

# Modelo híbrido multicritério e de engenharia econômica para suporte à decisão na gestão de frota

## Hybrid multicriteria and economic engineering model to support decision in fleet management

Régis F. Dantas 

Governo do estado do Ceará e Caixa Econômica Federal, Fortaleza, CE, Brasil

### Notas do autor

Régis F. Dantas é agora coordenador-geral do Programa Integrado de Prevenção e Redução da Violência (PReVio) do estado do Ceará e gestor da Caixa Econômica Federal.

Correspondências sobre este artigo devem ser enviadas para Régis F. Dantas, Avenida Barão de Studart, 598, Meireles, Fortaleza, Ceará, Brasil, CEP 60120-000. *E-mail*: [regis.dantas@uol.com.br](mailto:regis.dantas@uol.com.br)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.

This paper may be copied, distributed, displayed, transmitted or adapted for any purpose, even commercially, if provided, in a clear and explicit way, the name of the journal, the edition, the year and the pages on which the paper was originally published, but not suggesting that RAM endorses paper reuse. This licensing term should be made explicit in cases of reuse or distribution to third parties.

Este artigo pode ser copiado, distribuído, exibido, transmitido ou adaptado para qualquer fim, mesmo que comercial, desde que citados, de forma clara e explícita, o nome da revista, a edição, o ano e as páginas nas quais o artigo foi publicado originalmente, mas sem sugerir que a RAM endosse a reutilização do artigo. Esse termo de licenciamento deve ser explicitado para os casos de reutilização ou distribuição para terceiros.

## Resumo

**Objetivo:** Dotar o órgão decisor com um modelo híbrido composto para decisão qualificada e maximizar a qualidade da gestão pública ante o *tradeoff* entre frota própria e locada.

**Originalidade/valor:** A metodologia proposta inova ao integrar um *framework* baseado em um conjunto de critérios quantitativos e qualitativos, aumentando a precisão do processo de tomada de decisão sobre a gestão da frota da Secretaria da Segurança Pública do Ceará. Com modelo multicritério, podem-se compreender e identificar os critérios fundamentais em termos de gestão para selecionar alternativas e evitar tomar essas decisões com base apenas na experiência ou no *feeling*.

**Design/metodologia/abordagem:** Para apoio à tomada de decisão quanto à escolha ou ao *mix* entre frota própria e locada, soluções ótimas são construídas com uso de um modelo híbrido que combina técnicas dos modelos de utilidade multiatributo (*multi-attribute utility theory* – Maut) e de engenharia econômica e com auxílio do custo total de propriedade (*total cost of ownership* – TCO). As alternativas são ponderadas qualitativa e quantitativamente por meio do modelo proposto.

**Resultados:** Os resultados confirmam a compatibilidade entre os métodos utilizados, dotando o órgão de uma ferramenta metodológica que qualifica a decisão com base em um modelo que revela as preferências dos decisores em termos de atributos relevantes para uma boa gestão, respeitando as restrições orçamentárias.

**Palavras-chave:** modelo multicritério, problema multiobjetivo, engenharia econômica, custo total de propriedade, gestão de frota

## Abstract

**Purpose:** To provide the decision-making agency with a hybrid composite model for a qualified decision and maximize the quality of public management when challenged by the tradeoff between own and leased fleet.

**Originality/value:** The proposed methodology innovates by integrating a framework based on a set of quantitative and qualitative criteria, increasing accuracy of the decision-making process regarding the management of the Public Safety Secretary's fleet. With a multicriteria model, one can understand and identify the fundamental criteria in terms of management to select alternatives and avoid making these decisions based only on experience or feeling.

**Design/methodology/approach:** To support the decision-making process regarding the choice or combination between own and leased fleet, optimal solutions are built using a hybrid model that combines techniques from the multi-attribute utility theory (Maut) models of economic engineering with the help of the total cost of ownership (TCO). The alternatives are weighted (considered) qualitatively and quantitatively through the proposed model.

**Findings:** The results confirm the compatibility between the methods used, providing the agency with a methodological tool that qualifies the decision based on a model that reveals the decision-makers' preferences in terms of relevant attributes to good management, while respecting budgetary constraints.

**Keywords:** multicriteria model, multiobjective problem, economic engineering, total cost of ownership, fleet management

## INTRODUÇÃO

A decisão entre frota própria e locada passa pela escolha entre elementos julgados importantes pela gestão, de modo a otimizar os processos decisórios de eficiência. Nos órgãos públicos, é comum utilizar a experiência individual dos gestores com decisões monocromáticas para as escolhas entre diversas alternativas ou deixar para o processo licitatório do tipo “menor preço”, que, embora legal, muitas vezes não contempla elementos de gestão.

Os problemas da composição da frota enfrentam decisões de múltiplos critérios, como dimensão da capacidade total e seleção dos veículos com base em suas características e no arranjo ideal da frota, considerando custos e receitas (Hoff et al., 2010). Conforme Silva et al. (2015), a decisão de operar ou não com frota própria tem que levar em conta vários fatores, como nível de serviço ao cliente, flexibilidade, controle, habilidades administrativas e retorno do investimento. Devem-se buscar informações sobre a qualificação e a capacidade técnica das empresas, além de comparar custos com outras prestadoras e fazer análise de viabilidade econômica e financeira (Imhoff & Mortari, 2005; Moreira et al., 2016).

Segundo Faria et al. (2020), a literatura apresenta diversos estudos sobre a seleção de alternativas na tomada de decisão em transporte, a maioria deles baseada no critério de custo, que é uma forma eficiente de identificar o investimento necessário para comparar. No entanto, outras variáveis relevantes de desempenho de transporte também devem ser consideradas (Meixell & Norbis, 2008; Garo Jr. & Guimarães, 2018).

Um dos instrumentos para a análise estratégica de decisão sobre terceirizar ou fazer é o conceito de custo total de propriedade (*total cost of ownership* – TCO): “um dos conceitos mais modernos e difundidos nas práticas de gestão da cadeia de fornecedores das empresas consideradas de ‘classe mundial’” (Amato Neto, 2014, p. 128).

Segundo Feldens et al. (2010), dois tipos de modelo são normalmente sugeridos pela literatura para a substituição de frota: engenharia econômica (EE) e pesquisa operacional (PO). Os modelos de EE restringem-se aos aspectos econômico-financeiros, considerando exógenas as variáveis de ordem tecnológica, de gestão e estratégia. Os métodos tradicionais levam a gerência a abandonar métodos formais de análise de investimentos e utilizar análises subjetivas não estruturadas. Os modelos tradicionais de PO, apesar de modelarem múltiplas variáveis, focam um único objetivo a ser maximizado/minimizado.

Problemas com múltiplos objetivos e critérios são geralmente conhecidos como problemas de otimização multicritérios (*multiple criteria optimization*)

ou de tomada de decisão multicritérios (*multiple criteria decision making* – MCDM), que apresentam soluções eficientes que possam espelhar melhor a realidade, enfatizando o estudo dos problemas com múltiplos objetivos (Gomes & Gomes, 2019).

Com modelos multicritérios, é possível compreender e identificar os critérios fundamentais para selecionar alternativas, além de evitar tomar decisões com base apenas na experiência ou no *feeling* individual. Em estudo baseado na utilidade multiatributo (*multi-attribute utility theory* – Maut), De La Vega et al. (2017) observaram que essa abordagem possibilita uma análise robusta da decisão mais adequada de acordo com as preferências e a aversão ao risco dos tomadores de decisão da empresa, considerando um conjunto de critérios que são avaliados simultaneamente.

A abordagem de Maut é desenvolvida para auxiliar na classificação, seleção e/ou comparação de alternativas dentro de um conjunto finito de critérios, de forma que os decisores se sintam confortáveis com a decisão final (Chen et al., 2008).

Este estudo incorpora multicritérios a aspectos econômico-financeiros no processo de decisão sobre a escolha entre frota própria e locada em órgão público, tomando-se como exemplo a Secretaria da Segurança Pública do Ceará. Objetiva-se dotar o órgão decisor de uma ferramenta metodológica para decisão qualificada e maximizar a qualidade da gestão, dadas as restrições orçamentárias.

Desse modo, propõe-se um *framework* para a decisão do problema de frota baseado em um conjunto de critérios qualitativos e quantitativos. Trata-se de um método híbrido de apoio à tomada de decisão que combina técnicas dos modelos Maut e de EE, com auxílio do TCO, para escolha ou *mix* entre frota própria e locada. O decisor depara-se com um *tradeoff* entre as alternativas expostas.

A opção pelo uso de Maut tem como propósito incorporar ao problema os múltiplos objetivos e as preferências dos gestores. Ainda utiliza-se um método discreto com número de alternativas discretas na escolha para frota locada, empregando-se pesos e notas a atributos com uso de uma função matemática. Os atributos referem-se às características, tópicos de gestão considerados relevantes pelos gestores, revelando, assim, suas preferências.

O trabalho utilizou a variável gestão como endógena no modelo. A metodologia proposta inova ao integrar critérios de EE, observando o TCO, e de gestão da frota com método multicritério, incluindo as preferências individuais dos tomadores de decisão.

Na próxima seção, apresentam-se os aspectos teóricos dos modelos multicritérios e de EE. Em seguida, apontam-se a metodologia e os modelos



propostos. Depois, analisam-se os resultados dos modelos que foram submetidos à simulação com dados reais. Por fim, há as discussões dos resultados e as considerações finais.

## ASPECTOS TEÓRICOS DO MODELO DE DECISÃO

### Modelos multicritérios de apoio à decisão

As decisões, de forma geral, são tomadas ora individualmente, ora coletivamente. Para Kocher e Sutter (2005), nas escolhas individuais, parte-se das preferências, alternativas e restrições enfrentadas para atingir os objetivos traçados em busca do bem-estar individual. Contudo, nas decisões em grupo, busca-se uma escolha coletiva consensual a partir das preferências individuais (Hammond et al., 1999).

Segundo Bregalda (2017), algumas técnicas e modelos mais sofisticados foram construídos, tais como o Pareto-ótimo, desenvolvido para tratar dos problemas multiobjetivos, com as soluções viáveis possíveis. A “solução eficiente” de Pareto é aquela que pode ser obtida de forma que a alternativa escolhida atinja um valor amplo em todos os critérios e não tenha um decréscimo simultâneo (um valor dominado por outra alternativa) (Gomes & Gomes, 2019; Silva, 2020).

A Maut é um método discreto por apresentar número de alternativas discretas, sendo empregado para determinar a importância atribuída a um critério em relação a outro e priorizar alternativas. De modo geral, os métodos multiatributos referem-se a métodos de seleção, ordenação ou categorização de um número finito de alternativas, explicitamente conhecidas (Clímaco et al., 1996). Inseridos nesses problemas de otimização, além da Maut, utilizam-se o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e o Desdobramento da Função Qualidade (*Quality Function Deployment* – QFD) para aplicar múltiplos critérios de decisão (Matsuada et al., 2000).

Num contexto de múltiplos critérios, conforme Zopounidis e Doumpos (2002), os problemas de tomada de decisão são realizados de acordo com o seguinte paradigma: considera-se um conjunto A de alternativas (por exemplo: empresas, projetos de investimento e portfólios) e procura-se tomar uma decisão “ideal” com base em todos os fatores relevantes para a análise. Como esses fatores geralmente levam a resultados e conclusões conflitantes, a decisão “ideal” não é realmente ideal na perspectiva tradicional de otimização.

Na Maut, a função objetivo é a representação matemática do critério de eficiência adotado no problema de otimização. É influenciada pelas variáveis



de projeto, conhecidas como variáveis de decisão do problema (Gomes & Gomes, 2019). O espaço de soluções é formado por todos os pontos que satisfazem as restrições do problema. A solução ótima no problema de maximização corresponde ao ponto no espaço de soluções em que o valor da função objetivo é máximo (Gomes & Gomes, 2019).

## Modelo de engenharia econômica de apoio à decisão

Para Silva et al. (2015), a abordagem da EE observa o momento ótimo de substituição de equipamentos como ponto de partida dos conceitos de vida útil e vida econômica de um bem. O método do custo anual uniforme equivalente (Caue) propõe que a vida econômica de um equipamento corresponde ao período em que esse custo é mínimo e, portanto, o momento ótimo para substituição dele (Silva et al., 2015).

Na avaliação da vida econômica de um equipamento, os analistas devem utilizar técnicas que considerem o valor de dinheiro ao longo de uma escala de tempo para que possam reconhecer oportunidades de obter resultados positivos quando se avaliam as séries de fluxos de caixa esperados associados às alternativas (Lima et al., 2015).

A importância dos custos, seja pelo uso ou pela propriedade, é observada em Souza et al. (2015), que definem o TCO como uma abordagem complexa em que a organização compradora necessita identificar todos os custos considerados relevantes para as atividades de aquisição, posse e uso de um bem ou serviço, quantificados para cada fornecedor. Segundo Onkham et al. (2012), o TCO proporciona métricas para aferir os custos de todo o ciclo de vida de um produto ao considerar, além do valor de aquisição, os custos associados à sua utilização e ao seu descarte.

Assim, o TCO é uma ferramenta de apoio à gestão estratégica de custos nas decisões de compra (Ellram & Siferd, 1998). Diniz e Paixão (2017) compararam os custos das frotas de veículos próprias ou terceirizadas em operações comerciais de uma empresa privada e constataram, por meio de um cenário projetado, que a propriedade da frota era mais vantajosa. A aplicação da análise com o TCO contribuiu para demonstrar os custos ocultos, os quais não são considerados na avaliação econômica do equipamento; nesse contexto, a empresa poderia mudar a decisão de compra se fizesse uso da ferramenta (Coser & Souza, 2017).

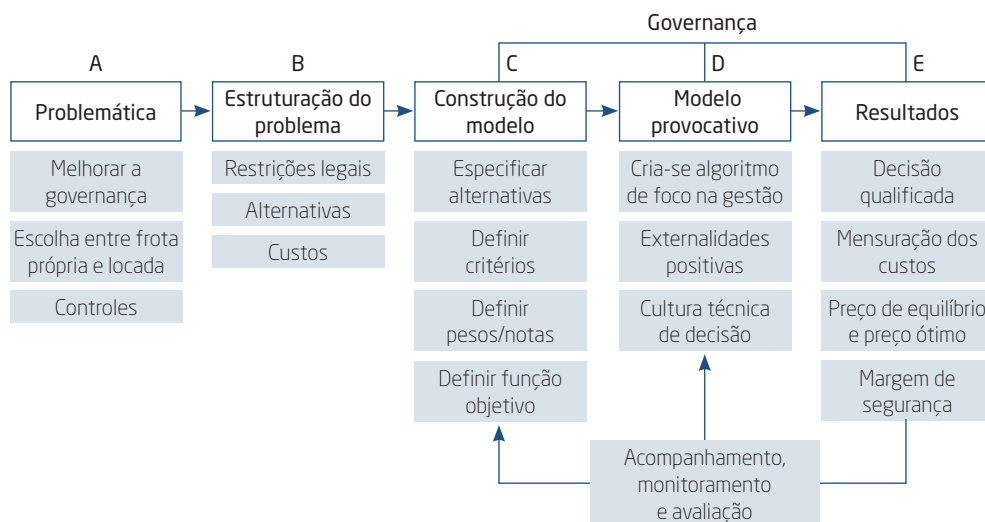
Utilizando um veículo como produto, “o TCO cobre todas as despesas acumuladas por um proprietário de veículo, incluindo um custo único de compra e venda, e outros custos como combustível, impostos, manutenção e reparo” (Redelbach et al., 2012, p. 2).



## METODOLOGIA: MODELO MAUT MAIS ENGENHARIA ECONÔMICA

Com base no fluxo proposto por Belton e Stewart (2002), a Figura 1 mostra a sequência metodológica até a tomada de decisão. Com a problemática em A, demonstram-se o estágio da governança atual, em que a frota própria é questionada em relação à locada, e os respectivos controles para a gestão. Em B, estrutura-se o problema quando se observam as restrições legais, o custo e as alternativas. Na construção do modelo em C, especifica-se a função objetivo com seus parâmetros e critérios. Em D, cria-se um algoritmo, um caminho padronizado de soluções para a decisão. Como resultados (E), espera-se uma decisão qualificada, com custos mensurados e a verificação dos preços ótimos e de equilíbrio para possíveis contratos de locação.

**Figura 1**  
*Fluxo da metodologia para tomada de decisão*



**Fonte:** Elaborada pelo autor com base no processo de AMD (*Multicriteria Decision Support*) de Belton e Stewart (2002).

Dos passos C a E, há procedimentos que levam a uma melhor governança, que, conforme Machado et al. (2016), tem como pilares: a transparência, a equidade (tratamento justo de todos os envolvidos), a responsabilidade corporativa e a *accountability* (prestação de contas). Nesse fluxo contínuo, há



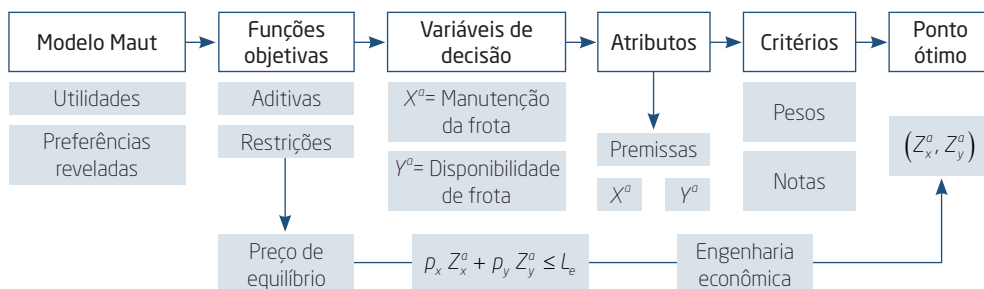
o acompanhamento, o monitoramento e a avaliação dos resultados da tomada de decisão, além de ajustes, quando necessários.

O governo depara-se com diversos objetivos para a tomada de decisão. As restrições legais devem ser verificadas, como é o caso do processo decisório da escolha que passa pelo processo licitatório por ser ente público.

As alternativas são confrontadas e avaliadas pelas variáveis de decisão que, mapeadas pelos atributos, representam as preferências dos gestores por critérios relacionados aos atributos. O problema, então, segue o fluxo da construção do modelo da Figura 2.

**Figura 2**

**Fluxo da construção do modelo híbrido: Maut mais engenharia econômica**



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Modelo de decisão multicritério**

Com o uso da Maut na construção de soluções ótimas, definem-se os indicadores de gestão. Cada indicador de gestão da frota é um atributo, como ter agilidade na adequação da frota, ter rapidez na substituição de carros com sinistro, entre outros fatores relevantes para uma boa eficiência na gestão. Definem-se como variáveis de decisão os aspectos de gestão relevantes para o decisor vinculados a uma melhor capacidade da gestão da frota. Cada variável de decisão será composta por um conjunto de atributos de indicadores gerenciais. As duas variáveis de decisão são:

- $X^a$  = Manutenção da frota
- $Y^a$  = Disponibilidade da frota

Cada função objetivo, assim como suas respectivas variáveis de decisão, tem atributos (Tabela 1) que pertencem ao vetor de decisão. Esses atributos foram selecionados da literatura sobre fatores positivos da locação de veículos

e ratificados como relevantes pelos gestores da Segurança Pública do Estado do Ceará. As preferências subjetivas dos decisores entre as alternativas são mensuradas ou reveladas pela ponderação de alguns critérios. Cada empresa de locação que disputar a preferência do decisor terá seu  $X^a$  e  $Y^a$  mensurados. As funções objetivas representam as preferências do decisor entre os atributos de um conjunto. As variáveis de decisão ( $X^a$  e  $Y^a$ ), equivalem à soma dos pesos dos atributos  $x_i$  e  $y_i$ , conforme Tabela 1.

As variáveis de decisão referem-se às decisões a serem tomadas visando encontrar a solução do problema. Para parametrizar essas variáveis, serão definidos atributos conforme as necessidades de gestão, lastreadas pelas seguintes premissas:

1. As empresas de terceirização de frotas observam as definições dos parâmetros de gestão expostos na licitação e definem seus preços de acordo com suas capacidades e seus custos.
2. Supõe-se que as empresas concorrem em um mercado perfeito e que não há corrupção nas licitações para deturpar o preço de mercado.
3. Dados os preços de um mercado competitivo, as propostas das empresas de terceirização terão seus preços diretamente proporcionais ao grau de qualidade imposto para cada variável de decisão (gestão), vinculados aos atributos e definidos no edital da licitação.

Dadas as premissas, o gestor parametriza as variáveis de decisão de acordo com os atributos constantes na Tabela 1 e os critérios de pesos conforme a Tabela 2. Trata-se de um modelo de decisão *a priori*: o gestor é consultado uma única vez, antes do início do processo de otimização, e a informação obtida quanto aos seus interesses é usada para guiar a busca pela solução favorita pertencente à fronteira de Pareto.

## Tabela 1

### Atributos das variáveis de decisão

$x_i$	Manutenção da frota
x1	Locação com segurança contratual e veículos com cobertura total e quilometragem livre
x2	Disponibilização de reposição rápida dos veículos em manutenção
x3	Transferência da burocracia para a empresa locadora
x4	Caberá à contratada entregar o veículo caracterizado
x5	Todos os veículos locados deverão receber a adequada manutenção preventiva

(continua)

## Tabela 1 (conclusão)

### Atributos das variáveis de decisão

$y_i$	Disponibilidade da frota
y1	Os veículos locados deverão ser substituídos por veículos reserva em 48 horas
y2	Adequação da frota às características operacionais
y3	Disponibilização no mercado de locação da frota em todo o território
y4	Dimensionamento adequado da frota em relação à demanda
y5	Renovação da frota no momento econômico ideal

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os decisores definiram os atributos da Tabela 1 com os pesos para cada critério conforme Tabela 2, criando, a partir da soma dos atributos para cada variável de decisão,  $X^a$  e  $Y^a$ .

Uma vez definido cada atributo das variáveis de decisão, o processo agora é definir a pontuação das alternativas, e, desse modo, as empresas (alternativas) que estão concorrendo serão avaliadas e pontuadas de acordo com cada atributo, utilizando os pesos da Tabela 2. A pontuação final da empresa é dada pela soma final dos atributos de cada variável de decisão, variando de 0 a 10 a respectiva pontuação em  $X^a$  e  $Y^a$ .

## Tabela 2

### Critérios de pesos para atributos das variáveis de decisão

Critérios de pesos para os atributos	Peso
Não significativa	0
Significativa	1
Muito significativa	2

Fonte: Elaborada pelo autor.

Dadas as definições dos pesos (Tabela 2) nos atributos da Tabela 1, utiliza-se a Tabela 3 para reclassificar os pesos em notas a partir de intervalos de escalonamento da soma dos atributos por função objetiva,  $f(X^a)$  e  $f(Y^a)$ . Trata-se de um modelo de decisão discreto, pois tem um número finito de alternativas.

### Tabela 3

#### *Critérios intervalares de escalonamento para atributos das funções objetivas X e Y*

Critérios	Notas	Intervalos da soma (X + Y)
Não haverá melhora na gestão	0	De 0 a 4
Melhora na gestão, mas não acentuada	1	De 5 a 7
Melhora acentuada na gestão	2	De 8 a 10

Fonte: Elaborada pelo autor.

São duas variáveis de decisão,  $X^a$  e  $Y^a$ , com três notas (0, 1 e 2) atribuídas pela Tabela 3 a partir dos pesos sobre os atributos da Tabela 1. A ordem  $(X^a, Y^a)$  é relevante. Sendo  $X^a = 2$  e  $Y^a = 1$ , então o ponto (2, 1) é diferente do ponto (1, 2). Como os atributos independentes que respaldam as duas variáveis ( $X^a$  e  $Y^a$ ) com diferença na ordem podem ser repetidos (1, 1), então o problema terá nove alternativas, dado o arranjo com repetição  $A_{(n, p)} = n^p$ .

O modelo é apresentado nas equações de (1) a (17), em que Z representa a função utilidade aditiva, revelando as preferências dos decisores por meio dos parâmetros de qualidade da gestão, usada para decidir qual empresa será aceita dada a mudança de frota própria para locada (terceirizada); e (1) e (2) são as funções objetivas, funções constantes conforme os intervalos para as variáveis de decisão  $X^a$  e  $Y^a$  da alternativa A. Então o problema de otimização configura-se em:

- Maximizar:

$$Z_x^a = f(X^a) = \begin{cases} 0 & \text{se } 0 < X^a \leq 4 \\ 1 & \text{se } 4 < X^a \leq 7 \\ 2 & \text{se } 7 < X^a \leq 10 \end{cases} \quad (1)$$

$$Z_y^a = f(Y^a) = \begin{cases} 0 & \text{se } 0 < Y^a \leq 4 \\ 1 & \text{se } 4 < Y^a \leq 7 \\ 2 & \text{se } 7 < Y^a \leq 10 \end{cases} \quad (2)$$

$$Z^a = (Z_x^a, Z_y^a) \quad (3)$$

$$Z^a = (f(X^a), f(Y^a)) \quad (4)$$

$$Z^a = f(X^a) + f(Y^a) = Z_x^a + Z_y^a \quad (5)$$

- Sujeito às restrições:

$$0 < X^a, Y^a \leq 10 \quad (6)$$

$$X^a + Y^a \geq 13 \quad \forall X^a, Y^a \geq 5 \quad (7)$$

$$Z^a = f(X^a) + f(Y^a) = Z_x^a + Z_y^a \geq 3 \quad \forall Z_x^a, Z_y^a > 0 \quad (8)$$

$$d_i = (X_x^a, Y_y^a) \in D = \text{Espaço de decisão} \quad (9)$$

$$Z^a = (Z_x^a, Z_y^a) \in Z = \text{Espaço de objetivos} \quad (10)$$

$$Z = Z_x^a + Z_y^a \geq 3 \quad (11)$$

$$Z_x^a, Z_y^a \in N / 0 \leq Z_x^a, Z_y^a \leq 2 \quad (12)$$

$$p_x Z_x^a + p_y Z_y^a \leq L_e \quad (13)$$

$$\Delta z_i \rightarrow \Delta \text{Custos de } z_i = \Delta p_i z_i \quad (14)$$

$$x_i, y_i, \in N / 0 \leq x_i, y_i \leq 2 \quad (15)$$

Sendo:

$$X^a = \sum_1^5 x_i = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \quad (16)$$

$$Y^a = \sum_1^5 y_i = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 \quad (17)$$

Cada vetor  $d_i$  (9) no domínio do espaço de decisão  $D$  terá como imagem um vetor  $z$  do espaço de objetivos  $Z$ . O espaço de busca  $D$  é o domínio (delimitado ou não) que contém os valores dos parâmetros e corresponde ao espaço de soluções. A dimensão do espaço de busca é definida pelo número de parâmetros envolvidos nas soluções (por exemplo, se cada solução é formada por três parâmetros, o espaço de busca é tridimensional).

Para cada solução  $d_i = (X_x^a, Y_y^a)$  em  $D$ , existe um ponto  $Z^a = (Z_x^a, Z_y^a)$  no espaço objetivo  $Z$ , conforme mostra a Tabela 3. Para o caso de objetivos conflitantes, quando a otimização de um dos objetivos causa a deterioração dos outros, não é suficiente uma otimização mono-objetiva. Em otimização multiobjetivo, o conceito de otimalidade baseia-se no conceito de dominância de Pareto. Nesse problema específico, as duas funções objetivas especificam critérios de gestão da frota em que o aumento da qualidade e quantidade das respectivas funções eleva os custos da empresa. Como elas estarão em processo concorrencial, espera-se que levarão ao limite as ofertas em termos de qualidade e quantidade dos atributos; logo, para aumentar  $X$ ,  $Y$  deverá ser sacrificado, e vice-versa.

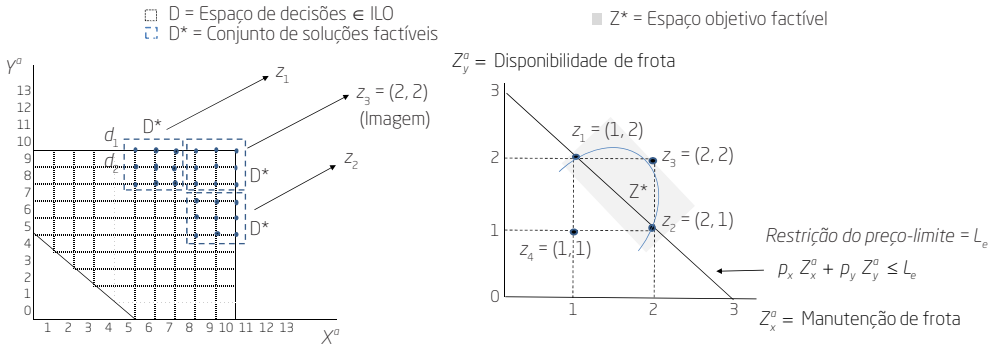
O conceito de solução ótima é substituído pelo conceito de eficiência, que está relacionado com o conceito de não dominância, estando o primeiro associado ao espaço das soluções (decisão), e o segundo, ao espaço dos objetivos (critérios). A informação de preferências do decisor é obtida por meio da escolha da função objetivo a otimizar.

A restrição (7) no espaço de decisão equivale à restrição (11) no espaço dos objetivos, porque o gestor definiu que as possibilidades de aceitação para mudança de frota própria para locada ocorrerão se a soma das variáveis dos atributos, sintetizadas pela Tabela 3, no que concerne aos pesos dos critérios, for, no mínimo, igual a 3, o que significa limitar a aceitação a um grau mínimo de qualidade de gestão.

Dois critérios representam as preferências dos decisores, dados nas funções objetivas e restrições: 1. conforme a soma dos pesos atribuídos aos atributos, haverá uma escala de notas que mostrará o grau de melhora na gestão esperada com aquela alternativa; 2. a soma das variáveis de decisão será, no mínimo, igual a 3, o que significa impor que não se aceitará alternativa com nota zero nas variáveis de decisão, correspondendo a um grau mínimo de qualidade de gestão aceitável.

Uma vez utilizados os parâmetros definidos nas tabelas de 1 a 3, com a função objetivo e as restrições do modelo, a Figura 3 mostra os resultados possíveis e as respectivas soluções ótimas, dado que a restrição orçamentária (13) será encontrada no modelo de EE com uso do TCO.

**Figura 3**  
**Espaço de decisão e objetivos do modelo**



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 3, cada vetor  $\vec{Z}^a = (Z_x^a, Z_y^a)$  é o par de variáveis de decisão escolhidas de  $X^a$  e  $Y^a$  da alternativa A, que é o conjunto de indicadores de gestão que compõem a gestão da frota preferível pelo decisor. Como se decidiu que o vetor deveria ser superior ou igual a 3 (a soma dos graus de gestão revelados nos indicadores sequenciais do vetor),  $\vec{Z}^a \geq 3$ , então em quaisquer dois ou mais conjuntos de variáveis de decisão que tenham como soma 3, o decisor será indiferente,  $(2, 1) \sim (1, 2)$ ,  $Z_1 \sim Z_2$ , pois estão sobre a curva de indiferença imposta pela restrição (13). Um vetor  $\vec{Z}^a$  com soma acima de 3 será preferível a um outro com soma 3,  $\vec{Z}^a = 3$ ; assim,  $(2, 2) \succ (1, 2)$ , significando que o decisor prefere estritamente  $Z_3 = (2, 2)$  a  $Z_2 = (1, 2)$ .

Conforme as premissas, como os custos de cada variável de decisão são elevados de acordo com o aumento do grau de qualidade do respectivo item, ocorrerá um aumento no custo total  $\Delta p_i z_i$  que poderá superar a restrição que é o custo (preço) limite  $L_e$ . Esse limite  $L_e$ , dado na Equação (13), corresponde ao custo atual de se manter a frota própria. A ideia central é que, para se mudar de frota própria para locada, além dos critérios de melhora de gestão, os custos não irão aumentar. Seria focar a eficiência e aumentar a qualidade e quantidade de serviços sem aumentar os custos. Em (14), afirma-se que variações em  $\Delta z_i$  provocarão mudanças nos custos  $\Delta p_i z_i$ .

A curva (Figura 3 – espaço dos objetivos), formalizada pela restrição (13) do custo limite  $L_e$ , tem inclinação negativa, sinalizando que sempre que o decisor (governo) abrir mão de um certo grau de qualidade de um indicador de gestão X, será necessária uma compensação, com certo grau de melhora, em outro indicador Y de gestão. Por exemplo, para ele aceitar diminuir a



“liquidez” de carro reserva, terá que ampliar a capacidade de adequação da frota.

O problema aqui exposto tem múltiplos objetivos, traduzidos no vetor  $\bar{Z}^a$  com indicadores e seus graus de gestão aceitáveis e que estão no conjunto de soluções ótimas, denominado fronteira Pareto-ótima ou não dominada. As funções objetivas equivalem a querer concomitantemente uma melhor gestão com  $Z_x^a =$  Manutenção da frota e  $Z_y^a =$  Disponibilidade da frota. Além disso, o gestor depara-se com a restrição de que a mudança de gestão não poderá ampliar os custos atuais. Nesse contexto,  $Z^a = (Z_x^a, Z_y^a)$  é a função de maximização da função gestão, dados os critérios traduzidos nos indicadores.

Na Figura 3, o espaço de objetivos é plotado com as funções que objetivam maximizar o modelo de gestão de frota, dada a possibilidade da decisão sobre aspectos relevantes de gestão, definidos *a priori*. As funções objetivas (1) e (2) mapeiam os pontos exequíveis no espaço de decisão. O parâmetro de custo é o custo da frota própria, e, assim, a mudança para a frota locada tem a restrição equivalente aos custos de permanecer com a frota própria de viaturas. A função  $Z^a$  faz o mapeamento no espaço de decisão na busca de suas imagens, criando, dadas suas restrições,  $Z^*$  como o espaço de objetivos factíveis.

Dada a restrição (11), os dois vetores  $\bar{z}_1$  e  $\bar{z}_2$  plotados na Figura 2 têm, por parte do decisor, indiferença na preferência. No ponto (2, 2), há uma cesta com atributos do grau de gestão de mudança melhor, pois está acima da restrição, mas, para que as empresas terceirizadas trabalhem nesse ponto, o custo seria maior, provocando um preço proibitivo, acima do preço-limite. Já no ponto (1, 1), há uma cesta com atributos do grau de mudança menor, o que faria as empresas terceirizadas, dadas as exigências menores, trabalharem nesse ponto com o custo menor, levando a um preço abaixo do preço-limite.

Para um vetor  $\bar{z}_i$  com soma nos atributos acima de 3,  $(2, 2) \succ (1, 2)$ , este será preferível a um com soma  $\bar{z}_i = 3$ , mas, como os custos  $p_i z_i$  de cada variável de decisão aumentam com a elevação do grau de qualidade, poderá ocorrer um aumento no custo total que poderá superar a restrição imposta pelo preço-limite  $L_e$ , plotada na Figura 2. Já considerando vetores com somas iguais, como  $(2, 1) \sim (1, 2)$ ,  $Z_1 \sim Z_2$ , o decisor será indiferente na preferência. Embora  $(2, 2)$  possa ser preferida, não será possível dadas as restrições e pela possibilidade de maiores custos, então os vetores  $\bar{z}_1$  e  $\bar{y}_2$  possuem soluções ótimas. Como só uma solução é escolhida, o conjunto de critérios de “desempate”, traduzido no edital de licitação, irá ponderar o “voto de minerva”.

Dados os preços  $p_x$  e  $p_y$ , que equivalem aos custos revelados pelas empresas para disponibilizar os itens, atributos da Tabela 1, a alternativa  $(Z_x^a, Z_y^a)$  tem preferência revelada. Quanto às cestas de graus de indicadores de gestão dos dois vetores  $\bar{z}_1$  e  $\bar{z}_2$ , dada a restrição, é revelada preferida à cesta  $\bar{z}_4$ , que poderia ser escolhida.

Situação Pareto eficiente é a linha da fronteira delimitada pela restrição, e, ao longo dessa linha, temos a situação de garantia de eficiência na mudança de gestão da frota. Dado que a soma aceitável dos pontos dos critérios é acima de 2 e como a função pontuação está no  $Z_+$  (inteiros não negativos), trata-se de um problema de programação linear inteira multiobjetiva.

## Modelo de engenharia econômica

Na busca por preço de equilíbrio ou limite (Le), é necessário avaliar os projetos ou investimentos em pauta. Depreende-se que o princípio da eficiência deve levar à decisão que maximize a relação custo-benefício. A eficiência dos meios, com significativa redução dos desperdícios, deverá contribuir para ampliar os benefícios sociais com a mesma parcela de recursos, sem aumentar os custos.

Desse modo, a avaliação pelo TCO proporciona métricas para aferir esses custos. O TCO envolve o custeio do ciclo de vida na avaliação do preço “margem zero” e a avaliação dos custos totais envolvidos (Ellram & Siferd, 1998).

Os projetos não são mutualmente excludentes, ou seja, não necessariamente a opção por um anula o outro. Há a opção de usar um *mix* entre as duas opções: 60% da opção A (frota própria) e 40% da opção B (frota locada), ou outra relação. Deve-se tomar cuidado na análise exclusiva sobre o custo, levando a decisão para a opção de menor custo, negligenciando o foco principal quando se trata de um bem público, em que o objetivo precípua é o serviço à sociedade.

Os fluxos de saídas são claros, determinísticos, pois são relacionados com os diversos gastos envolvidos nas opções de frota própria ou locada, devendo ser mensurados no ciclo de vida do produto. Já os benefícios são de difícil mensuração, pois não envolvem entradas de recursos financeiros, mas a satisfação da população por um serviço. Nesse ponto, podem-se comparar as saídas de fluxos de caixa pelo valor presente líquido (VPL) e depois ponderar, de acordo com análise comparativa dos benefícios qualitativos entre as opções, sobre maior agilidade na decisão e flexibilidade de frota, definidos na Tabela 1.

## Avaliação da frota própria

A vida econômica de um bem é caracterizada pelo ponto ótimo de substituição em que o custo é mínimo. Neste trabalho, o ponto ótimo de substituição é dado, ou seja, é uma variável exógena. Isso ocorre porque a análise histórica dos dados da Polícia Militar do Ceará demonstra que, a partir de dois anos, os diversos custos envolvidos na frota própria crescem exponencialmente, e, assim, 24 meses é o tempo usado. A Equação (18) define o VPL.

A equação do VPL é:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{R_{Lt}}{(1+k)^t} + \frac{Rs_t}{(1+k)^t} \quad (18)$$

em que:  $I$  é o investimento inicial;  $R_{Lt}$ , os retornos líquidos esperados;  $t$ , o prazo de análise do projeto;  $k$ , o custo de capital definido pela taxa de desconto; e  $Rs_t$ , o valor residual do projeto no tempo  $t$ .

Uma vez analisados os gastos e como os benefícios são incomensuráveis em termos monetários, leva-se  $Rs_t$  a zero no cálculo do VPL, embora os benefícios devam ser mensurados e ponderados de acordo com os pressupostos básicos do modelo de forma qualitativa, o que é feito pelas análises multiobjetivo e multicritério.

Como  $R_{Lt}$  são os fluxos de retornos líquidos (receitas-custos) esperados, quando se leva  $Rs_t$  a zero, permanecem os custos (e despesas)  $-C_t$ , e o VPL se torna valor presente do veículo próprio ( $VP_p$ ), conforme a Equação (19):

$$VP_p = -I - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+k)^t} + \frac{Rs_t}{(1+k)^n} \quad (19)$$

Como parte dos gastos sofridos ao longo do período de manutenção da frota própria, define-se a depreciação linear a partir de uma vida útil de  $N$  períodos (anos, meses). A depreciação é o processo pelo qual os investimentos realizados em bens necessários para a operação transformam-se em custos ou despesas, então:

$$C_{dr} = \frac{1}{N} \quad (20)$$

$$D_T = \frac{P}{N} = P \cdot C_{dr} = P \cdot \frac{1}{N} \quad (21)$$

$$DT_T = \sum_1^T D_T = D_1 + D_2 \dots + D_T \quad (22)$$

sendo:

P = preço do veículo novo;

N = vida útil em anos;

T = período (ano, mês etc.) de cálculo da depreciação;

$C_{dT}$  = coeficiente de depreciação do período T;

$D_T$  = depreciação que o veículo sofrerá no período T;

$DT_T$  = depreciação total que o veículo sofrerá em sua vida útil até o período T.

O valor residual do projeto no tempo T ( $R_{st}$ ) é calculado assim:

$$Rs_T = P - DT_T \quad (23)$$

$$Rs_T = \left( P - \sum_1^T D_T \right) = P - D_1 + D_2 \dots + D_T \quad (24)$$

$$Rs_T = P - [D_1 + D_2 \dots + D_T] \quad (25)$$

Além do valor depreciado do veículo, percebe-se que o mercado o compra com um deságio ( $Dg_T$ ), pela percepção de que carros vinculados à polícia se deterioram e que o preço final de uso, já descontada a depreciação, não consegue traduzir o estado do carro.

Pode-se calcular o deságio total ( $Dg_T$ ) que o veículo sofrerá em sua vida útil até o período T. A  $Txg_{mT}$  é a taxa média de deságio no fim da vida útil padronizada, percebida como compatível pelo mercado. A partir da  $Txg_{mT}$ , calcula-se o fator básico de deságio no período T ( $Fbg_T$ ). Esse fator irá acumular um deságio crescente exponencial até o período T, subtendendo-se que o carro de segurança pública tem uma deterioração crescente e, logo, um deságio crescente. Acumulando o fator ( $Fbg_T$ ) no tempo, chega-se à taxa acumulada  $Txg_T$ , que é a taxa (percentual) de deságio até o período T. Quando  $T = N$ , tem-se  $Txg_{mT} = Txg_T$ . As equações (26) e (27) a seguir demonstram as definições:

$$Fbg_T = \left( \frac{Txg_{mT}}{100} + 1 \right)^{\frac{1}{N}} \quad (26)$$

$$Txg_T = \left[ (Fbg_T)^T - 1 \right] \cdot 100 \quad (27)$$

Uma vez definida a taxa de deságio, pode-se calcular o deságio total que o veículo sofrerá em sua vida útil até o período T ( $Dg_T$ ).

$$Dg_T = Rs_T \cdot \frac{T_xg_T}{100} = (P - DT_T) \cdot \frac{T_xg_T}{100} \quad (28)$$

$$Dg_T = \left( P - \sum_1^T D_T \right) \cdot \left[ \left( F_{bg} \right)^T - 1 \right] \quad (29)$$

sendo:

$Rs_T$  = valor residual no fim do período T;

$F_{bg}$  = fator básico de deságio no período T;

$T_xg_T$  = taxa de deságio até o período T;

$T_xg_m$  = taxa média de deságio no fim da vida útil N;

$Dg_T$  = deságio total que o veículo sofrerá em sua vida útil até o período T.

Incorporando o deságio ( $Dg_T$ ) na Equação (19), chega-se à equação definitiva do  $VP_p$ , conforme as equações (30) e (31):

$$VP_p = -P - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+k)^T} + \frac{Rs_t}{(1+k)^T} - \frac{Dg_t}{(1+k)^T} \quad (30)$$

$$VP_p = -P - \sum_{t=1}^n \frac{C_T}{(1+K)^T} + \frac{\left( P - \sum_1^N D_T \right)}{(1+K)^T} - \frac{\left( P - \sum_1^N D_T \right) \cdot \left[ \left( F_{bg} \right)^T - 1 \right]}{(1+K)^T} \quad (31)$$

O  $C_T$  incorpora custos e despesas inerentes à frota própria, podendo-se incluir:

$$C_T = \sum_1^T D_T + \sum_1^T TI_T + \sum_1^T Sg_T + \sum_1^T Mn_T + \sum_1^T Vr_T + \sum_1^T Cad_T \quad (32)$$

sendo:

$C_T$  = custos e despesas incorridos com a frota própria até o período T;

$D_T$  = depreciação que a frota própria sofrerá até o período T;

$TI_T$  = taxas e impostos que a frota própria sofrerá até o período T;

$Sg_T$  = seguros com a frota própria até o período T;

$Mn_T$  = manutenção (pneus, óleo, peças etc.) que a frota própria sofrerá até o período T;

$Vr_T$  = custo com veículos reservas para disponibilidade de substituição até o período T;

$Cad_T$  = custos e despesas administrativas que a frota própria terá até o período T.

O  $VP_p$  incorpora todos os custos da vida útil do “produto” da decisão; é, então, o valor presente de uma série de pagamentos de gastos realizados durante o uso de veículos de frota própria, descontados por uma taxa de desconto  $k$ .

Os desembolsos efetivados no período do projeto referem-se não apenas ao custo, mas também a gastos que podem ser custos, despesas ou investimentos. A variável gasto efetivo total do período  $T$  ( $Ge_T$ ) demonstra esses desembolsos trazidos para o período  $T$  como uma média por período, utilizando-se o fator de recuperação de capital – FRC (que aqui pode ser chamado de custo de recuperação de capital – CRC). Este pode ser considerado o montante despendido do gasto por período para o uso da frota própria. O  $Ge_T$  é o mesmo conceito do  $Caue$  para o período  $T$ .

$$VP_P = -P - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+k)^T} + \frac{Rs_t}{(1+k)^T} - \frac{Dg_t}{(1+k)^T} \quad (33)$$

$$C_T = \sum_1^T D_T + \sum_1^T TI_T + \sum_1^T Sg_T + \sum_1^T Mn_T + \sum_1^T Vr_T + \sum_1^T Cad_T \quad (34)$$

$$Ge_T = \left[ -P - \sum_{t=1}^n \frac{C_T}{(1+K)^T} + \frac{R_{ST}}{(1+K)^T} - \frac{Dg_T}{(1+K)^T} \right] \cdot \left[ \frac{K \cdot (1+K)^T}{(1+K)^T - 1} \right] \quad (35)$$

$$FRC_T = \frac{K \cdot (1+K)^T}{(1+K)^T - 1} \quad (36)$$

### Avaliação da frota locada

A diferença para a frota própria é a ausência de variáveis de gastos que não estarão presentes nessa modalidade. Na frota locada, o locatário recebe de outrem (o locador) uma coisa ou um serviço, mediante um contrato de locação, obrigando-se a pagar por isso o preço ajustado. Assim, o valor presente do veículo locado ( $VP_L$ ) é o valor presente de uma série de pagamentos referentes ao contrato de locação, realizados durante o uso de veículos de frota locada, descontados por uma taxa de desconto  $k$ , podendo ser essa taxa o custo de oportunidade.

$$VP_L = \sum_1^T \frac{L_T}{(1+K)^T} \quad (37)$$

em que:

$VP_L$  = valor presente do veículo locado;

$L_T$  = preço da locação por período T ( $L_T = L$  para prestação, pagamento fixo);

T = período (ano, mês etc.) da locação;

K = custo de capital definido pela taxa de desconto.

### Preço-limite (equilíbrio), preço ótimo e margem de segurança

Haverá uma situação de equilíbrio quando o valor presente dos desembolsos de ambas as opções for igual. Equilíbrio no sentido de que, se os valores são iguais, financeiramente seria indiferente optar por um ou outro. Nesse caso, a decisão se daria pela percepção de qual opção traria mais retornos sociais e melhores níveis de gestão do processo.

Mesmo não sendo mensuráveis de forma quantitativa, qualitativamente é possível mensurar os benefícios sociais e de gestão pelas variáveis: satisfação dos policiais e da comunidade, tempo de resposta, maior tempo de utilização, frota sempre nova, segurança de que os carros estarão sempre disponíveis, entre outras. Igualando as equações, tem-se o seguinte:

$$VP_L = VP_P \quad (38)$$

$$\sum_1^T \frac{L_T}{(1+K)^T} = -P - \sum_{t=1}^n \frac{C_T}{(1+K)^T} + \frac{(P - \sum_1^N D_T)}{(1+K)^T} - \frac{(P - \sum_1^N D_T) \cdot [(F_{bg})^T - 1]}{(1+K)^T} \quad (39)$$

Para uma prestação fixada L de locação, tem-se o equilíbrio:

$$L_T = VP_P \quad (40)$$

$$L_T = -P - \sum_{t=1}^n \frac{C_T}{(1+K)^T} + \frac{R_{ST}}{(1+K)^T} - \frac{Dg_T}{(1+K)^T} \quad (41)$$

$$L_T = L_e = Ge_T + \frac{R_{ST}}{(1+K)^T} \quad (42)$$



em que:

$VP_p$  = valor presente do veículo próprio;

$VP_L$  = valor presente do veículo locado;

$L_T$  = preço da locação por período T – aluguel mensal ou outro período T;

$L_e$  = valor da locação de equilíbrio;

K = custo de oportunidade ou taxa de desconto;

$Ge_T$  = gasto efetivo total até o período T;

$R_{ST}$  = valor residual no fim do período T;

$Dg_T$  = deságio total que o veículo sofrerá em sua vida útil até o período T.

O  $L_e$  mostra o resultado da análise custo-benefício entre frota própria e locada. Para valores de  $L_T > L_e > VP_p$ , financeiramente não haverá vantagem em se optar pela frota locada. Para valores de  $L_T < L_e < VP_p$ , financeiramente haverá vantagem em se optar pela frota locada.

O preço-limite de equilíbrio ( $PL_T$ ) é aquele que iguala os custos entre frota própria e locada, conforme a Equação (43). É chamado também de preço proibitivo, já que, a partir deste ponto, traria “prejuízos”, pois ultrapassaria os custos da frota própria.

Definiu-se margem de segurança como um seguro contra as adversidades e situações inesperadas, como ruptura de contratos. O parâmetro usado para definir a margem também foi o percentual histórico de carros “inservíveis”. Com um percentual sobre o  $PL_T$ , o estado ficaria com margem de segurança quanto aos riscos envolvidos. O preço ótimo seria o preço-limite, descontada a margem de segurança.

$$PL_T = L_e \quad (43)$$

$$PO_T = (1 - ms) \cdot L_e \quad (44)$$

$$MS_T = PL_T - PO_T \quad (45)$$

$$PO_T = (1 - ms) \cdot L_e \quad (46)$$

em que:

$PL_T$  = preço-limite de equilíbrio;

$PO_T$  = preço ótimo de equilíbrio;

$MS_T$  = valor da margem de segurança;

ms = percentual unitário da margem de segurança;

$L_e$  = valor da locação de equilíbrio.

## RESULTADO DO MODELO PROPOSTO COM USO DE DADOS REAIS

Consideremos a seguinte suposição: o órgão avaliará a possibilidade de contratar, por meio de locação, um veículo da marca KX9 4x4 diesel 16v (para não expor modelos usados no estado do Ceará, indica-se um modelo de carro fictício), ou o comprará e incorporará à frota própria. O automóvel tem as seguintes características, que estão distribuídas para cálculo na Tabela 4:

1. Valor de mercado de R\$ 100.000,00 e depreciação conforme vida útil de quatro anos.
2. Seguro obrigatório e imposto sobre a propriedade de veículos automotores (IPVA) equivalem a aproximadamente 2% do valor do veículo.
3. Os custos de manutenção equivalem a aproximadamente 1,5% do valor do carro.
4. O seguro, dadas as características de uso, está em torno de 2,5% do valor do veículo.
5. Os custos administrativos de gerir a frota própria estão em torno de 0,2% do valor do veículo.
6. Veículo reserva é um percentual da frota que deverá ficar em “estoque” para uso imediato devido às indisponibilidades ocasionadas por serviços preventivos, serviços corretivos ou avarias por batidas, entre outras adversidades. Será usada a taxa de 10% sobre a frota, igual à média de veículos em indisponibilidade na Polícia Militar do estado do Ceará.
7. Foi utilizada como custo de oportunidade taxa de desconto de 1% a.m.
8. A análise foi feita para uso do carro por dois anos.

### Tabela 4

#### Variáveis usadas na avaliação

1	Frota própria	Base	Mês 0	Mês 1	Meses 2-24	Mês 25
2	Valor do carro (mercado)		100.000			0
3	Depreciação (4 anos) para 2 anos	50.000		2.083	2.083	
4	Valor do carro após a depreciação - 2 anos	50.000				
5	Deságio de 30% sobre depreciado total	7.000				
6	Valor de venda final (depreciação e deságio)	43.000				43.000

(continua)

**Tabela 4 (conclusão)****Variáveis usadas na avaliação**

Frota própria		Base	Mês 0	Mês 1	Meses 2-24	Mês 25
7	Impostos + taxas (2% do valor atual por ano)		2.000			
8	Manutenção (1,5% do valor do carro)			1.500	1.500	
9	Seguro (2,5% do valor do carro)		2.500			
10	Administração (0,2% do valor do carro)		200	200	200	
11	Veículo reserva (indisponibilidade) - 10%		417	417	417	
12	Subtotal		-102.617	-2.117	-2.117	43.000
13	Total	-114.022	-102.617	-2.117	-2.117	43.000
14	Valor presente (taxa e 1% a.m.)	-117.241	-102.617	-2.096	.....	33.530
15 Frota locada		Base	Mês 0	Mês 1	Meses 2-24	Mês 25
16	Valor da locação de equilíbrio	-5.519		-5.519	-5.519	
17	Total	-132.456		-5.519	-5.519	0
18	Valor presente (taxa e 1% a.m.)	-117.242		-5.464	-5.410	0
$L_e$ = valor da locação de equilíbrio:			5.519			

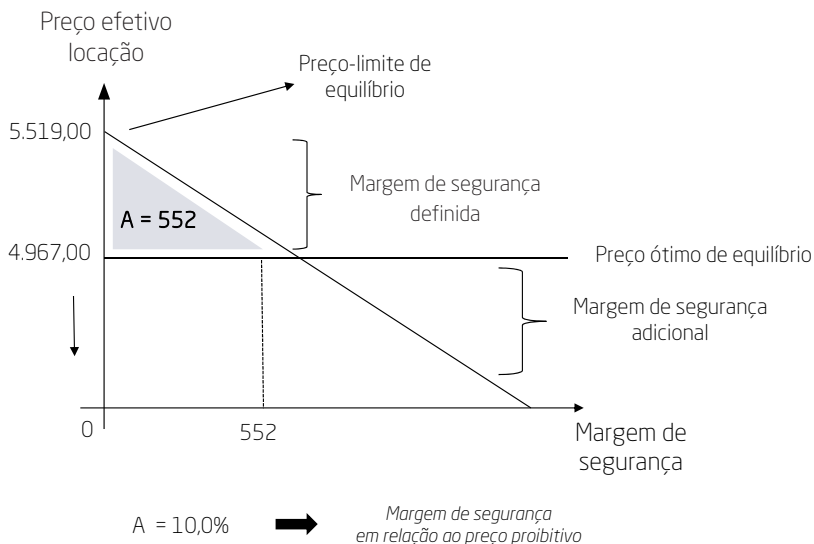
Fonte: Elaborada pelo autor.

Após o fluxo de custos ser trazido a valor presente, o preço-limite de equilíbrio ( $PL_e$ ) é aquele que iguala os custos entre frota própria e locada (Equação 43). Esse preço é de R\$ 5.519,00 de custo mensal para a frota locada, a fim de que a locação possa ser viável. A partir desse ponto, esse valor traria “prejuízos”, pois ultrapassaria os custos da frota própria. Os custos para manter um carro modelo KX9 por dois anos, trazidos para o presente, são iguais a R\$ 117.241,07.

Definiu-se uma margem de segurança (Equação 45). O parâmetro usado para definir a margem também foi o percentual histórico de carros “inservíveis”. Supondo ser de 10,0% sobre o preço-limite de equilíbrio, o estado ficaria com margem de segurança para os riscos envolvidos. A margem de segurança calculada é de R\$ 552,00 (10,0% sobre R\$ 5.519,00) para o modelo KX9 e é traduzida no preço ótimo de equilíbrio de R\$ 4.967,00, sendo esse valor o ponto econômico ótimo em que o estado estabelece uma linha de segurança de 10,0% abaixo do preço-limite ou proibitivo para fazer frente às adversidades. Para preços abaixo do preço ótimo de equilíbrio (R\$ 4.967,00), teremos margem de segurança adicional, conforme mostra a Figura 4.

**Figura 4**

**Preço-limite de equilíbrio versus preço ótimo de equilíbrio**



Fonte: Elaborada pelo autor.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O parâmetro-chave do modelo proposto é o preço-limite de equilíbrio ( $L_e$ ), que baliza o conjunto de soluções ótimas. No resultado, observa-se que o  $L_e$  é de R\$ 5.519,00. Esse preço é proibitivo porque iguala os custos entre ter carro próprio e locado, e, assim, quanto mais baixo o  $L_e$  for, melhor será o valor da locação. Para o governo ter um parâmetro de segurança, estabeleceu-se o preço ótimo de R\$ 4.967,00, valor 10,0% abaixo do preço-limite, o que cria uma margem de segurança para os riscos envolvidos.

Sugere-se que, na decisão por frota locada, um percentual da frota de veículos continue como própria para dar segurança ao órgão de que não faltará serviço à sociedade, caso ocorra uma ruptura contratual com as empresas locatárias.

A decisão da secretaria deverá ser balizada pelos seguintes parâmetros:

1. Preço-limite de equilíbrio (preço proibitivo) e preço ótimo de equilíbrio: essa é a restrição imposta pelo critério multiobjetivo na Equação (13) e que modela a fronteira Pareto-ótima.

2. Critérios de gestão definidos na Tabela 1, que servirão para resguardar a eficiência no contrato de locação e gerar benefícios para a sociedade, além do financeiro.
3. Escolha de um vetor  $\bar{Z}^a = (Z_x^a, Z_y^a)$  Pareto-ótimo. Com os atributos da Tabela 1, os critérios de pesos da Tabela 2 e as notas intervalares da Tabela 3, os pontos ótimos (1,2) e (2,1) devem ser escolhidos para as empresas que estão concorrendo ao pleito. Em caso de empate, podem-se definir critérios de desempate no edital de licitação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi apresentado um modelo híbrido multicritério e de EE para suporte à decisão na gestão de frota, objetivando qualificar a decisão governamental ante as opções para gerenciamento, maximizando a qualidade da gestão.

A partir do uso da Maut na construção de soluções ótimas, definiram-se indicadores de gestão endógenos ao modelo. Utilizou-se a programação linear inteira num modelo multiobjetivo em complemento à análise custo-benefício com uso de método de EE.

A metodologia proposta inova ao integrar critérios econômico-financeiros e de gestão da frota com método multicritério. Ainda, incorpora-se a análise de ponto de equilíbrio e margem de segurança para a decisão.

Os resultados confirmam a compatibilidade entre os métodos, dotando o órgão público de uma ferramenta metodológica que qualifica a decisão com base em um modelo que revele as preferências em termos de atributos relevantes para uma boa gestão, respeitando as restrições orçamentárias.

## REFERÊNCIAS

- Amato Neto, J. (2014). *Gestão estratégica de fornecedores e contratos: Uma visão integrada*. Saraiva.
- Belton, V., & Stewart, T. J. (2002). *Multiple criteria decision analysis: An integrated approach*. Kluwer Academic.
- Bregalda, P. F. C. (2017). Modelos e técnicas de tomada de decisão em análise multicritério: Aplicações em avaliação de imóveis. *XIX Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias*.
- Chen, Y., Kilgour, D. M., & Hipel, K. W. (2008). Screening in multiple criteria decision analysis. *Decision Support Systems*, 45, 278–290. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2007.12.017>

- Clímaco, J., Antunes, C. H., & Alves, M. J. (1996). Programação linear multiobjectivo: Métodos interactivos, “software” e aplicações. *Impresso na secção de textos da FEUC*, Coimbra.
- Coser, T., & Souza, M. A. (2017). Custo total de uso e propriedade (TCO): Estudo de caso em uma indústria gráfica do Rio Grande do Sul (RS). *Contabilidade Vista e Revista*, 28(1), 67–88.
- De La Vega, D. S., Vieira, J. G. V., Toso, E. A. V., & De Faria, R. N. (2017). A decision on the truckload and less-than-truckload problem: An approach based on MCDA. *International Journal of Production Economics*, 195, 132–145. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.09.013>
- Diniz, J., & Paixão, M. (2017). Viabilidade econômica da terceirização ou compra de frota de veículos para empresa de fertilizantes minerais. *Revista IPecege*, 3(3), 49–55.
- Ellram, L. M., & Siferd, S. P. (1998). Total cost of ownership: A key concept in strategic cost management decisions. *Journal of Business Logistic*, 19(1), 55–84.
- Faria, L. F. F., Asevedo, L. F., Vieira, J. G. V., & Silva, J. E. A. R. A combined approach of multiple-criteria decision analysis and discrete-event simulation: Lessons learned from a fleet composition study. *World Review of Intermodal Transportation Research*, 9(2), 97–119.
- Feldens, A. G., Muller, C. J., Filomena, T. P., Castro, A. S., & Anzanello, M. J. (2010). Política para avaliação e substituição de frota por meio da adoção de modelo multicritério. *ABCustos*, 5(1), 61–91. <https://doi.org/10.47179/abcustos.v5i1.86>
- Garo Jr., W. R., & Guimarães, M. R. N. (2018). Competitive priorities and strategic alignment as mediators in the relationship between companies in the Brazilian automotive supply chain. *South African Journal of Industrial Engineering*, 2(1), 184–194. <https://hdl.handle.net/10520/EJC-f9a10be19>
- Gomes, F. A. M., & Gomes, C. F. S. (2019). *Princípios e métodos para tomada de decisão: Enfoque multicritério* (6a ed.). Atlas.
- Hammond, J. S., Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1999). *Smart choices: A practical guide to making better decisions*. Harvard Business School Press.
- Hoff, A., Andersson, H., Christiansen, M., Hasle, G., & Løkketangen, A. (2010). Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing. *Computers and Operations Research*, 37(12), 2041–2061. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2010.03.015>

- Imhoff, M. M., & Mortari, A. P. (2005). Terceirização: Vantagens e desvantagens para as empresas. *Revista Eletrônica de Contabilidade*, 2(3), 82–94. <https://doi.org/10.5902/198109466219>
- Kocher, M., & Sutter, M. (2005). The decision maker matters: Individual versus group behaviour in experimental beauty-contest games. *Economic Journal*, 115(3), 647–663. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2004.00966.x>
- Lima, J. D., Trentin, M. G., Oliveira, G. A., Batistus, D. R., & Setti, D. (2015). A systematic approach for the analysis of the economic viability of investment projects. *International Journal of Engineering Management and Economics*, 5(1–2), 19–34. <https://www.inderscienceonline.com/doi/pdf/10.1504/IJEME.2015.069887>
- Machado, D. G, Fernandes, F. C., & Bianchi, M. (2016). Teoria da Agência e governança corporativa: Reflexão acerca da subordinação da contabilidade à administração. *Revista de Auditoria, Governança e Contabilidade*, 4(10), 39–55. <https://www.fucamp.edu.br/editora/index.php/ragc/article/view/642>
- Matsuada, L. M., Évora, Y. D. M., & Boan, F. S. (2000). O Método Desdobramento da Função Qualidade – QFD – no planejamento do serviço de enfermagem. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 8(5), 97–105. <https://doi.org/10.1590/S0104-11692000000500015>
- Meixell, M. J., & Norbis, M. (2008). A review of the transportation mode choice and carrier selection literature. *The International Journal of Logistics Management*, 19(2), 83–211. <https://doi.org/10.1108/09574090810895951>
- Moreira, P. B., Viana, N. F. F. M., & Carvalho, A. C. M. (2016). Análise do processo de “administração da frota de veículos”: Um estudo de caso em um órgão federativo do estado de Minas Gerais. *Revista Pensar Gestão e Administração*, 5(1), 2–23.
- Onkham, W., Karwowski, W., & Ahram, T. Z. (2012). Economics of human performance and systems total ownership cost. *Journal Work*, 41, 2781–2788. <https://doi.org/10.3233/wor-2012-0524-2781>
- Redelbach, M., Propfe, B., & Friedrich, H. E. (2012). Competitive cost analysis of alternative powertrain technologies. *Conference Paper*. <https://www.researchgate.net/publication/225025651>
- Silva, B. A. O., Nogueira, S. G., & Reis, E. A. (2015). Determinação do momento ótimo para substituição de equipamentos sob as óticas da gestão econômica e da engenharia econômica. *Revista de Administração e Contabilidade*, 7(1), 35–52.





- Silva, J. E. A. R. (2020). A combined approach of multiple-criteria decision analysis and discrete-event simulation: Lessons learned from a fleet composition study. *World Review of Intermodal Transportation Research*, 9(2), 97–119. <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/WRITR.2020.106915>
- Souza, M. A., Reis, H. C., & Possani, P. K. (2015). Aplicação do custo total de uso e propriedade (TCO): Estudo de caso. *Revista de Informação Contábil*, 9(2), 22–38. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=197050605005>
- Zopounidis, C., & Doumpos, M. (2002). Multi-criteria decision aid in financial decision making: Methodologies and literature review. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 11(4-5), 167–186. <https://doi.org/10.1002/mcda.333>

#### CORPO EDITORIAL

**Editor-chefe**  
Gilberto Perez

**Editor associado**  
Maurício Reinert do Nascimento

**Suporte técnico**  
Vitória Batista Santos Silva

#### PRODUÇÃO EDITORIAL

**Coordenação editorial**  
Jéssica Dametta

**Preparação de originais**  
Carlos Villarruel

**Revisão**  
Rhamyra Toledo

**Diagramação**  
Emap

**Projeto gráfico**  
Libro

