- Grupo 3:

P1: Redução da Alíquota de ISSQN e isenção de IPTU (São José dos Campos).

P2: Isenção de IPTU, ISS e Taxa de fiscalização.

d. Localização da Fábrica: Para este estudo, foram fornecidos dados referentes a unidades no Estado de São Paulo, sendo duas plantas e dois armazéns.

e. Sustentabilidade: A sustentabilidade é considerada padrão para todas as análises, focando na redução de carbono nas viagens. Todas as possibilidades geram redução de viagens, conforme conversado com o especialista. A criação do CD otimiza as cargas, unificando transportes em veículos de maior capacidade, economizando viagens. O critério terá variação de zero a 10, sendo analisado caso a caso para cada grupo.

4.2.2 Construção dos Conjuntos Fuzzy

A construção de conjuntos fuzzy para variáveis quantitativas foi determinada em intervalos de valores e termos linguísticos. Por exemplo, para a variável “capacidade de armazém”, foi utilizado o intervalo de 14 a 44 mil toneladas, dividido em subintervalos associados aos termos “baixo”, “médio” e “alto”. A Tabela 1 mostra o grau de pertinência para o critério capacidade de armazenagem, e a Figura 5 representa o conjunto fuzzy correspondente.

Figura 5. Conjunto Fuzzy para Capacidade de Armazenagem

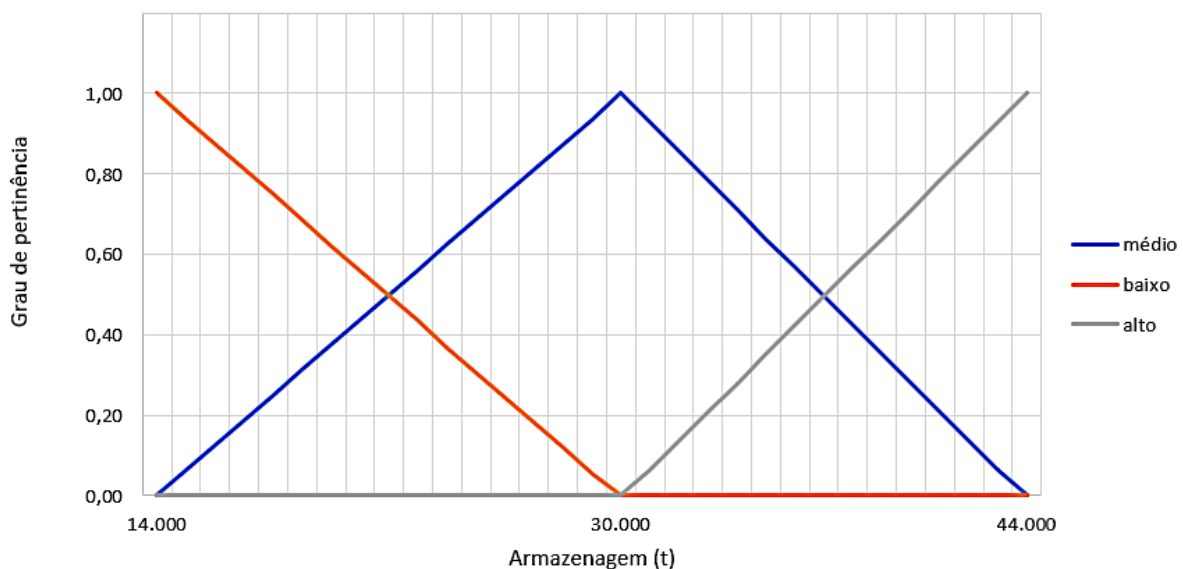


Tabela 1. Construção do Conjunto para o Critério Capacidade de Armazenagem

CAPACIDADE	BAIXO	MÉDIO	ALTO
14.000	1	0,00	0
15.000	0,937	0,0625	0
16.000	0,874	0,125	0
17.000	0,811	0,19	0
18.000	0,748	0,25	0
19.000	0,685	0,3125	0
20.000	0,622	0,38	0
21.000	0,559	0,4375	0
22.000	0,496	0,5	0
23.000	0,433	0,56	0
24.000	0,37	0,625	0
25.000	0,307	0,6875	0
26.000	0,244	0,75	0
27.000	0,181	0,8125	0
28.000	0,118	0,875	0
29.000	0,055	0,94	0
30.000	0	1,00	0
31.000	0	0,93	0,064
32.000	0	0,86	0,136
33.000	0	0,78	0,208
34.000	0	0,71	0,28
35.000	0	0,64	0,352
36.000	0	0,57	0,424
37.000	0	0,50	0,496
38.000	0	0,42	0,568
39.000	0	0,35	0,64
40.000	0	0,28	0,712
41.000	0	0,21	0,784
42.000	0	0,14	0,856
43.000	0	0,06	0,928
44.000	0	0,00	1

Para as variáveis qualitativas, foram atribuídos termos linguísticos com valores de zero a 10. Um método para atribuir termos a esses valores ocorre através da pesquisa com um grupo de pessoas.

4.2.3 Atribuição de Valores

Na atribuição de valores aos conjuntos fuzzy, foi necessário realizar um questionário com especialistas da área. Para os critérios qualitativos, foram consultadas três pessoas. As Tabelas 2, 3 e 4 mostram os termos linguísticos para os critérios qualitativos, respectivamente dos Grupos 1, 2 e 3.

Tabela 2. Termos Linguísticos para os Critérios Qualitativos do Grupo 1

Grupo 1		P1			P2			P3		
		E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
Facilidade de Acesso a Estradas	Valor	7	7	6	9	10	10	10	10	9
	Baixo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0,2	0,2	0,9	0	0	0	0	0	0
	Alto	0,8	0,8	0,1	1	1	1	1	1	1
Incentivos Fiscais	Valor	6	7	7	0	0	0	9	8	9
	Baixo	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Médio	0,9	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0
	Alto	0,1	0,8	0,8	0	0	0	1	0,92	1
Sustentabilidade	Valor	7	7	6	10	10	10	10	10	8
	Baixo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0,2	0,2	0,9	0	0	0	0	0	0
	Alto	0,8	0,8	0,1	1	1	1	1	1	0,92

Tabela 3. Termos Linguísticos para os Critérios Qualitativos do Grupo 2

Grupo 2		P1			P2			P3			P4		
		E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
Facilidade de Acesso a Estradas	Valor	4	5	5	9	10	10	7	6	6	1	1	2
	Baixo	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0,9
	Médio	0,4	1	1	0	0	0	0,2	0,9	0,9	0	0	0
	Alto	0	0	0	1	1	1	0,8	0,1	0,1	0	0	0
Incentivos Fiscais	Valor	0	0	0	7	6	7	9	9	8	0	0	0
	Baixo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Médio	0	0	0	0,2	0,9	0,2	0	0	0	0	0	0
	Alto	0	0	0	0,8	0,1	0,8	1	1	0,92	0	0	0
Sustentabilidade	Valor	4	6	6	8	9	10	5	5	7	1	1	1
	Baixo	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Médio	0,4	0,9	0,9	0	0	0	1	1	0,2	0	0	0
	Alto	0	0,1	0,1	0,92	1	1	0	0	0,8	0	0	0

Tabela 4. Termos Linguísticos para os Critérios Qualitativos do Grupo 3

Grupo 3		P1			P2		
		E1	E2	E3	E1	E2	E3
Facilidade de Acesso a Estradas	Valor	10	9	10	9	10	10
	Baixo	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0	0
	Alto	1	1	1	1	1	1
Incentivos Fiscais	Valor	7	6	7	9	8	9
	Baixo	0	0	0	0	0	0
	Médio	0,2	0,9	0,2	0	0	0
	Alto	0,8	0,1	0,8	1	0,92	1
Sustentabilidade	Valor	9	8	10	10	10	9
	Baixo	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0	0
	Alto	1	0,92	1	1	1	1

4.2.4 Módulo de Inferência

O modelo de inferência ocorre por meio de blocos que possuem regras do tipo SE-ENTÃO. O modelo Mandani de inferência e as operações Máx-Min foram utilizados, conforme proposto por Simões (2007). A Quadro 2 exemplifica a base de regras fuzzy.

Quadro 2. Base de Regras e Fator de Certeza

Regra	SE			ENTÃO	FC
	Incentivos Fiscais	Facilidade de Acesso a Estradas	Sustentabilidade	Grau da Alternativa	
1	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	1,0
2	Baixa	Baixa	Média	Baixa	1,0
3	Baixa	Baixa	Alta	Baixa	1,0
4	Baixa	Média	Baixa	Baixa	0,9
5	Baixa	Média	Média	Baixa	0,9
6	Baixa	Média	Alta	Baixa	0,8
7	Baixa	Alta	Baixa	Baixa	0,9
8	Baixa	Alta	Média	Baixa	0,8
9	Baixa	Alta	Alta	Baixa	0,7
10	Média	Baixa	Baixa	Baixa	0,9
11	Média	Baixa	Média	Baixa	0,9
12	Média	Baixa	Alta	Baixa	0,8
13	Média	Média	Baixa	Média	0,7
14	Média	Média	Média	Média	1,0
15	Média	Média	Alta	Média	0,8
16	Média	Alta	Baixa	Média	0,9
17	Média	Alta	Média	Média	0,9
18	Média	Alta	Alta	Média	1,0
19	Alta	Baixa	Baixa	Baixa	0,9
20	Alta	Baixa	Média	Baixa	0,9
21	Alta	Baixa	Alta	Baixa	0,9
22	Alta	Média	Baixa	Média	0,9
23	Alta	Média	Média	Média	0,9
24	Alta	Média	Alta	Média	1,0
25	Alta	Alta	Baixa	Alta	0,8
26	Alta	Alta	Média	Alta	0,9
27	Alta	Alta	Alta	Alta	1,0

4.2.5 Defuzzificação

O processo de defuzzificação transforma as informações qualitativas em valores numéricos. O método utilizado foi o de Centro de Gravidade. As Tabelas 5, 6 e 7 mostram o grau final da alternativa para os Grupos 1, 2 e 3 respectivamente.

Tabela 5. Grau Final da Alternativa para o Grupo 1

Possibilidade	Baixo	Médio	Alto	D
1	0	0,2	0,33	0,656
2	0	0	0	0
3	0	0	0,95	0,75

Tabela 6. Grau Final da Alternativa para o Grupo 2

Possibilidade	Baixo	Médio	Alto	D
1	0,2	0	0	0,25
2	0	0	0,3	0,75
3	0	0	0,033	0,751
4	0,67	0	0	0,25

Tabela 7. Grau Final da Alternativa para o Grupo 3

Possibilidade	Baixo	Médio	Alto	D
1	0	0	0,57	0,75
2	0	0	0,97	0,75

4.2.6 Resultados e Conclusões

A partir dos valores finais pós defuzzificação, é possível determinar a melhor alternativa para cada grupo (Quadro 3). Observa-se qual possibilidade atingiu o grau final mais próximo de 1. Quanto maior o grau, melhor serão atendidos os critérios estipulados, permitindo assim definir as melhores localidades para cada grupo. Para o Grupo 3, as possibilidades apresentaram valores iguais para o grau final da alternativa, resultando na consideração de que ambas as cidades são válidas para a instalação do centro de distribuição.

Quadro 3. Resultado para os Grupos

Grupo	Possibilidade	Localização
Grupo 1	3	Sorocaba
Grupo 2	3	Bragança Paulista
Grupo 3	1 e 2	São José dos Campos ou Caçapava

A tomada de decisão sobre a localização de centros de distribuição impacta diferentes setores e níveis da sociedade, sendo fundamental para o futuro de indivíduos, grupos, setores, empresas e/ou governos. A escolha correta de localização determina a prosperidade ou não dos caminhos futuros.

A aplicação da teoria de Fuzzy permitiu identificar as melhores localidades para a instalação de centros de distribuição, considerando múltiplos critérios. As conclusões baseadas no grau final da alternativa após o processo de defuzzificação são as seguintes:

Grupo 1 (Microrregião de Sorocaba): A cidade de Sorocaba foi identificada como a melhor possibilidade, com um grau final superior em 0,10 comparado à segunda melhor possibilidade, Capela do Alto, e 0,75 acima da possibilidade descartada, Araçoiaba da Serra. A possibilidade 2 foi descartada devido a um grau final igual a zero, não atendendo aos critérios estabelecidos.

Grupo 2 (Microrregião de Bragança Paulista): Bragança Paulista foi a cidade que apresentou o melhor grau final de alternativa (0,751), ligeiramente superior ao de Atibaia (0,75). Embora a diferença seja mínima, Bragança Paulista foi escolhida devido ao seu grau ligeiramente mais alto.

Grupo 3 (Microrregião de São José dos Campos): Tanto São José dos Campos quanto Caçapava apresentaram o mesmo grau final de alternativa após o processo de defuzzificação. Assim, ambas as cidades são igualmente adequadas para a instalação de um centro de distribuição, atendendo aos critérios de maneira equivalente.

Os objetivos propostos para este trabalho foram atendidos. O processo de visualização da melhor alternativa para a localização forneceu valores consistentes, e o método abordado cumpriu sua proposta de execução, especialmente considerando que os dados eram subjetivos.

REFERÊNCIAS

- Ballou, R. H. (2009). Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial. Bookman Editora.
- Carlsson, C. & Fullér, R. (1996). Fuzzy multiple criteria decision making: Recent developments. *Fuzzy Sets and Systems*, 78(2), 139-153. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(95\)00223-4](https://doi.org/10.1016/0165-0114(95)00223-4)
- Cury, M. V. Q. (1999). Modelo Heurístico Neuro-fuzzy para avaliação humanística de projetos de transporte

- urbano (Tese de doutorado). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Farah Jr., M. (2002). Os desafios da logística e os centros de distribuição física. *Revista FAE Business*, 2, 44-46.
- Gholami, M. & Fathali, J. (2021). Mathematical models for the variable weight's version of the inverse minimax circle location problem. *Journal of Mathematical Modeling*, 9(1), 137-144. <https://doi.org/10.22124/jmm.2021.16558>
- Guazzelli, C. S. & Cunha, C. B. da. (2015). Otimização multicritério para o problema de localização de centros de distribuição de uma empresa com unidade produtiva no Polo Industrial de Manaus. *Gestão & Produção*, 22(3), 480-494. <https://doi.org/10.1590/0104-530X1002-15>
- Hale, T. S. & Moberg, C. R. (2003). Location science research: a review. *Annals of Operations Research*, 123(1), 21-35. <https://doi.org/10.1023/A:1026138517971>
- Jahanshahi, H., Alijani, Z., & Mihalache, S. F. (2023). Towards sustainable transportation: a review of fuzzy decision systems and supply chain serviceability. *Mathematics*, 11(8), 1934. <https://doi.org/10.3390/math11081934>
- Leis Municipais. (2011). *Institui o Programa de Desenvolvimento Econômico do Município de Caçapava*. Recuperado de <https://leismunicipais.com.br/a/sp/c/cacapava/lei-ordinaria/2011/505/5055/lei-ordinaria-n-5055-2011-institui-o-programa-de-desenvolvimento-economico-do-municipio-de-cacapava>
- Moslem, S., Campisi, T., Akgün, N., Tesoriere, G., & Bellavia, S. (2023). A systematic review of analytic hierarchy process applications to solve transportation problems: From 2003 to 2022. *IEEE Access*, 11, 11973-11990. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3232299>
- Özcan, T., Çelebi, N., & Esnaf, Ş. (2011). Comparative analysis of multi-criteria decision-making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9773-9779. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.031>
- Prefeitura de Bragança Paulista. (2024). Prefeitura tem lei de incentivo à indústria, desenvolvimento econômico e ao emprego. Recuperado de <https://www.braganca.sp.gov.br/assuntos/financas/prefeitura-tem-lei-de-incentivo-a-industria-desenvolvimento-economico-e-ao-emprego>
- Prefeitura de Piracaia. (2010). Plano Diretor. Recuperado de <https://piracaia.sp.gov.br/wp-content/uploads/2017/10/20100407122125.pdf>
- Prefeitura de Sorocaba. (2024). Incentivos Fiscais. Recuperado de <https://desenvolvimentoeconomico.sorocaba.sp.gov.br/investidor/incentivos-fiscais/>
- Rossetto, F. D. & Aragão, F. V. (2018). Uma abordagem MCDM para a localização de um centro de distribuição no Paraná. *Trabalhos de Conclusão de Curso do DEP*, 1-10.
- Roy, B. (1991). The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and Decision*, 31(1), 49-73. <https://doi.org/10.1007/BF00134132>
- Saaty, T. (1980). The analytic hierarchy process (AHP) for decision making. In *Kobe, Japan*, 69-81.
- Simões, M. G. & Shaw, I. S. (2007). *Controle e modelagem fuzzy*. Editora Blucher.
- Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). A comprehensive overview of the ELECTRE method in multi-criteria decision-making. Taherdoost, H., Madanchian, M, 5-16.
- Wang, Y. J. (2020). Combining technique for order preference by similarity to ideal solution with relative preference relation for interval-valued fuzzy multi-criteria decision-making. *Soft Computing*, 24(15), 11347-11364. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04630-1>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)