

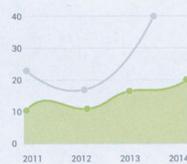
Ernane Rosa Martins
(Organizador)

Morris Charts

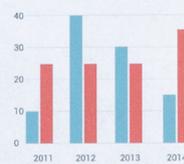
Line Chart



Area Chart



Bar Chart

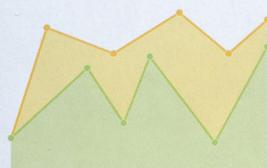


Donut Chart

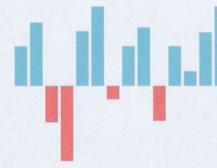


Sparkline Charts

Line Chart



Bar Chart



Pie Chart



Easy Pie Charts



Pesquisa Operacional
e sua Atuação Multidisciplinar

Ernane Rosa Martins

(Organizador)

Pesquisa Operacional e sua Atuação Multidisciplinar

**Atena Editora
2019**

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
P474	Pesquisa operacional e sua atuação multidisciplinar [recurso eletrônico] / Organizador Ernane Rosa Martins. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-478-8 DOI 10.22533/at.ed.788191107 1. Pesquisa operacional. I. Martins, Ernane Rosa. CDD 658.51
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Pesquisa Operacional (PO) utiliza a matemática, a estatística e a computação para auxiliar na solução de problemas reais, com foco na tomada das melhores decisões nas mais diversas áreas científicas e de atuação humana, buscando otimizar e melhorar suas performances. Através do uso de técnicas de modelagem matemática e eficientes algoritmos computacionais, a PO vem cada vez mais atuando na análise dos mais variados aspectos e situações de problemas complexos em demandas de inúmeras áreas, principalmente por conta de sua flexibilidade de aplicação e interação multidisciplinar, permitindo a tomada de decisões efetivas e a construção de sistemas mais produtivos.

Esta obra reúne importantes trabalhos que envolvem o uso de PO, realizados em diversas instituições de ensino do Brasil, abordando assuntos atuais e relevantes, tais como: modelos matemáticos; otimização multiobjectivo; heurísticas; algoritmos; otimização geométrica; metodologia SODA; soft systems methodology; strategic choice approach; procedimentos metodológicos de análise estatística; jogos cooperativos; algoritmos genéticos; método VIKOR; regressão linear múltipla; algoritmos de aprendizado de máquina; análise de decisão multicritério e composição probabilística de preferências.

A importância desta coletânea está na excelência dos trabalhos apresentados e na contribuição dos seus autores em temas de experiências e vivências. A socialização destes estudos no meio acadêmico, permite ampla análise e inúmeras discussões sobre diversos assuntos pertinentes referentes a atuação multidisciplinar da PO. Por fim, agradeço a todos que contribuíram na construção desta belíssima obra e desejo a todos os leitores, boas reflexões sobre os assuntos abordados.

Ernane Rosa Martins

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
UMA ABORDAGEM MULTIOBJETIVO EM UM PROBLEMA DE PRODUÇÃO COM ESTOQUE INTERMEDIÁRIO E TESTE DE FUNCIONALIDADE	
Sander Joner Neida Maria Patias Volpi Joyce Rodrigues da Silva Tulipa Gabriela Guilhermina Juvenal da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.7881911071	
CAPÍTULO 2	16
SOLUÇÕES INTEIRAS PARA O PROBLEMA DE CORTE DE ESTOQUE UNIDIMENSIONAL	
Gonçalo Renildo Lima Cerqueira Sérgio da Silva Aguiar Marlos Marques	
DOI 10.22533/at.ed.7881911072	
CAPÍTULO 3	28
OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS CARGUEIRAS VIA ECOLOCALIZAÇÃO	
Guilherme Aparecido Barbosa Pereira Ivo Chaves da Silva Júnior Luiz Rogério Andrade de Oliveira Carlos Henrique Sant'Ana da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.7881911073	
CAPÍTULO 4	41
O CASO DA INDÚSTRIA CRIATIVA DO CARNAVAL SOB O ENFOQUE DO SODA	
Ailson Renan Santos Picanço Adjame Alexandre Oliveira Mischel C.N. Belderrain Nissia Carvalho Rosa Bergiante	
DOI 10.22533/at.ed.7881911074	
CAPÍTULO 5	55
MODELO DE NEGÓCIO EM UMA COMUNIDADE AGRÍCOLA: APLICAÇÃO DE <i>SOFT SYSTEMS METHODOLOGY</i> E <i>STRATEGIC CHOICE APPROACH</i>	
Michelle Carvalho Galvão Silva Pinto Bandeira Raquel Issa Mattos Mischel Carmen Neyra Belderrain Anderson Ribeiro Correia John Bernhard Kleba	
DOI 10.22533/at.ed.7881911075	
CAPÍTULO 6	72
MODELAGEM MATEMÁTICA PARA GERAÇÃO DE ESCALAS DE TURNO	
Laiz de Carvalho Nogueira Tiago Araújo Neves	
DOI 10.22533/at.ed.7881911076	

CAPÍTULO 7	87
METODOLOGIA ADOTADA PELA ARCELORMITTAL BRASIL PARA CERTIFICAÇÃO DE PADRÕES SECUNDÁRIOS PARA ANÁLISES QUÍMICAS EM AMOSTRAS DE MINÉRIO DE FERRO DA MINA DE SERRA AZUL EM MINAS GERAIS	
Antonio Fernando Pêgo e Silva Juliana Cecília C R Vieira Luiz Paulo de Carvalho Serrano	
DOI 10.22533/at.ed.7881911077	
CAPÍTULO 8	100
JOGOS COOPERATIVOS NA ALOCAÇÃO DE CUSTOS DE ESTOQUES DE PEÇAS COMPARTILHADOS	
Bernardo Santos Aflalo Natália Nogueira Ferreira Souza Takashi Yoneyama	
DOI 10.22533/at.ed.7881911078	
CAPÍTULO 9	112
BIASED RANDOM-KEY GENETIC ALGORITHM ACCORDING TO LEVY DISTRIBUTION FOR GLOBAL OPTIMIZATION	
Mariana Alves Moura Ricardo Martins de Abreu Silva	
DOI 10.22533/at.ed.7881911079	
CAPÍTULO 10	126
AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DA QUALIDADE DA INFORMAÇÃO CONTÁBIL	
Alini da Silva Nelson Hein Adriana Kroenke	
DOI 10.22533/at.ed.78819110710	
CAPÍTULO 11	142
AVALIAÇÃO DE MODELOS COMPUTACIONAIS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA PARA DETECÇÃO REATIVA E PREVENTIVA DE BOTNETS	
Vinicius Oliveira de Souza Sidney Cunha de Lucena	
DOI 10.22533/at.ed.78819110711	
CAPÍTULO 12	158
AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS ESTATÍSTICOS NA DETECÇÃO DE ATAQUES DDOS BASEADA EM APRENDIZADO DE MÁQUINA	
Eduardo da Costa da Silva Sidney Cunha de Lucena	
DOI 10.22533/at.ed.78819110712	

CAPÍTULO 13	173
ABORDAGEM PROBABILÍSTICA À ESCOLHA DE PRODUTOS DE DEFESA: UMA APLICAÇÃO DA COMPOSIÇÃO PROBABILÍSTICA DE PREFERÊNCIAS NA AQUISIÇÃO DE BLINDADOS	
Luiz Octávio Gavião	
Annibal Parracho Sant'Anna	
Gilson Brito Alves Lima	
Pauli Adriano de Almada Garcia	
DOI 10.22533/at.ed.78819110713	
CAPÍTULO 14	189
A STOCHASTIC DYNAMIC MODEL FOR SUPPORT OF THE MANAGEMENT OF NEW PRODUCT DEVELOPMENT PORTFOLIOS	
Samuel Martins Drei	
Thiago Augusto de Oliveira Silva	
Marco Antonio Bonelli Júnior	
Luciana Paula Reis	
Matheus Correia Teixeira	
DOI 10.22533/at.ed.78819110714	
CAPÍTULO 15	205
A RELAXED FLOW-BASED FORMULATION FOR THE OPEN CAPACITATED ARC ROUTING PROBLEM	
Rafael Kendy Arakaki	
Fábio Luiz Usberti	
DOI 10.22533/at.ed.78819110715	
CAPÍTULO 16	217
A COMPOSIÇÃO PROBABILÍSTICA DE PREFERÊNCIAS COM MEDIDAS DE DESIGUALDADE: CORRELAÇÕES COM OS PONTOS DE VISTA PROGRESSISTA E CONSERVADOR	
Luiz Octávio Gavião	
Annibal Parracho Sant'Anna	
Gilson Brito Alves Lima	
DOI 10.22533/at.ed.78819110716	
SOBRE O ORGANIZADOR	233

JOGOS COOPERATIVOS NA ALOCAÇÃO DE CUSTOS DE ESTOQUES DE PEÇAS COMPARTILHADOS

Bernardo Santos Aflalo

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo

Natália Nogueira Ferreira Souza

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo

Takashi Yoneyama

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo

RESUMO: Este artigo tem o objetivo de estudar diferentes métodos de alocação de custos em um compartilhamento de estoques de componentes entre operadores aeronáuticos. Três modelos de alocação de custos de estoques foram testados: (1) proporcional ao potencial de consumo, (2) proporcional à quantidade de aeronaves e (3) utilizando o valor de Shapley, derivado da teoria dos jogos cooperativos. Com o objetivo de mostrar os ganhos relativos ao compartilhamento de estoques, a situação sem compartilhamento, na qual cada operador dimensiona separadamente seu próprio estoque, também foi simulada. Os resultados apontam que a alocação dos custos do compartilhamento de peças pelo método de Shapley Value apresenta vantagens frente aos outros métodos, permitindo ganhos individuais proporcionais à contribuição de cada operador, o que aumenta a atratividade

do compartilhamento para grandes operadores.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente, as empresas aéreas chegam a terceirizar até 65 % de todo o serviço referente à manutenção e reparo [Berger, 2014]. Este serviço tem um escopo de cobertura do avião cada vez mais completo, englobando desde itens de linha até itens estruturais.

O dimensionamento dos estoques de peças reparáveis é um ponto que merece muita atenção de seus gestores, pois um estoque maior que o necessário para suportar a frota operacional pode representar um desperdício de recursos, enquanto um estoque subdimensionado pode provocar atrasos e paradas não programadas das aeronaves. Todos os custos envolvidos no processo são de interesse direto das companhias aéreas e fabricantes de aeronaves, e uma alocação adequada destes é ponto importante para a dinâmica do negócio.

Uma alternativa econômica para gestão de estoque é o conceito de estoque *pool* de peças, ou seja, um conjunto de componentes que é compartilhado entre os operadores que operam aeronaves semelhantes, de modo a reduzir a quantidade de peças média para suportar cada aeronave [Karsten et al. 2010]. Dessa maneira,

os operadores não precisam investir diretamente nessas peças e gastos diretos como armazenamento e seguro; e indiretos como depreciação e custo de oportunidade são, então, compartilhados entre os participantes deste *pool* de peças.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é discutir diferentes maneiras de compartilhar os custos envolvidos em estoques compartilhados entre operadores. Três modelos, além da situação sem compartilhamento, são testados: (1) proporcional ao potencial de consumo, (2) proporcional à quantidade de aeronaves e (3) utilizando o valor de *Shapley*, derivado da teoria dos jogos cooperativos [Shoham e Leyton-Brown, 2009].

2 | METODOLOGIA

Para testar os modelos de compartilhamento, foram simulados 4 operadores com diferentes quantidades de aeronaves e/ou número de horas voadas por ano (HV/Ano). Os estoques de um único componente foram considerados nas análises, conforme descrito nas subseções a seguir.

2.1 Simulação das Remoções

Para estimativa do MTBUR, considera-se um componente hipotético com as seguintes características:

- Quantidade de componentes por aeronave: 2;
- Densidade de probabilidade de falha de acordo com distribuição *Weibull*, representativa de componentes reais.

Uma simulação baseada em eventos foi realizada utilizando o R, da qual as remoções foram geradas aleatoriamente. Ao final, o tempo médio entre remoções não programadas, mais conhecido como MTBUR (do inglês *Mean Time Between Unschedule Removal*) foi de 3652. Esse número, apesar de ser bem menor que a média dos componentes no mundo aeronáutico, foi utilizado pois resulta em um estoque relativamente grande de peças, o que permite exercitar a alocação de custos de uma maneira mais efetiva.

2.2 Cálculo do Custo Total de Estoques

Com as informações de MTBUR do componente e o consumo total de cada operador (representado, neste trabalho, pela letra grega λ), é possível iniciar as simulações de dimensionamento de estoque.

2.3 Distribuição de Poisson

A distribuição de Poisson [Miguel 2005] é utilizada para calcular o número de peças necessárias para atingir o nível de pelo menos 95% de disponibilidade de estoque para cada coalizão possível entre os operadores. Como essa distribuição admite apenas valores discretos como entrada (devido ao termo fatorial no denominador), a disponibilidade exata de 95% seria algo fortuito. Na prática, os valores de disponibilidade são, no mínimo, 95%, mas podem atingir valores consideravelmente mais altos. Apesar de isso representar maior disponibilidade de peças para o operador, também implica em gastos indesejados bem mais altos. A Figura 1 ilustra a alteração do estoque médio por aeronave com o aumento de λ de uma coalizão hipotética:

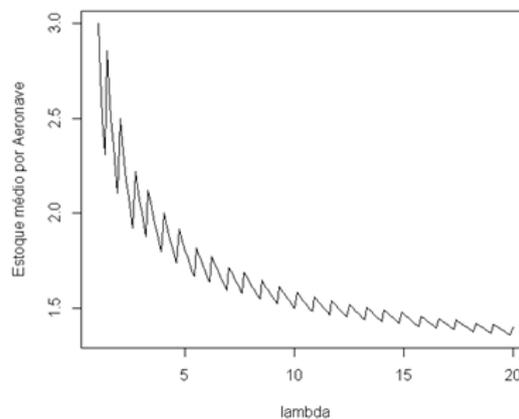


Figura 1: Estoque médio por aeronave utilizando a função de Poisson.

Note que, em pontos específicos, tem-se um aumento do estoque médio por aeronave ao aumentar o consumo da mesma. Essa é uma característica gerada pela flutuação de disponibilidade que, por sua vez, é causada pela parte discreta da distribuição de Poisson. Esse tipo de jogo é chamado de não-convexo [Shoham e Leyton-Brown, 2009]: nestas situações, a formação de grandes coalizões são prejudicadas. Isso pode distorcer o resultado da alocação de recursos, anulando alguns efeitos benéficos do uso do valor de *Shapley*.

2.4 Distribuição de Poisson Modificada

Com a intenção de atingir o valor exato de 95% de confiabilidade e evitar os efeitos demonstrados na Figura 1, há a possibilidade de dimensionar o estoque necessário de cada coalizão modificando a restrição de número inteiro de peças. Isso não significa que, na prática, o estoque deveria ser composto de um número não inteiro de peças, mas apenas que, dado o estoque real, a alocação de custos será realizada considerando um número não inteiro de componentes.

Isso pode ser feito substituindo a função fatorial na distribuição de Poisson pela função Gama, pois ela representa uma extensão dessa função para o conjunto de números reais [Weisstein et al 2015]. A função Gama, representada por Γ , é definida

como [Weisstein 2015]:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} \omega^{x-1} e^{-\omega} d\omega \quad (1)$$

A relação com a função fatorial pode ser representada da seguinte maneira:

$$\Gamma(x) = (x - 1)! \quad (2)$$

Em que:

- x é um número real ou complexo
- $(x-1)!$ é a fatorial de $x-1$

Essa função gera uma probabilidade contínua, permitindo ao estudo inferir um valor mais preciso do número de peças que atende a disponibilidade exata de 95%, como citado anteriormente. A Figura 2 demonstra o comportamento da função de Poisson com a modificação de Gama, onde é possível perceber a monotonicidade da função, conforme desejado.

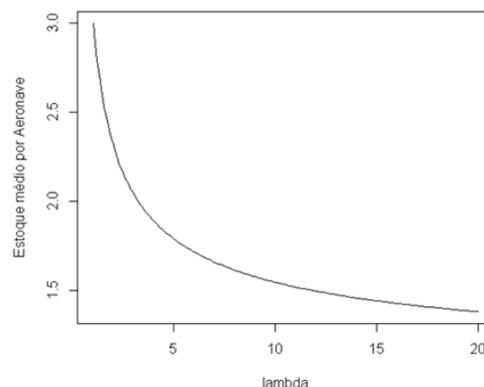


Figura 2: Estoque médio por aeronave utilizando a função de Poisson modificada

2.5 Recomendação de Peças

O compartilhamento dos custos utilizadas no modelo do valor de *Shapley* será, portanto, uma modificação da equação de Poisson, na qual o termo fatorial é substituído pelo equivalente da função Gama:

$$f(k; \lambda) = \frac{\exp^{-\lambda} \lambda^k}{\Gamma(k + 1)} \quad (3)$$

Com essa adaptação alteramos algumas propriedades da função original: apesar da distribuição de probabilidade ser a mesma nos 'k's inteiros, a distribuição

de probabilidade cumulativa, por exemplo, é levemente alterada quando comparada à distribuição de Poisson tradicional. Por esse motivo, essa distribuição será chamada de “Poisson modificada” ao longo do trabalho.

Comentários Adicionais Sobre os Custos de Estoque

O objetivo do trabalho é verificar qual a melhor maneira de compartilhar os custos do estoque: tanto a aquisição quanto a manutenção do mesmo. Tipicamente, a manutenção envolve seguro, depreciação/ obsolescência, aluguel de armazém, homem-hora, custo de oportunidade e outros. Esses custos geralmente são especificados como uma fração do custo da peça armazenada (por exemplo, 10% do valor da peça nova, por ano).

Ao longo deste trabalho, a quantidade de peças será utilizada como uma maneira de representar a alocação de custos. Essa abordagem visa a facilitar as comparações e o entendimento das metodologias de alocação de custos. O estudo não tem como objetivo fazer o dimensionamento do estoque: para isso, existem metodologias consagradas (dentre as quais, a distribuição de Poisson é talvez uma das mais relevantes).

2.6 Métodos de Alocação de Custo

Nas subseções a seguir, as diferentes técnicas de alocação de custos de estoques compartilhados são listadas.

2.6.1 Cálculo do Valor de Shapley

A alocação de custos utilizando o valor de *Shapley* procura atribuir, a cada participante, benefícios proporcionais à contribuição individual à coalizão total. Considerando N o número de jogadores e $c(S)$, $\forall S \subseteq N$ cada combinação entre jogadores (Coalizão), o valor alocado para cada indivíduo x_i , $i \in N$, é calculado como:

$$x_i = \frac{1}{N!} \sum_R [v(P_i^R \cup \{i\}) - v(P_i^R)] \quad (4)$$

Sendo que a soma inclui todos os termos de $N!$ na ordem R e P_i^R é o set de jogadores que precedem i em R . O número de termos da equação cresce exponencialmente com o número de jogadores [Moreira; Luna e Guedes 2002], podendo se tornar um cálculo extremamente caro, dependendo da quantidade de participantes (por ex., o número de termos deste cálculo para uma coalizão de 25 indivíduos é da ordem de $1E+25$).

O valor de *Shapley* é uma distribuição “justa” de *payoffs* entre os participantes da coalizão. De maneira geral, jogadores que contribuem mais para os ganhos da coalizão, recebem mais vantagens por isso. Nesse sentido, grandes operadores

tendem a ser mais beneficiados pela adoção de uma alocação de custos dessa natureza. Considerando que , essa distribuição “justa” é garantida pelas seguintes propriedades [Shoham e Leyton-Brown, 2009]:

- Simetria – Se dois jogadores i e j são equivalentes de tal modo que $v(S \cup \{i\}) = v(S \cup \{j\})$ para qualquer coalizão S que não envolva i ou j , o *payoff* recebido por i e j são iguais;
- Jogador *Dummy* – um jogador é considerado *dummy* se o *payoff* que ele contribui na Coalizão é exatamente igual ao *payoff* que ele conseguiria sozinho, ou seja, $v(S \cup \{i\}) - v(S) = v(\{i\})$. Nesse caso, como o jogador não acrescenta para a coalizão, ele recebe exatamente o que receberia se estivesse sozinho;
- Aditividade – considere dois jogos cooperativos com distribuição de *payoffs* diferentes v_1 e v_2 . A propriedade da aditividade diz que, se combinarmos esses dois jogos em um só, o *payoff* desse novo jogo deve ser igual à soma dos *payoffs* dos jogos separados $\phi_i(v_1 + v_2) = \phi_i(v_1) + \phi_i(v_2)$.

Uma propriedade adicional, garantida pelas três mencionadas acima, é a eficiência, ou seja, o custo total é dividido entre os participantes $\sum_{i \in N} \phi_i(v) = v(N)$ [Shoham e Leyton-Brown, 2009]. Essa propriedade é importante para o problema proposto, já que garante que os custos totais de estoque serão cobertos pelos operadores.

2.6.2 Alocação de Custos Proporcional ao Potencial de Consumo

Nesta técnica, o custo atribuído a cada operador é calculado como sendo diretamente proporcional ao próprio consumo na coalizão total. Isto está ilustrado na equação 5:

$$PC_i = \frac{GC \cdot \lambda_i}{\sum_i \lambda_i} \quad (5)$$

Onde:

- PC_i é o valor da recomendação Proporcional ao potencial de consumo;
- GC é a quantidade recomendada para a combinação de todos os operadores, (1+2+3+4, também chamada de grande coalizão);
- λ_i é o consumo das aeronaves do operador i , ou seja, $\frac{n_{i\text{comp}} \cdot HV/\text{ano}}{MTBUR}$, em que $n_{i\text{comp}}$ é o número de componentes instalados na aeronave, HV/ano é o número de horas voadas em um ano.

2.6.3 Proporcional ao Número de Aeronaves

Ao calcular o custo relativo de cada operador pode-se assumir que todos os operadores que compartilham a coalizão tenham o mesmo número de horas voadas por ano. Dessa forma, a alocação de custo seria proporcional ao número de aeronaves de cada operador. Segue abaixo:

$$PAC_i = \frac{nAC_i}{\sum_{j=1} nAC_j} Poisson(\sum_j \lambda_i \cdot nAC_j) \quad (6)$$

Em que:

- PAC_i é o número de peças com as quais o operador i deve arcar;
- nAC_i é o número de aeronaves do operador j .

Note que, nesse método, o operador i arca com um número de peças proporcional à sua frota, mas considerando que a demanda total pode ser calculada considerando seu próprio perfil operacional. Devido a essa simplificação, uma desvantagem desse método é que a soma dos custos de cada operador não necessariamente é igual aos custos real do estoque. A vantagem desse método é a facilidade de aplicá-lo em campo, já que, para calcular os custos do operador i , apenas o perfil de uso das aeronaves do operador i é necessário;

3 | RESULTADOS

A aplicação dos diferentes métodos de alocação de custos, bem como os comentários sobre vantagens e desvantagens de cada modelo, está descrita nas subseções a seguir. Para os testes, foram consideradas 4 situações:

- A situação Base, em que todos os operadores possuem mesmo perfil de horas voadas;
- A situação 2, com operadores com perfis de horas voadas diferentes;
- A situação 3, com operadores com perfis radicalmente diferentes, situação na qual o uso do valor de *Shapley* mostra uma visível vantagem em relação aos outros métodos;
- A situação 4, que apresenta apenas um operador com perfil operacional muito diferente do restante.

3.1 Comparação entre Modelos – Situação Base

A situação base considera que todas as aeronaves têm a mesma quantidade de horas voadas por ano. A diferença está na quantidade de aeronaves, conforme

descrito na Tabela 1:

Operador	Aeronaves	HV/Ano
1	1	3000
2	5	3000
3	10	3000
4	30	3000

Tabela 1: Frota dos operadores

Todos os resultados obtidos das simulações iniciais com o método de “*Shapley*”, “Operadores independentes”, “Proporcional ao potencial de consumo” e “Proporcional ao número de aeronaves” são apresentados na Tabela 2.

Operadores	1	2	3	4	Soma
Sem compartilhamento	4	13	23	61	101
Compartilhado (Shapley)	2,42	10,36	19,94	57,28	90
Compartilhado (Proporcional ao consumo)	1,96	9,78	19,57	58,7	90
Compartilhado (Número de aeronaves)	1,96	9,78	19,57	58,7	90

Tabela 2: Alocação de custos para Situação Base

O conceito de alocação de custos baseados em jogos cooperativos pode parecer abstrato até o ponto em que existem exemplos que direcionam o raciocínio para o principal objetivo da cooperação, ou seja, chegar aos valores que sejam satisfatórios a todos os participantes [Moreira et al 2002]. Note que o compartilhamento de estoques (linhas 2, 3 e 4 da Tabela 2) sempre reduz os custos individuais e totais, quando comparados à situação sem compartilhamento. Com o aumento do número de operadores e suas respectivas frotas, aumenta a possibilidade de mais peças circulando nesse estoque para o uso coletivo, incrementando a probabilidade de todas as aeronaves tenham a confiabilidade de 95 % de disponibilidade atendida.

A diferença é que o uso do valor de *Shapley* fornece economias maiores ao quarto operador, o maior desta coalizão. Isso acontece porque este operador de fato contribui mais para os ganhos conjuntos da coalizão e, portanto, ele recebe mais benefícios que os modelos proporcionais. Tanto o método de compartilhamento intitulado como “Proporcional ao potencial de consumo” e “Proporcional ao número de aeronaves” apresentam nesse caso as mesmas recomendações, já que o número de horas voadas é o mesmo.

3.2 Comparação entre Modelos – Situação 2

Os perfis adotados para as simulações da situação 2 constam na Tabela 3:

Operador	Aeronaves	HV/Ano
1	3	300
2	10	1000
3	20	1500
4	50	3000

Tabela 3 : Simulação de perfis para a situação 2

Nesse caso é possível observar que o operador 4 tem uma influência alta nos jogos cooperativos para alocação de custos, pois tanto as suas horas voadas como sua frota são maiores comparadas aos operadores 1, 2 e 3. A Tabela 4, com os valores dos custos alocados, mostra os resultados da situação 2:

Operadores	1	2	3	4	Soma
Sem compartilhamento	2	10	23	97	132
Compartilhado (Shapley)	0,95	7,15	20,01	93,89	122
Compartilhado (Proporcional ao consumo)	0,58	6,39	19,17	95,86	122
Compartilhado (Número de aeronaves)	0,72	6,87	19,76	93,98	121,33

Tabela 4: Alocação de custos para Situação 2

Nenhum dos operadores nesse conjunto possui o mesmo número de horas voadas ou frota, o que permite perceber a diferença de resultados entre o compartilhamento proporcional ao consumo e o proporcional ao número de aeronaves.

Neste exemplo, o operador 1 possui um impacto baixo na coalizão total e, por isso, também recebe benefícios bastante reduzidos utilizando o valor de *Shapley*, quando comparado aos outros modelos proporcionais de alocação de custo. O proporcional ao consumo é ainda mais baixo que o proporcional à quantidade de aeronave, pois as horas voadas por ano por esse operador são bem menores que as das outras aeronaves na coalizão.

Novamente, o valor de *Shapley* reduz o valor apenas para o grande operador da coalizão, ao custo da elevação dos custos para todos os outros operadores. Outro fato interessante explicitado na Tabela 4 é a soma dos custos para o modelo proporcional ao número de aeronaves: o valor não soma 122, que é a quantidade total de peças no estoque compartilhado. Ao assumir que todas as aeronaves da coalizão têm o mesmo perfil operacional, é introduzido um erro que resulta em um valor total diferente do real.

3.3 Comparação entre Modelos – Situação 3

Os perfis adotados para essa simulação estão na Tabela 5:

Operador	Aeronaves	HV/ Ano
1	1	300
2	1	300
3	2	200
4	50	3000

Tabela 5: Simulação de perfis para a Situação 3

Os operadores 1, 2 e 3 têm poucas diferenças na operação, assim como no λ resultante. Porém o operador 4 tem um aumento muito significativo dessa variável, já que possui a maior frota e maior número de horas voadas ao ano. O uso de perfis tão extremos, nos quais a diferença de horas voadas e frotas são tão grandes, é simplesmente para ilustrar um fenômeno que pode acontecer em configurações que envolvam grandes/ pequenos operadores em uma coalizão. Na Tabela 6 seguem o resultados da alocação de custos para a Situação 3.

Operadores	1	2	3	4	Soma
Sem compartilhamento	1	1	1	97	100
Compartilhado (Shapley)	0,52	0,52	0,61	96,35	98
Compartilhado (Proporcional ao consumo)	0,19	0,19	0,26	97,35	98
Compartilhado (Número de aeronaves)	0,26	0,26	0,37	96,3	97,19

Tabela 6: Alocação de custos – Situação 3

Interessante notar que o modelo de compartilhamento proporcional ao consumo gerou um custo para o operador 4 ainda maior que o caso sem compartilhamento, o que eliminaria o incentivo de fazer parte desta coalizão. Isto acontece possivelmente por um efeito parecido ao demonstrado na Figura 1, pelo fato da técnica “proporcional ao consumo” utilizar o Poisson tradicional (não modificado) para cálculo dos estoques. Imagine a seguinte situação: uma coalizão A, formada por 2 aeronaves com mesmo perfil operacional, utiliza uma única peça para garantir 95,1% de disponibilidade da mesma. Nesta configuração, cada aeronave é responsável por 0,5 peça. Se a esta coalizão se juntar outra aeronave, pode haver a necessidade de comprar mais uma peça para garantir uma disponibilidade maior que 95%. Nesse caso, a nova coalizão, formada por 3 aeronaves, precisa de 2 peças (ou seja, cada aeronave paga, em média, 0,67 peça). Ou seja, a adição de aeronaves parece ter feito a coalizão menos atrativa, aumentando os custos para cada operador.

3.4 Comparação entre Modelos – Situação 4

No caso ilustrado na Tabela 7, existe um operador que possui a maior frota do conjunto, porém possui um perfil de horas voadas bem inferior.

Operador	Aeronaves	HV/ Ano
1	1	3000
2	2	3000
3	2	2000
4	50	450

Tabela 7: Simulação de perfis para a Situação 4

Mesmo que o operador 4 seja responsável pela maior parte dos custos, é possível perceber uma maior participação de todos os outros operadores comparando com a Situação 3, como será visto na Tabela 8:

Operadores	1	2	3	4	Soma
Sem compartilhamento	4	7	7	18	36
Compartilhado (Shapley)	2,54	4,7	4,7	16,06	28
Compartilhado (Proporcional ao consumo)	2,24	4,48	4,48	16,8	28
Compartilhado (Número de aeronaves)	1,93	3,85	3,85	18,18	27,82

Tabela 8: Alocação de custos para Situação 4

Note que, nesta situação, o modelo proporcional ao número de aeronaves resultou em um custo maior que a situação sem compartilhamento para o operador 4 (similar ao que aconteceu para o modelo proporcional ao consumo na situação 3). Esse fenômeno aconteceu pelos mesmos motivos descritos na seção anteriormente: a restrição de números inteiros da equação de Poisson, ilustrado na Figura 1.

De maneira geral, é interessante notar os ganhos marginais de operadores maiores em coalizões de compartilhamento de estoques, principalmente ao se utilizar os modelos proporcionais (ao consumo e ao número de aeronaves).

4 | COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Diferentes técnicas de alocação de custos para compartilhamento de estoques foram testadas, com foco especial ao método de Shapley, baseado na teoria dos jogos cooperativos. Esta metodologia se mostrou importante para atrair grandes operadores aos programas de compartilhamento de estoques, uma vez que a alocação de custos é realizada de uma maneira mais justa e proporcional à contribuição de cada operador à coalizão. Os custos dos operadores menores aumentam um pouco em relação aos modelos proporcionais, mas ainda sim o incentivo destes em participarem de tais coalizões é muito grande (com redução de custos da ordem de 40%). De fato, a prática mostra que grandes operadores têm muito menos incentivos a participarem de programas de compartilhamentos de estoque. O uso de teoria de jogos cooperativos permite harmonizar os incentivos a essa participação.

O trabalho focou em mostrar uma maneira justa de compartilhar os estoques, dada a coalizão. Como trabalhos futuros, sugere-se estudar sob quais condições

a grande coalizão (ou seja, com todos os operadores) é formada, o que acontece quando a alocação de custos está no core do jogo cooperativo [Karsten 2010]. Para aplicações práticas do estudo ora desenvolvido, faz-se necessário também verificar a influência da adição de custos adicionais e margens de lucro, o que aumentaria o custo total da coalizão.

REFERÊNCIAS

Berger, J. M. (2014). **MRO Market Overview & Trends**. Annual Transportation Review Board Meeting, Washington DC.

Karsten, F.J.P., Slikker M., van Houtum, G.J. (2010). **Spare parts inventory pooling games**. International Workshop on Supply Chain Models for Shared Resource Management, Brussels.

Miguel, M. I. R. (2005). **Ensino e aprendizagem do modelo de Poisson: Uma experiência com modelagem**. Doutorado em Educação matemática apresentada a Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo.

Moreira, R. C.. (2002). **Teoria dos Jogos Cooperativos: Conceitos Fundamentais**. In: Anais do XXXIV SBPO, Rio de Janeiro, SOBRAPO.

Moreira, R. C., Luna, H. P. L., Guedes, P. G. S. (2002). **Um estudo comparativo entre a teoria dos jogos cooperativos e uma heurística aplicada a um problema real de alocação de custos**. *Pesquisa operacional*, vol. 22, nº1.

Shoham, Y., Leyton-Brown, K. (2009). **Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic and Logical Foundations**. Cambridge University Press. ISBN-13: 9780521899437

Weisstein, E. W. (2015). **Gama Function, MathWorld--A Wolfram Web Resource**. <http://mathworld.wolfram.com/GamaFunction.html>. Acessado: 20-de dezembro de 2015.

SOBRE O ORGANIZADOR

Ernane Rosa Martins - Doutorado em andamento em Ciência da Informação com ênfase em Sistemas, Tecnologias e Gestão da Informação, na Universidade Fernando Pessoa, em Porto/Portugal. Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, possui Pós-Graduação em Tecnologia em Gestão da Informação, Graduação em Ciência da Computação e Graduação em Sistemas de Informação. Professor de Informática no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG (Câmpus Luziânia), ministrando disciplinas nas áreas de Engenharia de Software, Desenvolvimento de Sistemas, Linguagens de Programação, Banco de Dados e Gestão em Tecnologia da Informação. Pesquisador do Núcleo de Inovação, Tecnologia e Educação (NITE), certificado pelo IFG no CNPq.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-478-8

