

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DISSERTAÇÃO – MESTRADO ACADÊMICO

PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO NA  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E  
TRANSPORTES

MARCOS GERCHMAN

ORIENTADOR: FLÁVIO SANSON FOGLIATTO

Porto Alegre,

2016

Marcos Gerchman

## **Problemas de Otimização na Engenharia de Produção e Transportes**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção na Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmico, na área de concentração em Sistemas

Orientador: Flávio Sanson Fogliatto, *Ph.D.*

Porto Alegre

2016

Marcos Gerchman

## **Problemas de Otimização na Engenharia de Produção e Transportes**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmico e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

**Prof. Flávio Sanson Fogliatto, *Ph.D.***  
Orientador PPGEP/UFRGS

---

**Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr.**  
Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Jeruza Lavanholi Neyeloff, Dra. – Hospital de Clínicas de Porto Alegre

Michel J Anzanello, *Ph.D.* – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Jose Luis Duarte Ribeiro, Dr. – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Aos meus pais, Jacques e Liza,  
responsáveis pela minha educação e pelo  
Estímulo na busca do conhecimento.

## **AGRADECIMENTOS**

Meus sinceros agradecimentos a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação. Especialmente, agradeço:

À minha família, pelo incentivo e apoio durante esta jornada.

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelos conhecimentos compartilhados e pela contribuição na minha formação.

Ao meu orientador, professor Flávio Sanson Fogliatto, pela orientação, incentivo e paciência.

Aos colegas de mestrado, pela convivência e troca de experiências.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo solucionar problemas complexos em diferentes segmentos da Engenharia de Produção e Transporte a partir da utilização de técnicas de otimização. São consideradas as áreas de sistemas de saúde, transportes e análise sensorial, envolvendo problemas de formação de grade de horários e análise de clusters. De forma específica, as abordagens objetivam: *(i)* em relação ao setor hospitalar, alocar especialidades cirúrgicas em uma grade de horários de um hospital de modo a minimizar a variância do tempo pós-operatório; *(ii)* quanto à análise sensorial, desenvolver um índice capaz de identificar painelistas que necessitam de treinamento utilizando conceitos de análise de clusters; *(iii)* no setor aeroportuário, identificar aeroportos com baixa capacidade preditiva de demanda e relacioná-los com suas características físicas, a partir da análise de clusters. Em todos os problemas abordados, as soluções envolvendo métodos de otimização se mostraram adequadas, com resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Otimização, Análise de Conglomerados, Grade de Horários.

## ABSTRACT

This study aims to solve complex problems in different segments of Production Engineering and Transportation using optimization techniques. Different areas are considered, such as the areas of health systems, transport and sensory analysis, involving the timetable scheduling problem and cluster analysis. Specifically, this work aims to: *(i)* in relation to the hospital sector, allocate surgical specialties in a timetable in order to minimize the variance of postoperative time; *(ii)* for the sensory analysis, develop an index able to identify panelists who require training, using concepts of cluster analysis; *(iii)* in the airport sector, identify airports with low predictive capacity of demand and relate them to their physical characteristics, using cluster analysis. In all addressed problems, solutions involving optimization methods were adequate, with satisfactory results.

Keywords: Optimization, Cluster Analysis, Timetable Scheduling

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1. Objetivo Geral .....	14
1.2. Objetivos Específicos .....	14
1.3. Justificativa .....	15
1.4. Estrutura da dissertação.....	16
1.5. Delimitações da Pesquisa .....	18
1.6. Referências.....	18
2. ARTIGO 1 - Method to assign specialties to timetable slots in surgery units to smooth postoperative inward bed demand.....	21
2.1. Introdução .....	22
2.2. Literatura Relacionada .....	23
2.3. Metodologia .....	25
2.4. Resultados .....	30
2.5. Discussão.....	32
2.6. References.....	34
3. ARTIGO 2 - Avaliação de reprodutibilidade de um painel de análise sensorial através de conceitos de análise de clusters.....	37
3.1. Introdução .....	38
3.2. Fundamentação Teórica .....	40
3.3. Metodologia .....	43
3.4. Estudo de Caso .....	47
3.5. Resultados .....	48
3.6. Conclusão.....	56
3.7. Referências.....	57
4. ARTIGO 3 - Formação e caracterização de grupos de aeroportos a partir da capacidade preditiva de volume de passageiros.....	59
4.1. Introdução .....	61
4.2. Revisão Teórica.....	62
4.3. Procedimentos Metodológicos .....	71
4.4. Resultados .....	74
4.5. Conclusão.....	82
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88
5.1. Implicações práticas .....	88
5.2. Implicações acadêmicas .....	90

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Relacionamento de artigos e objetivos específicos.....	15
Figura 3.1. Dendrograma resultante da análise hierárquica de clusters para os dados do banco de dados de ensopado de carne.....	48
Figura 3.2. Dendrograma referente ao estudo de casos da cidra.....	50
Figura 3.3. Dendrograma referente ao estudo de casos de chocolate.....	52
Figura 4.1. Classificação de aeroportos norte-americanos, adaptado da FAA (2014).....	61
Figura 4.2. Procedimento utilizado por Balter (2012) para a separação de aeroportos brasileiros em grupos.....	66
Figura 4.3. Séries temporais dos aeroportos de Campo Grande, Ilhéus, Maceió e Aracaju, salientando dados a partir do ano de 2009.....	70
Figura 4.4. Valores de yield no período de 2001 e 2013 (ANAC, 2013a).....	71
Figura 4.5. Dendrograma resultante da análise de conglomerados hierárquica. O número k ideal de grupos identificado foi 3, conforme a linha tracejada.....	72
Figura 4.6. Grupos formados após aplicação da análise não-hierárquica de conglomerados.....	73
Figura 4.7. Alteração abrupta do nível de passageiros, característica comum dos aeroportos do grupo 2.....	77
Figura 4.8. Histograma contendo distribuição de frequência de aeroportos conforme o percentual de passageiros domésticos (adaptado de INFRAERO, 2013).....	76
Figura 4.9. Gráfico de Pizza representando a participação internacional dos aeroportos, em termos percentuais, em relação ao total de passageiros internacionais transportados no Brasil (adaptado de INFRAERO, 2013).....	76

Figura 4.10. Três regiões distintas identificadas no gráfico  $R^2$  vs MAPE.....77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Lista de especialidades cirúrgicas e informações relevantes associadas	24
Tabela 2.2	Grade de horários cirúrgica atual	28
Tabela 2.3	Grade de horários cirúrgica proposta	29
Tabela 3.1.	Valores dos fatores controláveis utilizados na fabricação dos 8 amostras de ensopado de carne	45
Tabela 3.2.	Valores dos índices de Alfa de Cronbach para dados de ensopado de carne	46
Tabela 3.3.	Valores pesos da matriz de compromisso e dos índices de Alfa de Ledauphin dados de ensopado de carne	47
Tabela 3.4.	Valores de PA para o estudo de caso de ensopado de carne	48
Tabela 3.5.	Valores dos índices CA e LA para o estudo de caso da cidra	49
Tabela 3.6.	Valores de PA para o estudo de caso da cidra	49
Tabela 3.7.	Valores dos índices CA e LA para o estudo de caso de chocolate	51
Tabela 3.8.	Valores de PA para o estudo de caso de chocolate	51
Tabela 4.1.	Classificação dos aeroportos da União Europeia	62
Tabela 4.2.	Soma de pontos atribuídos aos serviços e facilidades previstas no artigo 9º da portaria Nº 1592/GM5 para classificação de aeroportos brasileiros (ANAC, 1984)	63
Tabela 4.3.	Variáveis para classificação de aeroportos regionais brasileiros (adaptado de Torres e Portugal, 2013)	64
Tabela 4.4.	Variáveis utilizadas por Malighetti et al. (2008) para realização de agrupamento de aeroportos europeus	64

Tabela 4.5. Variáveis utilizadas por Vogel e Graham (2013) para realização de agrupamento para benchmarking financeiro.....	66
Tabela 4.6. Grupos gerados por Balter (2012) a partir de características do mix de passageiros.....	67

# 1. INTRODUÇÃO

A área de Pesquisa Operacional, dentro do âmbito da Engenharia de Produção, preocupa-se frequentemente com a otimização de sistemas complexos, buscando sua melhor configuração. Esta abordagem modela problemas a partir de uma ou múltiplas funções objetivos, as quais buscam-se maximizar ou minimizar, considerando restrições que limitam o espaço das soluções possíveis (BURKE; KENDALL, 2014). Sua aplicação pode ser observada em áreas como sistemas de saúde, transportes e análise sensorial (CARDOEN; BELIËN; VANHOUCKE, 2015; GACULA; JR., 2008; LIN et al., 2016; SANTOS; ANTUNES, 2015; STEINER et al., 2015; WANG, 2012).

Dentre os problemas de otimização presentes na literatura, encontram-se a (i) formação de grade de horários e a (ii) análise de *clusters*. O primeiro é considerado uma otimização combinatória, possível de ser solucionado satisfatoriamente a partir de heurísticas. Neste caso, busca-se a alocação ótima de recursos em uma escala de horários, satisfazendo diversas restrições (CHU; CHEN; HO, 2006). O segundo problema envolve a formação de grupos (ou *clusters*), conhecida como análise de *clusters*. Neste caso, a otimização é realizada de modo a alocar todos os indivíduos em grupos, caracterizados por uma alta similaridade interna e baixa similaridade entre grupos. Este problema é encontrado em diversas áreas do conhecimento, tais como reconhecimento de padrões, processamento de imagens, biologia, engenharia, medicina e marketing (AMMAR; ELOUEDI; LINGRAS, 2015; LINGRAS et al., 2014; PENG et al., 2015).

No âmbito hospitalar, o problema de formação de grade de horários é visualizado na alocação de especialidades cirúrgicas, considerando a demanda para as unidades subsequentes. Segundo Fügener (2015), a tarefa requer tempo computacional muito elevado para a obtenção da solução exata em cenários reais, devido à grande complexidade combinatória. Desta forma, as abordagens atuais ainda são limitadas, sendo necessária a realização de pesquisas sobre heurísticas que resolvam o problema em tempo viável.

Em relação à análise de *clusters*, seu uso pode ser realizado visando à identificação de *outliers*, caracterizados por indivíduos inconsistentes em relação aos demais (CHRISTY; GANDHI; VAITHYASUBRAMANIAN, 2015). Desta forma, o agrupamento é utilizado objetivando a limpeza do banco de dados, removendo dados errôneos e evitando a interferência dos mesmos sobre os dados remanescentes

(LOUREIRO; TORGO; SOARES, 2004). Neste contexto, destaca-se o uso da otimização no âmbito da análise sensorial. Em tal caso, é indispensável a formação de um painel de avaliadores consonantes em relação às avaliações dos atributos sensoriais, para cada produto (DERNDORFER et al., 2005). Assim, a detecção de avaliadores discordantes da maioria é fundamental, podendo estes ser direcionados para treinamento, promovendo alinhamento com os demais.

Além disso, a análise de *clusters* é empregada de modo a auxiliar o planejamento e gerenciamento de recursos (ROMESBURG, 2004). Sua utilização facilita a visualização de padrões de características ou comportamentos, possibilitando um melhor gerenciamento (XU; WUNSCH, 2005). Um exemplo prático é observado na formação de grupos de aeroportos, os quais podem ser agrupados a partir de seus atributos e funções na malha aeroviária, de forma a criar uma classificação capaz de auxiliar um melhor entendimento e gerenciamento do sistema (MALIGHETTI; PALEARI; REDONDI, 2009).

Desta forma, demonstra-se que as diferentes abordagens de otimização são aplicáveis em diversos segmentos da Engenharia de Produção. Entretanto, cada aplicação, devido às suas características peculiares, necessita ser tratada de forma independente, possibilitando o desenvolvimento de soluções inovadoras para problemas recorrentes.

## **1.1. Objetivo Geral**

Este trabalho tem por objetivo solucionar problemas complexos em diferentes segmentos da Engenharia de Produção e Transporte a partir da utilização de técnicas de otimização.

## **1.2. Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos têm por função explicitar os detalhes e os desdobramentos do objetivo geral (SILVA; MENEZES, 2005). Os objetivos específicos deste trabalho são:

- I. Setor Hospitalar: alocar especialidades cirúrgicas em uma grade de horários de um hospital de modo a minimizar a variância do tempo pós-operatório. Neste

caso, o problema de otimização abordado é a formação de uma grade cirúrgica que uniformize a demanda por recursos em unidades hospitalares à jusante.

- II. Análise Sensorial: desenvolver um índice capaz de identificar painelistas que necessitam de treinamento utilizando conceitos de análise de *clusters*. Neste caso, o problema de otimização abordado é a minimização das distâncias entre as avaliações dos painelistas e a avaliação média do painel.
- III. Setor Aeroportuário: identificar aeroportos com baixa capacidade preditiva de demanda e relacioná-los com suas características físicas, a partir da análise de *clusters*. Neste caso, o problema é minimizar a variabilidade das características de acurácia de aeroportos em um mesmo grupo, de forma a facilitar sua gestão integrada.

### **1.3. Justificativa**

A otimização é um processo que busca identificar a melhor solução dentre todas as soluções possíveis de um problema. Desta forma, é um dos pilares da Pesquisa Operacional, permitindo um melhor gerenciamento de sistemas complexos envolvendo recursos humanos, máquinas, materiais e dinheiro (BURKE; KENDALL, 2014). Assim, sua aplicação em diversos segmentos da Engenharia de Produção se justifica em um contexto em que empresas buscam alta eficiência na gestão de recursos. Vale ressaltar que a otimização pode estar presente como objetivo do problema, mas também pode fazer parte do funcionamento interno de ferramentas, como é o caso da análise de *clusters*.

Dentro do âmbito do setor aeroportuário brasileiro, o adequado gerenciamento de demanda e capacidade dos aeroportos proporciona benefícios substanciais para a sociedade (BARNHART et al., 2012). Assim, o melhor entendimento do comportamento da demanda dos aeroportos brasileiros é fundamental para a gestão do setor. Para tal, o agrupamento dos aeroportos, desenvolvido a partir da análise de *clusters*, destaca-se como ferramenta para o seu gerenciamento (MALIGHETTI; PALEARI; REDONDI, 2009).

Na área de análise sensorial, a utilização de técnicas agrupamento se faz necessária na identificação de *outliers* na formação do painel de avaliadores. Isto ocorre, pois é desejado o alinhamento dos avaliadores a respeito das avaliações dos atributos

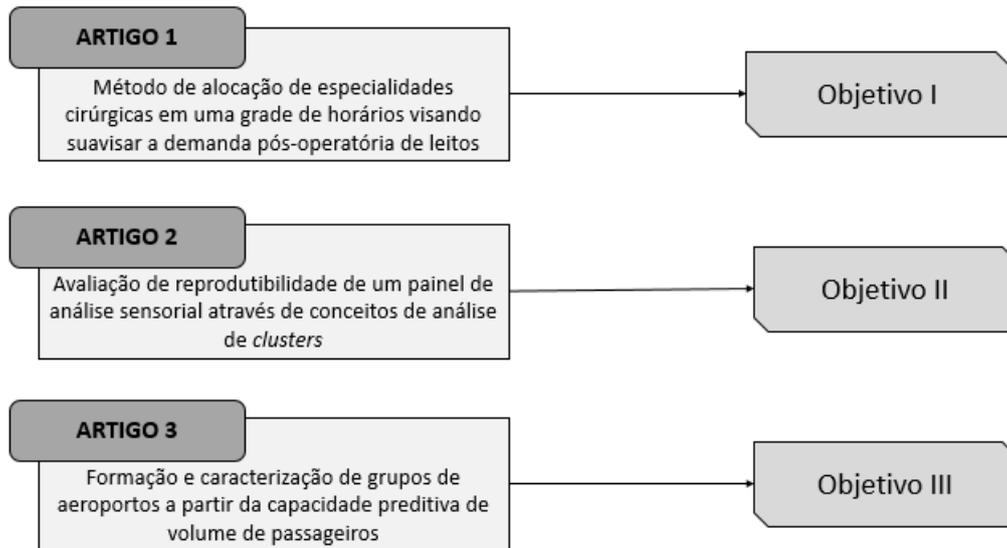
sensoriais para cada produto. Desta forma, a detecção de avaliadores dissimilares com os demais permite uma melhora no desempenho do painel (DERNDORFER et al., 2005). Isto pode ser atingido a partir do uso de conceitos de análise de *clusters*, separando os avaliadores conforme a similaridade de comportamentos.

Por fim, no setor hospitalar, um problema a ser solucionado é a alocação de especialidades cirúrgicas em uma grade de horários, considerando a demanda das unidades subsequentes (FÜGENER, 2015). Neste caso, faz-se necessária a redução da variância nos tempos de leito pós-operatório resultantes da alocação de especialidades cirúrgicas ao longo do ciclo de trabalho. Desta forma, o nivelamento reduz os picos de demanda na unidades subsequentes ao bloco cirúrgico, evitando a sobrecarga de capacidade.

#### **1.4. Estrutura da dissertação**

A pesquisa apresentada nesta dissertação, do ponto de vista da sua natureza, pode ser classificada como pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos com aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos (CERVO; BERIVAN, 2002). Sua abordagem é quantitativa, uma vez que envolve análises numéricas e estatísticas (MIGUEL, 2010). Quanto aos seus objetivos, caracteriza-se por uma pesquisa descritiva, buscando estabelecer relações entre variáveis e determinar sua melhor configuração (GIL, 2002).

Este trabalho é dividido em três artigos, conforme Figura 1.1. Em cada um deles é realizado um estudo de caso, buscando formular hipóteses, desenvolver teorias ou explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações muito complexas (GIL, 2002). Em seguida, é apresentada uma breve descrição dos objetivos de cada artigo.



**Figura 1.1.** Relacionamento de artigos e objetivos específicos

- ARTIGO I – Método de alocação de especialidades cirúrgicas em uma grade de horários visando suavizar a demanda pós-operatória de leitos – Proposição de método para alocação de especialidades cirúrgicas em uma grade de horários, de modo a minimizar a variância da demanda nos leitos subsequentes à cirurgia.
- ARTIGO II – Avaliação de reprodutibilidade de um painel de análise sensorial através de conceitos de análise de *clusters* – Proposição de um índice para avaliação de painelistas quanto à reprodutibilidade; comparação do índice proposto com demais índices disponíveis na literatura, a partir de estudos de caso; proposta de procedimento metodológico para identificação de painelistas *outliers*, através da análise de clusters; determinação dos atributos sensoriais que diferem os grupos.
- ARTIGO III – Formação e caracterização de grupos de aeroportos a partir da capacidade preditiva de volume de passageiros – Identificar conjuntos de aeroportos com baixa eficiência de predição; verificar o relacionamento de variáveis de infraestrutura e mix de passageiros com a acurácia de previsão; caracterizar os diferentes grupos de aeroportos formados.

Na última seção, as considerações finais do trabalho são apresentadas. São reunidas as principais conclusões dos três artigos, considerando implicações acadêmicas e práticas.

## 1.5. Delimitações da Pesquisa

A respeito das limitações da pesquisa realizada, vale salientar que dentre os diversos problemas de otimização, a dissertação tem enfoque na análise de *clusters* e formação de grade de horários. Desta forma, demais problemas de otimização não são abordados. Além disso, são utilizados os softwares *PASW Statistics 18*. e *MATLAB* para a implementação dos algoritmos utilizados. Assim, não são implementadas soluções baseadas em outras abordagens de otimização, como Algoritmos Genéticos, *Ant Colony Optimization*, *Particle Swarm Optimization*, etc.

Na abordagem do setor aeroportuário, são considerados apenas os aeroportos brasileiros de voos comerciais administrados pela INFRAERO, além dos aeroportos de Viracopos, Guarulhos e Brasília, os quais foram concedidos à iniciativa privada recentemente. Desta forma, não são considerados aeroportos regionais e de baixa demanda de passageiros.

Em relação às características de infraestrutura dos aeroportos, foram coletados os dados relacionados aos passageiros e capacidade dos aeroportos, disponibilizados pela INFRAERO e demais administradoras. Assim, não foram utilizadas informações de difícil acesso, nem aquelas relacionadas ao transporte de carga.

## 1.6. Referências

AMMAR, A.; ELOUEDI, Z.; LINGRAS, P. Meta-clustering of possibilistically segmented retail datasets. **Fuzzy Sets and Systems**, set. 2015.

BARNHART, C. et al. Demand and capacity management in air transportation. **EURO Journal on Transportation and Logistics**, v. 1, n. 1-2, p. 135–155, 21 abr. 2012.

BURKE, E. K.; KENDALL, G. (EDS.). **Search Methodologies**. 2. ed. Boston, MA: Springer US, 2014.

CARDOEN, B.; BELIËN, J.; VANHOUCHE, M. On the design of custom packs: grouping of medical disposable items for surgeries. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 24, p. 7343–7359, 9 jul. 2015.

CERVO, A. L.; BERIVAN, P. A. **Metodologia científica**. São Paulo: [s.n.].

CHRISTY, A.; GANDHI, G. M.; VAITHYASUBRAMANIAN, S. Cluster Based Outlier Detection Algorithm for Healthcare Data. **Procedia Computer Science**, v. 50, p. 209–215, 2015.

CHU, S.-C.; CHEN, Y.-T.; HO, J.-H. **Timetable Scheduling Using Particle Swarm Optimization** First International Conference on Innovative Computing, Information and Control - Volume I (ICICIC'06). **Anais...IEEE**, 1 out. 2006Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/224647262\\_Timetable\\_Scheduling\\_Using\\_Particle\\_Swarm\\_Optimization](https://www.researchgate.net/publication/224647262_Timetable_Scheduling_Using_Particle_Swarm_Optimization)>. Acesso em: 5 jan. 2016

DERNDORFER, E. et al. A Panel performance procedure implemented in R. **Journal of Sensory Studies**, v. 20, n. 3, p. 217–227, jun. 2005.

FÜGENER, A. An Integrated Strategic and Tactical Master Surgery Scheduling Approach With Stochastic Resource Demand. **Journal of Business Logistics**, v. 36, n. 4, p. 374–387, 27 dez. 2015.

GACULA, M. C.; JR. **Design and Analysis of Sensory Optimization**. [s.l: s.n.].

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. [s.l: s.n.].

LIN, M. Y. et al. Genetic based discrete particle swarm optimization for Elderly Day Care Center timetabling. **Computers & Operations Research**, v. 65, p. 125–138, jan. 2016.

LINGRAS, P. et al. Iterative meta-clustering through granular hierarchy of supermarket customers and products. **Information Sciences**, v. 257, p. 14–31, fev. 2014.

LOUREIRO, A.; TORGO, L.; SOARES, C. Outlier Detection Using Clustering Methods: a Data Cleaning Application. **In Proceedings of the Data Mining for Business Workshop**, 2004.

MALIGHETTI, P.; PALEARI, S.; REDONDI, R. Airport classification and functionality within the European network. **Problems and Perspectives in Management**, v. 7, n. 1, p. 183–196, 2009.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

PENG, H. et al. An automatic clustering algorithm inspired by membrane computing. **Pattern Recognition Letters**, v. 68, p. 34–40, dez. 2015.

ROMESBURG, C. **Cluster Analysis for Researchers**. [s.l: s.n.].

SANTOS, M. G.; ANTUNES, A. P. Long-term evolution of airport networks: Optimization model and its application to the United States. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 73, p. 17–46, jan. 2015.

SILVA, E. L. DA; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. [s.l: s.n.].

STEINER, M. T. A. et al. Multi-objective optimization in partitioning the healthcare system of Parana State in Brazil. **Omega**, v. 52, p. 53–64, abr. 2015.

WANG, F. Measurement, Optimization, and Impact of Health Care Accessibility: A Methodological Review. **Annals of the Association of American Geographers. Association of American Geographers**, v. 102, n. 5, p. 1104–1112, jan. 2012.

XU, R.; WUNSCH, D. Survey of clustering algorithms. **IEEE transactions on neural networks / a publication of the IEEE Neural Networks Council**, v. 16, n. 3, p. 645–78, 1 maio 2005.

## 2. ARTIGO 1 - Method to assign specialties to timetable slots in surgery units to smooth postoperative inward bed demand

Marcos Gerchman ([marcos.gerchman@gmail.com](mailto:marcos.gerchman@gmail.com))

Flavio S. Fogliatto ([ffogliatto@producao.ufrgs.br](mailto:ffogliatto@producao.ufrgs.br))

Jeruza L. Neyeloff ([jneyeloff@hcpa.edu.br](mailto:jneyeloff@hcpa.edu.br))

Michel J. Anzanello ([anzanello@producao.ufrgs.br](mailto:anzanello@producao.ufrgs.br))

Beatriz D.Schaan ([beatrizschaan@gmail.com](mailto:beatrizschaan@gmail.com))

### Resumo

Picos na demanda de pacientes destinados aos leitos hospitalares usualmente resultam em problemas relacionados à prestação de serviços da saúde, ocasionando efeitos negativos na satisfação de pacientes e funcionários. As duas principais fontes de demanda de leitos são o departamento de emergência e a unidade cirúrgica; enquanto a primeira possui comportamento aleatório por natureza, o último pode ser gerenciado através de uma atribuição adequada de especialidades cirúrgicas em uma grade de horários. Este trabalho propõe um método para a determinação da melhor alocação de especialidades cirúrgicas em uma grade de horários, de modo que a variância da demanda de leitos seja minimizada. Para isso, é utilizada uma heurística de programação inteira. O método proposto é validado em uma unidade cirúrgica de um grande hospital público universitário no sul do Brasil. Como resultado, foi capaz de reduzir a variância da demanda de leitos pós-operatórios em 90%, suavizando o fluxo de pacientes para os leitos hospitalares.

*Palavras Chave:* Grade de horários cirúrgica, demanda de leitos, variabilidades, heurística

## 2.1. Introdução

O fluxo de pacientes através do sistema de saúde é frequentemente interrompido, resultando em impacto negativo na satisfação dos clientes e funcionários, e também sobre as finanças. Mais importante, a segurança dos pacientes pode ser afetada devido à atrasos no tratamento, e pacientes sendo alocados em unidades erradas podem ocasionar eventos adversos e resultados (RYCKMAN et al., 2010). Hospitais tradicionalmente respondem ao aumento da demanda adicionando recursos – mais funcionários e leitos. Entretanto, pesquisas têm demonstrado que eficiência pode ser aperfeiçoada através da simplificação do fluxo de pacientes e da reformulação do processo de cuidados da saúde (LITVAK; BISOGNANO, 2011).

Apesar de ser intuitivo pensar que picos de demanda de paciente são principalmente dependentes das flutuações naturais na ocorrência de doenças e lesões, isto não é frequentemente verdadeiro. Os dados obtidos prospectivamente em todos os pedidos de admissão na unidade de terapia intensiva em hospital de grande porte mostrou que alta variabilidade, particularmente entre pacientes submetidos a procedimentos cirúrgicos agendados, está altamente associada com picos de demanda. Desvios na unidade de terapia intensiva foram melhor correlacionados com a carga de trabalho de cirurgias agendadas ( $r = 0.542$ ,  $p < 0.001$ ) do que com o volume de cirurgias não agendadas ( $r = 0.255$ ,  $p < 0.001$ ). Durante os períodos mais movimentados, quase 70% dos desvios foram associados com a variabilidade no número de casos agendados (MCMANUS et al., 2003). Grandes variações de transferências de pacientes resultam em oscilações de necessidade de pessoal, especialmente em áreas de alta demanda de pacientes, como unidades de tratamento críticos, departamentos de emergência e unidades cirúrgicas (RUDOLPH, 2010). Desta forma, é evidente que a aplicação de planejamento e programação de procedimentos não apenas afeta o desempenho operacional das salas de operação cirúrgica, mas também outras instalações relacionadas, tais como a unidade de tratamento pós-anestesia, a unidade de tratamentos intensivos e leitos hospitalares (CARDOEN; DEMEULEMEESTER; VAN DER HOEVEN, 2010).

Entretanto, em muitos hospitais as cirurgias agendadas são realizadas conforme solicitado pelos cirurgiões, com privilégios de admissão. Esta prática implica em quando muitas cirurgias são agendadas para o mesmo dia, um pico artificial de demanda de pacientes é criado. Picos e vales artificiais no fluxo de pacientes podem ser

analisados e suavizados utilizando modelos de predição, resultando em melhorias no uso de recursos e redução de perdas (LITVAK; BISOGNANO, 2011; RYCKMAN et al., 2010). Diversos trabalhos têm evidenciado que modelos de simulação são úteis no planejamento de diferentes recursos envolvidos no planejamento de cirurgias (BELIËN; DEMEULEMEESTER; CARDOEN, 2006; PAOLETTI; MARTY, 2007; SEGEV et al., 2012). Hospitais como o Johns Hopkins, Cincinnati Children's, e a clínica Mayo na Flórida têm aplicado estes métodos com sucesso, através do compromisso de liderança e engajamento de médicos, utilizando dados locais (LITVAK; FINEBERG, 2013). Apesar de a literatura oferecer diversas abordagens capazes de lidar com estas questões, muitos hospitais não as usam, frequentemente antecipando complicações com o cronograma de cirurgias principalmente de forma reativa, lidando com os problemas depois que ocorrem (CARDOEN; DEMEULEMEESTER; VAN DER HOEVEN, 2010). Além disso, os mesmos métodos podem não ser adaptados em países cujos hospitais possuem leitos escassos, como o Brasil (UNIÃO, 2013).

Considerando que a programação da unidade de operações cirúrgicas pode aliviar as demandas de recursos materiais e humanos necessários nos leitos de um hospital, unidades de pós-anestesia e de tratamentos intensivos, é de extrema importância suavizar o fluxo de pacientes direcionados das cirurgias para estas unidades. Este trabalho apresenta um método que visualiza o impacto da programação de cirurgias no número de horas pós-operatórias de leitos do hospital. O método apresentado visa otimizar uma grade de horários cirúrgica, minimizando a variância de horas pós-operatórias de permanência no hospital requeridas pela unidade cirúrgica em cada dia, em um horizonte de 10 dias. Um estudo de caso é realizado em uma unidade cirúrgica de um grande hospital público localizado no sul do Brasil, ilustrando como o método pode auxiliar na construção de uma melhor construção de grade de horários cirúrgica e conseqüentemente maximizando a utilização de leitos no hospital.

## **2.2. Literatura Relacionada**

Em hospitais, é comum a utilização de um sistema de blocos, ou *slots*, para o planejamento de cirurgias. Neste sistema, cada especialidade cirúrgica é alocada em *slots*, caracterizados por um período durante um dia de trabalho, por exemplo um turno, em uma determinada sala cirúrgica (OR). A configuração diária de *slots* é repetida em

ciclos fixos, por exemplo a cada 2 semanas (FÜGENER, 2015). Este procedimento de alocação é definido por Hans et al. (2011) como um problema de decisão tática. Neste caso, o objetivo é a alocação de um número fixo de *slots* para cada especialidade cirúrgica, durante todo o ciclo da grade de horários. A determinação do número requerido de *slots* está relacionada a um nível estratégico, e é realizada previamente. Finalmente, no nível operacional, pacientes são direcionados para cirurgias, de acordo com a alocação de *slots* da especialidade cirúrgica associada. Nesta seção, as principais contribuições para o problema de decisão de alocação em nível tático, envolvendo o setor da saúde, são descritas.

Em geral, Cardoen et al. (2010) e May et al. (2011) descrevem em seus trabalhos os recentes avanços na área de planejamento e programação de OR. Neste caso, as principais abordagens desenvolvidas para a solução do problema são descritas, envolvendo os três níveis de decisão.

A respeito da alocação em nível tático, uma solução é proposta por Santibáñez et al. (2007) utilizando uma abordagem determinística de programação inteira mista. Eles consideram diferentes objetivos, como a maximização de fluxo de pacientes e minimização da variabilidade de uso de leitos pós-operatórios. Entre suas considerações, restringem o uso diário de cada OR apenas para uma única especialidade cirúrgica, reduzindo a complexidade combinatória.

Beliën and Demeulemeester (2007) utilizam uma abordagem estocástica para construir uma grade de horários cirúrgica. Para isso, modelam a distribuição de probabilidade de tempos de permanência (LOS) a partir de distribuições multinomiais, para cada tipo de cirurgia. Além disso, consideram o número de leitos ocupados em um dia específico seguindo uma distribuição binomial. A grade de horários é construída através da minimização da escassez total esperada de leitos, utilizando diversos algoritmos. As melhores soluções são obtidas a partir do uso de Arrefecimento Simulado (SA), porém também utilizando maior tempo computacional.

Vanberkel et al. (2010) empregam distribuições binomiais e convoluções discretas para calcular a distribuição exata de pacientes destinados aos leitos pós-operatórios, para uma dada grade de horários. A partir deste trabalho, Vanberkel et al. (2011) constroem diversas grades de horários e escolhem aquela com melhor distribuição de ocupação de leitos. Assim, as grades são construídas empiricamente e então avaliadas a partir do modelo proposto a respeito da demanda de leitos pós-operatórios.

Van Essen et al. (2014) também modelam a ocupação diária de leitos a partir de convoluções discretas das distribuições de LOS, seguindo a abordagem desenvolvida por Vanberkel et al. (2010). Então, utilizam uma heurística de busca local (SA) e uma abordagem global para encontrar a melhor configuração de grade de horários, minimizando a quantidade de leitos requeridos. A abordagem global, utilizando programação linear inteira e uma função objetivo linearizada, apresentou melhores resultados que com o uso de AS, porém não há garantias que este também funciona para instâncias em outros hospitais (VAN ESSEN et al., 2014). Concluem que a aproximação da função objetivo apenas promove boas soluções para o problema original em determinadas condições, as quais requerem mais pesquisa.

### **2.3. Metodologia**

As proposições são ilustradas a partir de um estudo de caso conduzido em uma unidade cirúrgica de um grande hospital universitário público localizado no sul do Brasil. O hospital é considerado o melhor no país em sua categoria, provendo cuidados de média e alta complexidade através do Sistema Unificado de Saúde (SUS). A unidade cirúrgica é composta por 11 salas, que pode ser alocadas para 15 diferentes especialidades cirúrgicas. A maioria das especialidades opera todas as semanas, porém algumas operam quinzenalmente. Portanto, são necessárias duas semanas (10 dias) para a rotação de todas as especialidades nas salas cirúrgicas.

Cirurgias são realizadas diariamente em três turnos de 6 horas (manhã, tarde e noite), de segunda a sexta-feira. Considerando as 11 salas cirúrgicas na unidade, um total de 33 *slots* são disponíveis todos os dias para alocação de especialidades. Cada *slot* alocado para uma dada especialidade cirúrgica  $i$  requer um total de  $t_i$  horas de tempo de permanência pós-operatório no hospital.

Nesta seção é apresentado o método utilizado para otimização da grade cirúrgica, minimizando a variância de tempo de permanência pós-operatório requerida pela unidade cirúrgica diariamente, em um horizonte de 10 dias. A implementação do método foi realizada a partir do software MATLAB 2015 em quatro etapas: (i) determinação da duração média de procedimentos cirúrgicos e média de número de horas pós-operatórias demandadas para cada especialidade cirúrgica; (ii) alocação

primária de especialidades em *slots*; (iii) alocação secundária de especialidades em *slots*; (iv) determinação da melhor solução ótima da grade de horários cirúrgica.

Este trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA) sob o projeto número CAAE 33705014.8.0000.5327, e os autores cumpriram com as recomendações da Declaração de Helsinki. Os dados utilizados no método foram extraídos a partir do sistema de gestão do hospital; dados pessoais dos pacientes foram preservados.

### **Etapa 1**

A alocação de uma especialidade  $i$  em um *slot* da grade cirúrgica permite a realização de um número de procedimentos, que é dependente da duração média dos procedimentos da especialidade ( $d_i$ ). Nesta etapa, é minerado o banco de dados de cirurgias realizadas em cada especialidade nos últimos 5 anos. O número de registros  $n_i$  usados para determinar  $d_i$  para cada especialidade  $i$  ( $i = 1, \dots, 16$ ) é dado pela Tabela 2.1.

A partir deste banco de dados, são calculadas as médias de número de horas de permanência pós-operatória no hospital ( $h_i$ ) demandadas por cada especialidade. A estatística  $h_i$  é uma média ponderada, considerando a média do número de horas de permanência pós-operatória demandada por cada procedimento da especialidade  $i$  e a correspondente frequência de ocorrência no banco de dados.

**Tabela 2.1.** Lista de especialidades cirúrgicas e informações relevantes associadas

<i>Especialidade, i</i>	$n_i$	$t_i$	$s_i$	$s_i^*$	$e_i$
1. Pediátrica	2963	1403,36	12	1	2
2. Colo Proctológica	2516	654,46	8	0	8
3. Neurocirurgia	2392	637,57	10	1	0
4. Sistema Digestivo	9930	528,73	23	2	3
5. Urologia	11136	526,64	25	2	5
6. Vascular	3435	525,74	12	1	2
7. Plástica	1663	493,35	8	0	8
8. Torácica	3213	458,63	10	1	0
9. Privada		419,84	48	4	8
10. Geral	9294	377,37	22	2	2
11. Ortopédica e Traumatológica	6468	312,08	22	2	2
12. Ginecológica e Obstétrica	5398	210,51	18	1	8
13. Otorrino	5652	204,33	18	1	8
14. Oral e Maxilofacial	278	178,84	2	0	2
15. Mastologia	2034	72,57	6	0	6
16. Indefinida		0	86	8	6

Combinando a informação a cima é determinada a estatística  $t_i$ , que corresponde ao número médio de horas de internação pós-operatória resultante da atribuição da especialidade  $i$  em um *slot* de 6 horas. Note que  $t_i$  é obtida pela multiplicação da média do número de procedimentos que podem ser realizados pela especialidade  $i$  em um *slot* (que é uma função de  $d_i$ ) pelo número médio de horas de permanência pós-operatória resultante desta especialidade (que é dado por  $h_i$ ). Valores de  $t_i$  (em horas) são informados na Tabela 2.1. Duas observações devem ser feitas a respeito da informação apresentada na tabela. Primeiro, 86 *slots* na grade de horários são vazios, principalmente no turno da noite; apesar de disponíveis, estes não estão atualmente ocupados por nenhuma especialidade. Estes *slots* correspondem à especialidade Indefinida na Tabela 2.1, e é dado o valor de  $t_i = 0$ . Segundo, apesar do HCPA ser um hospital público, é permitido o aluguel de 48 *slots* para o uso de práticas privadas, de qualquer especialidade. Estes *slots* correspondem à especialidade Privada na Tabela 2.1, com valor correspondente de  $t_i$  determinado a partir da demanda histórica de OR para cada especialidade.

## ***Etapa 2***

Esta é a etapa em que uma alocação primária de especialidade em *slots* é realizada. A grade de horários da unidade cirúrgica analisada é representada por uma matriz de 33 linhas (representando 11 OR que operam em três turnos durante o dia) e 10 colunas (representando 10 dias de trabalho requeridos por cada especialidade para que um ciclo completo da grade seja realizado). Cada célula da matriz representa um turno de 6 horas, estando disponíveis 330 *slots*. As grades de horários resultantes da aplicação deste método devem respeitar a demanda atual de *slots* por cada especialidade.

Considere a especialidade  $i$  e sua atual demanda por *slots*, dada por  $s_i$ . Valores de  $s_i$  variam de 2 (especialidade Oral e Maxilofacial) a 86 (especialidade Indefinida), conforme tabela 2.1. Para realizar a alocação primária, é necessário primeiramente identificar as especialidades em que a operação  $s_i/10$  resulta em números iguais ou maiores que 1, que serão arredondadas para baixo para o valor inteiro mais próximo. Os resultados, denotados por  $s_i^*$ , são apresentados na Tabela 2.1. A última coluna na Tabela 2.1 informa os valores de  $e_i = s_i - (s_i^* \times 10)$ . Por exemplo, quando  $i = 1$  (cirurgia Pediátrica) o resultado de  $s_1/10$  é 1.2, e os correspondentes valores de  $s_1^*$  e  $e_1$  são 1.0 e

2.0, respectivamente; quando  $i = 12$  (cirurgia Ginecológica e Obstétrica), o resultado de  $s_{12}/10$  é 1.8, com valores correspondentes de  $s_{12}^*$  e  $e_{12}$  dados por 1.0 e 8.0.

Quando  $s_i^* > 0$  é possível alocar a especialidade  $i$  em  $s_i^*$  linhas inteiras de *slots* na grade de horários. Esta é uma situação desejada, conforme explicado a seguir. Relembre que cada coluna na tabela corresponde a um dia de semana, com 33 *slots* disponíveis para alocação de especialidades. No momento em que especialidades são alocadas em uma determinada coluna, é possível calcular a soma dos valores de  $t_i$  correspondente, que informa o número total de horas requeridas de leitos pós-operatórios naquele dia. A configuração ótima de alocação de especialidades em *slots* de uma grade de horários é aquela que minimiza a variância da soma de  $t_i$  calculados para cada dia da semana. A alocação de uma determinada especialidade em uma ou mais linhas inteiras da grade de horários contribui para a minimização desta variância.

A soma dos valores da coluna  $s_i^*$  da Tabela 2.1 é 26. Então, das 33 linhas disponíveis na tabela, 26 podem ser alocadas inteiramente com uma única especialidade cada. Por exemplo, os 10 *slots* na primeira linha serão alocados com a especialidade Pediátrica, os 10 *slots* na segunda linha serão alocados com a especialidade Neurocirurgia, os 20 *slots* na terceira e quarta linha serão alocados com a especialidade Sistema Digestivo, e assim por diante.

Após a alocação primária de especialidades em *slots* ser realizada, ainda haverá demanda de *slots* a ser satisfeita por cada especialidade, que será contemplada na Etapa 3 do método. No exemplo a cima, 10 dos 12 *slots* demandados pela especialidade Pediátrica foram satisfeitos na alocação primária. Analisando a soma da coluna  $s_i^*$  na Tabela 2.1, é possível observar que as especialidades 2, 7, 14 e 15, cujos valores de  $s_i^* = 0$ , não possuem *slots* alocados nesta etapa.

### ***Etapa 3***

Esta etapa consiste na determinação da melhor configuração de alocação dos *slots* não contemplados na Etapa 2. Para uma dada especialidade  $i$  existem  $e_i$  *slots* com demanda ainda não atendida nos 70 (7 linhas x 10 colunas) *slots* remanescentes da Etapa 2. O objetivo é alocar as especialidades de modo a minimizar a variância entre as colunas da tabela. A forma mais direta de abordagem computacional para isso seria a enumeração completa de todas as possíveis combinações de alocação. Entretanto, tal tarefa só é factível para pequenas grades de horários, o que não é o caso deste trabalho.

Foi desenvolvida uma heurística para encontrar a melhor alocação secundária, inspirada pelo algoritmo popular conhecido como *bin packing* (JOHNSON, 1973). Inicia-se calculando o número ótimo de horas pós-operatórias de utilização de leitos do hospital ( $O^*$ ) a ser adicionada a cada coluna da tabela resultante da Etapa 2, no caso de todos os *slots* ainda não alocados fossem homoganeamente distribuídos nas colunas. Considerando a Tabela 2.1,  $O^* = \sum_{i=1}^{16}(e_i \times t_i) / 10 = 2,608.5$  horas. Em seguida, ordena-se as especialidades cirúrgicas em ordem decrescente quanto aos valores de  $t_i$ . Note que a lista de especialidade na Tabela 2.1 já reflete este ordenamento. Então aloca-se os *slots* remanescentes requeridos pela especialidade com mais alto valor de  $t_i$  para o primeiro *slot* da matriz, de cima para baixo, da esquerda para a direita. Repete-se o procedimento considerando a próxima especialidade cirúrgica com mais alto  $t_i$ , e assim em diante, monitorando o resultado da soma de tempo pós-operatório em cada coluna. Quando todas as somas das colunas se encontram no intervalo  $[O^* - x\%; O^* + x\%]$ , inicia-se os testes de alocação de especialidade em busca de uma alocação final, em que a soma de cada coluna converge para  $O^*$ . O valor de  $x$  é definido pelo usuário, e é dependente dos valores de  $t_i$  sendo considerados; neste trabalho, foi definido o valor de  $x = 5$ .

#### ***Etapa 4***

Uma vez que a grade de horários ótima é determinada, melhoras ainda podem ser possíveis. Dado o objetivo de minimizar a variância da soma dos valores de  $t_i$  associada às colunas da matriz, algumas permutações de *slots* podem ser realizadas sem afetar o valor final da função objetivo. Mais especificamente: (i) linhas da matriz provenientes da Etapa 2, as quais contém apenas alocações com uma única especialidade, são permutáveis; (ii) alocação de *slots* dentro de uma mesma coluna são intercambiáveis se não alterarem a estrutura das linhas da Etapa 2; e (iii) colunas da matriz são intercambiáveis.

As características descritas a cima permitem o ajuste da grade de horários ótima para se assemelhar com a grade atualmente utilizada no hospital, minimizando o efeito de alterações nos horários das especialidades nas programações semanais.

## 2.4. Resultados

A configuração atual da grade de horários da unidade cirúrgica analisada é apresentada na Tabela 2.2 (especialidades seguem os mesmos índices apresentados na Tabela 2.1). Alguns aspectos são dignos de atenção. Em primeiro lugar, algumas especialidades são sistematicamente alocadas em OR específicos, denotando preferências. Esses são os casos da Otorino (OR nº7) e Ginecologia e Obstetrícia (OR nº3). Outros, como a Ortopedia e Urologia são alocados em diversas ORs. Em segundo lugar, observa-se a subutilização da OR nº2. Esta sala é equipada para cirurgia robótica, utilizada sob demanda de cinco especialidades (Sistema Digestivo, Urologia, Privada, Geral e Ginecologia e Obstetrícia), que requerem um total de 12 *slots* quinzenais. Finalmente, nota-se que as OR nº9 e OR nº15 são exclusivamente atribuídas às cirurgias de emergência e cardíaca, e não foram consideradas na análise.

**Tabela 2.2** Grade de horários cirúrgica atual

OR	Turno	Semana 1					Semana 2				
		Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	Manhã	9	7	8	14	7	9	7	8	10	7
	Tarde	9	7	8	14	7	9	7	8	10	7
	Noite	9					9				
2	Manhã	10	4		12	5	10	4		12	5
	Tarde	9	9				9	9			
	Noite										
3	Manhã	12	12	15	12	12	12	12	15	12	12
	Tarde	12	12	15	12	12	12	12	15	12	12
	Noite										
4	Manhã	6	11	11	11	3	6	11	11	11	3
	Tarde	11	11	11	11	3	11	11	11	11	3
	Noite	9	11				9	11			
5	Manhã	4	4	4	10	9	4	4	4	10	9
	Tarde	4	4	10	10	9	4	4	10	10	9
	Noite					9					9
6	Manhã	1	9	1	6	1	1	9	5	6	1
	Tarde	1	9	1	4	9	1	9	1	1	9
	Noite		9	1				9	1		
7	Manhã	13	10	13	13	13	13	10	13	13	13
	Tarde	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	Noite										
8	Manhã	5	5	9	5	5	5	5	9	5	5
	Tarde	5	5	9	9	5	5	5	9	9	5
	Noite	5		9	9		5		9	9	
10	Manhã	11	6	4	10	5	11	6	4	10	5
	Tarde	6	11	4	10	5	6	11	4	10	5
	Noite	5	9		4		5	9		4	
11	Manhã	2	4	2	2	8	2	4	2	2	8
	Tarde	15	4	8	2	8	15	4	8	2	8
	Noite										
13	Manhã	10	10	3	11	6	10	10	3	11	6
	Tarde	10	3	9	9	6	10	3	9	9	6
	Noite		3	9	9	9		3	9	9	9

A atual grade de horários resulta em uma média diária de demanda de horas de leitos pós-operatórios de 11170 horas, com um desvio padrão de 1049,7 horas. Demandas mínimas e máximas de leitos são de 8896 (quinta-feira – Semana 1) e 12382 horas (segunda-feira – Semana 1 e 2). A demanda associada à grade de horários atual é de 3486 horas (o que corresponde a 18,2% do total de 19200 horas diárias disponíveis no hospital), e o coeficiente de variação é de 9,4%.

**Tabela 2.3** Grade de horários cirúrgica proposta

OR	Turno	Semana 1					Semana 2				
		Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
1	Manhã	7	7	7	7	9	7	7	7	7	9
	Tarde	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	Noite										
2	Manhã	10			5	12	10			5	12
	Tarde	4			9	9	4			9	9
	Noite										
3	Manhã	10	12	12	12	12	10	12	12	12	12
	Tarde	12	12	12	12	10	12	12	12	12	10
	Noite		9	9	9	9		9	9	9	9
4	Manhã	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	Tarde	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	Noite		9	9	9	9		9	9	9	9
5	Manhã	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Tarde	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Noite		9	9				9	9		
6	Manhã	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Tarde	1	10	10	10	10	1	10	10	10	10
	Noite										
7	Manhã	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	Tarde	9	13	13	13	13	9	13	13	13	13
	Noite										
8	Manhã	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Tarde	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Noite										
10	Manhã	9	2	2	2	2	9	2	2	2	2
	Tarde	9	10	10	10	10	9	10	10	10	10
	Noite		9	9				9	9		
11	Manhã	11	15	14	15	15	11	15	14	15	15
	Tarde	9	5	4	9	9	9	5	5	9	9
	Noite										
13	Manhã	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Tarde	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Noite		9	9	9	6		9	9	9	6

A Tabela 2.3 apresenta os resultados da aplicação do método proposto de alocação de especialidades cirúrgicas em uma grade de horários. A nova tabela respeita as demandas de *slots* de cada especialidade observada na Tabela 2.2. Preferências foram respeitadas, por exemplo, OR n°7 e n°3 foram alocadas as especialidades Otorrino, e Ginecologia e Obstetrícia, respectivamente. Além disso, foram mantidas as mesmas

quantidades de *slots* alocados na OR nº2 (reservada para cirurgias robóticas) conforme a demanda de cada especialidade para esta sala.

A nova grade de horários resulta em uma média diária de demanda de horas de leitos pós-operatórios de 11217 horas, com desvio padrão de 101 horas. Valores médios em relação a tabela anterior se mantiveram essencialmente os mesmos, porém com queda no desvio padrão em 90% com respeito a nova grade. As demandas mínimas e máximas de leitos refletem esta queda na variabilidade; estas são 11070 horas (quinta-feira – Semana 2) e 11347 horas (segunda e quinta-feira – Semana 1). A amplitude da demanda na tabela proposta é de 277 horas (representando 1,4% do total de horas diárias disponíveis no hospital), e o coeficiente de variação teve queda para 0,9%.

## 2.5. Discussão

Este estudo propõe um método para realocar a grade de horários de uma unidade cirúrgica, de modo a reduzir a alta variabilidade de horas pós-operatórias. O método proposto resulta em média similar dos valores atuais, porém apresenta redução no desvio padrão em 90% com respeito à grade atual, resultando em uma menor demanda de leitos.

Considerando a atual configuração da grade de horários da unidade cirúrgica em análise, preferências de especialidades por ORs e subutilização de capacidades foram observadas. Sabe-se que prioridades conflitantes e preferências das partes envolvidas são comuns em programações cirúrgicas (CARDOEN; DEMEULEMEESTER; VAN DER HOEVEN, 2010; PANDIT; TAVARE, 2011). Frequentemente, o planejamento de grades cirúrgicas é baseado na utilização: especialidades que mais utilizam o tempo de OR obtêm *slots* reservados, de modo que cirurgiões são tratados como clientes, e os melhores clientes recebem vantagens (WACHTEL; DEXTER, 2008). Entretanto, a literatura é clara quanto à não utilizar esta abordagem para o planejamento de *slots* (BLAKE; DEXTER; DONALD, 2002; DEXTER et al., 1999). Além da equidade na alocação entre cirurgiões, a minimização de custos hospitalares/pessoal e o nivelamento do uso de leitos são os critérios mais importantes a serem abordados (GUERRIERO; GUIDO, 2011).

Ademais, neste estudo, altos valores de média e desvio padrão referentes à demanda diária de horas de leitos pós-operatórios são observados. Isto é, provavelmente, uma repercussão do modo em que os ORs são atualmente alocados. A

redução de variabilidade é mandatória, visto que pode melhorar significativamente a eficiência (HARRISON; SHAFER; MACKAY, 2005). Na verdade, o que ocorre dentro de um OR dramaticamente influencia a demanda de fluxo de recursos no restante do hospital. Por exemplo, após a cirurgia o paciente frequentemente ocupa um leito e requer medicamentos, assistência farmacêutica e da enfermagem, bem como consumo de materiais e uso de equipamentos; conseqüentemente, os padrões da demanda destes recursos são dependentes da programação das salas de operação (BELIËN; DEMEULEMEESTER; CARDOEN, 2006). Se determinados recursos demandados são limitados, como é o caso do clássico exemplo de leitos de hospitais, o tempo de OR deve ser planejado de modo que os cirurgiões que os utilizem operem em diferentes dias da semana (WACHTEL; DEXTER, 2008). O tempo utilizado por diferentes cirurgiões deve ser planejado de modo a espalhar a carga de trabalho igualmente entre os dias da semana: um exemplo é a distribuição das internações na unidade de tratamento intensivo de maneira mais uniforme em diferentes dias da semana após a reorganização dos horários de utilização de OR (KOLKER, 2009)..

Além disso, a proposição de otimização da grade de horários da unidade de operações faz parte de um planejamento de produção agregado, também conhecido como problema de decisão de nível tático. Neste nível de planejamento, o problema é caracterizado quando a alocação de especialidades em *slots*. A alocação de procedimentos cirúrgicos dentro do *slot* é realizada em um nível operacional, e a determinação da quantidade total de *slots* requeridos por cada especialidade é previamente definido.

Uma limitação dos resultados aqui apresentados é que o modelos não foi testado e avaliado na prática, de modo a confirmar os benefícios observados na simulação. Também, um grande esforço é necessário de forma a alterar as práticas usuais em instituições de saúde, visto que não é claro para os profissionais desta área a extensão do impacto de novas formas de funcionamento no cuidado de pacientes, que representa a principal preocupação dos mesmos. Esta é uma questão importante para futuras pesquisas; como incentivar unidades, seus gestores e pessoal para implementar práticas que claramente melhoram a utilização de recursos.

Em conclusão, é possível atingir uma situação em que a ocupação do leito cirúrgico é planejado com baixa variabilidade através da modelagem de uma nova grade de horários. Métodos de planejamento e programação são necessários para elevar a

eficiência das unidades cirúrgicas, e conseqüentemente a ocupação de leitos, visto que qualquer decisão realizada em um dado nível influencia os seguintes.

## 2.6. References

BELIËN, J.; DEMEULEMEESTER, E. Building cyclic master surgery schedules with leveled resulting bed occupancy. **European Journal of Operational Research**, v. 176, n. 2, p. 1185–1204, jan. 2007.

BELIËN, J.; DEMEULEMEESTER, E.; CARDOEN, B. Visualizing the Demand for Various Resources as a Function of the Master Surgery Schedule: A Case Study. **Journal of Medical Systems**, v. 30, n. 5, p. 343–350, 12 set. 2006.

BLAKE, J. T.; DEXTER, F.; DONALD, J. Operating room managers' use of integer programming for assigning block time to surgical groups: a case study. **Anesthesia and analgesia**, v. 94, n. 1, p. 143–8, table of contents, jan. 2002.

CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J. Operating room planning and scheduling: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 201, n. 3, p. 921–932, mar. 2010.

CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTER, E.; VAN DER HOEVEN, J. On the use of planning models in the operating theatre: results of a survey in Flanders. **The International journal of health planning and management**, v. 25, n. 4, p. 400–14, jan. 2010.

DEXTER, F. et al. An operating room scheduling strategy to maximize the use of operating room block time: computer simulation of patient scheduling and survey of patients' preferences for surgical waiting time. **Anesthesia and analgesia**, v. 89, n. 1, p. 7–20, jul. 1999.

FÜGENER, A. An Integrated Strategic and Tactical Master Surgery Scheduling Approach With Stochastic Resource Demand. **Journal of Business Logistics**, v. 36, n. 4, p. 374–387, 27 dez. 2015.

GUERRIERO, F.; GUIDO, R. Operational research in the management of the operating theatre: a survey. **Health care management science**, v. 14, n. 1, p. 89–114, mar. 2011.

HANS, E. W.; MARK, VAN H.; HULSHOF, P. J. H. A Framework for Healthcare Planning and Control. In: HALL, R. (Ed.). . **Handbook of Healthcare System Scheduling**. International Series in Operations Research & Management Science. Boston, MA: Springer US, 2011. v. 168p. 303–320.

HARRISON, G. W.; SHAFER, A.; MACKAY, M. Modelling variability in hospital bed occupancy. **Health care management science**, v. 8, n. 4, p. 325–34, nov. 2005.

JOHNSON, D. S. . 1945-. **Near-optimal bin packing algorithms** Massachusetts Institute of Technology, , 1973. Disponível em: <<http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/57819>>. Acesso em: 8 fev. 2016

KOLKER, A. Process modeling of ICU patient flow: effect of daily load leveling of elective surgeries on ICU diversion. **Journal of medical systems**, v. 33, n. 1, p. 27–40, fev. 2009.

LITVAK, E.; BISOGNANO, M. More patients, less payment: increasing hospital efficiency in the aftermath of health reform. **Health affairs (Project Hope)**, v. 30, n. 1, p. 76–80, jan. 2011.

LITVAK, E.; FINEBERG, H. V. Smoothing the way to high quality, safety, and economy. **The New England journal of medicine**, v. 369, n. 17, p. 1581–3, 24 out. 2013.

MAY, J. H. et al. The Surgical Scheduling Problem: Current Research and Future Opportunities. **Production and Operations Management**, v. 20, n. 3, p. 392–405, 20 maio 2011.

MCMANUS, M. L. et al. Variability in surgical caseload and access to intensive care services. **Anesthesiology**, v. 98, n. 6, p. 1491–6, jun. 2003.

PANDIT, J. J.; TAVARE, A. Using mean duration and variation of procedure times to plan a list of surgical operations to fit into the scheduled list time. **European journal of anaesthesiology**, v. 28, n. 7, p. 493–501, jul. 2011.

PAOLETTI, X.; MARTY, J. Consequences of running more operating theatres than anaesthetists to staff them: a stochastic simulation study. **British journal of anaesthesia**, v. 98, n. 4, p. 462–9, abr. 2007.

RUDOLPH, M. E. The Problem of Patient Flow. In: **Managing Patient Flow in Hospitals: Strategies and Solutions**. 2nd. ed. [s.l: s.n.]. p. 3–14.

RYCKMAN, F. C. et al. (EDS.). Cincinnati Children’s Hospital Medical Center: Redesigning Perioperative Flow Using Operations Management Tools to Improve Access and Safety. In: **Managing Patient Flow in Hospitals: Strategies and Solutions**. 2. ed. [s.l: s.n.]. p. 97–112.

SANTIBÁÑEZ, P.; BEGEN, M.; ATKINS, D. Surgical block scheduling in a system of hospitals: an application to resource and wait list management in a British Columbia health authority. **Health care management science**, v. 10, n. 3, p. 269–82, set. 2007.

SEGEV, D. et al. Modeling the impact of changing patient transportation systems on peri-operative process performance in a large hospital: insights from a computer simulation study. **Health care management science**, v. 15, n. 2, p. 155–69, jun. 2012.

UNIÃO, T. DE C. DA. **Relatório Sisitêmico de Fiscalização da Saúde. FICSAÚDE**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[http://portal3.tcu.gov.br/portal/page/portal/TCU/imprensa/noticias/noticias\\_arquivos/032.624-2013-1 Fisc Saude.pdf](http://portal3.tcu.gov.br/portal/page/portal/TCU/imprensa/noticias/noticias_arquivos/032.624-2013-1_Fisc_Saude.pdf)>. Acesso em: 8 fev. 2016.

VAN ESSEN, J. T. et al. Reducing the number of required beds by rearranging the OR-schedule. **OR Spectrum**, v. 36, n. 3, p. 585–605, 2014.

VANBERKEL, P. T. et al. An exact approach for relating recovering surgical patient workload to the master surgical schedule. **Journal of the Operational Research Society**, v. 62, n. 10, p. 1851–1860, 2010.

VANBERKEL, P. T. et al. Accounting for inpatient wards when developing master surgical schedules. **Anesthesia and Analgesia**, v. 112, n. 6, p. 1472–1479, 2011.

WACHTEL, R. E.; DEXTER, F. Tactical increases in operating room block time for capacity planning should not be based on utilization. **Anesthesia and analgesia**, v. 106, n. 1, p. 215–26, table of contents, jan. 2008.

### 3. ARTIGO 2 - Avaliação de reprodutibilidade de um painel de análise sensorial através de conceitos de análise de clusters

Marcos Gerchman (*marcos.gerchman@gmail.com*)

El Mostafa Qannari (*elmostafa.qannari@oniris-nantes.fr*)

Flávio Sanson Fogliatto (*ffogliatto@producao.ufrgs.br*)

#### Resumo

A formação adequada de painel de análise sensorial requer uma alta reprodutibilidade entre as opiniões dos painelistas envolvidos. Desta forma, faz-se necessário identificar painelistas com baixa similaridade de avaliações em relações aos demais. Para isso, propõe-se um índice, Alfa Proposto (PA), baseado em conceitos de análise de *cluster*, capaz de auxiliar o reconhecimento de painelistas *outliers*. Este índice varia de  $-1$  e  $(J-1)$ , sendo  $J$  o total de painelistas, onde quanto mais positivos os valores, mais dissimilar o painalista é em relação aos demais membros do painel. O desempenho do índice é comparado com Alfa de Ledauphin (LA) e Alfa de Cronbach (CA), e validado a partir de três estudos de caso. Os resultados apontaram maior facilidade de identificação de *outliers* a partir do uso de PA.

*Palavras Chave:* análise sensorial; outlier; análise de clusters.

#### Abstract

An adequate formation of a sensory analysis panel requires a high reproducibility between the opinions of the involved panelists. Thus, it is necessary to identify panelists with low similarity of assessments in relationship to the others. For this, we propose an index, Proposed Alpha (PA), based on cluster analysis concepts, which is able to assist the recognition of outlier panelists. This index ranges from  $-1$  to  $(J-1)$ ,  $J$  being the total number of panelists, where the more positive values, the more dissimilar the panelist is in relation to the other members of the panel. The performance index is compared with Ledauphin's Alpha (LA) and Cronbach's Alpha (CA), and validated with three case studies. The results showed an easier identification of outliers when using the PA.

*keywords:* sensory analysis, outlier, cluster analysis.

### 3.1. Introdução

A formação convencional de perfis sensoriais utiliza um painel de avaliadores para determinar diferenças entre grupos de produtos a partir de suas propriedades sensoriais (WILDERJANS; CARIOU, 2015). Os produtos são avaliados individualmente, com resultados expressos em uma escala numérica contínua. Um único valor é utilizado para indicar a intensidade de determinado atributo para cada produto (ANZANELLO, 2011). O sucesso na implementação de um painel sensorial depende da habilidade de cada painelista em (i) discriminar produtos (discriminação), (ii) repetir consistentemente as avaliações em diferentes ocasiões (repetitividade) e (iii) avaliar os produtos de maneira semelhante aos demais membros do painel (reprodutibilidade) (DERNDORFER et al., 2005; ROSSI, 2001). Assim, para garantir a boa qualidade dos dados gerados pelo painel, é necessário detectar e eliminar, ou reduzir a importância, de avaliadores com opiniões muito discrepantes em relação aos demais (DAHL; NÆS, 2009).

Dentre os métodos para avaliação da reprodutibilidade, destacam-se a análise gráfica e a utilização de índices de desempenho. Os gráficos podem ser obtidos através de *Fuzzy Clustering* (DAHL; NÆS, 2009), *Manhattan plot* (DAHL et al., 2008), de pesos obtidos a partir da análise de *clusters* em torno de variáveis latentes (WILDERJANS; CARIOU, 2015), ou através da distância de Procrustes, associada à análise generalizada de Procrustes (DAHL; NÆS, 2004). Todas as abordagens utilizam a análise visual para a detecção de padrões indicativos de desacordo entre painelistas em relação às suas avaliações.

Já os índices de desempenho de reprodutibilidade são definidos matematicamente e mensuram o alinhamento do painelista com os demais membros do painel. Podem ter origem em informações referentes à variância e covariância das avaliações (LEDAUPHIN; HANAFI; QANNARI, 2006; PINTO; FOGLIATTO; QANNARI, 2014; TOMIC et al., 2013), em dados obtidos a partir da tabela ANOVA (CARBONELL; IZQUIERDO; CARBONELL, 2007; ROSSI, 2001) e na relação entre o primeiro componente principal e os demais, obtidos em uma análise de componentes principais (DIJKSTERHUIS, 1995).

Uma ferramenta pouco abordada em estudos de reprodutibilidade é a análise de *clusters*. Esta se destaca como uma ferramenta de data mining capaz de agrupar um conjunto de dados de modo que a similaridade entre indivíduos de um mesmo grupo

seja alta, e entre indivíduos de grupos diferentes, seja baixa (JAIN, 2010). No contexto deste trabalho, os grupos formados são caracterizados por avaliadores com opiniões semelhantes entre si.

Neste trabalho é proposto um novo índice, Alfa Proposto, que utiliza conceitos de análise de *clusters* e uma métrica de distância euclidiana, visando avaliar painelistas a respeito da reprodutibilidade. Para a implementação do Alfa Proposto, faz-se necessário um pré-tratamento de dados, de modo a remover efeitos de escala. Cada painalista é então caracterizado por suas avaliações referentes aos atributos de cada produto analisado pelo painel. Considera-se que quanto menor a distância entre o painalista e o centroide do *cluster* representado por todos os painelistas, mais alinhado ele é com os demais membros do *cluster*. O índice então mensura as distâncias percentuais dos painelistas em relação ao centroide. Em seguida, remove-se a influência de número de painelistas envolvidos na análise. O Alfa Proposto resultante varia de -1 a  $(J-1)$ , onde  $J$  é o número de painelistas. Valores negativos indicam painelistas alinhados com o restante do painel. Resultados altamente positivos de Alfa Proposto representam painelistas cujas avaliações mais divergem em relação aos demais integrantes do painel.

A utilização do índice proposto permite, assim, a identificação de painelistas que necessitam de treinamento. Estes *outliers* podem ser removidos do painel em análises de regressão associando características dos produtos às notas dadas aos atributos sensoriais, evitando interferências com os demais. Por fim, também é possível determinar os atributos sensoriais que diferem os *outliers* do restante do painel. Para isso, realiza-se o cálculo da diferença dos vetores associadas aos *outliers* e ao centroide, representando os outros componentes do painel.

É apresentada uma análise comparativa entre três métodos de avaliação de reprodutibilidade de painéis sensoriais, utilizando dados de três diferentes estudos de caso. Os métodos comparados são (i) Alfa de Cronbach (PINTO; FOGLIATTO; QANNARI, 2014), (ii) Alfa de Ledauphin (LEDAUPHIN; HANAFI; QANNARI, 2006), e (iii) Alfa Proposto. O Alfa Proposto utiliza bases teóricas diferentes dos demais, sendo baseado em distâncias euclidianas, ao invés de variâncias e covariâncias. Além disso, evidencia mais claramente, em relação aos outros métodos testados, painelistas com problema de reprodutibilidade.

O presente artigo é dividido em seis seções, incluindo a presente introdução. A seção 2 apresenta uma revisão da literatura quanto aos temas abordados. A seção 3 discorre sobre a metodologia aplicada no trabalho. Em seguida, são apresentados os

estudos de caso abordados. Na seção 5, é aplicado o método são apresentados os resultados. Por fim, a seção 6 é dedicada às conclusões do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

### **3.2. Fundamentação Teórica**

O sucesso na implementação de um painel sensorial depende da habilidade de cada painelista em (i) discriminar produtos (discriminação), (ii) repetir consistentemente as avaliações em diferentes ocasiões (repetitividade) e (iii) avaliar os produtos de maneira semelhante aos demais membros do painel (reprodutibilidade) (DERNDORFER et al., 2005; ROSSI, 2001). Este trabalho tem foco na reprodutibilidade, buscando avaliar o desempenho do painel a respeito desta habilidade, além de identificar painelistas com opiniões diferentes dos demais, ou *outliers*. Desta forma, esta seção busca descrever os métodos e técnicas utilizados na literatura para descrever a reprodutibilidade de painéis sensoriais. Dois grandes grupos de métodos podem ser observados: análises gráficas e mensurações através de índices.

#### *(i) Análises Gráficas*

A análise visual a partir de gráficos é amplamente utilizada na caracterização da reprodutibilidade de painéis sensoriais. Além disso, muitas vezes auxiliam na identificação de painelistas *outliers* (DAHL; NÆS, 2004, 2009; DAHL et al., 2008; WILDERJANS; CARIOU, 2015).

Dahl & Naes (2009) buscam identificar painelistas *outliers* em um painel sensorial a partir de *Fuzzy Clustering* e do conceito de *Noise Clustering*. Para isso, é criado um grupo ruído. Inicialmente todos os painelistas são alocados a este grupo. À medida que o algoritmo avança, aumenta a probabilidade dos painelistas treinados se deslocarem para fora do grupo ruído. A partir de uma análise gráfica ocorre a identificação de painelistas com dificuldade em sair do grupo ruído, considerados *outliers*. A proposta foi ilustrada utilizando dados de 12 painelistas (dos quais nove possuem treinamento), avaliando 13 atributos em 14 amostras de queijos expostos a diferentes níveis de luz e oxigênio. O método foi capaz de identificar com sucesso os três painelistas sem treinamento.

Outra abordagem gráfica, proposta por Dahl et al. (2008), utiliza o *Manhattan plot* para promover uma visão geral do desempenho dos painelistas. Este gráfico

permite, para cada painelista, observar o quanto a variabilidade, de cada atributo, pode ser explicada pelos componentes principais, obtidos por aplicação de PCA (análise de componentes principais). Deste modo, a partir da comparação visual dos padrões observados nos gráficos para cada painelista, é possível identificar painelistas com comportamentos diferentes dos demais.

Para detectar a discordância entre membros de um painel sensorial, Wilderjans & Cariou (2015) propõem o uso de análise de *clusters* a partir de variáveis latentes obtidas de matrizes tridimensionais de dados (CLV3W). O método busca agrupar  $A$  atributos em  $K$  *clusters*, estimando para cada *cluster* um componente sensorial latente associado, de modo que os atributos dentro de cada *cluster* sejam os mais relacionados possíveis com o componente latente. Simultaneamente, para cada componente sensorial latente, um sistema de pesos é estimado de modo a se obter informação quanto à divergência de painelistas em relação ao resto do painel. Assim, diferenças entre painelistas são observadas quando os pesos associados aos mesmos são discrepantes entre si. Esta identificação é realizada com auxílio de um gráfico de barras, onde é possível visualizar os pesos de cada painelista para cada *cluster* formado.

Uma técnica amplamente aplicada na criação de perfis sensoriais é a análise generalizada de Procrustes (GPA). Esta busca minimizar as distâncias entre  $P$  produtos, em um espaço  $A$ -dimensional, sendo  $A$  a quantidade de atributos, para cada painelista  $j$ . Para isso, realiza transformações nos dados, como rotação, reflexão, deslocamento, encolhimento e alongamento. As distâncias de Procrustes finais entre os  $P$  produtos, para cada par de painelista são interpretadas como variâncias (DIJKSTERHUIS, 1996). Assim, em combinação com a GPA, Dahl & Naes (2004) utilizam uma análise hierárquica de *clusters* (AHC) para identificar *outliers* e subgrupos dentre os painelistas de um painel sensorial a partir das distâncias de Procrustes. São testadas estratégias de AHC com diferentes métricas de distância entre pontos, de modo a identificar qual é a mais adequada. A partir de análises visuais dos dendrogramas gerados pela AHC, definem a métrica *single linkage* como mais eficiente na identificação de estruturas dos grupos de painelistas. Baseados nos resultados obtidos, recomendam utilização conjunta de AHC e GPA em etapa exploratória de análise de dados de painel sensorial.

#### (ii) Índices de Desempenho de Reprodutibilidade

Além da forma gráfica, é possível expressar a reprodutibilidade de um painel sensorial a partir de índices. Estes podem ser definidos a partir de fórmulas matemáticas

envolvendo a variância e covariância entre painelistas (LEDAUPHIN; HANAFI; QANNARI, 2006; PINTO; FOGLIATTO; QANNARI, 2014; TOMIC et al., 2013), ou a partir de resultados de análise de variância, ou ANOVA (CARBONELL; IZQUIERDO; CARBONELL, 2007; ROSSI, 2001).

Pinto *et al.* (2014) propõem um novo método de avaliação da consistência de painelistas baseado no coeficiente alfa de Cronbach (CRONBACH, 1951). Este índice mensura a similaridade entre perfis de avaliação de diferentes painelistas. Deste modo, é possível identificar aqueles cujas avaliações são inconsistentes com o resto do painel. Para isso, o coeficiente de Cronbach leva em consideração a variância total das avaliações e a covariância média entre os painelistas do painel. Índices negativos expressam painelistas que, se removidos do painel, elevam a similaridade entre os demais.

Informações referentes à reprodutibilidade também podem ser extraídas de uma tabela ANOVA. Assim, Carbonell *et al.* (2007) utilizam a contribuição de cada painalista para a soma quadrática da interação produto x painalista, para cada atributo, como medida de reprodutibilidade (denominada pelo autor de homogeneidade). De maneira semelhante, Rossi (2001) mensura a reprodutibilidade a partir do desvio entre a média quadrática dos painelistas e a média quadrática da interação produto x painalista. Ambos os trabalhos utilizam informações associadas à interação entre os fatores para cálculo de índices de reprodutibilidade.

O estudo de Dijkserhuis (1995) sugere o uso de um índice de consonância para a avaliação da consistência do painel. Realiza a análise de componentes principais (PCA) em matrizes de avaliação (produtos x painelistas), para cada atributo. O índice de consonância  $C$  é dado pela razão entre o autovalor do primeiro componente principal em relação à soma dos autovalores dos demais. Basicamente, o índice mede a importância relativa do primeiro componente principal. Um painel perfeito consiste de painelistas que avaliam os atributos de mesma maneira. Isso resulta em uma solução quase unidimensional de PCA, sinalizada por um alto primeiro autovalor. A partir de gráficos relacionando o primeiro e segundo componente principal, é possível identificar qual painalista é responsável por desvios em cada atributo.

Outra medida de consistência de painel de painelistas é associada com a configuração de pesos médios, proposta por Ledauphin *et al.* (2006). O índice utilizado,  $\alpha(j)$ , varia em um intervalo de -1 a +1. Um painalista  $j$  com valor de  $\alpha(j)$  igual a +1 está em perfeita concordância com o resto do grupo, enquanto aqueles com índice -1 estão

em completa discordância com os demais. O cálculo do índice é baseado no autovetor correspondente ao maior autovalor de uma matriz de similaridade  $\mathbf{S}$ .

Um *framework* de índices de desempenho de painel sensorial é desenvolvido por Tomic *et al.* (2013). O trabalho inclui índices para cálculo de desempenho de painelistas quanto à discriminação, repetitividade e reprodutibilidade. Os dois primeiros estão baseados nos coeficientes RV ou RV2, enquanto o terceiro é obtido a partir de resultado da ANOVA. O coeficiente RV, que pode variar entre 0 e 1, permite mensurar a similaridade de informações de duas matrizes de painelistas. Assim, informa o quão similares são as avaliações entre cada par de painelistas. Já RV2 é uma modificação de RV, que varia de -1 a 1. O índice proposto para medição de reprodutibilidade,  $AGR_{PROD,n}$ , pode utilizar tanto RV como RV2 e indica qual é a concordância entre um painalista  $j$  e o consenso do painel (demais avaliações, excluindo as do painalista  $j$ ). Também sugere realizar a média deste índice em relação a todos os painelistas para se obter uma indicação de desempenho do painel em geral.

### 3.3. Metodologia

Nesta seção são detalhados os métodos implementados na seção 5. Três métodos são abordados: Alfa de Cronbach, Alfa de Ledaphin e um novo índice denominado Alfa Proposto. O uso do Alfa Proposto na análise de dados de painel sensorial, aliado aos conceitos envolvidos na análise de *clusters*, são as principais proposições e contribuições deste artigo.

A seguinte notação será utilizada nas seções seguintes:  $J$  ( $j = 1...J$ ) painelistas avaliam  $P$  ( $p = 1...P$ ) produtos a respeito de  $A$  ( $a = 1...A$ ) atributos. As repetições das avaliações não serão consideradas, sendo utilizados apenas os valores médios referentes à avaliação de um painalista  $j$  para o produto  $p$  referente ao atributo  $a$ .

Os dados utilizados nas análises foram sujeitos a um pré-tratamento, de modo a eliminar efeitos de escala. Para isso, são utilizadas  $J$  matrizes  $\mathbf{X}_j$  [ $P \times A$ ] referentes à avaliação de  $P$  produtos a respeito de  $A$  atributos, para cada painalista. Primeiramente, subtrai-se de cada valor das colunas a média da coluna, para obter-se matrizes centradas  $\mathbf{Xc}_j$ . Em seguida, são obtidas matrizes  $\mathbf{Y}_j$  a partir da multiplicação de cada matriz  $\mathbf{Xc}_j$  por um escalar  $\theta_j = 1/\sqrt{t_j}$ , onde  $t_j$  é a soma dos quadrados de todos os valores da matriz  $\mathbf{Xc}_j$ .

### 3.3.1. Alfa de Cronbach (CA)

O coeficiente Alfa de Cronbach (CA; Cronbach, 1951) é amplamente utilizado na avaliação da consistência de respondentes de questionários (MITCHELL; JOLLEY, 1996). Pinto *et al.* (2014) propõem o uso do coeficiente para avaliação de similaridade entre painelistas, indicando aqueles inconsistentes com o resto do painel. Os cálculos do índice são disponíveis em pacotes de análises estatísticas como o SPSS. Para este artigo, foi implementado o cálculo de Alfa de Cronbach a partir do software MATLAB R2012b.

A definição matemática do CA é baseada em uma matriz de covariância entre os  $J$  painelistas, que reflete o grau de concordância entre pares de painelistas. Assim, a eq. (1) descreve o índice CA, que expressa a consistência do painel como um todo.

$$CA = \frac{J\bar{c}}{\bar{v} + (J-1)\bar{c}} \quad (1)$$

onde  $J$  é o número de painelistas,  $\bar{c}$  é a média da covariância em relação a todos os pares de painelistas, e  $\bar{v}$  é a média da variância entre todos os painelistas.

O índice pode ser utilizado visando verificar o efeito da remoção de cada painalista no índice CA geral. Aqueles que, ao serem excluídos, aumentam o CA referente ao painel, são indicados como menos consistentes. O oposto também é válido, sendo aqueles que decrescem o valor de CA como mais consistentes. Para isso, utiliza-se uma matriz  $\mathbf{Z}$  com  $J$  linhas e  $[P \times A]$  colunas. Calcula-se o valor de  $CA_G$ , utilizando a Eq. (1), referente ao valor de alfa para o painel inteiro. O valor individual do coeficiente alfa referente ao painalista  $j$  ( $CA_j$ ) é obtido através da exclusão da linha  $j$  da matriz  $\mathbf{Z}$  seguida pela aplicação da eq. (1). O efeito da remoção do painalista  $j$  e a consequente consistência do mesmo são dados por:

$$CA_{\Delta j} = \left( \frac{CA_G - CA_j}{CA_G} \right) * 100 \quad (2)$$

O valor de  $CA_{\Delta j}$  resultante da eq. (2) expressa o aumento ou decréscimo percentual em  $CA_G$  resultante da exclusão do painalista  $j$ . Valores negativos indicam painelistas menos consistentes, visto que sua exclusão melhora o desempenho do painel. Quando positivo, o índice indica painelistas consistentes, cuja exclusão prejudica a consistência do painel.

### 3.3.2. Alfa de Ledauphin (LA)

De maneira semelhante, Ledauphin *et al.* (2006) sugerem o uso de um índice alfa (LA) associado à configuração média ponderal para avaliar a consistência de um painel. Para isso, utiliza uma matriz de similaridade  $\mathbf{S}$  [ $J \times J$ ] cujos elementos são, para cada par de painelistas  $k$  e  $l$ , dados por  $s_{kl} = (1 + t_{kl})/2$ , onde  $t_{kl} = (\mathbf{Y}_k^t \mathbf{Y}_l)$ ,  $\mathbf{Y}_k^t$  denotando a matriz transposta de  $\mathbf{Y}_k$ , para  $k, l = 1, \dots, J$ . Determina-se o autovetor relacionado ao maior autovalor da matriz  $\mathbf{S}$ , dado por  $\beta^t = [\beta_1, \dots, \beta_J]$ , de modo que  $\sum_{j=1}^J \beta_j = 1$ .

A configuração média ponderal é uma matriz de compromisso  $\mathbf{C}$ , que considera o desempenho ponderado de cada painalista, dada por  $\mathbf{C} = \sum_{j=1}^J \beta_j \mathbf{Y}_j$ . O índice  $LA_j$  indica a concordância de um painalista  $j$  em relação à configuração média do grupo, e é dado por:

$$LA_j = \frac{\text{traço}(\mathbf{Y}_j^t \mathbf{C})}{\sqrt{\text{traço}(\mathbf{C}^t \mathbf{C})}} \quad (3)$$

O valor de Alfa de Ledauphin obtido pela eq. (3) pode variar entre -1 e +1. Se para um dado painalista  $j$ ,  $LA_j$  é negativo, o índice reflete que o painalista  $j$  tem uma tendência a avaliar produtos de uma maneira muito diferente dos demais. Quando o valor de  $LA_j$  é próximo de +1, o painalista em consideração está em boa concordância com o ponto de vista geral do painel.

### 3.3.3. Alfa Proposto (PA)

O índice proposto, Alfa Proposto (PA), utiliza conceitos relacionados à análise de *clusters* para a mensuração de reprodutibilidade de um painel sensorial. Esta é uma técnica matemática que visa segregar indivíduos em grupos homogêneos internamente e heterogêneos entre si. Este conceito se alinha com questões referentes à reprodutibilidade de painelistas em um painel sensorial, visto que se objetiva um painel com opiniões concordantes, homogêneo. Desta forma, o índice PA é desenvolvido de forma que seja capaz de identificar painelistas dissimilares quanto às avaliações referentes a cada atributo e cada produto.

O painel de avaliadores possui um centroide, caracterizado pela opinião média dos painelistas que o compõe. O índice PA utiliza a premissa que os avaliadores com

opiniões mais distantes do centroide possuem menor concordância com o grupo que os demais. Desta forma, utiliza-se como medida de similaridade a distância euclidiana entre os painelistas e o centroide do *cluster*. Para a implementação do PA, apenas um *cluster* é considerado, composto por todos os painelistas envolvidos no painel.

Os dados, após padronização inicial, são organizados em uma matriz **M**, com  $J$  linhas e  $P \times A$  colunas. Em seguida, calcula-se o índice  $PA_j$ , indicativo de concordância do painalista  $j$  com os demais painelistas. Para isso, calcula-se a distância euclidiana ( $d_j$ ) entre cada painalista  $j$  e o centroide associado. Então, divide-se cada  $d_j$  pela soma de distâncias de cada painalista e o centroide, obtendo-se uma distância percentual relativa ( $\%d_j$ ) de cada painalista em relação ao centroide. Para remover o efeito da quantidade  $J$  de painelistas envolvidos na análise, calcula-se a razão entre  $\%d_j$  e  $(1/J)$ . O valor de  $(1/J)$  representa a distância percentual relativa se todos os painelistas estivessem igualmente distanciados do centroide. Desta forma, quando esta razão  $\%d_j/(1/J)$  é igual a 1, o painalista  $j$  se encontra na região “ótima” de equidistância. Removendo-se uma unidade então, obtém-se os valores de  $PA_j$ , que variam entre -1 e  $(J-1)$ . Matematicamente,  $PA_j$  é dado por:

$$PA_j = \frac{\left( \frac{d_j}{\sum_{j=1}^J d_j} \right)}{\left( \frac{1}{J} \right)} - 1 \quad (4)$$

Valores negativos de  $PA_j$  correspondem a painelistas localizados a distâncias inferiores à equidistância do centroide. Esses painelistas são caracterizados por possuir opiniões fortemente alinhadas com o valor médio do painel. De forma análoga, valores positivos indicam painelistas localizados a distâncias superiores à equidistância. Índices positivos são naturais, que compensam os pontos mais próximos. Porém, aqueles que se demonstram muito positivos em relação aos demais, podem ser considerados *outliers*.

A fim de demonstrar o alinhamento do índice com os conceitos de análise de *clusters*, são criados dendrogramas. Nestes, é possível verificar que a análise de *clusters* hierárquica resulta na mesma identificação de *outliers* proposta pelo índice. Desta forma,  $PA_j$  quantifica, na forma de um índice, as mesmas conclusões da análise de *clusters*.

### 3.4. Estudo de Caso

Nesta seção são detalhados os três bancos de dados utilizados na aplicação dos métodos apresentados na seção 3.3. Estes contêm avaliações realizadas por diferentes painéis sensoriais a respeito de atributos de três tipos de produtos: (i) ensopado de carne, (ii) cidra e (iii) chocolate.

#### (i) Ensopado de Carne

O primeiro estudo de caso envolve 8 produtos avaliados por 9 painelistas a respeito de 26 atributos. Os produtos foram preparados para o Programa de Desenvolvimento de Tecnologia de Fabricação de Ração de Combate Avançada, na Instalação de Tecnologia de Fabricação de Alimentos, em Piscataway, NJ, em 1994. Suas formulações foram baseadas em especificações militares de ensopados de carne para refeições-prontas-para-comer.

Um experimento foi realizado de modo a testar o efeito de diferentes condições de processamento nas características sensoriais do produto. Os fatores controláveis utilizados foram a temperatura, tempo de processamento e tipo de carne. Os tratamentos estão resumidos na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1.** Valores dos fatores controláveis utilizados na fabricação dos 8 amostras de ensopado de carne

		Tipo de Carne				
		Natural			Reestruturada	
Temperatura Tempo	104,4°C	107.2°C	121,1°C	104,4°C	121,1°C	129,4°C
	25 min	(P5)	(P1)	(P8)	(P7)	(P3)
	45 min	(P2)			(P6)	(P4)

Posteriormente, os produtos (P1) a (P8) foram avaliados por painelistas treinados a respeito de 26 atributos. Estes envolvem características sensoriais relacionadas à aparência, sabor e textura do produto avaliado. Avaliações de dois atributos foram incompletas, e, desta forma, removidas do banco de dados.

#### (ii) Cidra

O banco de dados relacionado à cidra é caracterizado por um experimento conduzido em 10 variedades de cidra por 7 painelistas, avaliando 10 atributos. Os atributos sensoriais compreendem características de picância, doçura, acidez, amargor, adstringência, odor, perfume, álcool, intensidade e sabor frutado.

*(iii) Chocolate*

O terceiro banco de dados contém o resultado de avaliações de um painel sensorial de chocolates. Os dados compreendem às avaliações de 15 painelistas sobre 6 chocolates a respeito de 14 atributos sensoriais.

### 3.5. Resultados

Os três estudos de caso descritos na Seção 3.4 são analisados na sequência que foram apresentados, utilizando os métodos descritos na Seção 3.3. Assim, busca-se a comparação entre os resultados dos cálculos de CA, LA, e PA para a caracterização do painel a respeito da reprodutibilidade.

*(i) Ensopado de Carne*

Calculou-se, utilizando a eq. (1), o Alfa de Cronbach para o painel como um todo. O valor resultante foi de 0,96. De acordo com Mitchell e Jolley (1996), índices  $CA_G$  superiores a 0,70 indicam analistas com perfis de avaliação similares. Deste modo, analisando-se diretamente o cálculo de  $CA_G$ , o painel em questão pode ser considerado altamente satisfatório quanto a reprodutibilidade.

Utilizando a eq. (2), é possível descrever o aumento ou decréscimo do índice  $CA_G$  no caso de um painalista  $j$  ser excluído do painel. Assim, é possível identificar painelistas discordantes, que prejudicam o desempenho geral. A Tabela 3.2 fornece os resultados obtidos referentes aos índices  $CA_{\Delta j}$ ,  $CA_j$  e  $CA_G$ . É possível identificar que a exclusão de qualquer painalista não melhora a reprodutibilidade do painel. Assim, o índice indica um painel não só com alta reprodutibilidade, mas sem painelistas divergentes dos demais.

**Tabela 3.2.** Valores dos índices de Alfa de Cronbach para dados de ensopado de carne

Painalista Ausente	$CA_{\Delta j}$	$CA_j$	$CA_G$
--------------------	-----------------	--------	--------

1	0,01	0,95	
2	0,01	0,95	
3	0,01	0,95	
4	0,01	0,95	
5	0,01	0,95	0,96
6	0,00	0,96	
7	0,00	0,96	
8	0,00	0,96	

O segundo índice analisado, Alfa de Ledauphin (LA), é calculado a partir da eq. (3). Em sua definição, utiliza uma matriz de compromisso  $\mathbf{C}$ , que representa uma configuração média do grupo, ponderada pelo autovetor associado ao maior autovalor da matriz de similaridade  $\mathbf{S}$ . Os valores de  $LA_j$ , que representam a concordância de um painelista em relação à  $\mathbf{C}$  e o valor dos pesos  $\beta_j$  da matriz de compromisso estão apresentados na Tabela 3.3.

**Tabela 3.3.** Valores pesos da matriz de compromisso e dos índices de Alfa de Ledauphin dados de ensopado de carne

Painelista	$\beta_j$	$LA_j$
1	0,13	0,89
2	0,13	0,92
3	0,13	0,90
4	0,13	0,93
5	0,13	0,91
6	0,12	0,86
7	0,12	0,81
8	0,12	0,87

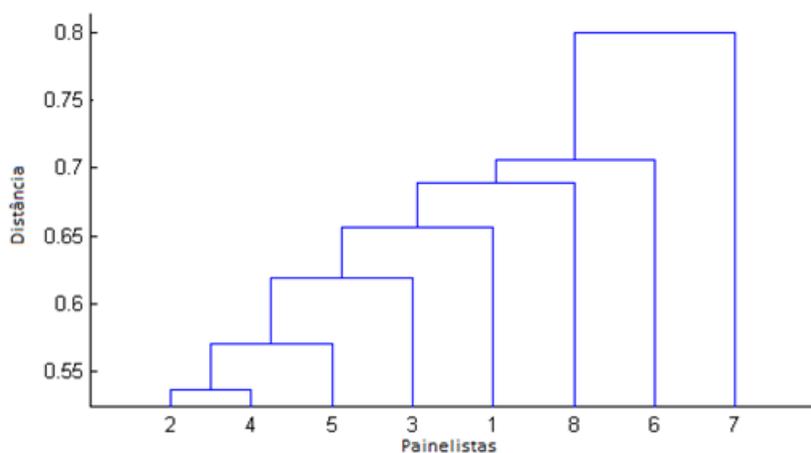
Primeiramente é possível observar que o painelista 7 se destaca com menor valor de LA, indicando um menor alinhamento deste com o restante do painel. Além disso, os pesos da matriz de compromisso são próximos entre si, independente do desempenho do painelista. Por exemplo, o painelista 7 possui influência semelhante aos demais para a configuração da opinião geral do painel, embora se destaque pela falta de alinhamento com o restante dos painelistas. Não há nenhum ponto de corte sugerido na literatura, de modo que não há indicações para a remoção de painelistas em função de LA.

Por fim, os valores de Alfa Proposto (PA) são calculados a partir da eq. (4), cujos resultados são expressos na Tabela 3.4. Lembrando que os valores de  $PA_j$  negativos estão associados a painelistas com avaliações mais próximas do painel como um todo, representado pelo centroide do *cluster* (no caso formado por todos os painelistas). Aqueles painelistas com valores positivos possuem opiniões mais distantes do centroide. Dentre os painelistas avaliados, o painalista 7 está associado ao índice mais positivo, demonstrando uma opinião mais distante dos demais.

**Tabela 3.4.** Valores de PA para o estudo de caso de ensopado de carne

Painelista	$d_{ij}$	$\%d_{ij}$	$PA_j$
1	0,45	0,12	-0,02
2	0,39	0,11	-0,14
3	0,43	0,12	-0,05
4	0,37	0,10	-0,20
5	0,41	0,11	-0,11
6	0,52	0,14	0,13
7	0,59	0,16	0,29
8	0,50	0,14	0,09

Em seguida, realiza-se a análise hierárquica de *clusters*, resultando no dendrograma representado pela Figura 3.1. A aplicação da análise de *clusters* evidencia novamente a falta de consenso do painelista 7 com o resto do painel.



**Figura 3.1.** Dendrograma resultante da análise hierárquica de *clusters* para os dados do banco de dados de ensopado de carne

A identificação de apenas um painelista com avaliações distantes dos demais indica a necessidade de treinamento do mesmo. É possível identificar quais atributos carecem de treinamento realizando a diferença entre os vetores associados ao centróide e ao painelista 7. O vetor resultante, com dimensões  $P \times A$ , indica, com valores afastados de zero, os atributos de cada produto cujas avaliações distinguem o painelista 7 dos demais.

(ii) Cidra

O mesmo procedimento foi realizado para o banco de dados da Cidra. A Tabela 3.5 sintetiza os resultados dos cálculos de CA e LA, utilizando as eqs. (1) a (3).

**Tabela 3.5.** Valores dos índices CA e LA para o estudo de caso da cidra

Painelista	$CA_{Aj}$	$CA_j$	$CA_G$	$\beta_j$	$LA_j$
1	0,02	0,86		0,14	0,78
2	0,03	0,86		0,15	0,81
3	0,02	0,86		0,14	0,77
4	0,02	0,87	0,88	0,14	0,76
5	0,00	0,88		0,14	0,67
6	0,03	0,86		0,15	0,81
7	0,02	0,86		0,14	0,76

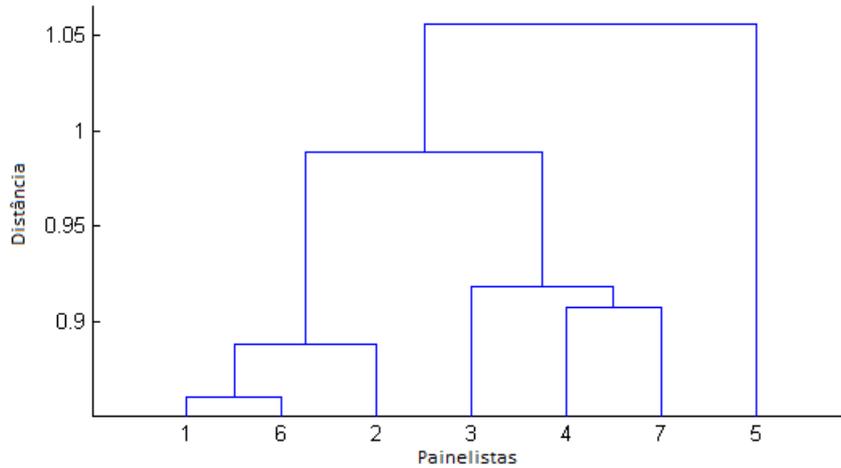
Novamente, o índice CA não sugere a exclusão de nenhum painelista para melhorar o desempenho do painel. Apenas indica o painelista 5 como não necessário ao painel, visto que sua presença não interfere na concordância do painel. Já o índice LA destaca este mesmo painelista 5 como tendo opiniões mais diferentes em relação ao consenso do painel. Os demais painelistas possuem índices semelhantes, indicando um mesmo grau de concordância entre si.

A aplicação do índice PA resulta na Tabela 3.6. O valor positivo e elevado em relação aos demais do painelista 5 aponta a grande distância que este encontra-se em relação ao centroide.

**Tabela 3.6.** Valores de PA para o estudo de caso da cidra

Painelista	$d_{ij}$	$\%d_{ij}$	$PA_j$
1	0,63	0,14	-0,02
2	0,60	0,13	-0,07
3	0,64	0,14	0,00
4	0,65	0,14	0,01
5	0,74	0,16	0,15
6	0,59	0,13	-0,08
7	0,65	0,14	0,00

Assim, aplica-se a análise hierárquica de *clusters*, visando validar o resultado obtido pela aplicação do índice PA. O dendrograma resultante, Figura 3.2, também indica a falta de semelhança entre o painelista 5 com os demais membros do painel.



**Figura 3.2.** Dendrograma referente ao estudo de casos da cidra

### (iii) Chocolate

A aplicação dos índices CA e LA para o banco de dados do estudo de caso de chocolate é sintetizada na Tabela 3.7. Primeiramente o índice CA associado ao painel como um todo é próximo de 1, de modo a considerá-lo com alta reprodutibilidade. Além disso, a remoção de qualquer painelista não causa alteração no índice CA do painel, sendo assim considerados igualmente alinhados com os demais painelistas. O índice LA consegue diferenciar os painelistas mais alinhados com a configuração média do grupo. Apesar disso, todos possuem índice próximos de 1, também evidenciando o forte alinhamento de avaliações entre os membros do painel sensorial.

**Tabela 3.7.** Valores dos índices CA e LA para o estudo de caso de chocolate

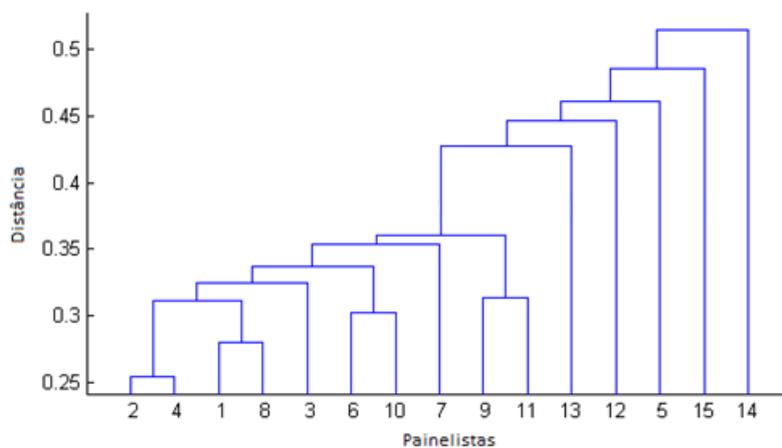
Painelista	$CA_{A_j}$	$CA_j$	$CA_G$	$\beta_j$	$LA_j$
1	0,00	0,99		0,07	0,97
2	0,00	0,99		0,07	0,98
3	0,00	0,99		0,07	0,97
4	0,00	0,99		0,07	0,97
5	0,00	0,99		0,07	0,93
6	0,00	0,99		0,07	0,97
7	0,00	0,99		0,07	0,97
8	0,00	0,99	0,99	0,07	0,98
9	0,00	0,99		0,07	0,97
10	0,00	0,99		0,07	0,97
11	0,00	0,99		0,07	0,96
12	0,00	0,99		0,07	0,94
13	0,00	0,99		0,07	0,94
14	0,00	0,99		0,07	0,91
15	0,00	0,99		0,07	0,92

De modo a comparar os resultados entre os índices CA, LA e PA, foram realizados os cálculos de PA, cujo resultado está sintetizado na Tabela 3.8. Diferentemente dos demais índices abordados pelo trabalho, PA consegue observar a grande distância entre as opiniões dos painelistas 5, 12, 13, 14, e 15 em relação aos demais.

**Tabela 3.8.** Valores de PA para o estudo de caso de chocolate

Painelista	$d_{ij}$	$\%d_{ij}$	$PA_j$
1	0,24	0,06	-0,14
2	0,18	0,04	-0,36
3	0,26	0,06	-0,09
4	0,24	0,06	-0,14
5	0,36	0,09	0,28
6	0,24	0,06	-0,13
7	0,25	0,06	-0,10
8	0,20	0,05	-0,29
9	0,26	0,06	-0,09
10	0,23	0,06	-0,17
11	0,27	0,06	-0,04
12	0,35	0,08	0,26
13	0,33	0,08	0,18
14	0,41	0,10	0,46
15	0,38	0,09	0,36

Após a identificação de painelistas com valores elevados de PA, é realizada a análise hierárquica de *clusters*. A interpretação do dendrograma, Figura 3.3, também indica a falta de semelhança entre os painelistas 5, 12, 13, 14, e 15 com os demais membros do painel. Desta forma, apenas o índice PA comprova-se alinhado com os resultados obtidos pela análise de *clusters*.



**Figura 3.3.** Dendrograma referente ao estudo de casos de chocolate

### 3.6. Conclusão

Dentre as características necessárias para o sucesso de um painel sensorial, destaca-se a reprodutibilidade. Esta representa a capacidade de cada painelistas em avaliar produtos de maneira semelhante aos demais membros do painel (DERNDORFER et al., 2005; ROSSI, 2001). De modo a obter elevada reprodutibilidade, faz-se necessária a identificação de painelistas cujas opiniões se distanciam dos demais (DAHL; NÆS, 2009). Estes então podem ser removidos do painel ou retreinados, de maneira a se alinharem com o painel.

Neste trabalho é proposto um novo índice, Alfa Proposto ( $PA_j$ ), que utiliza conceitos de análise de clusters e uma métrica de distância euclidiana, visando avaliar painelistas a respeito da reprodutibilidade. O índice é calculado para cada painelistas  $j$  ( $1...J$ ), podendo variar entre  $-1$  e  $(J-1)$ . Quanto mais negativo o índice  $PA_j$ , mais o painelistas está alinhado com o restante do painel. De forma análoga, valores de  $PA_j$  altamente positivos indicam divergências entre opiniões de painelistas.

De modo a validar o índice, é apresentada uma análise comparativa entre três métodos de avaliação de reprodutibilidade de painéis sensoriais, utilizando dados de três diferentes estudos de caso. Os métodos comparados são (i) Alfa de Cronbach (PINTO; FOGLIATTO; QANNARI, 2014), (ii) Alfa de Ledauphin (LEDAUPHIN; HANAFI; QANNARI, 2006), e (iii) Alfa Proposto. A análise dos resultados evidencia uma maior facilidade na identificação de problemas de reprodutibilidade do painel com a utilização do Alfa Proposto. Além disso, utiliza bases teóricas diferentes dos demais, sendo baseado em distâncias euclidianas, ao invés de variâncias e covariâncias. Isto permite, por exemplo, determinar facilmente os atributos sensoriais que carecem de treinamento a partir da diferença de vetores associados aos centroides e aos *outliers*. Também, demonstrou-se um forte alinhamento entre os resultados obtidos pela aplicação de PA com a análise de *clusters*, o que não ocorreu para os demais índices em todos os estudos de caso abordados.

Sugere-se para trabalhos futuros, a aplicação da metodologia proposta para a remoção de *outliers* em análises de regressão associando características dos produtos às notas dadas aos atributos sensoriais. Assim, pode-se melhorar a capacidade preditiva dos atributos sensoriais em função de variáveis de processo, removendo-se as avaliações de painelistas *outliers*. Também, recomenda-se a busca de um critério que consiga diferenciar a magnitude do índices PA positivos entre os *outliers* e não-*outliers*.

### 3.7. Referências

- ANZANELLO, M. J. Feature Extraction and Feature Selection : a Survey of Methods in Industrial Applications. **Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science**, 2011.
- CARBONELL, L.; IZQUIERDO, L.; CARBONELL, I. Sensory analysis of Spanish mandarin juices. Selection of attributes and panel performance. **Food Quality and Preference**, v. 18, n. 2, p. 329–341, mar. 2007.
- CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrika**, v. 16, n. 3, p. 297–334, set. 1951.
- DAHL, T. et al. Some new tools for visualising multi-way sensory data. **Food Quality and Preference**, v. 19, n. 1, p. 103–113, 2008.
- DAHL, T.; NÆS, T. Outlier and group detection in sensory panels using hierarchical cluster analysis with the Procrustes distance. **Food Quality and Preference**, v. 15, n. 3, p. 195–208, abr. 2004.
- DAHL, T.; NÆS, T. Identifying outlying assessors in sensory profiling using fuzzy clustering and multi-block methodology. **Food Quality and Preference**, v. 20, n. 4, p. 287–294, jun. 2009.
- DERNDORFER, E. et al. A Panel performance procedure implemented in R. **Journal of Sensory Studies**, v. 20, n. 3, p. 217–227, jun. 2005.
- DIJKSTERHUIS, G. Assessing panel consonance. **Food Quality and Preference**, v. 6, n. 1, p. 7–14, jan. 1995.
- DIJKSTERHUIS, G. Procrustes analysis in sensory research. In: NAES, T.; RISVIK, E. (Eds.). . **Multivariate Analysis of Data in Sensory Science**. Amsterdam: Elsevier Science B.V., 1996. p. 185–219.
- JAIN, A. K. Data clustering: 50 years beyond K-means. **Pattern Recognition Letters**, v. 31, n. 8, p. 651–666, jun. 2010.
- LEDAUPHIN, S.; HANAFI, M.; QANNARI, E. M. Assessment of the agreement among the subjects in fixed vocabulary profiling. **Food Quality and Preference**, v. 17, n. 3-4, p. 277–280, abr. 2006.
- MITCHELL, M. L.; JOLLEY, J. M. **Research design explained**. 3. ed. New York: Harcourt Brace College Publishers, 1996.
- PINTO, F. S. T.; FOGLIATTO, F. S.; QANNARI, E. M. A method for panelists'

consistency assessment in sensory evaluations based on the Cronbach's alpha coefficient. **Food Quality and Preference**, v. 32, p. 41–47, mar. 2014.

ROSSI, F. Assessing sensory panelist performance using repeatability and reproducibility measures. **Food Quality and Preference**, v. 12, n. 5-7, p. 467–479, jul. 2001.

TOMIC, O. et al. Performance indices in descriptive sensory analysis – A complimentary screening tool for assessor and panel performance. **Food Quality and Preference**, v. 28, n. 1, p. 122–133, abr. 2013.

WILDERJANS, T.; CARIOU, V. CLV3W: A clustering around latent variables approach to detect panel disagreement in three-way conventional sensory profiling data. **Food Quality and Preference**, v. in press, 1 jan. 2015.

#### 4. ARTIGO 3 - Formação e caracterização de grupos de aeroportos a partir da capacidade preditiva de volume de passageiros

Marcos Gerchman ([marcos.gerchman@gmail.com](mailto:marcos.gerchman@gmail.com))

Flávio Sanson Fogliatto ([ffogliatto@producao.ufrgs.br](mailto:ffogliatto@producao.ufrgs.br))

##### Resumo

A fim de contribuir para o gerenciamento da demanda de passageiros de aeroportos brasileiros, este trabalho visa à identificação de grupos de aeroportos baseados na capacidade preditiva de volume de passageiros. Estes são, então, caracterizados a partir de variáveis relacionadas à infraestrutura e *mix* de passageiros de modo a relacioná-las com a acurácia de previsões. Para isso, são realizadas sete etapas: (1) pré-avaliação dos dados históricos de volume de passageiros para cada aeroporto; (2) obtenção do melhor modelo de previsão de demanda para cada aeroporto; (3) análise hierárquica de conglomerados a partir dos valores de  $R^2$  e MAPE referentes aos modelos de cada aeroporto; (4) análise não-hierárquica de conglomerados, pelo método *K-means*; (5) análise dos grupos gerados; (6) caracterização dos grupos de aeroportos conforme suas características de infraestrutura e *mix* de passageiros; (7) proposição de relação entre variáveis de infraestrutura, *mix* de passageiros e acurácia de previsão. Como principal contribuição, são identificados três grupos de aeroportos brasileiros, agrupados conforme a acurácia de previsão de demanda. Estes são caracterizados pelo volume de passageiros, razão entre demanda e capacidade, e comportamento da série temporal.

*Palavras-chave:* Aeroportos, Análise de Conglomerados, Previsão de Demanda, Acurácia.

## **Abstract**

In order to contribute to the demand management of the Brazilian airports passengers, this paper aims to identify groups of airports based on the predictive capacity of the passenger volume. These groups are then characterized based on variables related to infrastructure and passenger mix in order to relate them to the accuracy of forecasts. For this, seven stages are carried out: (1) pre-assessment of the historic passenger volume data for each airport; (2) obtaining the best demand forecasting model for each airport; (3) hierarchical cluster analysis based on the  $R^2$  and MAPE values obtained from the models of each airports; (4) non-hierarchical cluster analysis, using the K-means method; (5) analysis of the generated groups; (6) characterization of groups of airports based on their infrastructure features and passenger mix; (7) proposition of a relationship between passenger mix, infrastructure features and the accuracy of prediction. The main contribution is the identification of three groups of Brazilian airports, grouped according to the demand forecast accuracy. These are characterized by passenger volume, ratio between demand and capacity, and behavior of the time series.

*Keywords:* Airports, Cluster Analysis, Demand Forecasting, Accuracy.

## 4.1. Introdução

O Brasil é o quarto maior país em área territorial, compreendendo metrópoles populosas e dispersas ao longo de suas dimensões. A necessidade de deslocamento entre as cidades, aliada com o crescimento do poder aquisitivo de sua população (DIEESE, 2014) e redução da receita por passageiro-quilômetro transportado, ou *yield* (ANAC, 2013a), refletem o potencial de expansão do setor aeroportuário brasileiro. Segundo a INFRAERO (2013), recentemente o setor de transporte aéreo brasileiro tem sofrido grande expansão de demanda, chegando a 10% de crescimento médio ao ano no tráfego de passageiros entre os anos de 2009 e 2013. A tendência crescente necessita ser acompanhada pelo aumento da capacidade dos aeroportos, de modo a evitar gargalos de infraestrutura e possível sobrecarga do modal aéreo.

Visando auxiliar a tomada de decisões quanto a planejamentos de infraestrutura em aeroportos, a previsão de demanda de passageiros se destaca como uma peça chave (SCARPEL, 2013). Esta ferramenta proporciona uma visão da tendência do volume de usuários do setor aeroportuário, que, aliado aos cálculos de capacidade, fornecem direcionamentos para atuação no desenvolvimento da infraestrutura destes estabelecimentos. Assim, existe uma necessidade constante de melhoria dos modelos de predição, buscando o aumento da acurácia.

A gestão de demanda de aeroportos é realizada principalmente por órgãos nacionais, como a FAA nos Estados Unidos e o departamento de transporte do Reino Unido, podendo ser auxiliada por organizações internacionais, como a ICAO. Existe também uma grande contribuição acadêmica relacionada à previsão de demanda de passageiros (PAI; HUNG; LIN, 2014; SCARPEL, 2014; XIAO et al., 2014; XIE; WANG; LAI, 2014), utilizando diferentes ferramentas e métodos em busca de previsões adequadas para diversas situações.

No Brasil, a INFRAERO é a instituição responsável pela administração dos 63 principais aeroportos da nação, abrangendo, em 2012, 93% do tráfego aéreo regular no país (INFRAERO, 2012). Atualmente, estes somente são classificados em categorias a fim de cobrança de tarifas aeroportuárias (ANAC, 2013b). Balter (2012) realiza a análise de conglomerados a fim de elaborar um benchmark dos aeroportos brasileiros, agrupando-os conforme o volume de passageiros internacionais e domésticos. Porém, estudos visando identificar padrões nas eficiências das previsões de demanda do modal aéreo no Brasil ainda são escassos.

A fim de contribuir para o gerenciamento da demanda de passageiros de aeroportos brasileiros, este trabalho visa o agrupamento de aeroportos quanto à acurácia de previsão, além da identificação de variáveis características para os grupos formados. São analisadas variáveis relacionadas à infraestrutura e *mix* de passageiros de modo a relacioná-las com a acurácia de previsões. Deste modo é possível identificar e caracterizar conjuntos de aeroportos com baixa e alta eficiência de predição.

O presente artigo é dividido em cinco seções, dentre as quais a próxima é dedicada à revisão da literatura quanto aos temas a serem estudados. A seção três discorre da metodologia aplicada no trabalho. É seguida pela aplicação do método e seus resultados. Por fim, a seção 5 é dedicada às conclusões do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

## 4.2. Revisão Teórica

Agrupamentos e classificações são utilizados comumente visando à segregação de objetos em grupos, a partir do grau de similaridade entre os objetos. Neste artigo serão referenciados como “agrupamentos” os processos de formação de grupos que utilizam técnicas matemáticas na sua concepção. Os procedimentos empíricos serão denominados de “classificações”. Ambos podem ser empregados para facilitar o entendimento contextual dos objetos, auxiliando a tomada de decisões. No âmbito do sistema aeroportuário, Malighetti *et al* (2008) afirmam que a separação de aeroportos em grupos homogêneos representa um bom ponto de partida para análises de diversas questões, como congestionamento de aeroportos, políticas de desenvolvimento adequadas, análises de desempenho e melhores práticas.

Classificações e agrupamentos de aeroportos são realizados principalmente pelos órgãos administradores ou reguladores dos aeroportos e por pesquisadores acadêmicos. Os primeiros classificam aeroportos para auxiliar a gestão dessas instalações, direcionar investimentos e para fins de cobrança de tarifas. Na literatura acadêmica, os agrupamentos de aeroportos são realizados principalmente para duas finalidades: (i) complementar as classificações utilizadas atualmente pelos órgãos administradores dos aeroportos (MALIGHETTI; PALEARI; REDONDI, 2008; RODRÍGUEZ-DÉNIZ; SUAU-SANCHEZ; VOLTES-DORTA, 2013; TORRES; PORTUGAL, 2013); e (ii) auxiliar na realização de análises de *benchmarking* (ADIKARIWATTAGE et al., 2012; SARKIS; TALLURI, 2004; VOGEL; GRAHAM, 2013).

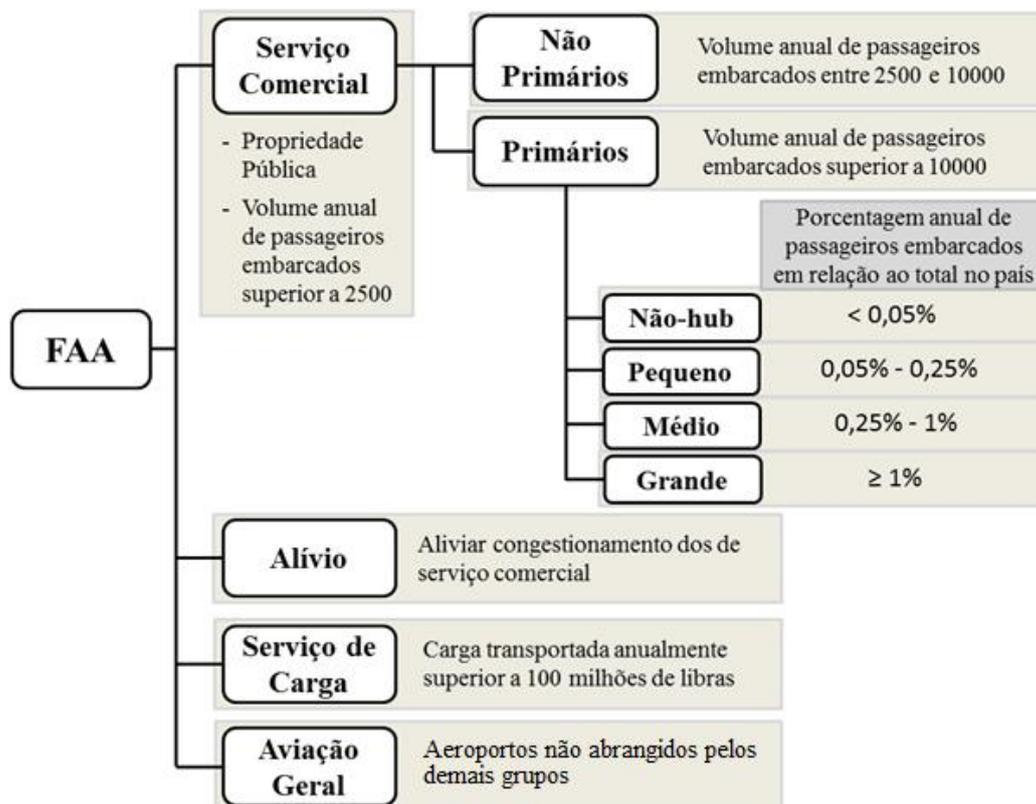
A principal técnica estatística utilizada para o agrupamento de aeroportos é a análise de conglomerados, ou *cluster analysis*. Esta visa segregar objetos em grupos homogêneos internamente e heterogêneos entre si. A formação de grupos é realizada a partir de medidas de similaridade ou de distância entre os objetos, conforme as variáveis que os caracterizam.

Esta seção tem por objetivo descrever as variáveis utilizadas atualmente para a classificação e agrupamento de aeroportos. As abordagens estudadas incluem variáveis referentes à demanda, capacidade, serviços, eficiência e *mix* de passageiros.

#### ***4.2.1. Classificações utilizadas pelos órgãos administradores dos aeroportos***

Aeroportos são classificados formalmente por órgãos governamentais ou instituições que realizam a administração dessas instalações. Normalmente as classificações definidas por esses órgãos têm por objetivo a cobrança de tarifas aeroportuárias diferenciadas e alocação de recursos financeiros.

Nos Estados Unidos, a *US Federal Aviation Administration* (Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos, ou FAA) classifica os aeroportos americanos conforme sua contribuição no volume total de passageiros transportados dentro do país, para fins de alocação de recursos (FAA, 2014). Separa os aeroportos do país em quatro grandes grupos: serviço comercial, aeroportos de alívio, serviço de carga e aviação geral. O primeiro grupo é referente aos aeroportos de propriedade pública com quantidade de embarques anuais de passageiros superior a 2500. Este é subdividido em “não primários de serviço comercial”, com tráfego superior a 2500, porém não excedendo 10000 passageiros ao ano; e “primários”, caracterizados por mais de 10000 embarques anuais. Este último subgrupo é segregado a partir da porcentagem anual de passageiros embarcados em relação ao total transportado no país, conforme Figura 4.1. Para aliviar o congestionamento dos aeroportos de serviço comercial, a FAA designa determinados aeroportos como “de alívio”.



**Figura 4.2.** Classificação de aeroportos norte-americanos, adaptado da FAA (2014)

Além disso, a FAA denomina como aeroportos de serviço de carga aqueles que também são utilizados por aeronaves para transporte de carga, com uma quantidade total anual superior a 100 milhões de libras (ou 50000 toneladas) transportadas. Esta é uma caracterização adicional, podendo um aeroporto ser considerado de serviço de carga e comercial simultaneamente. Aeroportos não classificados nos grupos descritos acima são considerados como de aviação geral.

Rodríguez-Déniz *et al.* (2013) sugerem uma complementação para o grupo de grandes aeroportos primários (também chamado de *Large Hubs*) utilizado pela FAA. A fim de descrever as características relacionadas à conectividade e geração de tráfego, definem duas novas variáveis. Estas descrevem melhor o perfil dos aeroportos conforme o uso para conexões ou voos diretos. Utilizam a análise hierárquica de conglomerados de modo a subdividir os *Large Hubs* em 6 grupos com características distintas, com base nas variáveis propostas.

A classificação de aeroportos na União Europeia é definida em um guia de orientações sobre financiamento de aeroportos, segundo o *Official Journal of the European Union* (EUROPEIA, 2005). Para dar subsídios para a tomada de decisão quanto a investimentos em aeroportos da região, sem prejudicar a concorrência entre

eles, o documento separa os mesmos em 4 grupos. A variável utilizada para a segregação de aeroportos é o volume anual de passageiros, conforme Tabela 4.1.

**Tabela 4.1.** Classificação dos aeroportos da União Europeia (adaptado de Europeia 2005)

Grupo	Denominação	Volume anual de passageiros
A	Grandes Aeroportos Comunitários	$\geq 10$ milhões
B	Aeroportos Nacionais	5-10 milhões
C	Grandes Aeroportos Regionais	1-5 milhões
D	Pequenos Aeroportos Regionais	$\leq 1$ milhão

As informações contidas na Tabela 1 foram consolidadas a partir de outras duas classificações já existentes. Deste modo, os “Grandes Aeroportos Comunitários” representam aqueles de alta importância no transporte de passageiros com destinos internacionais. “Aeroportos nacionais” têm como característica voos majoritariamente internos na comunidade europeia. Os grupos C e D compreendem aeroportos cujos voos internos no país possuem maior relevância em suas operações.

A *International Air Transport Association* (Associação de Transporte Aéreo Internacional, ou IATA), representante de mais de 240 linhas aéreas e 84% do tráfego aéreo mundial, também possui seus critérios de classificação de aeroportos. Essa associação separa os aeroportos em três níveis, de modo a caracterizar o potencial de congestionamento dos mesmos (IATA, 2014). Aeroportos de nível 1 possuem capacidade da infraestrutura aeroportuária normalmente adequada para satisfazer a demanda. Aeroportos de nível 2 possuem potencial de congestionamento em alguns períodos, sendo necessária a designação de um facilitador para coordenar as companhias aéreas visando o ajuste de programação de *slots*. Por fim, aeroportos de nível 3 são aqueles em que a demanda excede a capacidade aeroportuária durante um período relevante, sendo a expansão a curto prazo impossível e as tentativas de ajustes de programação ineficazes. Para este caso, um coordenador é necessário para a alocação de *slots* para companhias aéreas.

No Brasil, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) classifica aeroportos brasileiros em quatro grupos, para fins específicos de cobrança de tarifas aeroportuárias. Para tanto, são analisadas as facilidades e serviços proporcionados pelas pistas de

pouso, pistas de táxi, pátio de manobras, terminais de passageiro e de carga, e área de estadia. Apenas aeroportos administrados pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO) ou empresa subsidiária desta são considerados na classificação. Ao todo, 56 itens são avaliados e ponderados em uma escala de 1 a 10, conforme artigo 9º da portaria Nº 1592/GM5 (ANAC, 1984). São considerados itens como presença de restaurante, hotel, *free-shops*, elevadores e serviços bancários, entre outros. A lista completa de serviços e facilidades avaliados está presente no Anexo I. Por fim, os aeroportos são classificados conforme a Tabela 4.2, a partir do total de pontos obtidos.

**Tabela 4.2.** Soma de pontos atribuídos aos serviços e facilidades previstas no artigo 9º da portaria Nº 1592/GM5 para classificação de aeroportos brasileiros (ANAC, 1984)

Total de Pontos	Grupos
$\geq 140$	1
70-139	2
30-69	3
$\leq 29$	4

#### 4.2.2. Demais classificações e agrupamentos de aeroportos disponíveis na literatura

Os agrupamentos e classificações de aeroportos encontrados na literatura possuem motivações distintas. Parte dos autores busca complementar as classificações já estabelecidas pelos órgãos administradores (RODRÍGUEZ-DÉNIZ; SUAUSANCHEZ; VOLTES-DORTA, 2013; TORRES; PORTUGAL, 2013); outros, visam ao melhor entendimento da rede aeroportuária (MALIGHETTI; PALEARI; REDONDI, 2008). Por fim, diversos trabalhos realizam os agrupamentos para auxiliar a realização de análises de *benchmarking* de aeroportos (ADIKARIWATTAGE et al., 2012; SARKIS; TALLURI, 2004; VOGEL; GRAHAM, 2013).

Torres e Portugal (2013) propõem variáveis de caracterização de aeroportos regionais no Brasil a partir da avaliação das variáveis propostas na literatura e daquelas já adotadas por instituições. Ao fim, sugerem a classificação para os aeroportos regionais brasileiros utilizando variáveis relacionadas à função do aeroporto, potencial

de tráfego e oferta, conforme Tabela 4.3. Contudo, o trabalho carece de informações quantitativas e técnicas estatísticas.

**Tabela 4.3.** Variáveis para classificação de aeroportos regionais brasileiros (adaptado de Torres e Portugal, 2013)

Função	Potencial de Tráfego			Oferta	
	Volume Passageiros	Ligações	Cidade/Município	Frota	Porte Aeroporto
Mercado regional, áreas remotas, turísticas	Regular	Curtas distâncias, entre cidades de pequeno e médio porte a grandes centros ou capitais	Potencial econômico justificado, áreas remotas e/ou turísticas	Jatos regionais, entre 30 e 100 assentos	Infraestrutura adequada aos jatos regionais

Visando o melhor entendimento da rede de aeroportos europeus, Malighetti *et al.* (2008) propõem um agrupamento utilizando variáveis dimensionais, de destino dos passageiros, conectividade e tipo de serviço do aeroporto, conforme Tabela 4.4. Para isso, empregam técnicas estatísticas, como a análise de conglomerados, abrangendo 467 aeroportos europeus. Como resultado, sugerem 13 grupos distintos e seus papéis na rede aeroportuária europeia.

**Tabela 4.4.** Variáveis utilizadas por Malighetti *et al.* (2008) para realização de agrupamento de aeroportos europeus

Dimensionais	Destinação	Conectividade	Serviço
Assentos disponíveis por dia	% de destinos dentro da união europeia	Quantidade de vezes que o aeroporto serve de conexão	% do volume de assentos disponíveis oferecidos por companhias aéreas de baixo custo.
Quantidade de voos diários	% de destinos domésticos	Porcentagem do tempo que o aeroporto não pode ser substituído por outras rotas de duração similar	% de número de assentos disponíveis por uma companhia aérea.
Número de	Distribuição	-	-

destinos	relativa de rotas		
----------	-------------------	--	--

Técnicas de agrupamento também vêm sendo utilizadas na realização de *benchmarks* de aeroportos (ADIKARIWATTAGE et al., 2012; SARKIS; TALLURI, 2004; VOGEL; GRAHAM, 2013). A separação de aeroportos em grupos possibilita uma melhor comparação entre aqueles com características semelhantes. O aeroporto com melhor desempenho em relação às variáveis analisadas dentro do grupo gerado se torna o *benchmark* para os demais no mesmo grupo.

Sarkis e Talluri (2004) avaliam 44 aeroportos norte-americanos entre os anos de 1990 e 1994, a partir de um índice de eficiência baseado na utilização de recursos e os benefícios gerados por eles. As variáveis selecionadas para a criação do índice foram o custo de operação, número de empregados, portões de embarque, pista de pouso e decolagem, receita operacional, movimentação de aeronaves, volume de passageiros e carga. O trabalho utiliza a técnica de Análise Hierárquica de Conglomerados e o método de Ligação Média para agrupar os aeroportos norte-americanos em 13 grupos.

A fim de auxiliar a padronização das análises de *benchmark* dos aeroportos, Adikariwattage *et al.* (2012) sugerem o agrupamento dessas instalações conforme variáveis que descrevem as características de passageiros e área de terminal de embarque. Para tanto, utilizam a análise de conglomerados hierárquica e o método de Ward para a definição do número ideal de grupos. A partir desse resultado, realizam a análise de conglomerados não hierárquica, utilizando o método de *K-means* para a definição dos aeroportos incluídos em cada grupo. Para caracterizar os passageiros, avaliam os volumes anuais de indivíduos que voam via conexão ou voos diretos, além daqueles com destino internacional. Como variável de capacidade, associam o tamanho do terminal com a quantidade de portões de embarque. Como resultado, são sugeridos 9 grupos de aeroportos caracterizados conforme o *mix* de passageiros e a capacidade das instalações.

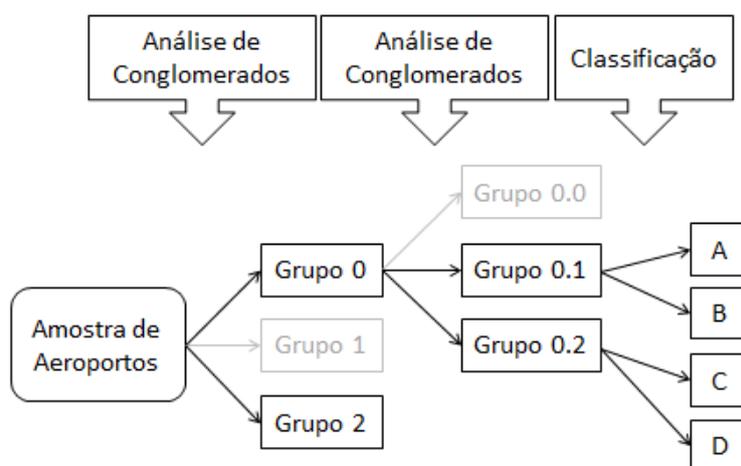
Abrangendo 27 aeroportos norte-americanos, 28 europeus e 18 internacionais, Vogel e Graham (2013) realizam o agrupamento de aeroportos visando à realização de *benchmarking* financeiro. Utilizam a técnica de conglomerados hierárquicos e o método de Ward para a formação dos grupos. Ao total, nove variáveis são empregadas no trabalho para a caracterização dos aeroportos em termos financeiros, conforme Tabela 4.5.



**Tabela 4.5.** Variáveis utilizadas por Vogel e Graham (2013) para realização de agrupamento para *benchmarking* financeiro

Variável	Definição
Margem de operação (%)	Lucro operacional/Receita Operacional
Margem de EBITDA (%)	EBITDA (Lucros antes de juros, impostos, depreciação e amortização)/Receita total
Receita/WLU (\$)	Receita total/WLU ( <i>Work Load Unit</i> = 1 passageiro ou 100 kg de carga)
Receita/Patrimônio Líquido	Receita total/Patrimônio
Custo total/WLU (\$)	Custo total/WLU
Fluxo de caixa como % da receita	Fluxo de caixa/Receita total
Alavancagem financeira (%)	Total de ativos/Recursos dos acionistas
Intensidade de capital	Total de ativos/Receita total
Despesas de capital como % da receita	Total de investimentos/Receita total

No cenário brasileiro, poucos trabalhos realizaram o agrupamento de aeroportos visando a análises de *benchmarking*. Em sua dissertação, Balter (2012) realiza a formação de grupos de aeroportos brasileiros a partir de uma amostra contendo aeroportos brasileiros e estrangeiros. Para realizar a segregação, utiliza variáveis de volume de passageiros domésticos e internacionais. O procedimento é resumido na Figura 4.2.



**Figura 4.2.** Procedimento utilizado por Balter (2012) para a separação de aeroportos brasileiros em grupos

A partir do perfil de passageiros de 1305 aeroportos e utilizando a análise de conglomerados e o método de *K-means*, o autor define 3 grupos de aeroportos. Foi observado que a maioria dos aeroportos brasileiros estava concentrada em um mesmo grupo (Grupo 0), à exceção dos de Congonhas e Guarulhos (localizados no Grupo 2). Foram unidos ao Grupo 0 os dois aeroportos brasileiros contidos no Grupo 2. A partir dessa nova amostra, foi realizada uma segunda análise de conglomerados, resultando em 3 grupos, identificados na Figura 4.2 por 0.0, 0.1 e 0.2. Os aeroportos brasileiros se concentraram apenas nos grupos 0.1 e 0.2. Com base nesses, Balter (2012) realiza uma classificação, resultando em 4 grupos caracterizados conforme a Tabela 4.6.

**Tabela 4.6.** Grupos gerados por Balter (2012) a partir de características do *mix* de passageiros

<b>Grupo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Nomenclatura sugerida</b>
A	Formada por aeroportos localizados nos grandes centros político-econômicos do país	Grande Porte
B	Aeroportos predominantemente domésticos, porém com participação considerável nos trechos internacionais	Médio Porte
C	Predominância de voos domésticos, com baixa participação de voos internacionais	Pequeno Porte
D	Movimentação internacional praticamente nula; predominância de voos domésticos regionais	

### **4.3. Procedimentos Metodológicos**

#### **4.3.1. Método da Pesquisa**

A pesquisa realizada se caracteriza quanto à natureza como pesquisa aplicada, visto que é orientada à geração de conhecimentos dirigidos a soluções de problemas específicos. Em relação à abordagem, é classificada como pesquisa quantitativa, com ênfase em análises numéricas, utilizando técnicas estatísticas. Quanto aos objetivos, o trabalho se caracteriza como pesquisa explicativa, visando identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos. Em questão de procedimentos, a pesquisa é classificada como experimental.

### **4.3.2. Método de Trabalho**

A fim de verificar se variáveis relacionadas à infraestrutura de aeroportos e ao *mix* de passageiros influenciam na acurácia de previsão de demanda de passageiros, um método de trabalho é proposto. Para isso, foi utilizada uma amostra de 66 aeroportos brasileiros, sendo 63 destes administrados pela INFRAERO. Os demais são aeroportos de grande porte, os quais sofreram concessões à iniciativa privada recentemente, incluindo os aeroportos de Viracopos, Guarulhos e Brasília. Os dados referentes à demanda mensal de passageiros de cada aeroporto estão disponíveis no site da INFRAERO e das instituições administradoras privadas, compreendendo os anos de 2003 até 2013. Nos mesmos sites é possível verificar as características físicas de cada complexo aeroportuário, como área de terminal, capacidade declarada e posições de estacionamento de aeronaves.

O método proposto é descrito pelas seguintes etapas, detalhadas na sequência: (1) pré-avaliação dos dados históricos de volume de passageiros para cada aeroporto; (2) obtenção do melhor modelo de previsão de demanda para cada aeroporto; (3) análise hierárquica de conglomerados a partir dos valores de  $R^2$  e MAPE referentes aos modelos de cada aeroporto; (4) análise não-hierárquica de conglomerados, pelo método *K-means*; (5) análise dos grupos gerados; (6) classificação de aeroportos conforme suas características de infraestrutura e *mix* de passageiros; (7) proposição de relação de infraestrutura, *mix* de passageiros e acurácia de previsão.

#### *(1) Pré-avaliação dos dados históricos de volume de passageiros para cada aeroporto*

Para que seja possível realizar uma previsão de demanda adequada do volume de passageiros em cada aeroporto, é necessário limitar os dados históricos a um período de estabilidade. Caso o cenário aeroportuário tenha se alterado drasticamente, a exclusão de dados passados será adotada. Visando à futura comparação de modelos, as séries de dados referentes a cada aeroporto são definidas a partir de uma mesma data.

#### *(2) Obtenção do melhor modelo de previsão de demanda para cada aeroporto*

Para cada série temporal de volume de passageiros, são testados os modelos de previsão de demanda de suavização exponencial e Box-Jenkins. O resultado com melhor ajuste em relação aos dados originais é selecionado. São obtidos o coeficiente de determinação  $R^2$  e a medida do erro MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*, ou erro percentual médio absoluto). O software utilizado foi o *PASW Statistics 18*.

(3) *Análise hierárquica de conglomerados*

Utilizando os dados de  $R^2$  e MAPE obtidos na etapa anterior, é realizada a análise de conglomerados hierárquica através do método de Ligação Média. Um dendrograma é gerado, sendo possível identificar a quantidade  $k$  adequada de grupos a serem formados. O software utilizado foi o *PASW Statistics 18*.

(4) *Análise não-hierárquica de conglomerados*

Visando alocar os aeroportos em  $k$  grupos, é utilizada a análise de conglomerados não hierárquica, pelo método de *k-means*, a partir das variáveis de análise de conglomerados  $R^2$  e MAPE. Deste modo, são minimizadas as variâncias internas nos grupos e maximizada a variância entre grupos. O software utilizado foi o *PASW Statistics 18*.

(5) *Análise dos grupos gerados*

Verificar se existe comportamento comum em relação às séries temporais dentro dos grupos.

(6) *Classificação de aeroportos conforme suas características de infraestrutura e mix de passageiros*

As seguintes variáveis relacionadas a infraestrutura e *mix* de passageiros são utilizadas para descrever os aeroportos:

- Infraestrutura: Posições de estacionamento; área de terminal; capacidade declarada; e razão entre demanda e capacidade.
- *Mix* de passageiros: contribuição percentual no volume total de passageiros internacionais; percentual de passageiros domésticos; e volume de passageiros no ano de 2012.

A partir dos grupos gerados na etapa (4), verificar dentre as variáveis citadas acima aquelas que melhor descrevem os grupos.

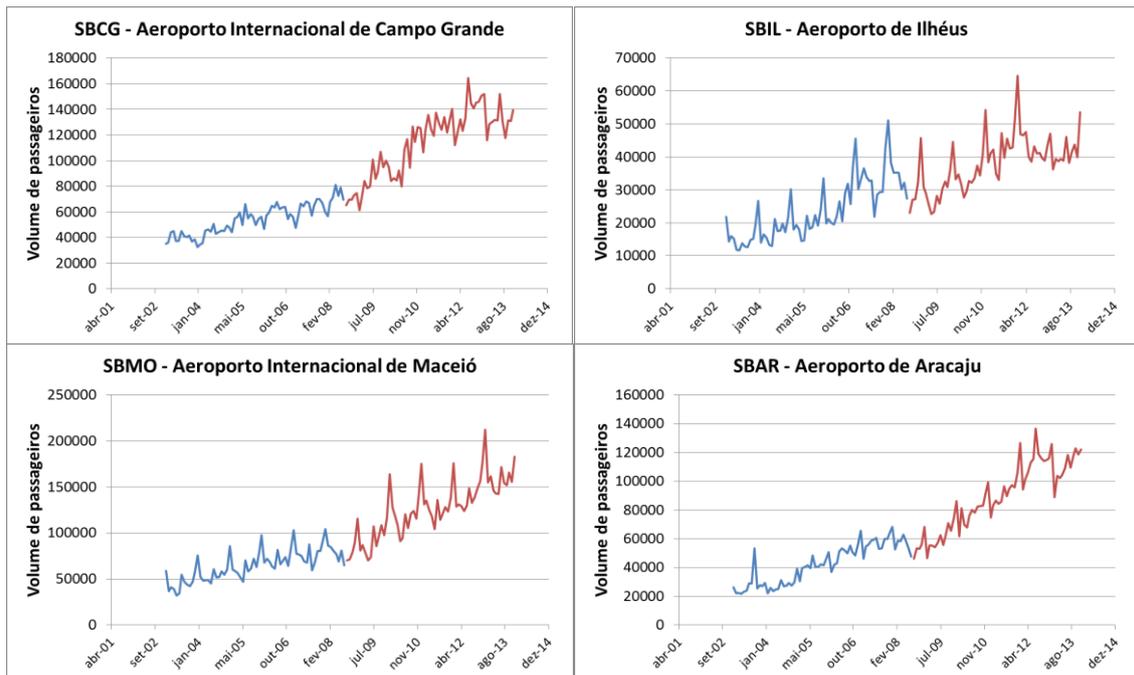
(7) *Proposição da relação entre infraestrutura e mix de passageiros sobre a acurácia de previsão*

A partir do gráfico  $R^2$  vs MAPE, identificar regiões conforme os grupos gerados na etapa (4). Descrevê-las a partir da análise realizada na etapa (5) e pela classificação da etapa (6).

## 4.4. Resultados

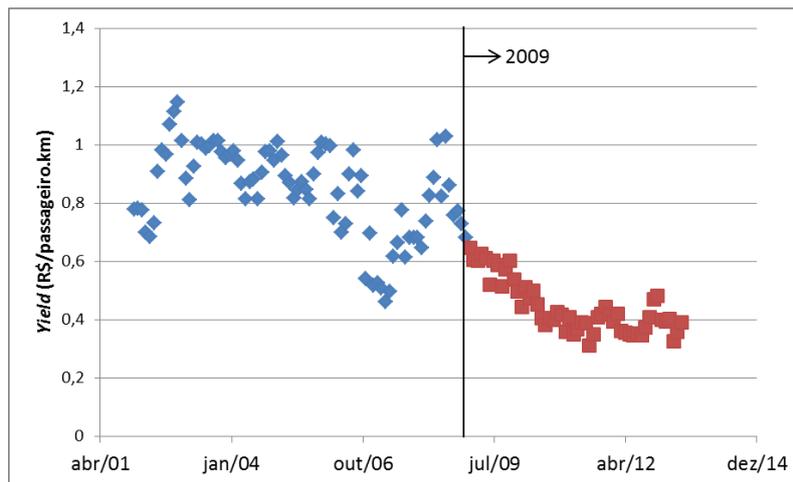
### 4.4.1. Pré-avaliação dos dados históricos de volume de passageiros para cada aeroporto

Foram analisadas as séries temporais dos aeroportos contemplados no trabalho, no período entre 2003 e 2013. A Figura 4.3 traz a evolução temporal no volume de passageiros para os aeroportos de Campo Grande, Ilhéus, Maceió e Aracaju. É possível observar uma mudança de comportamento na série de dados a partir de 2009.



**Figura 4.3.** Séries temporais dos aeroportos de Campo Grande, Ilhéus, Maceió e Aracaju, salientando dados a partir do ano de 2009

Uma possível explicação para a alteração generalizada nas séries a partir de 2009 é o início da operação da empresa Azul Linhas Aéreas nestes aeroportos, além de uma redução no *yield* (valor médio pago por quilômetro voado), conforme apresentado na Figura 4.4. Para facilitar a futura comparação da acurácia dos modelos de previsão entre aeroportos, optou-se por utilizar os dados de volume de passageiros a partir do ano de 2009, para todos os aeroportos.



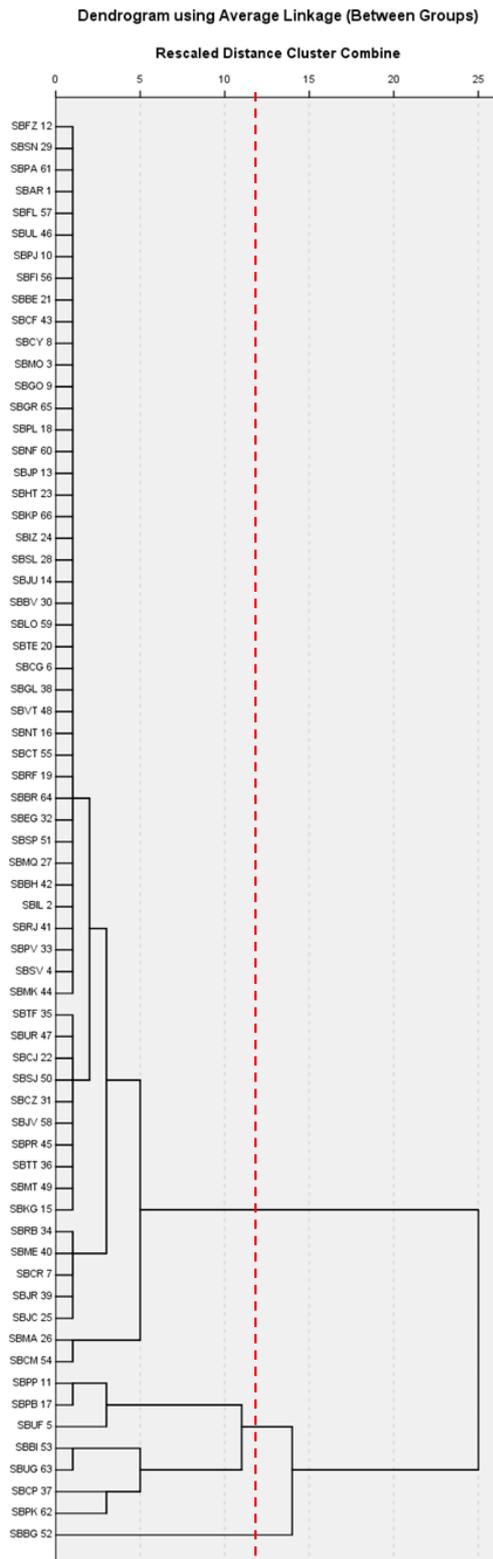
**Figura 4.4.** Valores de *yield* no período de 2001 e 2013 (ANAC, 2013a)

#### **4.4.2. Obtenção do melhor modelo de previsão de demanda para cada aeroporto**

Os dados resultantes da etapa anterior foram utilizados no software *PASW Statistics 18*, no qual foi realizada a análise de previsão de demanda. Os modelos utilizados incluem as suavizações exponenciais e os modelos de *Box-Jenkins*. Estes são comumente utilizados na literatura para previsão de demanda de turismo e aeroportos (ATHANASOPOULOS et al., 2011; CHO, 2001; COSHALL, 2009; PENG; SONG; CROUCH, 2014; SAMAGAI; WOLTERS, 2010). Variáveis relacionadas à capacidade preditiva dos modelos são utilizadas como *inputs* nos algoritmos de análise de conglomerados na Etapa 3 e 4. O software utilizado permite a seleção do melhor modelo baseado na melhor aderência aos dados originais. Como resultado desta etapa, foi gerada uma tabela contendo os valores de  $R^2$  e MAPE do melhor modelo, para cada aeroporto.

#### **4.4.3. Análise de conglomerados hierárquica.**

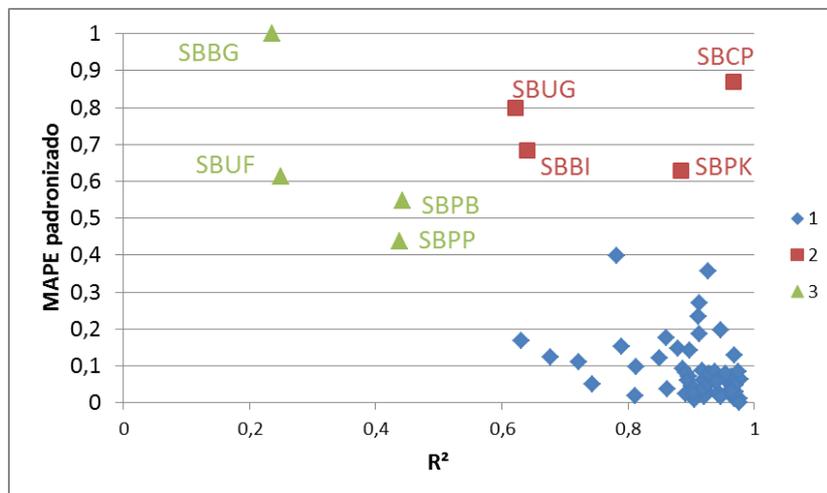
Devido à diferença de magnitude entre as variáveis e para evitar a distorção da estrutura do agrupamento, os dados de MAPE foram padronizados entre 0 e 1. A partir dos valores de  $R^2$  e MAPE padronizados de cada aeroporto, foi realizada uma análise hierárquica de conglomerados. O método de aglomeração utilizado foi o de Ligação Média. Como resultado, obtém-se um dendrograma (Figura 4.5), onde é possível definir o número  $k$  de grupos a ser utilizado na etapa seguinte. O número ideal de grupos identificado a partir da análise do dendrograma pode ser 2, 3 ou 4. Dentre estas opções, verificou-se que a utilização de  $k=3$  grupos reflete uma configuração mais adequada dos grupos.



**Figura 4.5.** Dendrograma resultante da análise de conglomerados hierárquica. O número  $k$  de grupos escolhido foi 3, conforme a linha tracejada

#### 4.4.4. Análise de conglomerados não-hierárquica.

O método *K-means* foi utilizado visando a alocação dos aeroportos em ( $k =$ ) 3 grupos. A fim de auxiliar a visualização dos grupos formados, utilizou-se o gráfico  $R^2$  vs MAPE, apresentado na Figura 4.6.



**Figura 4.6.** Grupos formados após aplicação da análise não-hierárquica de conglomerados

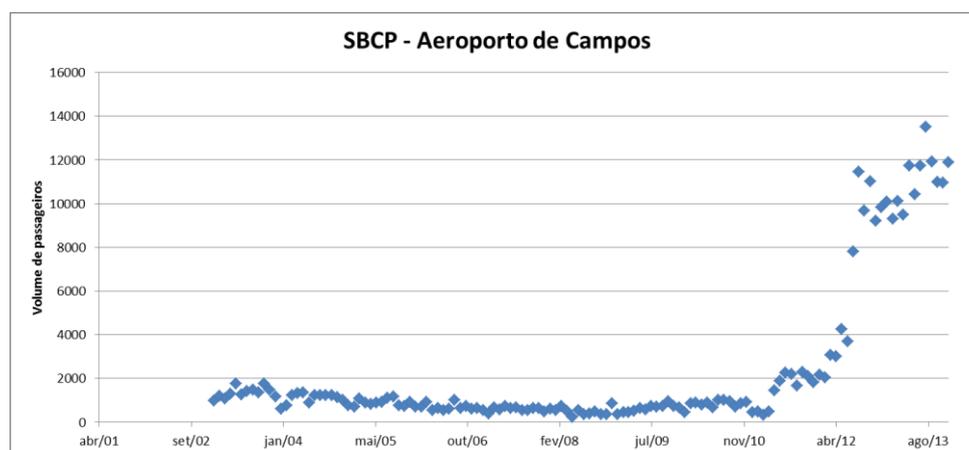
#### 4.4.5. Análise dos grupos gerados

Nesta etapa, cada grupo foi analisado de modo a entender a relação do comportamento do volume de passageiros com a posição do grupo no gráfico  $R^2$  vs MAPE padronizado. As seguintes observações podem ser realizadas:

- **Grupo 1:** Caracterizados por previsões com  $R^2$  elevado e MAPE de valor baixo, com médias de 0,9 e 6% (8% para MAPE padronizado), respectivamente. Estas condições revelam uma facilidade de adequação de modelos de previsão de demanda com as séries temporais usadas para estes aeroportos. Grande parte da variância dos dados é explicada pelo modelo, cuja previsão apresenta baixos valores de erros percentuais. Os modelos mais comuns encontrados na literatura são suficientes para uma boa previsão de demanda. Neste grupo encontra-se a maioria dos aeroportos brasileiros.
- **Grupo 2:** São caracterizados por  $R^2$  e MAPE elevados, com médias de 0,78 e 33% (75% para MAPE padronizado), respectivamente. Estes aeroportos possuem condições específicas de alteração abrupta de volume de passageiros, conforme Figura 4.7. Para que uma boa previsão seja realizada, é necessário aguardar a estabilidade do mecanismo de formação de demanda. Assim, após a

obtenção de dados históricos suficientes na nova condição, deve-se eliminar os pontos anteriores da mudança repentina. Aeroportos com essa característica tenderão a se deslocar para os grupos 1 ou 3, com o passar do tempo. Neste grupo estão contidos os aeroportos de Campos (SBCP), Bacacheri (SBBI), aeroporto internacional de Pelotas (SBPK) e aeroporto internacional de Uruguaiana (SBUG).

- **Grupo 3:** Caracterizados por um valor de  $R^2$  reduzido e MAPE elevado, com médias de 0,34 e 29% (65% para MAPE padronizado), respectivamente. Os aeroportos representados por este grupo são de difícil previsão de demanda. A partir dos modelos de série temporais mais comuns utilizados na literatura, apenas uma pequena parcela da variabilidade presente nos dados pode ser explicada, e grande erro percentual de previsão é encontrado. Neste grupo encontra-se os aeroportos de Bagé (SBBG), Paulo Afonso (SBUF), aeroporto internacional de Parnaíba (SBPB), e aeroporto internacional de Ponta Porã (SBPP).



**Figura 4.7.** Alteração abrupta do nível de passageiros, característica comum dos aeroportos do grupo 2

#### ***4.4.6. Classificação de aeroportos conforme suas características de infraestrutura e mix de passageiros.***

Foi criado um banco de dados contendo variáveis que representam características de infraestrutura e mix de passageiros. Incluem-se posições de estacionamento, área de terminal; capacidade declarada, razão entre demanda e

capacidade, contribuição percentual no volume total de passageiros internacionais, percentual de passageiros domésticos e volume de passageiros no ano de 2012.

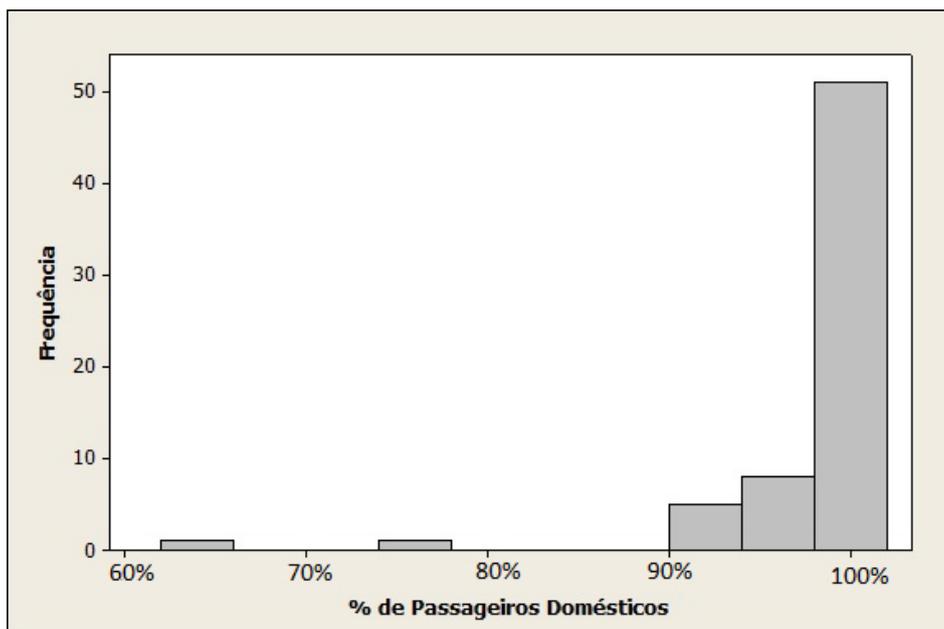
Foi realizado o teste de Kruskal-Wallis para verificar se existe diferença significativa entre as variáveis de infraestrutura entre os grupos 1 e 3. Apenas a capacidade declarada, a razão entre demanda e capacidade, e o volume anual de passageiros resultaram em valores p inferiores a 0,05. Deste modo, não pode-se concluir a respeito das demais características de infraestrutura de cada grupo. Observou-se que os aeroportos do grupo 3, com baixa acurácia em termos de  $R^2$  e MAPE, possuem as seguintes características em comum:

- Capacidade < 1,1 milhões de passageiros anuais;
- Volume anual de passageiros < 3500;
- Razão entre demanda e capacidade declarada < 0,015.

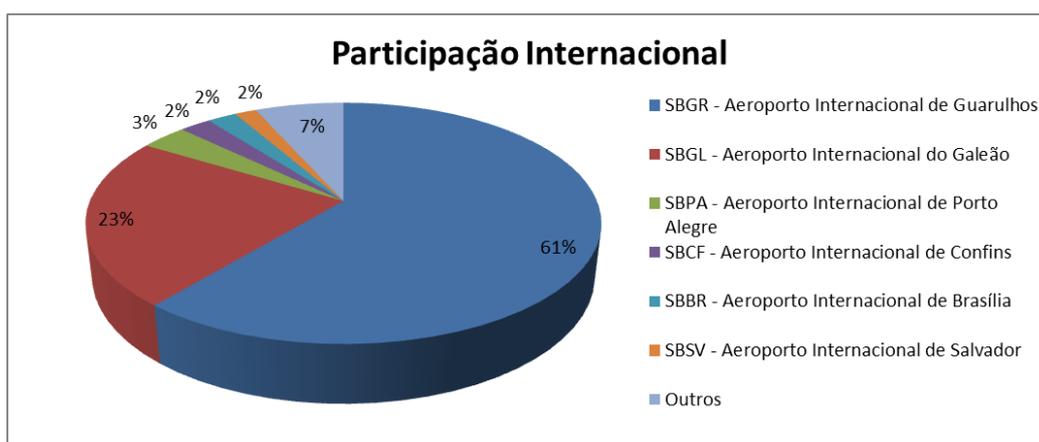
O único aeroporto brasileiro não abrangido pelo grupo 3 que também apresenta essas características é o Aeroporto Internacional de Uruguaiana (SBUG), representante do grupo 2. Todos são aeroportos de baixo volume de passageiros transportados ao ano, que operam abaixo de suas capacidades declaradas. Deste modo, qualquer leve alteração da demanda gera altos desvios percentuais, elevando o MAPE. Além disso, os dados se tornam dispersos, existindo assim dificuldade dos modelos de previsão de capturar o comportamento da série, resultando em  $R^2$  reduzido.

Vale ressaltar que foram identificados aeroportos no Grupo 1 com capacidades inferiores à 1.1 milhões de passageiros anuais. Porém, nenhum possuiu volume anual de passageiros inferior a 3500, nem razão entre demanda e capacidade abaixo de 0,015. Assim, apesar do teste de Kruskal-Wallis resultar em valor p inferior a 0,05 para a variável capacidade, esta não será utilizada para a caracterização dos grupos 1 e 3.

Quanto ao mix de passageiros, os aeroportos do Brasil possuem, em sua maioria, características semelhantes: alto percentual de passageiros domésticos (Figura 4.8) e baixa participação no volume total de passageiros internacionais (Figura 4.9). Apenas se destacam os aeroportos de Guarulhos (SBGR) e Galeão (SBGL), responsáveis juntos por mais de 80% do transporte de passageiros internacionais. Assim, a segregação dos aeroportos em termos de mix de passageiros apenas separaria estes dois dos demais.



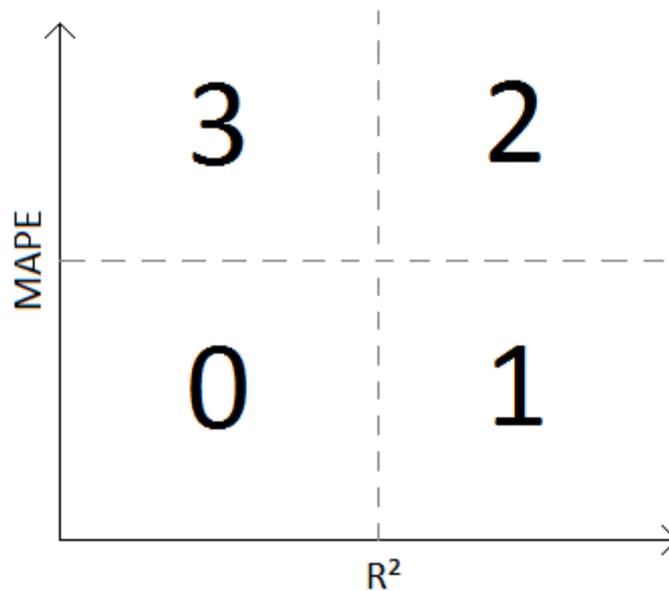
**Figura 4.8.** Histograma contendo distribuição de frequência de aeroportos conforme o percentual de passageiros domésticos (adaptado de INFRAERO, 2013)



**Figura 4.9.** Gráfico de Pizza representando a participação internacional dos aeroportos, em termos percentuais, em relação ao total de passageiros internacionais transportados no Brasil (adaptado de INFRAERO, 2013)

#### ***4.4.7. Proposição de relação entre variáveis de infraestrutura, mix de passageiros e acurácia de previsão.***

A partir do gráfico  $R^2$  vs MAPE é possível identificar e separar 4 regiões distintas, conforme Figura 4.10. Cada região é descrita segundo a análise realizada na etapa 5 e a classificação da etapa 6.



**Figura 4.10.** Três regiões distintas identificadas no gráfico  $R^2$  vs MAPE

Na amostra utilizada não foram observados aeroportos na região de  $R^2$  e MAPE baixos, Região 0. Deste modo, não foi possível obter caracterizações adequadas da região quanto à infraestrutura e mix de passageiros. As demais regiões são descritas a seguir:

- **Região 3:** É caracterizada por aeroportos com razão entre demanda e capacidade inferior a 0,015 e com volume anual de passageiros abaixo de 3500. Em relação à acurácia, os modelos comumente utilizados na literatura se mostram ineficientes para a realização de previsões de demanda. Uma recomendação possível é a inclusão de ajustes realizados por especialistas.
- **Região 2:** Os aeroportos localizados na região 2 possuem alteração abrupta no comportamento de volume de passageiros. Para que ocorra uma previsão de demanda adequada, é necessário aguardar que a série temporal de dados atinja tamanho satisfatório após a mudança em seu comportamento. Após este período, os aeroportos devem se deslocar para a região 3, caso o volume se reduza para valores inferiores a 3500 e possuam razão de demanda e capacidade inferior a 0,015, ou para a região 1, nos demais casos.
- **Região 1:** Compreende a maior parte dos aeroportos brasileiros. Todos possuem área razão entre demanda e capacidade acima de 0,015 e volume anual de passageiros superior a 3500. A acurácia dos modelos de previsão é elevada, com baixos erros percentuais médios. Deste modo, a utilização de modelos de séries

temporais comumente utilizados, como Box-Jenkins e suavização exponencial, são suficientes para realizar uma previsão de demanda adequada.

#### 4.5. Conclusão

Ferramentas de gestão de demanda são amplamente utilizadas visando o auxílio à tomada de decisões quanto à administração aeroportuária. Dentre elas, destaca-se a previsão de demanda de passageiros, que, aliada aos cálculos de capacidade, fornecem direcionamentos para atuação no desenvolvimento da infraestrutura dos aeroportos. A fim de contribuir para a melhoria da eficiência de previsões de demanda de aeroportos brasileiros, este trabalho visa à identificação e seleção de variáveis para a formação de grupos de aeroportos. São utilizadas variáveis relacionadas à infraestrutura e *mix* de passageiros de modo a relacioná-las com a acurácia de previsões.

São realizadas sete etapas: (1) pré-avaliação dos dados históricos de volume de passageiros para cada aeroporto; (2) obtenção do melhor modelo de previsão de demanda para cada aeroporto; (3) análise hierárquica de conglomerados a partir dos valores de  $R^2$  e MAPE referentes aos modelos de cada aeroporto; (4) análise não-hierárquica de conglomerados, pelo método *K-means*; (5) análise dos grupos gerados; (6) classificação de aeroportos conforme suas características de infraestrutura e *mix* de passageiros; (7) proposição de relação entre variáveis de infraestrutura, *mix* de passageiros e acurácia de previsão.

A partir do método proposto, foi possível separar os aeroportos brasileiros em três grupos distintos, observáveis em três regiões do gráfico  $R^2$  vs MAPE. As regiões 1 e 3 possuem características distintas quanto ao volume anual de passageiros e à razão entre demanda e capacidade, enquanto a região 2 compreende aeroportos com comportamento específico da série de dados.

A região 3 é caracterizada por aeroportos com  $R^2$  baixo e MAPE alto. São estabelecimentos com volume anual de passageiros inferior a 3500, com relação de capacidade e demanda menor que 0,015. Os modelos de suavização exponencial e Box-Jenkins são ineficientes para a previsão de demanda, sendo sugerido o auxílio da opinião de especialistas para elevar sua acurácia. Aeroportos localizados na região 2, com  $R^2$  e MAPE elevados, sofreram alteração abrupta no volume de passageiros. Para que ocorra uma previsão de demanda adequada, é necessário aguardar que a série temporal de dados atinja tamanho satisfatório após a mudança em seu comportamento.

Estes então devem se deslocar para a região 1 ou 3. Por último, a região 1 é representada por aeroportos com  $R^2$  alto e MAPE baixo. Assim a utilização de modelos de séries temporais comumente utilizados, como Box-Jenkins e suavização exponencial, são suficientes para realizar uma previsão de demanda adequada. Compreendem a maior parte dos aeroportos brasileiros, e possuem volume anual de passageiros superior a 3500, com razão de demanda e capacidade superior a 0,015.

Foram também analisadas variáveis relacionadas ao *mix* de passageiros. Porém, constatou-se a predominância de aeroportos com alto percentual de passageiros domésticos e baixa participação no volume total de passageiros internacionais. Deste modo, a composição de passageiros não é capaz de distinguir aeroportos quanto à acurácia de previsões.

Devido ao grande número de aeroportos compreendidos na região 1, além da existência de aeroportos com  $R^2$  não muito elevados, na ordem de 0,6-0,8, sugere-se para trabalhos futuros uma segregação mais aprofundada do grupo. Assim será possível observar aeroportos desta região com potenciais de melhoria de acurácia de previsão.

#### 4.6. Referências

ADIKARIWATTAGE, V. et al. Airport classification criteria based on passenger characteristics and terminal size. **Journal of Air Transport Management**, v. 24, p. 36–41, set. 2012.

ANAC. **Portaria N° 1592/GM5 Aritgo 9°**. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/portarias/port1592GM5.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2016.

ANAC. **Tarifas Aéreas Domésticas, 28ª Edição**. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/estatistica/tarifasaereas/pdf/Edicao028.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2016a.

ANAC. **Portaria M°3457/SAI/SER**. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/Portarias/2013/PA2013-3457.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2016b.

ATHANASOPOULOS, G. et al. The tourism forecasting competition. **International Journal of Forecasting**, v. 27, n. 3, p. 822–844, jul. 2011.

BALTER, T. S. **Análise comparativa dos aeroportos brasileiros de grande porte a nível internacional**. Rio de Janeiro UFRJ, 2012.

CHO, V. Tourism forecasting and its relationship with leading economic indicators. **Journal of Hospitality and Tourism Research**, v. 25, p. 399–420, 2001.

COSHALL, J. T. Combining volatility and smoothing forecasts of UK demand for international tourism. **Tourism Management**, v. 30, n. 4, p. 495–511, ago. 2009.

DIEESE. **Nota Técnica Número 132**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.dieese.org.br/notatecnica/2013/notaTec132SalarioMinimo2014.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2016.

EUROPEIA, U. ORIENTAÇÕES COMUNITÁRIAS SOBRE O FINANCIAMENTO DOS AEROPORTOS E OS AUXÍLIOS ESTATAIS AO ARRANQUE DAS COMPANHIAS AÉREAS QUE OPERAM A PARTIR DE AEROPORTOS REGIONAIS. **Jornal Oficial da União Europeia**, v. 48, n. C 312/1, p. 1–14, 2005.

FAA. **Airport Categories – Airports**. Disponível em: <[http://www.faa.gov/airports/planning\\_capacity/passenger\\_allcargo\\_stats/categories/](http://www.faa.gov/airports/planning_capacity/passenger_allcargo_stats/categories/)>. Acesso em: 7 fev. 2016.

IATA. **Worldwide Slot Guidelines**. Disponível em: <<https://www.iata.org/policy/slots/pages/slot-guidelines.aspx>>. Acesso em: 17 jan. 2016.

INFRAERO. **Relatório anual**. Disponível em: <[http://www.infraero.gov.br/images/stories/Infraero/Contas/Relatorios/relatorio\\_anual2012.pdf](http://www.infraero.gov.br/images/stories/Infraero/Contas/Relatorios/relatorio_anual2012.pdf)>. Acesso em: 7 fev. 2016.

INFRAERO. Anuário Estatístico Operacional. p. 160, 2013.

MALIGHETTI, P.; PALEARI, S.; REDONDI, R. Airport classification and functionality within the European network. **Working Papers**, 2008.

PAI, P.-F.; HUNG, K.-C.; LIN, K.-P. Tourism demand forecasting using novel hybrid system. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 8, p. 3691–3702, jun. 2014.

PENG, B.; SONG, H.; CROUCH, G. I. A meta-analysis of international tourism demand forecasting and implications for practice. **Tourism Management**, v. 45, p. 181–193, dez. 2014.

RODRÍGUEZ-DÉNIZ, H.; SUAUA-SANCHEZ, P.; VOLTES-DORTA, A. Classifying airports according to their hub dimensions: an application to the US domestic network. **Journal of Transport Geography**, v. 33, p. 188–195, dez. 2013.

SAMAGAI, A.; WOLTERS, M. Comparative analysis of government forecasts for the Lisbon Airport. **Journal of Air Transport Management**, v. 16, n. 4, p. 213–217, jul. 2010.

- SARKIS, J.; TALLURI, S. Performance based clustering for benchmarking of US airports. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 38, n. 5, p. 329–346, jun. 2004.
- SCARPEL, R. A. Forecasting air passengers at São Paulo International Airport using a mixture of local experts model. **Journal of Air Transport Management**, v. 26, p. 35–39, jan. 2013.
- SCARPEL, R. A. A demand trend change early warning forecast model for the city of São Paulo multi-airport system. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 65, p. 23–32, jul. 2014.
- TORRES, R. DE R.; PORTUGAL, L. DA S. **Caracterização de aeroportos regionais: Contribuição para uma classificação brasileira** Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes 17. **Anais...2013** Disponível em: <<http://redpgv.coppe.ufrj.br/index.php/es/produccion/articulos-cientificos/2013-1/752-caracterizacao-de-aeroportos-regionais-contribuicao-para-uma-classificacao-brasileira/file>>. Acesso em: 7 fev. 2016
- VOGEL, H.-A.; GRAHAM, A. Devising airport groupings for financial benchmarking. **Journal of Air Transport Management**, v. 30, p. 32–38, jul. 2013.
- XIAO, Y. et al. A neuro-fuzzy combination model based on singular spectrum analysis for air transport demand forecasting. **Journal of Air Transport Management**, v. 39, p. 1–11, jul. 2014.
- XIE, G.; WANG, S.; LAI, K. K. Short-term forecasting of air passenger by using hybrid seasonal decomposition and least squares support vector regression approaches. **Journal of Air Transport Management**, v. 37, p. 20–26, maio 2014.

#### 4. ANEXO I

<b>Item avaliado</b>	<b>Pontos</b>
Área de pré-embarque	3
Área de restituição de bagagens	1
Área de restituição de bagagens com esteiras ou carrosséis	4
Área pavimentada para estacionamento de veículos, com capacidade acima de 50 veículos	3
Área pavimentada para equipamento de rampa	2
Balizamento diurno e noturno na pista de táxi	4
Bar e/ou lanchonete	1
Berçário	2
Carrinhos à disposição dos passageiros para transporte de suas bagagens	1
Check-in automático	10
Circuito fechado de televisão	3
Climatização da sala de embarque	3
Climatização da sala de desembarque	2
Climatização do restaurante	2
Climatização do saguão	3
Drogaria	1
Elevadores	5
Equipamentos de limpeza de pistas	5
Fontes de energia de 400 Hz no pátio de manobras	5
Free-Shops	5
Hotel	10
Iluminação do pátio de manobras	5
Jornais e revistas	1
Local adequado para estadia de aeronaves	2
ônibus para transporte de passageiros entre o terminal e a aeronave; ou vice-versa	5
Pista de pouso e decolagem Categoria II, devidamente equipada e balizada para voo diurno e noturno (por pista)	10
Pista de pouso e decolagem Categoria I, devidamente equipada e balizada para voo diurno e noturno (por pista)	8
Pista de pouso e decolagem devidamente equipada e balizada para voo diurno e noturno (por pista)	5
Ponte de embarque e/ou desembarque	10
Ponto de reabastecimento de água potável para aeronaves no pátio de manobras	2
Restaurante	1
Sala de recepção	2
Serviço bancário	1
Serviço contra incêndio especializado	8
Serviço de atendimento médico	8
Serviço de locação de veículos	1
Serviço de remoção de emergência médica	9

Serviço de reserva de hotel	1
Serviço de salvamento aquático especializado	5
Serviço postal telegráfico	1
Serviço regular de transporte de superfície	1
Serviço de abastecimento de combustível para aeronaves	2
Serviço telefônico	1
Serviços de órgãos públicos	5
Sinalização ótica para estacionamento	5
Sinalização vertical no terminal de passageiros	2
Sistema de abastecimento de ar refrigerado no pátio de manobras	4
Sistema de esteiras para despacho de bagagens	4
Sistema de Som	1
Sistema informativo de voo	4
Sistema semiautomático anunciador de mensagens	2
Sistema de ascenso-descenso de passageiros por escadas rolantes	4
Terminal de carga	2
Ventilação mecânica forçada da sala de pré-embarque	1
Ventilação mecânica forçada geral	2
Viadutos para aeronaves (por viaduto)	5

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação teve como objetivo geral a aplicação de técnicas de otimização para solução de problemas complexos em diferentes segmentos da Engenharia de Produção e Transportes. Assim, foram escolhidas as áreas da saúde, o setor aeroportuário e análise sensorial para a implementação das metodologias propostas. Em cada setor, diferentes abordagens foram utilizadas, de forma a resolver os problemas específicos de cada área.

Em todos os casos, a aplicação de técnicas de otimização se mostrou uma ferramenta adequada para o auxílio na gestão dos setores envolvidos. Em relação ao setor aeroportuário, o benefício obtido é relacionado ao melhor entendimento do sistema; no caso da análise sensorial, o ganho é associado à identificação de *outliers*, permitindo a formação de um painel de avaliadores mais alinhado; por fim, na área da saúde, o nivelamento da demanda das unidades hospitalares subsequentes ao bloco cirúrgico proporciona uma melhor gestão de capacidade ao hospital.

Devido à abordagem se constituir pela aplicação de técnicas de otimização em diversos segmentos, foi necessário o aprofundamento no conhecimento em relação aos setores envolvidos. Além disso, os resultados da dissertação demonstram a flexibilidade da ferramenta na resolução de problemas, não sendo limitada por uma aplicação em um sistema específico.

Os resultados gerais desta pesquisa são agrupados em duas categorias: (i) implicações práticas, representando as consequências da aplicação das técnicas de otimização em cada setor; e (ii) implicações acadêmicas, que irão apresentar as contribuições deste trabalho para o estado da arte sobre os temas abordados.

### 5.1. Implicações práticas

Técnicas de otimização são frequentemente utilizadas a fim de direcionar o planejamento e o gerenciamento de recursos (IMMORLICA et al., 2004). Desta forma, possuem alta aplicabilidade em cenários práticos, envolvendo o aumento de desempenho, redução de custos e auxiliando a tomada de decisões. Nesta seção, serão discutidas as consequências práticas da aplicação das técnicas de otimização nas áreas de sistemas de saúde, transportes e análise sensorial.

(i) Setor Aeroportuário

Neste contexto, foram analisados 66 aeroportos brasileiros quanto à acurácia de modelos de previsão de demanda de seus passageiros. A partir do método proposto, três grupos de aeroportos foram observados, a partir de um gráfico de  $R^2$  vs MAPE. Foram identificados grupos de aeroportos com alta e baixa acurácia, além de um grupo formado por “aeroportos em transição”.

Os aeroportos de alta e baixa acurácia foram caracterizados a partir de suas variáveis de infraestrutura e *mix* de passageiros. Verificou-se que, dentre estas, apenas o volume anual de passageiros e a razão entre demanda e capacidade distinguem os grupos, significativamente. Os “aeroportos em transição” são definidos por possuírem um comportamento específico na série de dados, representado por uma mudança drástica na ordem de grandeza de volume de passageiros ao longo do período analisado. Após a estabilização da série temporal, os aeroportos deste grupo devem ser realocados para um dos outros dois grupos.

Assim, o trabalho permite uma melhor compreensão do cenário aeroportuário brasileiro. É possível, desta forma, identificar os aeroportos que requerem técnicas diferenciadas, capazes de melhor modelar o comportamento da demanda de passageiros, além de caracterizá-los. Desta forma, a otimização permitiu um agrupamento capaz de auxiliar o gerenciamento dos aeroportos.

(ii) Análise Sensorial

De forma a garantir a reprodutibilidade do painel sensorial, foi proposto um índice, Alfa Proposto (PA), capaz de distinguir painelistas cujas opiniões se distanciam dos demais. Este índice utiliza conceitos da análise de *clusters*, técnicas de otimização utilizada para a formação de grupos homogêneos.

O PA foi validado a partir de três estudos de caso, e comparado com os métodos de Alfa de Cronbach e Alfa de Ledauphin, que possuem aplicabilidade semelhante. Foi demonstrado que os resultados obtidos pela aplicação de PA permitem uma fácil identificação de painelistas *outliers*. Assim, a utilização do índice proposto auxilia a formação de um painel alinhado, capaz de desempenhar sua função com sucesso.

### (iii) Sistemas da Saúde

Considerando que a escala de cirurgias possui grande influência na demanda de pacientes para as unidades subsequentes, é de grande importância uma configuração ótima da grade de horários cirúrgica. Para isso, desenvolveu-se uma heurística capaz de minimizar a variância da demanda diária de pacientes gerada pelo bloco cirúrgico. Desta forma, é possível reduzir o impacto da grade de horários no total de horas demandadas de leitos pós-operatórios.

O método proposto visa a alocação de especialidades cirúrgicas em uma grade de horários de um hospital universitário de Porto Alegre, Brasil. São considerados 11 salas de cirurgia, 3 turnos ao dia, com um ciclo de trabalho de 2 semanas, excluindo fins-de-semana. A otimização, realizada através de uma heurística, foi capaz de reduzir o desvio padrão do tempo de pós-operatório de 1050 horas para 101 horas.

Desta forma, a aplicação do método de otimização proposto foi capaz de reduzir os picos de demanda para os leitos pós-operatórios. Além disso, permite grande flexibilidade na alocação de especialidades em salas cirúrgicas, em um mesmo dia, sem alterar o resultado final.

## **5.2. Implicações acadêmicas**

A respeito do setor aeroportuário, diversas classificações de aeroportos são apresentadas na literatura, principalmente envolvendo países estrangeiros (ADIKARIWATTAGE et al., 2012; MALIGHETTI; PALEARI; REDONDI, 2008; RODRÍGUEZ-DÉNIZ; SUAU-SANCHEZ; VOLTES-DORTA, 2013; SARKIS; TALLURI, 2004; TORRES; PORTUGAL, 2013; VOGEL; GRAHAM, 2013). Porém, até o momento, agrupamentos relacionados com a acurácia de previsão de demanda de passageiros em aeroportos são escassos. Assim, o trabalho propõe uma metodologia baseada na análise de *clusters* como alternativa para solução do problema. Desta forma, acrescenta ao cenário, cujo padrão é o uso de procedimentos empíricos, uma técnica de agrupamento fundamentada e de fácil acesso.

No âmbito da análise sensorial, vale ressaltar que as metodologias atuais para medição de reprodutibilidade são relacionadas a variâncias. Por outro lado, o trabalho realizado propõe a utilização de uma nova métrica, baseada na distância euclidiana de cada painelista com o centróide do *cluster* em que foi alocado. Esta medida de similaridade permite uma alternativa para a abordagem do problema. Desta forma,

proporciona o desenvolvimento de trabalhos futuros na área, envolvendo técnicas baseadas na análise de *clusters*.

Por fim, a respeito do setor da saúde, a abordagem utilizada baseada em heurísticas possui oportunidades de alterações e aperfeiçoamentos. Ademais, a metodologia proposta utiliza ferramentas de outras áreas, como a ciência da computação (*bin packing*). Isto evidencia a possibilidade da busca de soluções de problemas da Engenharia de Produção em outras áreas de conhecimento.

### 5.3. Referências

ADIKARIWATTAGE, V. et al. Airport classification criteria based on passenger characteristics and terminal size. **Journal of Air Transport Management**, v. 24, p. 36–41, set. 2012.

IMMORLICA, N. et al. On the costs and benefits of procrastination: approximation algorithms for stochastic combinatorial optimization problems. p. 691–700, 11 jan. 2004.

MALIGHETTI, P.; PALEARI, S.; REDONDI, R. Airport classification and functionality within the European network. **Working Papers**, 2008.

RODRÍGUEZ-DÉNIZ, H.; SUAU-SANCHEZ, P.; VOLTES-DORTA, A. Classifying airports according to their hub dimensions: an application to the US domestic network. **Journal of Transport Geography**, v. 33, p. 188–195, dez. 2013.

SARKIS, J.; TALLURI, S. Performance based clustering for benchmarking of US airports. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 38, n. 5, p. 329–346, jun. 2004.

TORRES, R. DE R.; PORTUGAL, L. DA S. **Caracterização de aeroportos regionais: Contribuição para uma classificação brasileira** Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes 17. **Anais...2013** Disponível em: <<http://redpgv.coppe.ufrj.br/index.php/es/produccion/articulos-cientificos/2013-1/752-caracterizacao-de-aeroportos-regionais-contribuicao-para-uma-classificacao-brasileira/file>>. Acesso em: 7 fev. 2016

VOGEL, H.-A.; GRAHAM, A. Devising airport groupings for financial benchmarking. **Journal of Air Transport Management**, v. 30, p. 32–38, jul. 2013.