

ISABELLA DE CASTRO CARVALHO

**PROPOSIÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO DE CONSUMO DE
ÁGUA PARA AMBIENTES AEROPORTUÁRIOS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C331p
2013

Carvalho, Isabella de Castro, 1986-
Proposição de modelos de previsão de consumo de água
para ambientes aeroportuários / Isabella de Castro Carvalho.
– Viçosa, MG, 2013.
xiii, 79f. : il. (algumas color.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Maria Lúcia Calijuri.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 64-70.

1. Água - Consumo. 2. Aeroportos. 3. Análise de regressão.
4. Modelos lineares (Estatística). I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 628.1

ISABELLA DE CASTRO CARVALHO

**PROPOSIÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO DE CONSUMO DE
ÁGUA PARA AMBIENTES AEROPORTUÁRIOS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2013.

Leonardo Campos de Assis

Maria do Carmo Calijuri

Paulo Roberto Cecon

(Coorientador)

Maria Lúcia Calijuri

(Orientadora)

**À minha mãe Maria Ap. S. C. Carvalho.
Ao meu pai Flávio de Castro Carvalho.
Aos meus irmãos Flavinho e Isadora.**

“A humildade não está na pobreza, na indigência, na necessidade, na nudez e nem na fome. A humildade está na pessoa que, tendo o direito de reclamar, julgar, reprovar e tomar qualquer atitude compreensível no brio pessoal, apenas abençoa.”

(Francisco Cândido Xavier)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por dar-me força, sabedoria e saúde para seguir no caminho do bem e do amor.

À minha mãe Cidinha e ao meu pai Flávio, pelos ensinamentos e exemplos de conduta e comportamento, pelo amor e carinho, e pela confiança depositada em mim, deixando-me livre para fazer minhas escolhas sem que eu jamais me sentisse desamparada.

Aos meus irmãos Flavinho e Isadora, por proporcionarem momentos inesquecíveis de convivência e aprendizado sobre amor e respeito, independente da distância e da saudade.

Aos meus familiares, sempre presentes através de orações e pensamentos positivos.

Ao Ronan Fernandes, em especial, pelo incentivo e apoio nas horas de dificuldade, pela paciência e carinho, pelos exemplos de dedicação e de caráter, e por todas as sugestões dadas a este trabalho.

À Professora Maria Lúcia Calijuri, pela orientação, pelos exemplos de profissionalismo e competência, pela amizade e por todas as sugestões dadas durante a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Civil, pela oportunidade, e aos professores, pelos conhecimentos transmitidos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

À Infraero, em especial à Marina Quirino e à Kátia Rebouças de Souza, pela disponibilização dos dados utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Paulo Roberto Cecon e ao amigo Leonardo Campos de Assis, pela paciência, orientação e sugestões desde o início do desenvolvimento deste trabalho. À Professora Maria do Carmo Calijuri, pelas contribuições valiosas na elaboração da versão final.

Às atuais e às antigas companheiras de república em Viçosa, em especial Ana Paula, Gabrielle e Paula, que conviveram comigo durante momentos de dificuldade: “brigadinada” pelos incentivos, conselhos e sugestões.

Aos demais colegas do Grupo de Pesquisas – Sigeo/nPA, Marcos Dornelas, Eduardo, Everton, Rodrigo, Luna, Mateus, Francisco, Marcus, Aníbal, pela agradável convivência e por toda a ajuda, disponibilidade e parceria.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, em particular ao Domingos Zuccherelli Neto, que prontamente disponibilizou seu trabalho de conclusão de curso (datilografado!) como material de consulta.

BIOGRAFIA

ISABELLA DE CASTRO CARVALHO, filha de Flávio de Castro Carvalho e Maria Aparecida Schincariol de Castro Carvalho, nasceu em 19 de dezembro de 1986, na cidade de São Paulo – SP.

Iniciou a graduação em Engenharia Ambiental em março de 2005, obtendo o título de Engenheira Ambiental em janeiro de 2011 pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Em março de 2011 iniciou o curso de pós-graduação, nível mestrado, em Engenharia Civil – Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa (UFV).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUÇÃO.....	1
OBJETIVOS.....	5
Objetivos específicos.....	5
CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	6
Consumo de água em grandes aeroportos mundiais.....	6
Consumo de água em aeroportos no Brasil.....	13
Modelos de previsão de consumo de água.....	18
METODOLOGIA.....	22
Obtenção de dados.....	22
Critérios para seleção dos grupos de aeroportos.....	24
Análise de correlação linear de Pearson.....	25
Análise de regressão linear múltipla.....	25
Análise de resíduos da regressão.....	27
Avaliação do desempenho dos modelos.....	29
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
Análise descritiva.....	30
Análise de correlação.....	32
Análise de regressão linear múltipla.....	33
Avaliação do desempenho dos modelos.....	49
O Aeroporto Internacional de Confins.....	54
CONCLUSÕES.....	61
RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	63
REFERÊNCIAS.....	64
APÊNDICE A.....	71
APÊNDICE B.....	72
APÊNDICE C.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Consumo total de água e relação L/pax para os principais aeroportos do mundo em 2010.	9
Figura 2. Fontes de água em importantes aeroportos do mundo.	12
Figura 3. Número de passageiros transportados nos 20 maiores aeroportos do Brasil e suas respectivas participações no consumo total de água, em 2010.	14
Figura 4. Consumo de água (m ³) total e por passageiro nos 20 aeroportos mais movimentados no Brasil, em 2010.	15
Figura 5. Dispersão do consumo de água (m ³) em relação ao número de passageiros (<i>Pax</i>).	34
Figura 6. Dispersão do consumo de água (m ³) em relação ao número de voos (<i>Voos</i>).	35
Figura 7. Dispersão do consumo de água (m ³) em relação à quantidade de carga transportada (kg).	36
Figura 8. Gráfico dos resíduos <i>versus</i> valores preditos para o modelo considerando os 20 aeroportos mais movimentados no Brasil, em 2010.	41
Figura 9. Gráfico Q-Q Plot para o modelo considerando os 20 aeroportos mais movimentados no Brasil, em 2010.	42
Figura 10. Gráfico dos resíduos e distâncias “leverage” para o modelo considerando os 20 aeroportos mais movimentados no Brasil, em 2010.	43
Figura 11. Comparação dos valores de consumo observados para 2011 com os valores preditos pelos modelos (porte e categoria) e pelo critério do relatório da ANAC.	51
Figura 12. Consumo de água e número de passageiros observados no aeroporto de Confins entre 2007 e 2011.	54
Figura 13. Porcentagem de consumo em 2011 referente aos grupos de atividades.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tráfego aéreo de passageiros e carga em 2010 (Adaptado de ACI, 2011).	6
Tabela 2. Tráfego de passageiros e equivalente populacional (EP), em termos de consumo de água, nos principais aeroportos do mundo, em 2010.	8
Tabela 3. Estatística descritiva dos dados de movimentação e consumo para os 20 aeroportos.	30
Tabela 4. Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson para as variáveis de <i>Consumo</i> , <i>Pax</i> , <i>Voos</i> e <i>Carga</i> , para os 20 aeroportos.	32
Tabela 5. Valores de média e desvio padrão (%) para as variáveis de movimentação e consumo para os 20 aeroportos. (unidades x 1000)	37
Tabela 6. Resultado da regressão linear múltipla para os 20 aeroportos considerando o consumo de água em função das variáveis <i>Pax</i> , <i>Voos</i> e <i>Carga</i>	39
Tabela 7. Resultado da regressão linear múltipla para os 20 aeroportos considerando o consumo de água em função das variáveis <i>Pax</i> e <i>Voos</i>	40
Tabela 8. Resultado dos testes estatísticos para os resíduos do modelo considerando os 20 aeroportos mais movimentados no Brasil, em 2010....	42
Tabela 9. Resultado da regressão linear múltipla para o Grupo P1.....	44
Tabela 10. Resultado dos testes estatísticos para os resíduos do Grupo P1.	45
Tabela 11. Resultado da regressão linear múltipla para o Grupo P2.....	46
Tabela 12. Resultado dos testes estatísticos para os resíduos do Grupo P2.	46
Tabela 13. Resultado da regressão linear múltipla para o Grupo C1.	47
Tabela 14. Resultado dos testes estatísticos para os resíduos do Grupo C1.	47
Tabela 15. Resultado da regressão linear simples para o Grupo C2.	48

Tabela 16. Resultado dos testes estatísticos para os resíduos do Grupo C2.	49
Tabela 17. Resultado da regressão linear múltipla para o aeroporto de Confins.....	55
Tabela 18. Resultado dos testes estatísticos para os resíduos do aeroporto de Confins.....	56
Tabela 19. Comparação do consumo observado em 2011 e dos valores estimados pelo modelo do aeroporto de Confins.....	57

RESUMO

CARVALHO, Isabella de Castro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2013. **Proposição de modelos de previsão de consumo de água para ambientes aeroportuários**. Orientadora: Maria Lúcia Calijuri. Coorientadores: Paulo Roberto Cecon e Eduardo Antônio Gomes Marques.

Aeroportos consomem grandes volumes de água e possuem grande potencial para a implementação de medidas de uso racional. Conhecer a demanda futura é essencial para avaliar investimentos destinados à ampliação de capacidade e o potencial benefício advindo da adoção dessas medidas. Para esses ambientes, no entanto, são poucos os estudos sobre o perfil de consumo de água, fatores que o influenciam e modelos para sua previsão. Portanto, os objetivos deste estudo foram avaliar a influência das variáveis de movimentação aeroportuária sobre o consumo de água e utilizá-las na obtenção de modelos de regressão linear múltipla para estimar este consumo. A base de dados disponibilizada pela Infraero contém informações sobre a movimentação anual de passageiros, voos, carga e mala postal, além do consumo anual de água para os principais aeroportos do Brasil. Os modelos foram desenvolvidos considerando a distinção dos aeroportos em termos de porte e categoria, e os coeficientes de determinação (R^2) e de Nash-Sutcliffe (NSE) foram utilizados para avaliação do desempenho. Os modelos desenvolvidos considerando o porte apresentaram R^2 iguais a 0,81, para aeroportos de grande porte, e 0,62, para aeroportos de médio e pequeno porte. Para aeroportos que operam apenas voos domésticos, foi obtido um modelo linear simples com r^2 igual a 0,89; para aeroportos que operam voos internacionais e domésticos, o modelo apresentou R^2 igual a 0,90. Os coeficientes NSE foram 0,93 e 0,88 para os modelos considerando o porte e a categoria, respectivamente. O modelo desenvolvido especificamente para o Aeroporto de Confins-MG apresentou melhor desempenho (NSE = 0,98) e o potencial para viabilizar a inclusão de outras variáveis capazes de refletir características específicas de cada aeroporto não consideradas pelas variáveis de movimentação.

ABSTRACT

CARVALHO, Isabella de Castro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2013. **Proposition of water demand forecast models for airport environments.** Adviser: Maria Lúcia Calijuri. Co-advisers: Paulo Roberto Cecon and Eduardo Antonio Gomes Marques.

Airports present large water consumption and a great potential for the implementation of measures for its rational and efficient use. Knowing the future water demand is essential for assessing investments destined to increase capacity and the potential benefit from adopting such measures. However, for such environments, there is a lack of studies on water consumption profiles, factors which affect water demand and forecast models. Thus the objectives of this study were to assess the influence of airport movement variables on water consumption and develop multiple regression models to predict it. The database was provided by Infraero and consisted of the annual number of passengers and flights, the annual amounts of cargo and mail, and the annual water consumption for the most important airports in Brazil. The models were developed considering airports grouped in terms of passenger capacity and category (domestic or international flights), and the performance was assessed by the determination (R^2) and the Nash-Sutcliffe (NSE) coefficients. The model developed for airports with capacity to transport at least 10 million passengers a year were able to explain 81% of water consumption variation, whereas the model for airports with inferior capacity explained 62% of the variation. The models developed for international and domestic airports presented R^2 of 90% and 89%, respectively. The NSE coefficients were 0.93 and 0.88 for the models considering capacity and category, respectively. The model developed specifically for the Airport of Confins-MG showed good performance (NSE = 0.98) and presented great potential to enable the inclusion of other variables that can reflect characteristics of each airport which are not considered by movement variables.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por água potável, resultante do aumento populacional, das secas e de padrões climáticos imprevisíveis, é uma realidade alarmante em muitas regiões do planeta (Bates et al., 2008; Wiek e Larson, 2012). Preocupações crescentes relacionadas às consequências das mudanças no clima global enfatizam a necessidade de planejamento na gestão dos recursos hídricos para garantir que as demandas atuais e futuras sejam atendidas com o nível desejado de satisfação (Babel e Shinde, 2011; Iglesias et al., 2011; Barsugli et al., 2012). Nesse contexto, destaca-se o conceito de “conservação de água”, que envolve o uso eficiente e controlado deste recurso, incluindo medidas de uso racional bem como de reúso.

Conservar água significa atuar de maneira sistêmica na gestão da demanda e da oferta (Hespanhol e Gonçalves, 2004; Brooks, 2006). A gestão da demanda é uma questão mundialmente relevante, estudada por diversos autores (Fadlelmawla, 2009; Arbués et al., 2010; Zhong e Mol, 2010), e foca nas medidas para redução do consumo nos usos finais de água, através de equipamentos economizadores em sanitários, por exemplo, como forma de minimizar a necessidade de abastecimento de água e de tratamento de esgoto, os quais possuem custos elevados e podem trazer problemas socioambientais (Willis et al., 2011). Atualmente, uma ferramenta importante na gestão da demanda tem recebido mais atenção: a introdução de tarifas pelo uso da água, antes considerada um recurso

gratuito (Fadlelmawla, 2009; Zhong e Mol, 2010). Dentre os objetivos de cobrir os custos crescentes e proteger o recurso escasso, a cobrança pelo uso da água destaca-se por introduzir motivação econômica para promover seu uso eficiente (Zhong e Mol, 2010). A gestão da oferta está relacionada à busca por fontes alternativas tais como o aproveitamento da água pluvial, reúso de águas cinzas¹ e esgotos após tratamento, dentre outros (Ghisi e Ferreira, 2007; Ryan et al., 2009; Hurlimann, 2011; Kahinda e Taigbenu, 2011).

De acordo com Biswas (2008), as soluções para os problemas da água não dependem apenas da sua disponibilidade, mas também de fatores como condições e expectativas sociopolíticas que afetam o planejamento, desenvolvimento e gestão de processos e práticas; nível de tecnologia viável disponível; atitudes e visibilidade regionais, nacionais e internacionais; qualidade, efetividade e relevância das pesquisas sendo conduzidas para solucionar os problemas nacionais e locais de água, entre outros. A avaliação do perfil do consumo de água tem sido objeto de diversos estudos, nos quais é possível encontrar indicadores consagrados tais como consumo/tipologia industrial, consumo/número de refeições servidas em um restaurante, dentre outros (Metcalf e Eddy, 1991; Tomaz, 2000; Fiesp, 2004; Oliveira, 2009). O conhecimento desses indicadores permite desenvolver e otimizar modelos de previsão de demanda para consumidores especiais como hotéis, shoppings, padarias, postos de

¹Águas cinzas são definidas como efluentes domésticos sem a contribuição de bacias sanitárias (Santos et al., 2011).

gasolina (NTS 181, 2012) entre outros (Malla e Gopalakrishnan, 1997; Billings e Agthe, 1998; Lahlou e Colyer, 2000; Babel et al., 2003), não apenas para utilização em projetos de sistemas de abastecimento de água, mas principalmente como ferramentas de planejamento e gestão (Borges, 2003; Odan, 2010).

Além desses indicadores, fatores sociais, econômicos e climáticos que influenciam o consumo nos setores industrial, doméstico e de serviços, também estão consolidados e são apresentados e discutidos amplamente na literatura (Arbués et al., 2003; Almutaz et al., 2012). Para o setor aeroportuário, no entanto, são poucas as referências de estudos sobre o perfil de consumo de água e modelos específicos para sua projeção (Zuccherelli Neto, 1981).

Aeroportos consomem volumes substanciais de água e possuem grande potencial para a implementação de tecnologias voltadas para sua conservação, devido ao elevado consumo principalmente para usos não potáveis como em sistemas de refrigeração de ar, controle de incêndios, lavagem de veículos e aeronaves, pátios e pistas, etc. (Moreira Neto et al., 2012). Mundialmente, diversos aeroportos têm apresentado iniciativas para promoção do uso racional (MAN, 2007; ADR, 2009; SYD, 2009a; SYD, 2009b; Fraport AG, 2010; HKIA, 2010; NIAC, 2011). No entanto, alternativas mais audaciosas como o reúso, por exemplo, são geralmente implementadas na construção de novos terminais ou em situações de escassez, uma vez que necessitam de intervenções em infraestrutura e

elevados recursos financeiros. O conhecimento da demanda futura é essencial para avaliar investimentos destinados à ampliação de capacidade e o potencial benefício advindo da adoção de medidas de conservação.

Dessa forma, o impacto da atividade aeroportuária no consumo de água, o crescimento dessa modalidade de transporte observado nos últimos anos (ACI, 2011) e a carência de pesquisas específicas sobre o consumo em aeroportos motivaram o desenvolvimento deste estudo. Ressalta-se, ainda, o momento de ampla visibilidade internacional do Brasil, em que obras para ampliação, reforma e construção de novos aeroportos estão sendo realizadas em todo o país, não apenas para atender à crescente demanda, mas para comportar dois importantes eventos esportivos nos próximos anos: a Copa do Mundo da Fédération Internationale de Football Association (FIFA) em 2014, e os Jogos Olímpicos em 2016.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar, para os principais aeroportos brasileiros, a influência de variáveis de movimentação aeroportuária no consumo de água através da proposição de modelos para sua previsão.

Objetivos específicos

- a. Organizar informações relacionadas ao consumo de água nos principais aeroportos do mundo, com ênfase nos do Brasil;
- b. Avaliar a influência das variáveis de movimentação aeroportuária (número de passageiros, número de voos e quantidades de carga e mala postal transportadas) no consumo de água através de análise de regressão linear múltipla;
- c. Desenvolver modelos de previsão de consumo de água para grupos de aeroportos com características semelhantes, e
- d. Propor e avaliar o desempenho dos modelos através da sua aplicação para o Aeroporto Internacional Tancredo Neves.

CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Consumo de água em grandes aeroportos mundiais

De acordo com o último relatório anual publicado pelo Conselho Internacional de Aeroportos (ACI, 2011), o número de passageiros registrado, em 2010, em 1.318 aeroportos de 157 países atingiu a marca dos 5 bilhões pela primeira vez, o que representa um aumento de 6,6% em relação a 2009. O tráfego doméstico global aumentou em 5,8% enquanto o tráfego internacional teve um aumento de 7,7%. O transporte aéreo de cargas também bateu um recorde: 91 milhões de toneladas, com um aumento de 15% comparado a 2009. A Tabela 1 mostra o número de passageiros e quantidade de carga transportada por região em 2010, bem como a porcentagem de variação em relação a 2009.

Tabela 1. Tráfego aéreo de passageiros e carga em 2010 (Adaptado de ACI, 2011).

Regiões definidas pelo ACI	Nº de passageiros ^a	Varição em relação a 2009 (%)	Carga total ^b	Varição em relação a 2009 (%)	Nº de aeroportos
África	155.979.778	9,5	1.715.838	1,9	154
Ásia-Pacífico	1.294.834.546	11,3	31.856.866	18,5	172
Europa	1.466.758.533	4,3	17.920.309	15,5	454
América Latina-Caribe	403.676.303	13,2	4.665.694	14,3	263
Oriente Médio	206.622.059	12,0	5.881.214	13,7	53
América do Norte	1.509.836.075	2,5	28.709.087	13,2	222
Total	5.037.707.294	6,6	90.749.008	15,3	1.318

^aTotal de passageiros embarcados e desembarcados; passageiros em trânsito contabilizados uma vez.

^bCarga carregada e descarregada em toneladas métricas.

Acompanhando as tendências por região, é possível observar que os mercados emergentes lideraram o crescimento. De acordo com ACI (2011), a região da América Latina-Caribe, devido principalmente ao desenvolvimento substancial do Brasil, apresentou crescimento de 13,2% em relação a 2009. As regiões do Oriente Médio e Ásia-Pacífico também apresentam crescimentos substanciais. As menores porcentagens de variação foram observadas para as regiões de mercado consolidado, como a América do Norte (2,5%) e a Europa (4,3%).

Tais números enfatizam a urgência e importância do desafio da capacidade aeroportuária. Os operadores e administradores de aeroportos no mundo todo estão focados na necessidade de fornecer aos passageiros uma experiência positiva e confortável, e planejando ampliações das atuais capacidades para atender às expectativas de dobrar o número de passageiros nos próximos 15 a 20 anos (ACI, 2011). Mais do que nunca, governos, companhias aéreas e parceiros devem trabalhar conjuntamente para garantir que a capacidade necessária seja incorporada de maneira segura, eficiente e sustentável.

A Tabela 2 apresenta os dados de tráfego de passageiros para os principais aeroportos do mundo, assim como o Equivalente Populacional (EP) em termos de volume de água consumido. Os dados foram extraídos dos relatórios anuais publicados pelas operadoras desses aeroportos e, para o cálculo do EP, adotou-se consumo diário per capita igual a 200 L. O

volume de água considerado foi relativo apenas ao consumo total de água potável nos aeroportos.

Tabela 2. Tráfego de passageiros e equivalente populacional (EP), em termos de consumo de água, nos principais aeroportos do mundo, em 2010.

	Aeroportos	Abr.	País	Nº de passageiros (milhões)	EP (mil pessoas) ^a
1	Aeroporto de Atlanta	ATL	EUA	89,33	12,96
2	Aeroporto de Londres-Heathrow	LHR	Inglaterra	65,88	25,37
3	Aeroporto de Paris-Charles de Gaulle	CDG	França	58,17	31,42
4	Aeroporto de Frankfurt	FRA	Alemanha	53,01	12,40
5	Aeroporto de Madrid-Barajas	MAD	Espanha	49,84	15,77
6	Aeroporto de Amsterdã	AMS	Holanda	45,21	17,01
7	Aeroporto de São Francisco	SFO	EUA	39,25	24,67
8	Aeroporto de Roma-Fiumicino	FCO	Itália	36,23	15,64
9	Aeroporto de Sidney	SYD	Austrália	35,99	14,15
10	Aeroporto de Munique	MUC	Alemanha	34,72	13,14
11	Aeroporto de Narita	NRT	Japão	32,85	23,84
12	Aeroporto de Toronto	YYZ	Canadá	31,80	12,69
13	Aeroporto de Paris-Orly	ORY	França	25,20	6,55
14	Aeroporto de Zurique	ZRH	Suíça	22,88	7,27
15	Aeroporto de Manchester	MAN	Inglaterra	18,30	12,44
16	Aeroporto de Bruxelas	BRU	Bélgica	17,18	3,56
17	Aeroporto de Lisboa	LIS	Portugal	14,09	7,84
18	Aeroporto de Porto	OPO	Portugal	5,28	1,25

^aCalculado usando o consumo total de água potável fornecido nos relatórios anuais ambientais, referentes a 2010.

Os dez primeiros aeroportos listados na Tabela 2 estavam entre os 30 maiores aeroportos em termos de tráfego de passageiros em 2010 (ACI, 2011). Os demais aeroportos também apresentaram expressiva movimentação de passageiros, e foram incluídos na Tabela 2 principalmente por estarem entre os poucos que fornecem dados anuais relacionados às suas operações, assim como ações de responsabilidade socioambiental.

Esses aeroportos apresentam consumo de água equivalente ao de cidades com até 31 mil habitantes, como o aeroporto de Paris-CDG, o qual fornece um exemplo da grande quantidade de água necessária para manutenção das atividades aeroportuárias. O aeroporto de Atlanta, apesar de ocupar a primeira posição com relação ao transporte de passageiros (89 milhões), consumiu o equivalente a uma cidade com 13 mil habitantes, o que pode ter sido resultado de seus esforços para o uso racional da água.

A Figura 1 mostra o consumo anual de água em alguns dos principais aeroportos do mundo, e também a relação consumo por passageiro (L/pax), calculada a partir da divisão do consumo total de água potável no aeroporto pelo número de passageiros transportados em determinado período, geralmente anual. As informações foram obtidas para o ano de 2010.

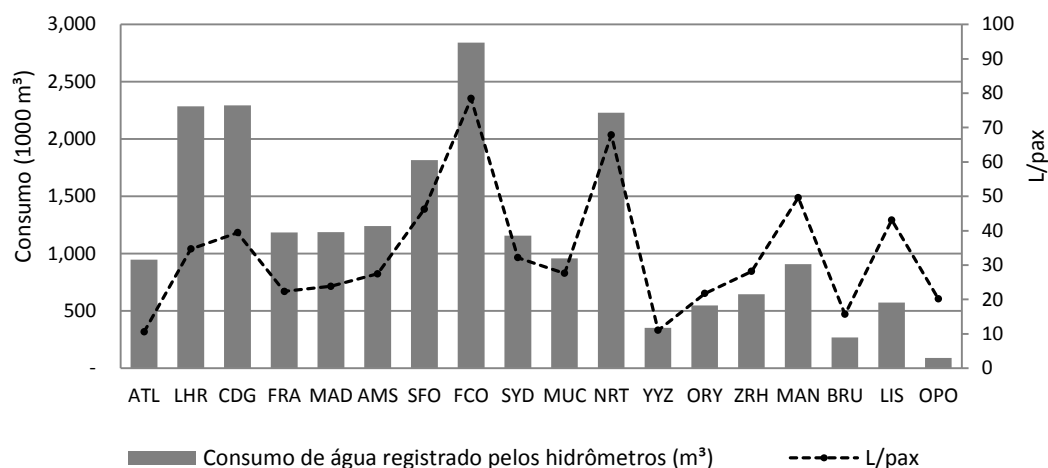


Figura 1. Consumo total de água e relação L/pax para os principais aeroportos do mundo em 2010.

A relação “L/pax” é usada em muitos dos relatórios anuais como indicador de eficiência das ações direcionadas à conservação da água. Metas de redução são estabelecidas para esse indicador, as quais

representariam diminuições efetivas no consumo de água potável dentro do complexo aeroportuário, através da adoção de medidas de uso racional ou utilização de outras fontes para suprir parte da demanda, geralmente aquela necessária para usos não potáveis.

É possível notar a grande diferença entre os aeroportos da Figura 1 com relação a esse indicador. Aeroportos com maior número de passageiros apresentaram, de maneira geral, maiores consumos. O aeroporto de Atlanta, no entanto, transportou 1,35 e 1,54 vezes mais passageiros do que Londres e Paris-CDG, respectivamente, e consumiu apenas 40% do volume de água utilizado nesses aeroportos. Se comparados a Frankfurt e Madrid, os aeroportos de Londres e Paris-CDG transportaram apenas 1,3 mais passageiros, mas consumiram um volume de água em torno de 90% maior. Outros destaques são os aeroportos de Fiumicino e Narita, que ocuparam as posições de 8º e 11º lugares no transporte de passageiros, respectivamente, mas estão entre os quatro maiores consumidores, com volumes acima de 2 milhões de m³.

O aeroporto de Atlanta apresentou um indicador de consumo de apenas 11 L/pax, valor muito abaixo da média geral (33 L/pax), o que pode ter sido resultado de suas ações integradas para o uso eficiente da água. Em 2007, 630 bacias sanitárias e 1.200 mictórios que utilizavam, respectivamente, 6,05 L e 3,8 L de água por acionamento de descarga foram substituídos por equipamentos novos, cujos respectivos consumos são de aproximadamente 4,84 L e 1,9 L por acionamento. Além disso, o sistema de

refrigeração foi modernizado, passando a utilizar resfriadores elétricos, os quais não utilizam água para geração de vapor e necessitam de menores volumes nas torres de resfriamento. De 2008 para 2009, houve redução de até 18% no total de água consumido (DOA Atlanta, 2009).

Os aeroportos de Frankfurt e Amsterdã estão entre os que transportaram maior número de passageiros, e apresentaram indicadores de apenas 22 e 27 L/pax, respectivamente. O aeroporto de Amsterdã possui equipamentos economizadores como torneiras com aeradores, equipamentos sanitários de baixo consumo, válvulas de acionamento automático, entre outros. No início de 2010, foi implementado um tratamento por osmose reversa que reduz o conteúdo mineral da água nas torres de resfriamento, diminuindo a frequência de reabastecimento, o que resultou em uma economia de 20% de água ao final do ano, se comparado ao consumo em 2009 (Schiphol Group, 2011). No aeroporto de Frankfurt, houve redução de 24% no consumo de água potável de 2009 para 2010, devido principalmente à utilização de água pluvial tratada para o fornecimento de hidrantes, sanitários e na irrigação de áreas verdes (Fraport AG, 2008).

A Figura 2 mostra algumas das principais fontes de água utilizadas em aeroportos que adotam práticas conservacionistas e que disponibilizam informações e resultados sobre tais iniciativas em seus relatórios anuais.

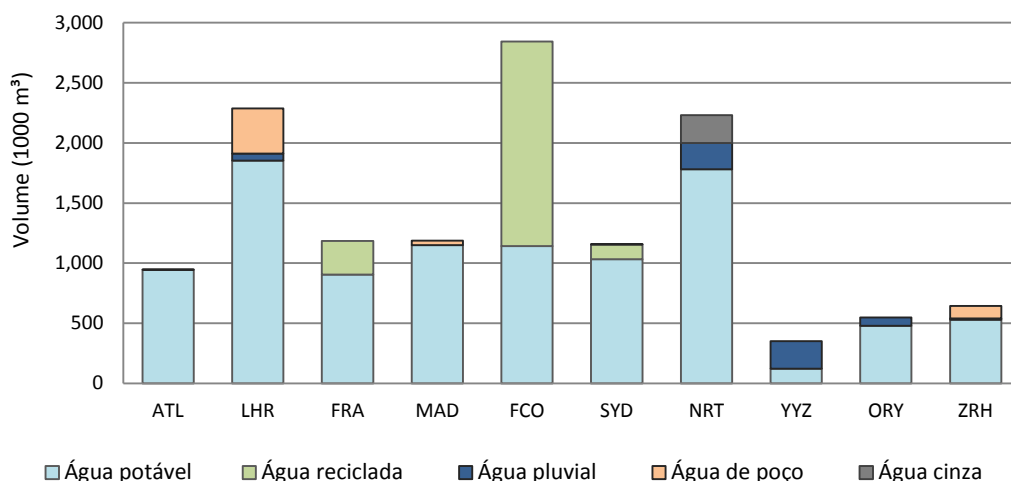


Figura 2. Fontes de água em importantes aeroportos do mundo.

Aeroportos como os de Frankfurt, Sidney e Fiumicino destacam-se pelo volume de água reciclada (somatório de água pluvial, água cinza e água de poço), e o aeroporto de Narita pelo uso de águas cinzas.

O aeroporto de Frankfurt tem mantido, desde 2001, o mesmo nível de volume de água potável consumido, apesar do aumento no número de passageiros. O conceito aplicado na área do aeroporto promove a redução do consumo de água potável através do uso de água reciclada, cuja parcela cresceu até 18% nos últimos 10 anos. No mesmo período, o indicador L/pax reduziu em 20%. Em 2010, o consumo de água potável foi de 1,16 milhões de m³, enquanto o volume de água reciclada atingiu 319 mil m³ (Fraport AG, 2010). No aeroporto de Sidney, uma estação de tratamento de águas residuárias tem promovido economia de 550 m³ de água potável todos os dias, desde o início de sua operação em 2009.

No aeroporto de Fiumicino, águas cinzas de restaurantes e das empresas que preparam alimentos servidos nos voos são coletadas e, após processo físico de separação de óleos e gorduras, são tratadas juntamente

com o esgoto doméstico e reutilizadas em atividades não potáveis (ADR, 2009). Águas cinzas provenientes dos restaurantes do terminal de passageiros no aeroporto de Narita passam por uma unidade de tratamento na própria cozinha, e são utilizadas como água de descarga nas bacias sanitárias do terminal (NIAC, 2011). Ainda assim, esses aeroportos apresentaram os maiores indicadores, na ordem de 70 L/pax.

O aeroporto de Londres coleta aproximadamente 60 mil m³ de água pluvial anualmente. O sistema de coleta tem potencial para aproveitar cerca de 85% do volume de chuva e, juntamente com o volume de água proveniente de poços, fornece 70% da água necessária para usos não potáveis (LHR, 2010).

Os aeroportos de Lisboa e Manchester consomem menores quantidades de água, mas apresentaram indicadores de 43 e 50 L/pax, respectivamente, e suas ações relacionadas ao uso racional de água são ainda incipientes. O aeroporto de Madrid-Barajas, apesar do indicador de consumo de 24 L/pax, próximo aos valores apresentados por Frankfurt e Amsterdã, não implementa ações significativas para redução do consumo e utilização de fontes alternativas.

Consumo de água em aeroportos no Brasil

O Quadro 1A (Apêndice A) apresenta os nomes, localização e siglas utilizadas para os 20 aeroportos mais importantes do Brasil: de acordo com a Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – Infraero, eles foram

responsáveis por 89% do tráfego de passageiros em 2010. Juntos, esses aeroportos consumiram mais de 4,3 milhões de m³ de água, o que representa aproximadamente 90% do consumo registrado para todos os 66 aeroportos até então administrados pela empresa, antes da concessão dos aeroportos de Guarulhos, Brasília e Campinas, realizada em 2012.

As Figuras 3 e 4 mostram que no Brasil, assim como em aeroportos de outros países, o maior número de passageiros não reflete, necessariamente, em maior consumo de água. A Figura 3 mostra o número de passageiros transportados nos 20 aeroportos mais movimentados em 2010, bem como a participação de cada um deles no consumo total registrado pela empresa para todos os aeroportos.

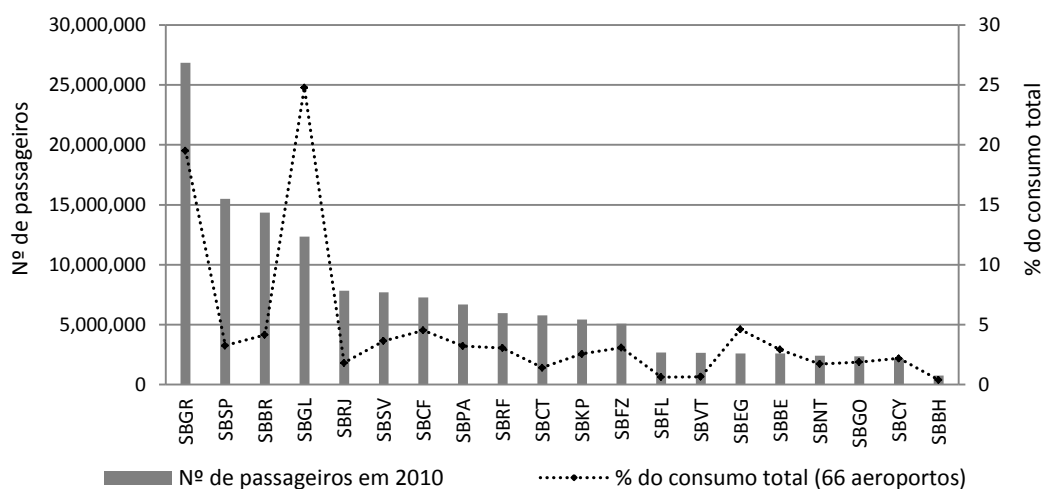


Figura 3. Número de passageiros transportados nos 20 maiores aeroportos do Brasil e suas respectivas participações no consumo total de água, em 2010.

A Figura 3 mostra, por exemplo, que o aeroporto do Rio de Janeiro-Galeão (SBGL) representa 24,80% do consumo registrado para todos os aeroportos, apesar de ser apenas o 4º em termos de número de passageiros transportados. Para o aeroporto de Confins (SBCF), a porcentagem do

consumo de 4,53% é semelhante às apresentadas pelos aeroportos de Brasília (SBBR) e São Paulo-Congonhas (SBSP), de 4,15 e 3,25%, respectivamente. Entretanto, o número de passageiros registrado em Confins, em 2010, foi apenas metade do transportado pelos dois outros aeroportos. A Figura 4 apresenta o consumo de água e o indicador L/pax referentes ao ano de 2010, para os 20 maiores aeroportos do Brasil.

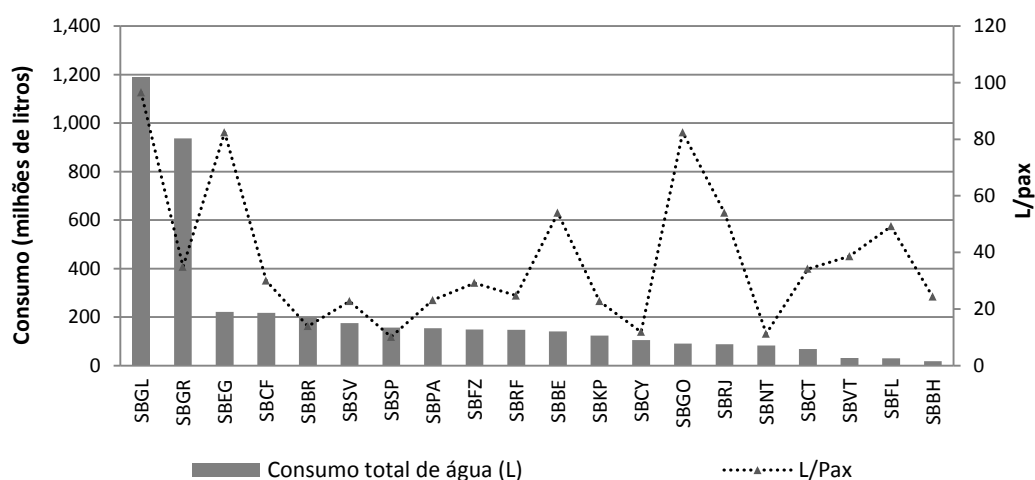


Figura 4. Consumo de água (m³) total e por passageiro nos 20 aeroportos mais movimentados no Brasil, em 2010.

No cenário brasileiro, assim como no internacional, é possível notar grandes diferenças entre os aeroportos no tocante ao consumo de água, e a relação entre o consumo e o número de passageiros transportados não é suficiente para explicá-las. Um exemplo é o aeroporto do Galeão, que ocupou a 4^a posição em termos de número de passageiros, mas foi o 1^o no ranking do indicador L/pax. Apesar do indicador elevado (96 L/pax) quando comparado a outros aeroportos de grande movimentação, o aeroporto do Galeão é um dos poucos que já reduziu significativamente seu consumo após a implementação do reúso de efluentes domésticos e do

aproveitamento de água pluvial para atender à demanda do sistema de condicionamento de ar. Em 2001, o aeroporto consumia aproximadamente 150.000 m³ de água por mês. Em 2010, apesar do aumento de 106% no número de passageiros em relação a 2001, o consumo mensal de água foi de 99.200 m³ (Infraero, 2011).

Além do Galeão, apenas os aeroportos de Recife (SBRF) e de Guarulhos (SBGR) apresentaram medidas, ainda incipientes, relacionadas à conservação de água. No aeroporto de Recife, foi instalado um sistema de esgotamento sanitário a vácuo no terminal de passageiros. O equipamento, semelhante ao empregado a bordo das aeronaves, utiliza quantidade irrisória de água proveniente da condensação do sistema de refrigeração de ar. Ainda assim, apresentou indicador de consumo de 24 L/pax, superior aos apresentados por Brasília e São Paulo-Congonhas, que transportaram 2,5 vezes mais passageiros. No aeroporto de Guarulhos, a Infraero verificou redução de 40% no volume de água gasto nos sanitários após a regulagem dos equipamentos e a instalação de torneiras e válvulas de descarga com acionamento eletrônico (Infraero, 2011).

Aeroportos com movimentação semelhante na faixa dos 5 a 6 milhões de passageiros por ano, tais como os aeroportos de Porto Alegre (SBPA) e Fortaleza (SBFZ), apresentaram indicadores de 23 e 29 L/pax, respectivamente. Os aeroportos de Manaus (SBEG), Belém (SBBE), Vitória (SBVT), Florianópolis (SBFL) e Goiânia (SBGO), no entanto, transportaram entre 2 e 3 milhões de passageiros em 2010 e apresentaram

indicadores acima da média geral (37 L/pax), mostrando um comportamento muito distinto com relação ao consumo, que pode ser resultado de atividades específicas nestes aeroportos, não relacionadas ao transporte de passageiros.

Dessa forma, nota-se que tanto no cenário internacional como para os aeroportos no Brasil, consumos inferiores ao esperado em função da quantidade de passageiros podem ser explicados pela existência de ações de conservação ou o melhor gerenciamento dos recursos hídricos em um aeroporto específico, como é facilmente percebido para o aeroporto de Atlanta. Outros apresentam consumos elevados, apesar de adotarem medidas de conservação, como é o caso do Galeão.

Tais discrepâncias podem estar associadas ao fato de que a demanda de água é uma função complexa de múltiplas variáveis (Babel e Shinde, 2011), e um ambiente aeroportuário possui atividades diversas não estritamente relacionadas ao consumo pelos passageiros. Alguns relatórios utilizam a relação consumo por unidade de tráfego (*traffic unit*), a qual equivale a um passageiro com bagagem (excluídos os passageiros em trânsito), ou 100 kg de carga ou mala postal, como forma de considerar a influência da movimentação de carga/mala postal no consumo. Ainda assim, o consumo relacionado às atividades das empresas aéreas e concessionárias instaladas dentro do complexo aeroportuário (restaurantes, lojas, limpeza e manutenção de aeronaves, etc.), bem como a parcela de consumo referente aos funcionários, não são considerados.

Modelos de previsão de consumo de água

A rotina de um complexo aeroportuário, incluindo os consumos de água e de energia elétrica, e a geração de resíduos, pode ser comparada à de uma cidade de pequeno ou médio porte, de forma que metodologias consagradas em literatura para a previsão da demanda de água em ambientes urbanos podem ser adaptadas e utilizadas para este setor. Nestes locais, tanto a população fixa (funcionários) quanto a população flutuante (passageiros e acompanhantes) utilizam a infraestrutura existente e contribuem diretamente para o consumo de água. Além do consumo per capita, outras atividades tais como abastecimento, limpeza e manutenção de aeronaves, conservação de edifícios, lavagem de veículos², sistemas de ar condicionado, irrigação de áreas verdes e paisagismo, prevenção e combate a incêndios, também contribuem de maneira significativa para o montante de água consumido.

A utilização de modelos estatísticos na avaliação do consumo de água permite analisar os fatores que influenciam a demanda e entender seus efeitos, além de prever demandas futuras e orientar o desenvolvimento de planos de gestão (Odan, 2010). Os métodos de previsão, segundo Gardiner e Herrington (1986), são procedimentos usados para analisar o consumo de água ocorrido no passado e aplicar o conhecimento resultante para o futuro. Sendo assim, traduzem os valores projetados de uma ou mais variáveis

²Veículos oficiais da própria Infraero, bem como das empresas de táxi e de aluguel de veículos.

explicativas (população, renda, tarifa, entre outras) em estimativas de demanda futura.

Qi e Chang (2011) fazem uma revisão histórica sobre diversos modelos de previsão, desde os mais simples aos mais complexos, enquanto Froukha (2001) e Babel et al. (2007) apresentam alguns dos métodos estatísticos mais utilizados para o desenvolvimento desses modelos:

- Extrapolação de tendências – assume que a demanda futura segue tendências passadas e o uso da água ao longo do tempo é extrapolado para o futuro por meios gráficos ou regressões;
- Método de coeficiente único – estima o uso futuro como produto da projeção de uma população e um valor projetado de consumo per capita;
- Método de coeficientes múltiplos – considera vários parâmetros, podendo ou não incluir variáveis sociais, econômicas, como a tarifa de água, por exemplo, entre outras;
- Previsão de demanda desagregada – especifica o uso de água para cada setor, estação ou região, de maneira separada, usando as melhores variáveis explicativas disponíveis, que são específicas para determinado setor e, de maneira geral, fornecem previsão mais precisa.

Para ambientes aeroportuários, a extrapolação de tendências passadas pode não ser sensível a mudanças em infraestrutura, avanços tecnológicos,

melhorias na eficiência do uso da água e decisões políticas relacionadas ao uso e à conservação.

O método de coeficiente único tem sido utilizado na elaboração de projetos de sistemas de abastecimento de água durante a construção de muitos aeroportos brasileiros, bem como nos projetos atuais de expansão (ANAC, 2011). As empresas projetistas estabelecem um valor de consumo per capita com base em tendências observadas nos anos mais recentes, o qual é adotado para a previsão de demanda futura. Alguns critérios utilizam apenas o consumo diário por passageiros e funcionários, cujos valores adotados variam de 30 a 50 L/passageiro e de 70 a 200 L/funcionário, enquanto outros consideram ainda uma taxa de acompanhantes por passageiro, e o consumo diário entre 20 e 50 L por esses usuários (Zuccherelli Neto, 1981; ANAC, 2011). Apesar da ampla utilização, tais critérios baseiam-se em uma suposição simplificada de que a demanda depende apenas do número de usuários, não sendo considerados outros usos significativos.

O modelo de previsão de demanda desagregada é mais sofisticado e pode fornecer previsão mais precisa. Entretanto, esse método requer um grande volume de dados para diferentes setores, os quais não estão normalmente disponíveis para os aeroportos brasileiros, limitando seu uso.

O método de coeficientes múltiplos considera que existem múltiplas variáveis capazes de explicar a variação no consumo em um ambiente aeroportuário. Sabendo-se que a simplicidade do modelo é desejável, entre

outros motivos pela parcimônia/economia, uma característica para seu emprego eficiente é a disponibilidade de dados das variáveis explicativas que o constituem.

As variáveis de movimentação aeroportuária são monitoradas e disponibilizadas mensalmente pela Infraero e refletem grande parte das atividades consumidoras de água, como sanitários, restaurantes e sistemas de ar condicionado no terminal de passageiros, o abastecimento e manutenção de aeronaves e o consumo no terminal de cargas, que geralmente concentra grande número de empregados. Diante disso, justifica-se o desenvolvimento de um estudo que busque avaliar o potencial de utilização dessas variáveis em um modelo de previsão de consumo de água para aeroportos.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste estudo foi dividida em duas etapas. A primeira etapa consistiu na avaliação da influência das variáveis de movimentação aeroportuária sobre o consumo de água, considerando os 20 maiores aeroportos administrados pela Infraero, e na proposição de modelos para estimativa do consumo nesses ambientes, considerando grupos de aeroportos com características semelhantes. Na segunda etapa, verificou-se a aplicabilidade e deficiências dos modelos através da comparação dos mesmos com um modelo desenvolvido especificamente para o Aeroporto Internacional Tancredo Neves, localizado em Confins-MG.

Obtenção de dados

Os dados anuais de consumo de água, número de passageiros (embarque e desembarque) e de voos (pousos e decolagens), e de quantidades de carga e mala postal transportadas, foram fornecidos pela Infraero. A empresa é subdividida em superintendências regionais, as quais são responsáveis pela administração de grupos de aeroportos. Em 2005, ocorreram modificações na estrutura administrativa da empresa e os grandes aeroportos internacionais de Brasília, Galeão, Guarulhos e São Paulo-Congonhas foram relocadas de suas respectivas superintendências para subordinação direta à administração central da Infraero, com sede em Brasília. Segundo a empresa, a partir dessa modificação, o modo de

centralização e organização das informações de cada um dos 66 aeroportos sob sua administração também foi alterado, e os dados relacionados ao consumo de água foram disponibilizados apenas para os 20 aeroportos com maior movimentação, e para o período compreendido entre 2005 e 2011.

Portanto, as variáveis consideradas neste estudo foram:

- *Consumo* – consumo de água (L ou m³) – variável dependente;
- *Pax* – número de passageiros embarcados e desembarcados – variável independente;
- *Voos* – número de pousos e decolagens de aeronaves – variável independente;
- *MP* – quantidade de mala postal transportada (kg) – variável independente; e
- *Carga* – quantidade de carga transportada (kg) – variável independente.

Os dados foram analisados através dos métodos de estatística descritiva, análise de correlação linear de Pearson e análise de regressão linear múltipla, utilizando como ferramentas o Microsoft Excel 2010 e o software estatístico RStudio (versão do R 2.14.0).

Para o desenvolvimento de modelos considerando grupos de aeroportos, foram utilizados os dados anuais de 2005 a 2010. O modelo de previsão para Confins foi desenvolvido com base em dados mensais de consumo de água para cada um dos hidrômetros que compõem a rede de monitoramento, compreendendo o período entre 2007 e 2010. Em ambas as

situações, os dados referentes ao ano de 2011 foram reservados para avaliação do desempenho dos modelos desenvolvidos na previsão da demanda.

Crêterios para sele o dos grupos de aeroportos

Os cr terios para sele o de grupos foram baseados em características de porte e de categoria. Neste estudo, considerou-se o porte em termos de quantidade anual de passageiros transportados, de forma que um grupo consistiu de aeroportos que transportaram pelo menos 10 milhões de passageiros, e em um segundo grupo foram incluídos os aeroportos que transportaram entre 1 e 6 milhões de passageiros. Com rela o   categoria, aeroportos que operam apenas voos domésticos (dentro do território nacional) foram diferenciados daqueles que operam voos internacionais, além de voos domésticos. Essa distin o foi realizada com base na suposi o de que o passageiro internacional consome mais água do que o passageiro doméstico. Isso pode ser justificado por hábitos de consumo distintos, mas principalmente pelo tempo de espera dentro do complexo aeroportuário, o qual   geralmente maior para passageiros de voos internacionais, os quais precisam passar pela alfândega e imigra o. Além disso, voos internacionais são geralmente realizados em aeronaves de maior porte, as quais também possuem reservatórios de água potável de maior capacidade, uma vez que os voos mais longos e o elevado número de

passageiros aumentam a frequência de utilização dos sanitários localizados no interior da aeronave.

Análise de correlação linear de Pearson

A análise de correlação de Pearson foi realizada para verificar a existência de associação linear entre as variáveis *Consumo*, *Pax*, *Voos*, *Carga* e *MP*. O coeficiente de correlação de Pearson (ρ) pode variar de - 1 a 1, e quanto mais próximo de ± 1 , mais forte a correlação entre as variáveis; um valor igual a zero indica ausência de associação linear entre as mesmas. Neste estudo, a hipótese $H_0: \rho = 0$ versus a hipótese $H_a: \rho \neq 0$, foi testada ao nível de significância de 5%, através da estatística t , definida pela Equação 1.

$$t_{cal} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (\text{eq. 1})$$

em que t_{cal} é o valor calculado para a estatística t ; r é o coeficiente de correlação linear de Pearson e n é o tamanho da amostra.

Análise de regressão linear múltipla

A forma geral do modelo multivariado é apresentada pela Equação 2.

$$y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) + e \quad (\text{eq. 2})$$

em que y é o consumo total de água (variável dependente); X_1 até X_n são os diferentes fatores relevantes que afetam o consumo (variáveis independentes), e e é o erro do modelo.

De acordo com Babel et al. (2007), existem algumas formas populares de analisar a demanda de água através de modelos, dentre os quais o modelo linear utilizado neste estudo, apresentado pela Equação 3.

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + e \quad (\text{eq. 3})$$

em que β_0 é o intercepto do modelo, ou seja, a constante da equação, β_1 , β_2 , ..., β_n são os coeficientes da regressão.

Para avaliar a significância dos modelos obtidos com base nas variáveis *Pax*, *Voos* e *Carga*, foram realizados a análise de variância do modelo de regressão (teste F) e o teste t de Student para cada um dos coeficientes.

A significância do modelo, ou a capacidade das variáveis *Pax*, *Voos* e *Carga* explicarem o comportamento da variável *Consumo*, foi avaliada verificando-se primeiramente a hipótese nula $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_n = 0$ versus a hipótese alternativa (H_a) de que pelo menos um dos coeficientes difere de zero, utilizando-se a distribuição F a um nível de significância de 5%.

No caso de aceitação da hipótese nula, os coeficientes da regressão são estatisticamente iguais a zero e as variáveis *Pax*, *Voos* e *Carga* não são capazes de estimar a variável *Consumo*. Se a hipótese nula é rejeitada, conclui-se que pelo menos um dos coeficientes da regressão difere de zero e o modelo é significativo. Nesse caso, deve-se testar se algum dos coeficientes das variáveis independentes é zero ou não. Se um coeficiente é igual a zero, a variável em particular não serve para explicar variações na

variável dependente e, portanto, pode ser excluída da equação de regressão e uma nova análise deve ser realizada. Se para duas ou mais variáveis independentes a hipótese nula for aceita, aquela com menor valor de probabilidade é removida primeiramente e a análise é realizada novamente antes da verificação das próximas variáveis. Nesse procedimento, o p-valor (nível crítico), conhecido como o nível de significância exato ou observado, é calculado e se for menor do que o nível de significância especificado, 5% neste estudo, a hipótese nula é rejeitada. Tecnicamente, o p-valor é definido como o menor nível de significância para o qual a hipótese nula é rejeitada. Cabe ao pesquisador julgar a aceitação de uma variável particular a determinado nível de significância (Babel et al., 2007).

Análise de resíduos da regressão

De acordo com Cecon et al. (2012), as características relevantes para uma análise de regressão múltipla são a correta especificação do modelo, sinais coerentes dos regressores e a significância individual dos parâmetros. No entanto, apesar da significância constatada nos testes F e t ser desejável, isso não garante o ajuste adequado dos dados, sendo necessário verificar a existência de possíveis “outliers”, bem como realizar a análise dos resíduos da regressão.

A identificação de possíveis “outliers” bem como dos dados influentes no modelo foi realizada avaliando-se, respectivamente, os valores dos resíduos studentizados (rs) e através da medida “leverage” (h), a qual pode

ser interpretada geometricamente como a distância de uma observação ao centroide do conjunto de dados. O valor lh , a partir do qual considerou-se a observação como influente, foi obtido a partir da Equação 4.

$$lh = 2 \times \frac{p}{n} \quad (\text{eq. 4})$$

em que p é o número de variáveis no modelo e n é o número de observações.

Considerando que os resíduos studentizados têm distribuição aproximadamente normal quando n é grande, observações para as quais $|rs| > 3$ foram consideradas “outliers”. Uma vez identificados os “outliers” e os pontos influentes, foi necessário checar o conjunto de dados para rever sua confiabilidade e avaliar a necessidade de retirá-los.

A análise dos resíduos foi realizada para verificar se os mesmos atendem os seguintes pressupostos:

- Se os erros são homocedásticos (variância constante);
- Se os erros têm distribuição normal;
- Se os termos de erro são independentes, ou seja, não são correlacionados entre si.

Para verificar se o modelo atende a essas condições, foram realizadas análises gráficas e os testes estatísticos de Breusch-Pagan para homocedasticidade, de Shapiro-Wilk para normalidade e de Durbin-Watson para independência, ao nível de significância de 5%.

Avaliação do desempenho dos modelos

Os critérios para avaliar o desempenho dos modelos foram o coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE).

O coeficiente de determinação foi calculado pelo RStudio, de acordo com a Equação 5. O R^2 varia de 0 a 1 e indica o quanto da variação na variável dependente pode ser explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo do valor 1, mais explicativo é o modelo.

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2}{\sum(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2 + \sum(y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (\text{eq. 5})$$

em que R^2 é o coeficiente de determinação, \hat{y}_i é o consumo estimado pelo modelo, $\bar{\hat{y}}$ é a média do consumo estimado e y_i é o consumo observado.

O coeficiente de Nash-Sutcliffe foi obtido a partir da Equação 6.

$$NSE = 1 - \frac{\sum(C_{obs} - C_{est})^2}{\sum(C_{obs} - C_{méd})^2} \quad (\text{eq. 6})$$

em que NSE é o coeficiente Nash-Sutcliffe para eficiência do modelo, C_{obs} é o consumo observado, C_{est} é o consumo estimado pelo modelo, $C_{méd}$ é a média do consumo observado.

O coeficiente NSE varia de $-\infty$ a 1. Essencialmente, quanto mais próximo de 1, maior a acurácia do modelo. Um coeficiente NSE igual a 1 corresponde ao ajuste perfeito do modelo aos dados observados. Se o coeficiente é igual a zero, as previsões são tão adequadas quanto utilizar a própria média dos dados observados. Valores negativos indicam que a média é mais eficiente na previsão do que o modelo em questão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise descritiva

Os dados de movimentação aeroportuária e consumo de água para o período de 2005 a 2011 foram organizados e a estatística descritiva é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Estatística descritiva dos dados de movimentação e consumo para os 20 aeroportos.

	Pax (número)	Voos (número)	Carga (kg)	MP (kg)	Consumo (m ³)
Média	5.634.008	79.616	63.913.693	12.707.884	192.699
Erro padrão	469.636	4.589	8.689.483	1.654.809	23.321
Mediana	3.543.028	58.876	26.232.760	6.386.741	125.409
Desvio padrão	5.556.808	54.298	101.335.914	18.277.965	264.875
Mínimo	38.012	18.755	290.069	7	2.378
Máximo	29.995.450	270.598	493.733.000	96.120.543	1.190.394
Dados ausentes	-	-	4	18	11

A grande variabilidade para todas as variáveis de movimentação aeroportuária é indicada pelo elevado desvio padrão (e conseqüentemente a medida de variância). A média apresenta valores superiores à mediana, indicando a presença de possíveis “outliers” com valores muito altos. Isso é esperado, uma vez que há diferenças expressivas entre os 20 aeroportos estudados, principalmente com relação à categoria e porte. Os aeroportos de São Paulo-Congonhas, Rio de Janeiro-Santos Dumont, Vitória, Goiânia e Belo Horizonte-Pampulha operam apenas voos domésticos, enquanto os restantes operam voos domésticos e internacionais. Aeroportos como os de São Paulo-Congonhas, Brasília, Belo Horizonte-Pampulha e Confins, por

exemplo, são aeroportos essencialmente de negócios, conectando importantes centros empresariais como São Paulo, Brasília e Belo Horizonte, enquanto os aeroportos de Manaus e de Campinas são importantes centros de distribuição de carga. Nota-se também grande variação no padrão de consumo de água, o que pode ser reflexo das grandes diferenças em termos de atividade e movimentação.

De acordo com a Resolução da ANAC nº 8, de 13 de março de 2007 (ANAC, 2007), deixou de ser obrigatório o envio do documento (formulário) em que as empresas aéreas forneciam os dados estatísticos a respeito de movimentação de carga e mala postal. Este documento é fundamental para obter uma estatística operacional fidedigna e sua ausência dificultou a apresentação de dados que representem a realidade atual dos movimentos nos aeroportos da Infraero. Apesar do acompanhamento da movimentação de carga nos principais aeroportos que possuem terminal de cargas ter continuado, a planilha de mala postal apresenta grande divergência nos dados enviados pelas empresas. Há, por exemplo, dados que atestam que determinado aeroporto transportou 100.000 kg em um ano e passou a transportar 30 kg no ano seguinte. Com a impossibilidade de confirmar esses dados, considerando o grande número de dados ausentes e a forte suspeita de inconsistência dos mesmos, optou-se por desconsiderá-los das análises posteriores. Acredita-se que havendo influência dessa variável sobre o consumo de água, ela seja comparável com a influência da variável

carga, uma vez que ambas estariam relacionadas ao consumo indireto de água pelos funcionários responsáveis por essas atividades.

Análise de correlação

A análise de correlação foi realizada para verificar a existência de associação linear entre as variáveis de movimentação aeroportuária e o consumo de água. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson para as variáveis de *Consumo*, *Pax*, *Voos* e *Carga*, para os 20 aeroportos.

Variáveis	Pax	Voos	Carga	Consumo
Pax	1			
Voos	0,9569	1		
Carga	0,5834	0,4581	1	
Consumo	0,6628	0,5399	0,5524	1

p-valor < 0,001; coeficiente de correlação significativo para todos os pares avaliados.

De acordo com a Tabela 4, a variável mais correlacionada com o consumo de água é o número de passageiros, seguida pela quantidade de carga transportada e pelo número de voos.

De fato, o aumento no fluxo de passageiros no terminal implica em maior número de refeições servidas e maior utilização dos sanitários, refletindo no aumento do consumo não apenas pelo uso desses equipamentos (vaso sanitário, mictórios e torneiras), mas também pela necessidade de maior frequência de limpeza dos mesmos. Além disso, aeroportos com grande movimentação de passageiros necessitam de maior infraestrutura como, por exemplo, área climatizada, o que reflete no aumento do consumo por sistemas de refrigeração de ar.

A influência do número de voos está relacionada com a quantidade de água necessária para abastecimento das aeronaves, bem como para limpeza e manutenção realizadas periodicamente de acordo com recomendações sanitárias (ANVISA, 1993).

A quantidade de carga transportada apresentou correlação moderada com o consumo. Essa variável está relacionada ao porte do aeroporto e pode influenciar o consumo indiretamente, dependendo da existência ou não de terminal de cargas, cuja área construída e demanda por funcionários estariam relacionadas diretamente ao consumo.

Análise de regressão linear múltipla

A análise de regressão linear múltipla foi realizada para quantificar a relação linear entre as variáveis de movimentação e o consumo de água e verificar se é possível explicar a variação no consumo de água através de uma combinação linear dessas variáveis.

Foram utilizados gráficos de dispersão para verificar o comportamento de cada variável de movimentação com relação ao consumo ao longo do período de 2005 a 2010, para os 20 aeroportos estudados. A Figura 5 apresenta a dispersão dos dados da variável *Pax* em relação à variável *Consumo*.

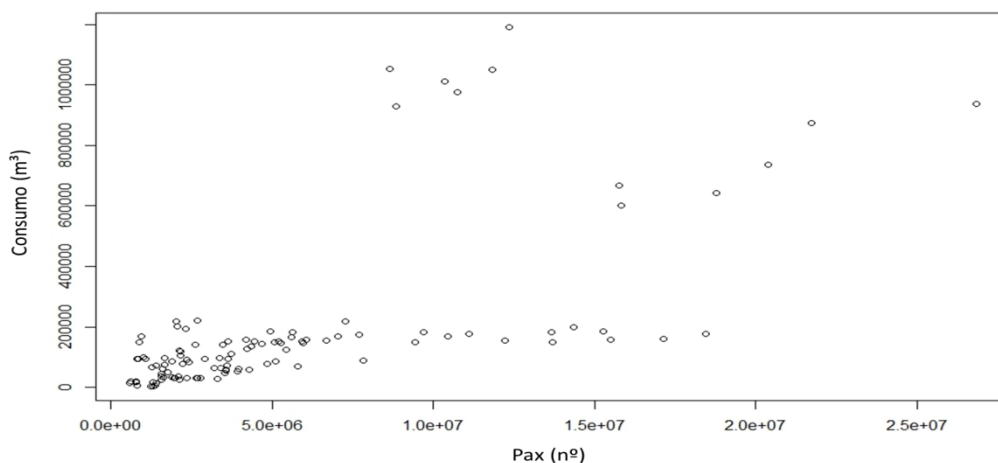


Figura 5. Dispersão do consumo de água (m^3) em relação ao número de passageiros (Pax).

É possível observar (Figura 5) semelhança com relação ao consumo de água em aeroportos que transportam até aproximadamente 10 milhões de passageiros. Aeroportos com número de passageiros superior a esse valor, como o Galeão, Guarulhos, São Paulo-Congonhas e Brasília, aparecem como exceções, caracterizadas pelos grupos de pontos isolados da nuvem principal. Dentre esses quatro aeroportos, São Paulo-Congonhas e Brasília se destacam com relação à variável Pax , no entanto apresentam consumo na mesma faixa de aeroportos que transportam metade do seu número de passageiros. Uma provável razão é a menor quantidade de carga transportada por esses aeroportos, que não chega a 60% do valor transportado pelo Galeão, e 15% do valor transportado por Guarulhos.

A Figura 6 apresenta a dispersão da variável $Voos$ em relação à variável $Consumo$.

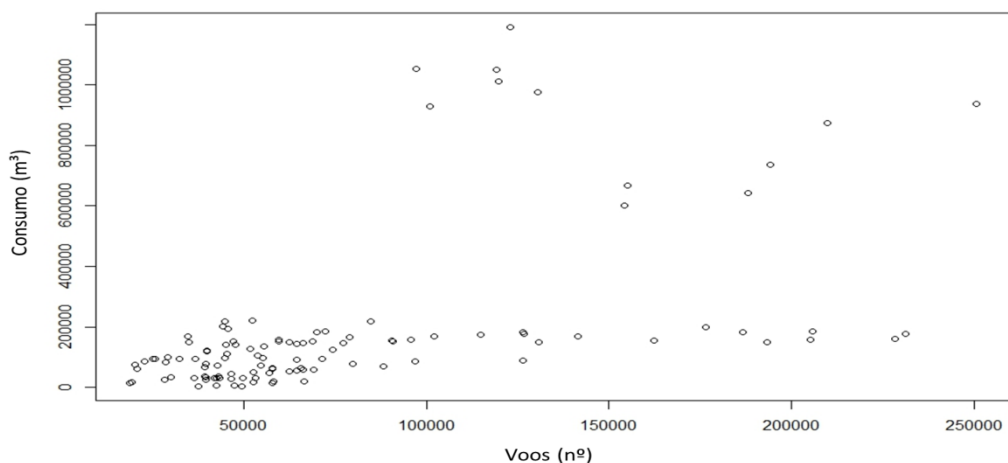


Figura 6. Dispersão do consumo de água (m^3) em relação ao número de voos (*Voos*).

Da mesma forma que para a variável *Pax*, nota-se na Figura 6 maior concentração de pontos para número de *Voos* inferiores a 100 mil. A presença de grupos de pontos mais distantes (Galeão, Guarulhos, São Paulo-Congonhas e Brasília), pode ser explicada da mesma maneira que para a variável *Pax*, devido ao valor do coeficiente de relação entre elas (0,96). Além disso, é possível perceber que para valores próximos da variável *Voos*, há maior variação no *Consumo*, o que permite afirmar que outras variáveis têm maior influência sobre o consumo do que a variável *Voos*. Apesar dessa variabilidade, verifica-se uma tendência ao aumento do *Consumo* com o aumento de *Voos*.

A Figura 7 apresenta a dispersão dos dados da variável *Carga* em relação à variável *Consumo*.

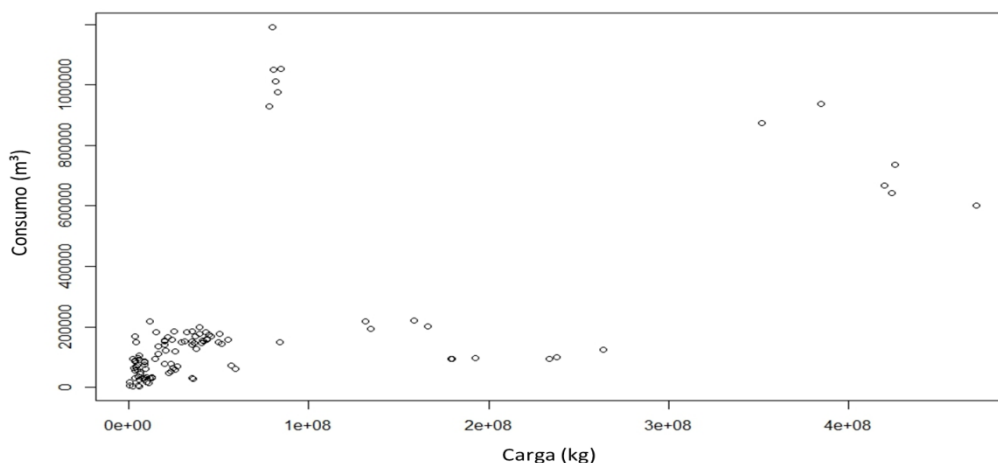


Figura 7. Dispersão do consumo de água (m^3) em relação à quantidade de carga transportada (kg).

O comportamento da variável *Carga* em relação a *Consumo*, mostrado na Figura 7, também reflete o isolamento dos aeroportos Galeão e Guarulhos, os maiores consumidores, apesar do Galeão transportar apenas 20% da quantidade transportada por Guarulhos. Os outros aeroportos isolados da nuvem de pontos são os de Manaus e Campinas, que apresentam quantidade de carga transportada pelo menos duas vezes maior que os demais aeroportos na mesma faixa de consumo. O número de passageiros (*Pax*) desses aeroportos está na ordem de 2 milhões e o número de voos (*Voos*) na ordem de 40 mil, ambos os valores abaixo da média geral, no entanto Campinas ocupa posição intermediária com relação ao consumo, e Manaus é o 3º maior consumidor.

Para os aeroportos que transportam na faixa de 1 a 50 milhões de kg de carga, nota-se grande concentração de pontos na mesma faixa de consumo. Mas de maneira geral, verifica-se uma tendência no aumento do consumo com o aumento do transporte de carga.

A Tabela 5 apresenta os valores de média e desvio padrão das variáveis para cada aeroporto estudado.

Tabela 5. Valores de média e desvio padrão (%) para as variáveis de movimentação e consumo para os 20 aeroportos. (unidades x 1000)

Aeroporto	Pax (n°)	DP	Voos (n°)	DP	Carga (kg)	DP	Consumo (m³)	DP
SBGR	19.894,45	3.802,93	191,93	33,03	412.867,93	37.078,86	742,84	123,49
SBSP	15.623,95	1.732,82	208,27	16,42	33.916,93	6.321,75	168,58	13,77
SBBR	11.208,44	1.678,57	144,05	18,99	50.483,12	15.324,45	171,73	16,72
SBGL	10.464,60	1.373,53	115,16	11,97	81.217,16	2.190,18	1.034,99	81,30
SBSV	6.117,35	1.027,00	95,61	11,23	47.264,04	11.812,98	163,55	9,26
SBCF	4.838,12	1.406,23	58,71	15,70	15.701,10	2.328,91	148,98	41,92
SBPA	4.837,97	1.068,63	71,04	11,71	27.288,57	5.838,18	164,59	12,77
SBRF	4.605,93	801,47	63,47	7,32	49.943,13	8.492,78	121,36	39,31
SBRJ	4.480,19	1.611,73	81,96	22,85	3.386,43	652,56	74,31	15,25
SBCT	4.290,49	821,19	69,14	11,53	24.385,52	1.484,01	61,59	9,84
SBFZ	3.736,97	733,83	49,74	6,34	38.216,44	5.200,03	104,30	53,15
SBKP	2.087,88	1.740,97	40,36	18,35	214.352,62	32.519,44	100,08	10,62
SBBE	2.063,65	341,23	39,37	3,40	21.026,71	2.163,41	114,06	23,05
SBEG	2.045,34	386,15	42,12	7,27	146.310,31	12.594,09	208,86	11,24
SBVT	2.008,13	385,40	41,17	8,55	11.385,57	2.345,82	31,77	0,64
SBFL	1.997,99	368,14	36,29	5,35	7.574,95	3.218,81	29,62	4,38
SBNT	1.703,76	370,50	21,82	3,31	9.509,67	919,61	56,17	29,46
SBGO	1.639,07	357,81	47,88	8,75	5.805,74	360,17	38,72	29,48
SBCY	1.378,11	432,22	41,83	6,55	4.487,26	725,16	109,46	37,96
SBBH	793,29	235,55	55,43	6,37	1.032,53	821,83	13,21	6,30

A partir das análises dos gráficos de dispersão (Figuras 5, 6 e 7) e da Tabela 5, é possível verificar que o consumo de água sofre grandes variações na faixa de 13 a 200 mil m³ para a maioria dos aeroportos, e consumos superiores a essa faixa são observados para dois grandes aeroportos, Guarulhos (SBGR) e Galeão (SBGL). Este último apresenta consumo de água 30% maior do que Guarulhos (2º maior consumidor), enquanto as movimentações em termos de passageiros, voos e carga correspondem a apenas 1/2, 3/5 e 1/5, respectivamente, das movimentações em Guarulhos. Além disso, consome 6 vezes mais água do que o aeroporto de São Paulo-Congonhas (SBSP), que supera em 1,5 e 1,8 vezes sua

movimentação de passageiros e voos, respectivamente. O Galeão, como forma de acompanhar o crescimento do transporte aéreo, possui iniciativas na utilização de fontes alternativas de água (água pluvial e reúso), no entanto não apresenta medidas direcionadas para a investigação do perfil e possível redução do consumo.

Os aeroportos do Rio de Janeiro-Santos Dumont (SBRJ) e de Curitiba (SBCT), apesar de estarem na faixa intermediária com relação ao número de passageiros e voos, apresentam consumo relativamente menor do que outros aeroportos com mesmas características, o que pode ser explicado pela menor quantidade de carga transportada. No caso de Manaus (SBEG), por exemplo, a variável *Carga* parece ser a responsável pelo maior consumo.

Os resultados da análise de regressão múltipla considerando os 20 aeroportos estudados no período de 2005 a 2010 são apresentados na Tabela 6. O p-valor apresentado na primeira linha refere-se ao teste para significância geral do modelo, ao nível de significância de 5%. Os resultados do teste t e os níveis de significância são apresentados para cada coeficiente.

Tabela 6. Resultado da regressão linear múltipla para os 20 aeroportos considerando o consumo de água em função das variáveis *Pax*, *Voos* e *Carga*.

Nº de observações	R ²	R ² ajustado	Erro padrão	F-stat	p-valor
106	0,569	0,556	174.800	45,29	2,2E-16
	Coefficiente	Erro padrão	t-stat	p-valor	Sig
Intercepto	174.000	4,15E+04	4,186	5,98E-05	0,001
Pax	0,0986	1,55E-02	6,343	6,09E-09	0,001
Voos	-6,91	1,41E+00	-4,902	3,55E-06	0,001
Carga	0,0006464	2,36E-04	0,273	0,785	NS

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 6, o coeficiente da variável *Carga* não foi significativo a 5%, ou seja, não foi possível verificar a relação entre a movimentação de cargas e o consumo de água, quando considerados todos os 20 aeroportos. A principal razão pode ser o fato de que o comportamento desta variável é muito distinto entre os aeroportos. O aeroporto da Pampulha, por exemplo, não possui terminal de cargas e a atividade consiste basicamente em transporte de passageiros. Além disso, para os aeroportos que possuem tal estrutura, a existência de equipamentos modernos e automatizados – que podem reduzir o número de funcionários necessários para desempenho das atividades e, conseqüentemente, o consumo de água – depende da demanda do transporte de cargas. Em aeroportos com grande demanda de transporte de cargas como o de Campinas, por exemplo, a movimentação da carga é realizada por máquinas (veículos operados por único funcionário e esteiras), e o aumento da quantidade de carga transportada não necessariamente implica em um aumento expressivo no número de funcionários, o que seria refletido no consumo de acordo com a suposição assumida neste estudo.

Após a retirada da variável *Carga*, realizou-se nova análise considerando as duas variáveis restantes. Os resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Resultado da regressão linear múltipla para os 20 aeroportos considerando o consumo de água em função das variáveis *Pax* e *Voos*.

Nº de observações	R ²	R ² ajustado	Erro padrão	F-stat	p-valor
109	0,559	0,551	174.500	67,79	2,2E-16
	Coefficiente	Erro padrão	t-stat	p-valor	Sig
Intercepto	170.000	3,71E+04	4,580	1,26E-05	0,001
Pax	0,0928	1,13E-02	8,203	5,64E-13	0,001
Voos	-6,33	1,13E+00	-5,605	1,64E-07	0,001

A análise mostrou que os coeficientes das variáveis *Pax* e *Voos* são significativos ao nível de significância de 0,10%, e as duas variáveis juntas conseguem explicar 55,9% da variação nos dados de consumo.

Para decidir sobre a aplicabilidade do modelo é necessário verificar se os resíduos atendem às pressuposições de homocedasticidade, normalidade e independência. A Figura 8 apresenta o gráfico de resíduos *versus* valores preditos, ou seja, a distância do valor observado para cada valor estimado.

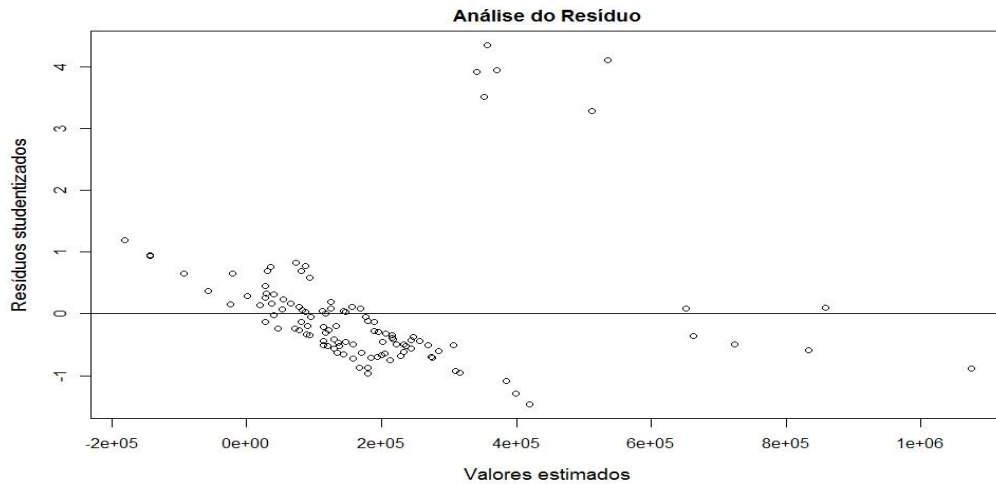


Figura 8. Gráfico dos resíduos *versus* valores preditos para o modelo considerando os 20 aeroportos mais movimentados no Brasil, em 2010.

Nota-se na Figura 8 uma tendência linear para valores mais baixos de consumo, o que pode implicar em variância residual dependente das variáveis independentes; neste caso, não há homocedasticidade.

A Figura 9 apresenta o gráfico Q-Q Plot, que mostra alguns pontos muito distantes da linha que determina o valor esperado para os resíduos, os quais devem seguir distribuição normal. Esses pontos referem-se às observações do Galeão. Conforme discutido, este aeroporto apresenta variações no consumo visivelmente diferentes de todos os outros aeroportos.

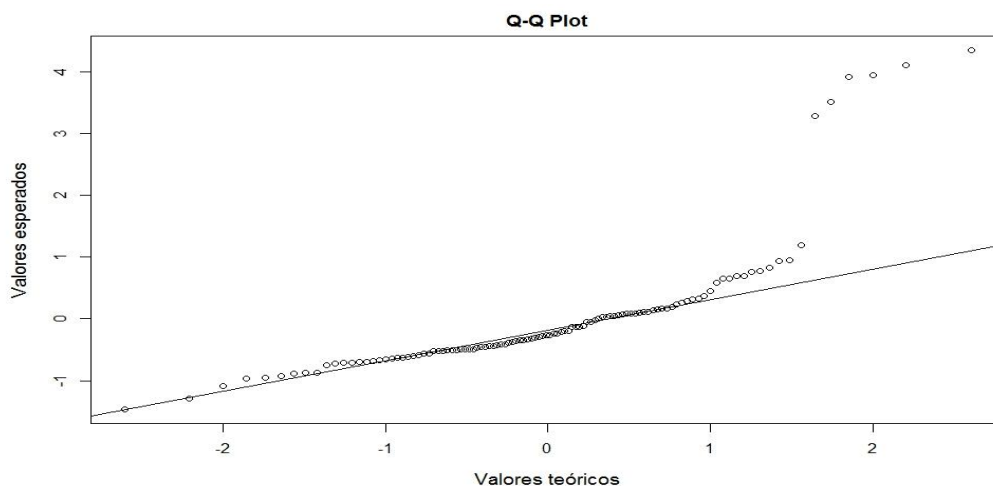


Figura 9. Gráfico Q-Q Plot para o modelo considerando os 20 aeroportos mais movimentados no Brasil, em 2010.

As hipóteses de homocedasticidade e normalidade dos resíduos foram refutadas pelos testes de Breusch-Pagan e de Shapiro-Wilk, ao nível de significância de 5%, apesar de não existir autocorrelação entre os resíduos, de acordo com o teste de Durbin-Watson (Tabela 8).

Tabela 8. Resultado dos testes estatísticos para os resíduos do modelo considerando os 20 aeroportos mais movimentados no Brasil, em 2010.

Breusch-Pagan Studentizado			Normalidade Shapiro-Wilk		Durbin-Watson	
BP	GL	p-valor	W	p-valor	DW	p-valor
8,7263	2	0,01274	0,6912	6,846E-14	2,2494	0,9051

Apesar de, por uma questão de simplicidade e praticidade, ser desejável um único modelo para previsão de demanda, quando considerados todos os 20 aeroportos, não foi possível ajustar um modelo linear múltiplo capaz de relacionar as variáveis de movimentação ao consumo de água. O próprio valor do R^2 mostra que 44,1% da variação do consumo permanece sem explicação.

A diversidade entre os aeroportos estudados pode ser a principal causa para não adequação do modelo. Isso pode ser exemplificado pela medida de “leverage” exibida na Figura 10, que apresenta o resultado da análise de dados influentes e “outliers”.

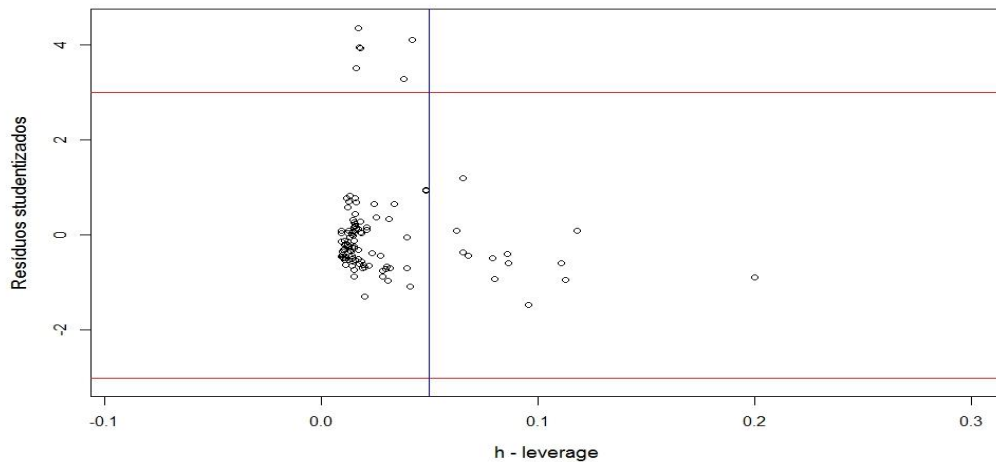


Figura 10. Gráfico dos resíduos e distâncias “leverage” para o modelo considerando os 20 aeroportos mais movimentados no Brasil, em 2010.

Pontos acima e abaixo do retângulo formado pelas linhas horizontais indicam valores muito altos ou muito baixos, respectivamente, e são considerados “outliers”. Pontos à direita da linha vertical representam observações que influenciam o modelo. O Galeão, cujo consumo é muito superior à média dos outros aeroportos, foi considerado um “outlier”, e aeroportos como Guarulhos e Brasília foram influentes por apresentarem movimentação significativamente maior se comparados aos outros aeroportos.

Confirmada a existência de comportamento distinto para os grandes aeroportos, foi realizada uma análise de regressão considerando separadamente um grupo constituído dos aeroportos de Guarulhos, Galeão,

Brasília, São Paulo-Congonhas, os mais movimentados em termos de passageiros e voos (Grupo P1). Os resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Resultado da regressão linear múltipla para o Grupo P1.

Nº de observações	R ²	R ² ajustado	Erro padrão	F-stat	p-valor
22	0,8097	0,7797	183.400	26,95	4,69E-07
	Coeficiente	Erro padrão	t-stat	p-valor	Sig
Intercepto	1.255.000	1,54E+05	8,171	1,22E-07	0,001
Pax	0,2083	3,28E-02	6,358	4,24E-06	0,001
Voos	-20,99	2,73E+00	-7,692	2,99E-07	0,001
Carga	-0,001496	4,91E-04	-3,048	0,00663	0,01

As variáveis *Pax* e *Voos* foram consideradas significativas ao nível de significância de 0,10% e a variável *Carga* ao nível de significância de 1%, no modelo para o Grupo P1. Guarulhos e Galeão são grandes transportadores de carga, principalmente internacional, enquanto Brasília transporta quantidade de carga significativamente grande em relação aos outros aeroportos, de forma que esta variável foi considerada importante para previsão do consumo.

Para todos os modelos considerando grupos de aeroportos, a análise gráfica dos resíduos foi realizada da mesma forma como descrita e exemplificada para o modelo geral (20 aeroportos), e utilizada apenas para corroborar os testes estatísticos. Portanto, para evitar a repetitiva exposição dos gráficos durante a discussão dos próximos resultados, optou-se por apresentá-los separadamente (Apêndice B).

A análise dos resíduos evidenciou o aspecto de aleatoriedade dos mesmos e o teste de Breusch-Pagan (Tabela 10) confirmou a hipótese de homocedasticidade para os erros do modelo do Grupo P1.

No aeroporto de Brasília, em 2007, houve um aumento incomum no número de passageiros (12% em relação ao ano anterior), ao passo que foi observada uma redução de 3% no consumo de água para o mesmo período. Não foi possível confirmar as reais ou prováveis causas para esse comportamento, de forma que a possibilidade de submedição ou erro durante a digitalização dos dados não pode ser descartada. Por ter sido considerada um “outlier” ($rs > 3$), a observação foi removida da análise e a partir disso, os testes apresentados na Tabela 10 confirmaram os pressupostos para normalidade e independência dos resíduos.

Tabela 10. Resultado dos testes estatísticos para os resíduos do Grupo P1.

Breusch-Pagan Studentizado			Normalidade Shapiro-Wilk		Durbin-Watson	
BP	GL	p-valor	W	p-valor	DW	p-valor
5,0891	3	0,1654	0,9821	0,9391	2,1812	0,7239

Para os aeroportos restantes (Grupo P2), foi realizada uma análise excluindo-se o aeroporto de Manaus. Esse aeroporto apresentou número de voos e de passageiros relativamente baixos em comparação com os maiores aeroportos, no entanto foi o 3º maior consumidor, o que pode ser explicado pela grande movimentação de cargas devido à atividade comercial intensa na zona franca de Manaus. Verificou-se que para todos os 15 aeroportos do Grupo P2, a variável *Carga* não apresentou coeficiente significativo (p-valor = 0,368), e por isso, o modelo consistiu apenas das variáveis *Pax* e *Voos*. O resultado é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11. Resultado da regressão linear múltipla para o Grupo P2.

Nº de observações	R ²	R ² ajustado	Erro padrão	F-stat	p-valor
73	0,6175	0,6067	34.730	57,30	1,53E-15
	Coeficiente	Erro padrão	t-stat	p-valor	Sig
Intercepto	30.100	1,15E+04	2,623	0,01066	0,05
Pax	0,03131	3,87-03	8,083	1,18E-11	0,001
Voos	-0,8808	3,28E-01	-2,684	0,00906	0,01

Os resultados dos testes estatísticos apresentados na Tabela 12 confirmam as pressuposições de homocedasticidade, normalidade e independência para os resíduos.

Tabela 12. Resultado dos testes estatísticos para os resíduos do Grupo P2.

Breusch-Pagan Studentizado			Normalidade Shapiro-Wilk		Durbin-Watson	
BP	GL	p-valor	W	p-valor	DW	p-valor
1,283	2	0,5265	0,9803	0,3013	1,7968	0,0584

No aeroporto de Natal houve um aumento expressivo no consumo de água, passando da média de 16 para 50 mil m³ a partir de 2007. Essa foi uma alteração permanente que resultou em alteração no padrão de consumo, após a reforma do terminal de passageiros e aumento da área climatizada, portanto foram descartados os dados referentes aos anos de 2005 e 2006. Por outro lado, em 2007 foi inaugurada uma nova edificação exclusiva às operações de embarque no aeroporto do Rio de Janeiro-Santos Dumont. É possível que o período de obras tenha sido o principal responsável pela elevação de 30% no consumo, enquanto os acréscimos nos números de passageiros e de voos foram de 11 e 8%, respectivamente, de forma que essas observações, apesar de influentes, foram mantidas na análise.

Além do porte dos aeroportos, buscou-se avaliar a influência da sua categoria (doméstico ou internacional) sobre o consumo de água. No grupo dos aeroportos internacionais (Grupo C1) foram considerados 14 aeroportos, excluindo-se o Galeão, por apresentar padrão de consumo muito distinto dos outros aeroportos e ser considerado um “outlier” na análise, conforme discutido anteriormente. O resultado é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13. Resultado da regressão linear múltipla para o Grupo C1.

Nº de observações	R ²	R ² ajustado	Erro padrão	F-stat	p-valor
72	0,9003	0,8960	59.740	207,8	2,2E-16
	Coefficiente	Erro padrão	t-stat	p-valor	Sig
Intercepto	55.220	1,83E+04	3,010	0,003642	0,01
Pax	0,04774	7,17E-03	6,648	5,74E-09	0,001
Voos	-2,637	7,04E-01	-3,743	0,000373	0,001
Carga	0,0005302	8,63E-05	6,144	4,55E-08	0,001

Os coeficientes foram significativos para as três variáveis e, apesar de alguns pontos influentes referentes ao aeroporto de Guarulhos, os pressupostos para os resíduos foram satisfeitos a 5% de significância de acordo com os testes estatísticos apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Resultado dos testes estatísticos para os resíduos do Grupo C1.

Breusch-Pagan Studentizado			Normalidade Shapiro-Wilk		Durbin-Watson	
BP	GL	p-valor	W	p-valor	DW	p-valor
5,5272	3	0,137	0,9673	0,05456	1,9612	0,416

Para os aeroportos domésticos (Grupo C2), os coeficientes das variáveis *Voos* e *Carga* não foram significativos a 5%, com p-valores iguais a 0,787 e 0,792, respectivamente. Um modelo de regressão linear simples em função do número de passageiros foi significativo a 5%, indicando que

aproximadamente 89% da variação no consumo nos aeroportos domésticos pode ser explicada apenas pela variável *Pax*. Com exceção do aeroporto de São Paulo-Congonhas, a movimentação de voos nos outros aeroportos domésticos aumentou ao longo do período estudado, enquanto o transporte de cargas diminuiu. Dessa forma, o consumo acompanhou, de maneira geral, as flutuações da variável *Pax*. Apesar do aeroporto de Vitória apresentar movimentação de carga moderada, e aeroportos como São Paulo-Congonhas e Rio de Janeiro-Santos Dumont apresentarem elevado número de voos, eles recebem apenas aeronaves de pequeno e médio porte, e muitos voos que percorrem curtas distâncias (conexão), o que pode ser uma possível razão para justificar menor frequência de limpeza e manutenção. O resultado da análise para o Grupo C2 é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15. Resultado da regressão linear simples para o Grupo C2.

Nº de observações	R ²	R ² ajustado	Erro padrão	F-stat	p-valor
27	0,8910	0,8860	20.250	211,4	5,33E-14
	Coefficiente	Erro padrão	t-stat	p-valor	Sig
Intercepto	17.720	5,14E+03	3,444	0,00195	0,01
Pax	0,009716	6,68E-04	14,540	5,33E-14	0,001

Apesar de alguns dados influentes referentes à grande movimentação do aeroporto de São Paulo-Congonhas, as condições para os resíduos foram satisfeitas, de acordo com os resultados dos testes estatísticos apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Resultado dos testes estatísticos para os resíduos do Grupo C2.

Breusch-Pagan Studentizado			Normalidade Shapiro-Wilk		Durbin-Watson	
BP	GL	p-valor	W	p-valor	DW	p-valor
0,0269	1	0,8698	0,9276	0,05375	1,392	0,05067

Avaliação do desempenho dos modelos

Os modelos obtidos para grupos de aeroportos considerando a distinção dos mesmos em termos de porte e categoria são apresentados pelas Equações 7, 8, 9 e 10.

Grupo P1

$$\hat{P}_1 = 1.255.000 + 0,2083 \times Pax - 20,99 \times Voos - 0,001496 \times Carga \quad (R^2 = 0,81)$$

(eq. 7)

Grupo P2

$$\hat{P}_2 = 30.100 + 0,03131 \times Pax - 0,8808 \times Voos \quad (R^2 = 0,62)$$

(eq. 8)

Grupo C1

$$\hat{C}_1 = 55.220 - 0,04774 \times Pax - 2,637 \times Voos + 0,0005302 \times Carga \quad (R^2 = 0,90)$$

(eq. 9)

Grupo C2

$$\hat{C}_2 = 17.720 + 0,009716 \times Pax \quad (r^2 = 0,89)$$

(eq. 10)

em que \hat{P} e \hat{C} são os valores anuais estimados para os consumos (m³) dos grupos de aeroportos separados com relação ao porte e à categoria, respectivamente; Pax é o número de passageiros embarcados e desembarcados; $Voos$ é o número de pousos e decolagens e $Carga$ é a quantidade de carga transportada (kg), para determinado ano.

Como forma de avaliar a eficiência dos modelos na previsão do consumo, comparou-se a previsão realizada utilizando dados de movimentação para 2011 com os dados disponíveis de consumo observado nesse mesmo ano. Ressalta-se que a base de dados disponibilizada pela Infraero para análise e obtenção dos modelos é limitada, principalmente devido a alterações promovidas na administração da empresa. Além disso, dados referentes aos anos em que houve alterações na infraestrutura de alguns aeroportos e que resultaram em mudança permanente no perfil de consumo foram descartados.

Além da comparação com os dados observados, foi realizada uma estimativa para o consumo, também com base em dados de 2011, utilizando o critério de cálculo adotado em relatório da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC, o qual considera o consumo de funcionários, passageiros e acompanhantes, sendo adotada uma taxa de 1,2 acompanhante por passageiro (ANAC, 2011). Na ausência de dados de população fixa para os aeroportos estudados, adaptou-se o critério do relatório e considerou-se apenas os consumos de passageiros e acompanhantes, de acordo com a Equação 11.

$$D = 0,035 \times Pax + 0,025 \times Pax \times Tac \quad (\text{eq.11})$$

em que D é o valor estimado para a demanda de água em determinado aeroporto (m^3), Pax é o número de passageiros e Tac é a taxa de acompanhante, adotada como 1,2 acompanhante/passageiro.

Na Figura 11 apresentam-se os dados observados em 2011, bem como as estimativas fornecidas pelos modelos desenvolvidos considerando o porte e a categoria dos aeroportos, e o critério do relatório da ANAC.

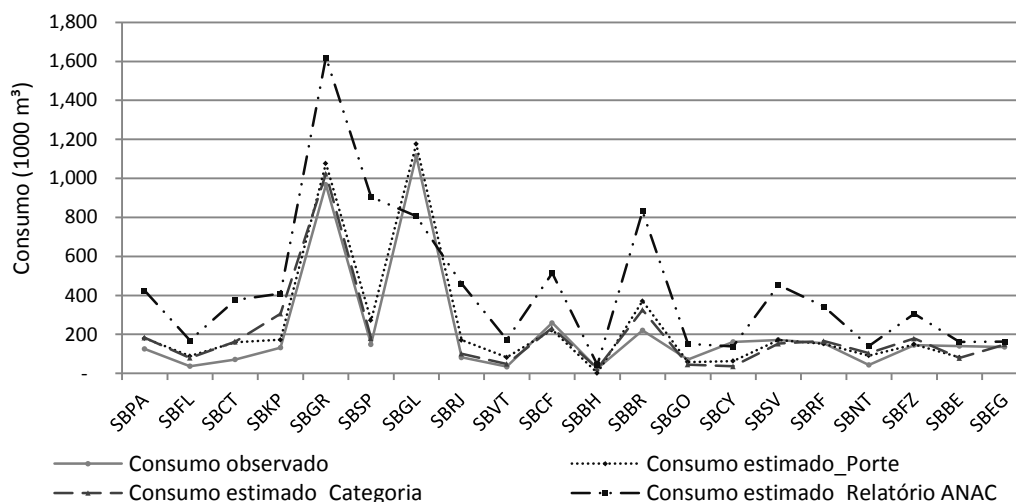


Figura 11. Comparação dos valores de consumo observados para 2011 com os valores preditos pelos modelos (porte e categoria) e pelo critério do relatório da ANAC.

Nota-se pelo gráfico que os modelos desenvolvidos se aproximam dos valores de consumo observados para a maioria dos aeroportos. Os modelos desenvolvidos considerando a categoria superestimam o consumo de aeroportos como os de Florianópolis (SBFL), Curitiba (SBCT) e Natal (SBNT), cujos valores médios de consumo não ultrapassam 70 mil m³ por ano, enquanto o consumo anual em todos os outros aeroportos internacionais é superior a 120 mil m³. O consumo foi superestimado também para o aeroporto de Campinas (SBKP), principalmente devido à contribuição da variável *Carga*, uma vez que Campinas é o segundo maior em transporte de cargas, ficando atrás apenas de Guarulhos (SBGR). De modo geral, os modelos C1 e C2 forneceram estimativas com desvio máximo de 30% do valor observado para 12 dos 20 aeroportos estudados.

Para o Grupo P1, as estimativas para o consumo nos aeroportos de São Paulo-Congonhas (SBSP) e Brasília (SBBR) ultrapassam em 80 e 67% os valores observados, respectivamente, devido principalmente à influência do Galeão (SBGL) no modelo. Este aeroporto é o maior em termos de consumo, no entanto é o que possui menor número de passageiros e voos dentre os quatro, apesar da maior quantidade de carga transportada. O modelo desenvolvido para o Grupo P2, com a exceção do aeroporto de Manaus (SBEG), também superestimou o consumo de aeroportos na faixa dos menores consumidores (consumo anual inferior a 100 mil m³). Apesar de alguns valores superestimados em até 130%, como no caso de Curitiba, e subestimados em até 60% para o aeroporto de Cuiabá (SBCY), as diferenças entre consumo estimado e consumo observado foram inferiores a 30% para 11 dentre os 20 aeroportos estudados.

Os coeficientes de Nash-Sutcliffe obtidos para os modelos desenvolvidos em função do porte e da categoria foram 0,93 e 0,88, respectivamente, enquanto a utilização do critério do relatório da ANAC resultou em um coeficiente NSE igual a -1,23. Portanto, os modelos desenvolvidos considerando as variáveis *Pax*, *Voos* e *Carga* apresentaram bom desempenho, sendo capazes de estimar o consumo para alguns aeroportos com características semelhantes em relação ao porte e à categoria.

Os coeficientes R^2 foram de 0,81, 0,62 e 0,90 para os modelos múltiplos dos grupos P1, P2 e C1, respectivamente, e o r^2 foi de 0,89 para o

modelo simples do grupo C2, de modo que para todos os grupos, ainda há uma parcela da variação no consumo que permanece sem explicação. É importante ressaltar que as variáveis utilizadas nos modelos são gerais e representam indiretamente as atividades consumidoras de água no ambiente aeroportuário. Características relacionadas à região onde os aeroportos estão instalados, que interferem em fatores climáticos e econômicos, principalmente com relação ao preço da tarifa de água paga pelos aeroportos às concessionárias de abastecimento, não foram consideradas pelo modelo. A escassez de água e elevados custos da tarifa resultam em busca por alternativas mais econômicas e programas de redução do consumo. Deve-se destacar também que a descentralização administrativa da Infraero, através das superintendências regionais, não possui critério formal estabelecido para controle do consumo. Dessa forma, cada superintendência administra, coleta e organiza informações relacionadas ao consumo de maneiras distintas, o que dificulta a investigação de possíveis observações equivocadas. Além disso, atividades não específicas de aeroportos, mas que são comuns na maioria deles, como irrigação de áreas verdes e paisagismo, serviço de controle e combate a incêndios, lavagem de veículos, entre outras, não são levadas em conta pelas variáveis de movimentação e, portanto, não consideradas nos modelos de previsão desenvolvidos neste estudo.

O Aeroporto Internacional de Confins

O consumo de água no aeroporto de Confins apresentou crescimento significativo nos últimos anos, e está relacionado principalmente ao aumento do número de passageiros, como pode ser observado na Figura 12.

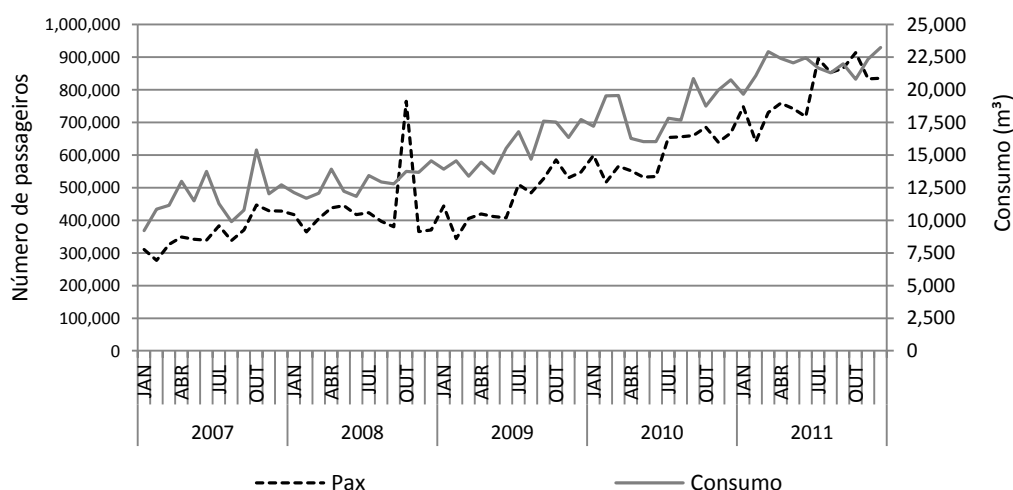


Figura 12. Consumo de água e número de passageiros observados no aeroporto de Confins entre 2007 e 2011.

Comparando os anos de 2007 a 2011, houve um acréscimo de 54,5% no número de passageiros e 45,9% no volume de água consumido. O aumento no número de voos seguiu a mesma tendência, aumentando em 48,7%, enquanto o transporte de cargas sofreu maiores variações ao longo dos anos e foi reduzido, em média, 39% durante o período considerado.

É possível observar na Figura 12 que alguns picos no número de passageiros não refletiram em aumento significativo no consumo, o que pode estar relacionado ao fato de que não houve alteração na estrutura que o aeroporto oferece aos passageiros. Além disso, variações como essas podem ocorrer em períodos de férias ou devido a eventos esporádicos (esportivos, culturais, entre outros), sem que reflitam no consumo na mesma proporção.

Um destes picos ocorreu em outubro de 2008, quando foi observado número de passageiros duas vezes maior do que em setembro do mesmo ano, sendo muito superior à média observada para todos os anos até 2010. Analisando a série histórica mensal do aeroporto de Confins, nota-se que esse foi um comportamento atípico, sem origem justificada e, portanto, não foi considerado na análise de regressão. No entanto, o pico de consumo referente ao mês de dezembro de 2007, em que houve aumento de 5% se comparado ao mês anterior, enquanto o número de passageiros permaneceu praticamente o mesmo (-0,2%), pode ser explicado pelo aumento no número de voos (47,8%), na quantidade de carga (10,3%), ou ambos, e, portanto, foi mantido na análise.

A análise de regressão linear múltipla apresentada na Tabela 17 mostra que apenas as variáveis *Pax* e *Voos* foram utilizadas no modelo, uma vez que a variável *Carga* não foi significativa (p-valor = 0,245) ao nível de significância de 5% assumido neste estudo.

Tabela 17. Resultado da regressão linear múltipla para o aeroporto de Confins.

Nº de observações	R ²	R ² ajustado	Erro padrão	F-stat	p-valor
44	0,8416	0,8341	1.207	111,6	2,2E-16
	Coefficiente	Erro padrão	t-stat	p-valor	Sig
Intercepto	2.229	8,92E+02	2,498	0,01651	0,05
Pax	0,01028	4,87E-03	2,112	0,04067	0,05
Voos	1,377	4,59E-01	3,003	0,00449	0,01

As hipóteses de homocedasticidade, normalidade e independência dos resíduos foram confirmadas pelos testes apresentados na Tabela 18 e

corroboradas pela análise gráfica dos resíduos, conforme figuras apresentadas no Apêndice C.

Tabela 18. Resultado dos testes estatísticos para os resíduos do aeroporto de Confins.

Breusch-Pagan Studentizado			Normalidade Shapiro-Wilk		Durbin-Watson	
BP	GL	p-valor	W	p-valor	DW	p-valor
2,1021	2	0,3496	0,9514	0,05732	2,276	0,7526

O modelo de previsão para o consumo mensal no aeroporto de Confins foi definido conforme a Equação 12.

$$\hat{M}_c = 2.229 + 0,01028 \times Pax + 1,377 \times Voos \quad (R^2 = 0,84) \quad (\text{eq. 12})$$

em que \hat{M}_c é o consumo mensal estimado (m³), Pax é o número de passageiros embarcados e desembarcados no mês e $Voos$ é o número de pousos e decolagens no mês.

A Tabela 19 apresenta o consumo estimado pelo modelo de Confins em comparação com o consumo observado para o ano de 2011. Nota-se que o modelo se ajusta bem aos valores observados, com exceção do mês de outubro, quando o consumo foi superestimado, provavelmente porque o número de voos foi pelo menos 5% maior do que nos meses de setembro e dezembro.

Tabela 19. Comparação do consumo observado em 2011 e dos valores estimados pelo modelo do aeroporto de Confins.

	Consumo observado em 2011	Consumo estimado pelo modelo mensal
JAN	19.650	21.676
FEV	21.090	19.731
MAR	22.930	21.519
ABR	22.400	21.394
MAI	22.060	21.950
JUN	22.460	21.112
JUL	21.660	24.243
AGO	21.310	23.972
SET	21.980	23.981
OUT	20.820	25.221
NOV	22.350	24.157
DEZ	23.230	24.702

Se considerado o somatório de todos os meses daquele ano (consumo anual), o modelo superestimou o consumo observado em 2011 em 4,48%, enquanto os modelos P2 e C1 forneceram valores subestimados em 10,1% e 10,3%, respectivamente. Os coeficientes R^2 e NSE obtidos foram de 0,84 e 0,98, respectivamente. O bom desempenho refletido pelo modelo pode ser confirmado pelos valores dos coeficientes empregados na avaliação do desempenho, pois apenas 16% da variação no consumo permaneceu sem explicação.

Com o objetivo de identificar a porcentagem relativa a cada tipo de atividade no consumo de água, foram criados grupos de atividades semelhantes. Restaurantes, lojas e bares foram agrupados como “Restaurantes e quiosques” e locais que abrigam empresas de aluguel de veículos e de companhias de táxi foram agrupados como “Locadoras e

táxis”, por exemplo, o que permitiu identificar sete grandes grupos consumidores neste aeroporto, como mostrado na Figura 13.

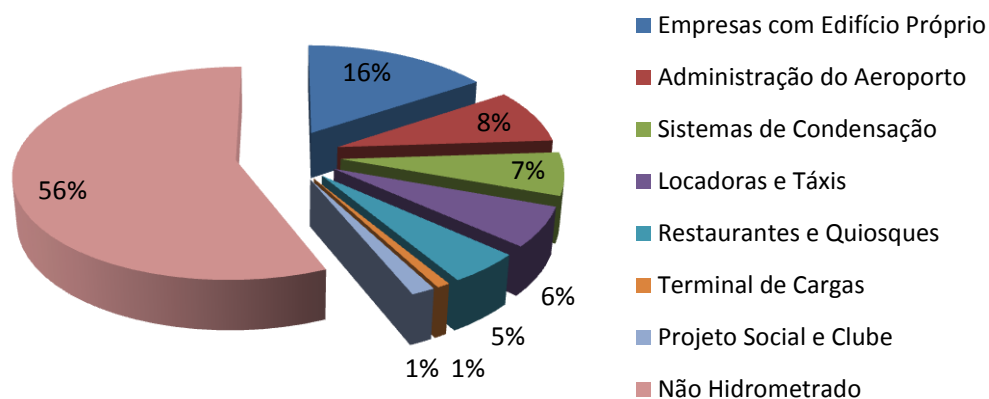


Figura 13. Porcentagem de consumo em 2011 referente aos grupos de atividades.

Conforme avaliação do modelo, a variável *Carga* não foi considerada significativa para a previsão no aeroporto de Confins. Esta variável relaciona-se indiretamente ao consumo, uma vez que reflete o consumo pelos trabalhadores envolvidos nessas operações, e a área e instalações do terminal de cargas, as quais aumentam de acordo com a demanda pelo transporte. Para o aeroporto de Confins, o consumo no terminal de cargas representa 1% do consumo total, o que pode justificar o fato dessa variável não ter sido considerada significativa no modelo de previsão.

O número de voos reflete o volume de água consumido para limpeza, abastecimento e manutenção de aeronaves, que mostrou influenciar o consumo para a maioria dos aeroportos estudados, inclusive Confins. Neste aeroporto, o maior grupo consumidor de água foi o das empresas que possuem edifícios próprios dentro da área do aeroporto. Entre elas está a

GOL Linhas Aéreas, que possui dois hangares onde é realizada a manutenção de suas aeronaves. O consumo anual do grupo de empresas que possuem edifício próprio chega a 40,6 mil m³ (16%), dos quais particularmente essa empresa consumiu mais de 38,8 mil m³ (14%) em 2011.

A variável *Pax* considera principalmente o consumo por usuários em sanitários e restaurantes, e pode refletir indiretamente o consumo do terminal de passageiros. Quanto maior o número de passageiros, maior a infraestrutura no terminal como número de sanitários, lojas e restaurantes, além de maior área climatizada. O sistema de condensação, responsável pela refrigeração do ar no terminal de passageiros e no prédio do Destacamento de Controle do Espaço Aéreo (DTCEA) é outro grande consumidor, chegando a utilizar aproximadamente 17 mil m³ (7%) de água anualmente. O consumo dos restaurantes e quiosques no terminal de passageiros foi de 12,8 mil m³ (5%), referente a mais de 10 pontos que fazem o preparo e comercialização de alimentos. Dessa forma, pode-se dizer que pelo menos 12% do consumo está relacionado à movimentação de passageiros no aeroporto de Confins.

No entanto, muitos funcionários utilizam-se das instalações nos terminais de passageiros e em outros edifícios administrativos do complexo sem, contudo, terem sido considerados por nenhuma das variáveis do modelo. Confins possui circulação de aproximadamente 600 funcionários diariamente. Considerando o consumo médio mensal de 22.000 m³ e que

cada funcionário consome em média 80 L/dia, o consumo mensal por esses usuários corresponde a 6,6% no aeroporto. O somatório do consumo anual de água dos edifícios administrativos do aeroporto foi de 21,5 mil m³. Entre os principais consumidores estão o DTCEA, com 5 mil m³, e a Seção Contra Incêndio (SCI) do Corpo de Bombeiros, com 3,1 mil m³. Além disso, outras atividades não são consideradas pelo modelo, como irrigação de áreas verdes e paisagismo, existência clubes recreativos para associados às empresas, e as companhias de táxi e locadoras de veículos, as quais lavam diariamente seus veículos dentro do complexo aeroportuário e consumiram 15,7 mil m³ em 2011.

CONCLUSÕES

Os modelos desenvolvidos neste estudo apresentaram bom desempenho ao fornecer estimativas para o consumo de água. Desse modo, considerando principalmente a simplicidade e a facilidade de obtenção de dados de movimentação aeroportuária, recomenda-se seu uso. A análise de regressão linear múltipla mostrou-se uma importante ferramenta e permitiu avaliar a influência das variáveis de movimentação aeroportuária sobre o consumo de água nos principais aeroportos administrados pela Infraero.

Dessa forma, este estudo permitiu concluir que:

- As variáveis de movimentação aeroportuária podem ser utilizadas em modelos de previsão de demanda de água para aeroportos, desde que consideradas as características relacionadas ao porte e à categoria dos mesmos;
- A variável *Carga* foi significativa na previsão do consumo para aeroportos de maior porte (Grupo P1), bem como para aqueles que operam voos internacionais (Grupo C1);
- Aeroportos que operam apenas voos domésticos apresentaram relação significativa com a variável *Pax*;
- Os modelos apresentaram bom desempenho para estimar a demanda de grande parte dos aeroportos, sendo mais eficientes do que critérios utilizados por empresas projetistas com base apenas no consumo pelos usuários;

- O modelo desenvolvido especificamente para Confins apresentou melhor desempenho a partir da utilização de dados mensais.

RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Este estudo permitiu identificar padrões de consumo diferentes entre aeroportos considerados no mesmo grupo, como é o caso do Galeão, de Manaus, e de Campinas. Esses comportamentos podem influenciar o modelo desenvolvido, e para evitar erros elevados na estimativa, sugere-se que sejam desenvolvidos modelos individuais para aeroportos com características distintas.

O conhecimento das características peculiares de cada aeroporto permite obter estimativas mais condizentes com a realidade do local. Para que seja possível refinar os modelos aqui desenvolvidos, deve-se investigar a influência de outras variáveis, como tarifa de água cobrada pelas empresas concessionárias, e o número de funcionários que utilizam diariamente as instalações do aeroporto. Além disso, obras para ampliação e modernização são comuns, e constituem um cenário diferente para avaliação do consumo, que também deve ser investigado.

O modelo desenvolvido para Confins utilizando dados mensais hidrometrados foi capaz de fornecer melhores estimativas, quando comparado aos modelos desenvolvidos para os grupos de aeroportos. Apesar de requerem uma base de dados com um período maior de observação, modelos específicos permitem melhor conhecimento das tendências locais, inclusive a seleção de outras variáveis que possam ser incorporadas para aprimorar sua capacidade de explicação, como é o caso do número de funcionários, por exemplo.

REFERÊNCIAS

ACI. Airports Council International. Annual traffic data 2010 – passengers. 2011. Disponível em: http://www.aci.aero/cda/aci_common/display/main/aci_content07_c.jsp?zn=aci&cp=1-5-54-55_666_2__. Acessado em jul/2012.

ADR. Aeroporti di Roma. Environmental Report 2009. 2009. Disponível em: http://www.adr.it/c/document_library/get_file?uuid=e60b5298-f5ac-415c-80aa-62abfe6c4b46&groupId=17615. Acessado em jul/2012.

ALMUTAZ, I.; AJBAR, A.; KHALID, Y.; ALI, E. A probabilistic forecast of water demand for a tourist and desalination dependent city: Case of Mecca, Saudi Arabia. **Desalination**, v. 294, p. 53-59, 2012.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Relatório Final Consolidado. 2011. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/asga/Relat%C3%B3rio%20Consolidado%20Final.pdf>. Acessado em dez/2012.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Resolução Nº 008, de 13 de março de 2007. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/biblioteca/resolucao/resolucao08.pdf>. Acessado em nov/2012.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 111, de 18 de novembro de 1993. Aprova Normas Técnicas no que se refere à oferta de água potável de bordo. 1993.

ARBUÉS, F.; GARCÍA-VALIÑAS, M. A.; MARTÍNEZ-ESPIÑEIRA, R. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. **Journal of Socio-Economics**, v. 32, p. 81-102, 2003.

ARBUÉS, F.; GARCÍA-VALIÑAS, M. A.; VILLANÚA, I. Urban water demand for service and industrial use: The case of Zaragoza. **Water Resources Management**, v. 24, nº 14, p. 4033-4048, 2010.

BABEL, M. S.; DAS GUPTA, A.; DHUNGANA, J. R. Modeling urban water demand in Bangkok city. **Proceedings of the First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia and Pacific Region (APHW2003)**, March 13-15 Kyoto, Japan, 2003.

BABEL, M. S.; DAS GUPTA, A.; PRADHAN, P. A multivariate econometric approach for domestic water demand modeling: An application to Kathmandu, Nepal. **Water Resources Management**, v. 21, p. 573-589, 2007.

BABEL, M. S.; SHINDE, V. R. Identifying prominent explanatory variables for water demand prediction using artificial neural networks: A case study of Bangkok. **Water Resources Management**, v. 25, n° 6, p. 1653-1676, 2011.

BARSUGLI, J.; VOGEL, J.; KAAZ, L.; SMITH, J.; WAAGE, M.; ANDERSON, C. Two Faces of Uncertainty: Climate Science and Water Utility Planning Methods. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 138, n° 5, p. 389-395, 2012.

BATES, B. C.; KUNDZEWICZ, Z. W.; WU, S.; PALUTIKOF, J. P. Climate change and water – IPCC Technical paper VI. IPCC Secretariat, Geneva. 2008.

BILLINGS, R. B.; AGTHE, D. E. State-space versus multiple regression for forecasting urban water demand. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 124, n. 2, p. 113-117, 1998.

BISWAS, A. K. Integrated Water Resources Management: Is It Working? **International Journal of Water Resources Development**, v. 24, n° 1, p. 5-22, 2008.

BORGES, V. M. N. A. Acoplamento de um modelo de previsão de demanda de água a um modelo simulador em tempo real – Estudo de caso:

sistema adutor metropolitano de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP. 2003.

BROOKS, D. B. An operational definition of water demand management. **International Journal of Water Resources Development**, v. 22, n° 4, p. 521-528, 2006.

CECON, P. R.; SILVA, A. R.; NASCIMENTO, M.; FERREIRA, A. Métodos Estatísticos – Série Didática. 229p. Editora UFV, Viçosa-MG, 2012.

DOA Atlanta. Department of Civil Aviation – Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport. Annual Environmental Report 2009. 2009. Disponível em: http://www.atlanta-airport.com/docs/Airport/Environmental/2009%20Annual%20Env%20Report_Revised%205-27-10.pdf. Acessado em jul/2012.

FADLELMAWLA, A. Towards sustainable water policy in Kuwait: Reforms of the current practices and the required investments, institutional and legislative measures. **Water Resources Management**, v. 23, n° 10, p. 1969-1987, 2009.

FIESP. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. Conservação e reúso de água – Manual de orientações para o setor industrial, v. 1, 90p., 2004.

FRAPORT AG. Frankfurt Airport Group. Environmental statement 2008 and Environmental program to 2011 for Frankfurt Airport. 2008. Disponível em: http://www.fraport.com/content/fraport-ag/en/misc/binaer/sustainability/environmental_statements/environmental_report2008/jcr:content.file/file.pdf. Acessado em jul/2012.

FRAPORT AG. Frankfurt Airport Group. Connecting Sustainably Report 2010. 2010. Disponível em: <http://www.fraport.com/content/fraport->

ag/en/misc/binaer/sustainability/sustainability_report2010/jcr:content.file/sustainability_report_2010.pdf. Acessado em set/2012.

GARDINER, V.; HERRINGTON, P. Water Demand Forecasting. CRC Press. Florida, EUA, 1986.

GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n° 7, p. 2512-2522, 2007.

HESPANHOL, I.; GONÇALVES, O. M. Conservação e reúso de água - Manual de orientações para o setor industrial. FIESP/CIESP, São Paulo. 93p. 2004. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/reuso.pdf>. Acessado em jan/2012.

HKIA. Hong Kong International Airport. Plan the future - Annual Report 2010/11. 2010. Disponível em: http://www.hongkongairport.com/eng/pdf/media/publication/report/10_11/e_full.pdf. Acessado em set/2012.

HURLIMANN, A. Household use of and satisfaction with alternative water sources in Victoria Australia. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n° 10, p. 2691-2697, 2011.

IGLESIAS, A.; GARROTE, L.; DIZ, A.; SCHLICKENRIEDER, J.; MARTIN-CARRASCO, F. Re-thinking water policy priorities in the Mediterranean region in view of climate change. **Environmental Science and Policy**, v. 14, n° 7, p. 744-757, 2011.

INFRAERO. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Relatório Ambiental 2011. 2011. Disponível em: http://www.infraero.gov.br/images/stories/imprensa/infraero_web_portugues.pdf. Acessado em out/2012.

KAHINDA, J. M.; TAIGBENU, A. E. Rainwater harvesting in South Africa: Challenges and opportunities. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 36, p. 968-976, 2011.

LAHLOU, M.; COLYER, D. Water conservation in Casablanca, Morocco. **Journal of American Water Resources Association**, v. 36, n. 5, p. 1003-1012, 2000.

LHR. London Heathrow Airport. Sustainability Performance Summary. 2010. Disponível em: <http://www.heathrowairport.com/static/Heathrow/Downloads/PDF/2010-sustainability-performance-summary.pdf>. Acessado em jul/2012.

MAN. Manchester Airport. Environmental Plan (Part of the Manchester Airport Master Plan to 2030). 2007. Disponível em: [http://www.manchesterairport.co.uk/manweb.nsf/alldocs/8100FB8EF658808C80257364002D85FA/\\$File/Environment+Plan.pdf](http://www.manchesterairport.co.uk/manweb.nsf/alldocs/8100FB8EF658808C80257364002D85FA/$File/Environment+Plan.pdf). Acessado em jul/2012.

MOREIRA NETO, R. F.; CARVALHO, I. C.; CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F. Rainwater use in airports: A case study in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 68, p. 36-43, 2012.

NIAC. Narita International Airport Corporation. Narita Airport Environment Report 2011. 2011. Disponível em: http://www.naa.jp/en/environment/pdf_2011/kankyo_report2011.pdf. Acessado em jul/2012.

NTS 181. Norma Técnica Sabesp. Dimensionamento do ramal predial de água, cavalete e hidrômetro – Primeira ligação. São Paulo, SP. 2012. Disponível em: <http://www2.sabesp.com.br/normas/nts /NTS181.pdf>. Acessado em out/2012.

ODAN, F. K. Previsão de demanda para sistema de abastecimento de água. Dissertação de Mestrado. UFSCAR. 2010.

OLIVEIRA, C. N. Indicadores de consumo e propostas para racionalização do uso da água em instalações de empreiteiras: caso da refinaria Landulpho Alves de Mataripe. Dissertação de Mestrado. UFBA. 2009.

QI, C.; CHANG, N. System dynamics modeling for municipal water demand estimation in an urban region under uncertain economic impacts. **Journal of Environmental Management**, v. 92, p. 1628-1641, 2011.

RYAN, A. M.; SPASH, C. L.; MEASHAM, T. G. Socio-economic and psychological predictors of domestic greywater and rainwater collection: Evidence from Australia. **Journal of Hydrology**, v. 379, p. 164-171, 2009.

SANTOS, C.; TAVEIRA-PINTO, F.; CHENG, C. Y.; LEITE, D. Development of an experimental system for greywater reuse, **Desalination**, 2011. doi:10.1016/j.desal.2011.10.017.

SCHIPHOL GROUP. Annual Report 2011. 2011. Disponível em: http://2011.annualreportschiphol.com/fbcontent.ashx/downloads/Schiphol_Annual_report_2011_ENG.pdf. Acessado em jul/2012.

SYD. Sydney Airport. Sydney Airport Master Plan 2009 – Sustainability, Climate Change and Environmental Management.2009a. Disponível em: http://www.sydneyairport.com.au/corporate/community-environment-and-planning/~/_media/Files/Corporate/Environment%20Plan/Master%20Plan/14SustainabilityEnviro.pdf. Acessado em jul/2012.

SYD. Sydney Airport. Water Recycling Plant. 2009b. Disponível em: <http://www.sydneyairport.com.au/corporate/about-us/building-a-better-airport/water-recycling-plant.aspx>. Acessado em jul/2012.

TOMAZ, P. Previsão de consumo de água. São Paulo: NAVEGAR, 2000.

WIEK, A.; LARSON, K. L. Water, people, and sustainability - A systems framework for analyzing and assessing water governance regimes. **Water Resources Management**, v. 26, nº 11, p. 3153-3171, 2012.

WILLIS, R. M.; STEWART, R. A.; PANUWATWANICH, K.; WILLIAMS, P. R.; HOLLINGSWORTH, A. L. Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use

water consumption. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n° 8, p. 1996-2009, 2011.

ZHONG, L.; MOL, A. P. J. Water Price Reforms in China: Policy-Making and Implementation. **Water Resources Management**, v. 24, n° 2, p. 377-396, 2010.

ZUCCHERELLI NETO, D. Critérios para o dimensionamento de sistemas de abastecimento de água em aeroportos. Trabalho de Graduação. Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA. Divisão de infraestrutura aeroportuária. 1981.

APÊNDICE A

Quadro 1A. Siglas, nomes e localização dos 20 principais aeroportos administrados pela Infraero.

Sigla	Nome do aeroporto	Cidade	Estado
SBPA	Aeroporto Internacional Salgado Filho	Porto Alegre	RS
SBFL	Aeroporto Internacional de Florianópolis	Florianópolis	SC
SBCT	Aeroporto Internacional Afonso Pena	Curitiba	PR
SBKP	Aeroporto Internacional de Viracopos	Campinas	
SBGR	Aeroporto Internacional Governador André Franco Montoro	Guarulhos	SP
SBSP	Aeroporto de Congonhas	São Paulo	
SBGL	Aeroporto Internacional Antonio Carlos Jobim - Galeão	Rio de Janeiro	RJ
SBRJ	Aeroporto Santos Dumont	Rio de Janeiro	
SBVT	Aeroporto Eurico de Aguiar Salles	Vitória	ES
SBCF	Aeroporto Internacional Tancredo Neves	Confins	MG
SBBH	Aeroporto Carlos Drummond de Andrade - Pampulha	Belo Horizonte	
SBBR	Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek	Brasília	DF
SBGO	Aeroporto de Goiânia	Goiânia	GO
SBCY	Aeroporto Internacional Marechal Rondon	Cuiabá	MT
SBSV	Aeroporto Internacional Dep. Luís Eduardo Magalhães	Salvador	BA
SBRF	Aeroporto Internacional Guararapes - Gilberto Freyre	Recife	PE
SBNT	Aeroporto Internacional Augusto Severo	Natal	RN
SBFZ	Aeroporto Internacional Pinto Martins	Fortaleza	CE
SBBE	Aeroporto Internacional de Belém	Belém	PA
SBEG	Aeroporto Internacional Eduardo Gomes	Manaus	AM

APÊNDICE B

Este apêndice apresenta as figuras utilizadas para análise gráfica dos resíduos dos modelos de regressão obtidos para os grupos de aeroportos P1, P2, C1 e C2.

Grupo P1

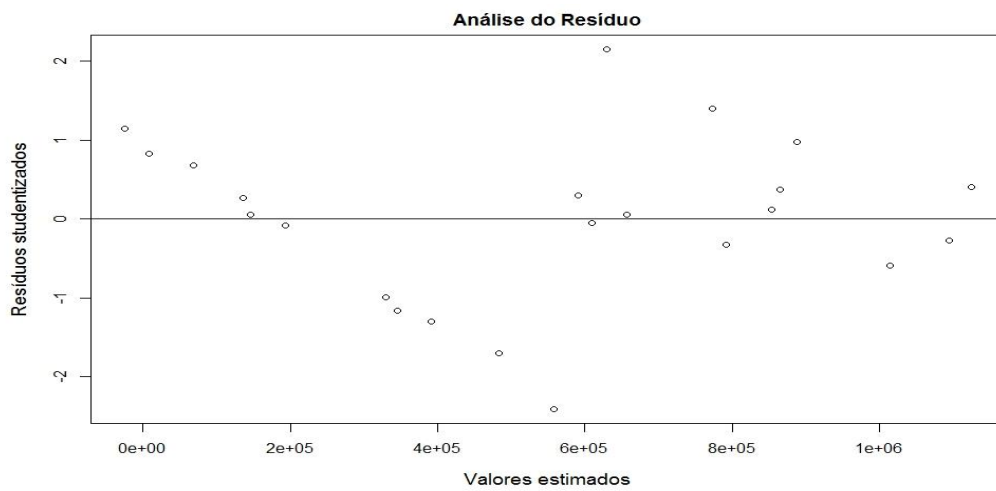


Figura 1B. Gráfico dos resíduos *versus* valores preditos para o Grupo P1.

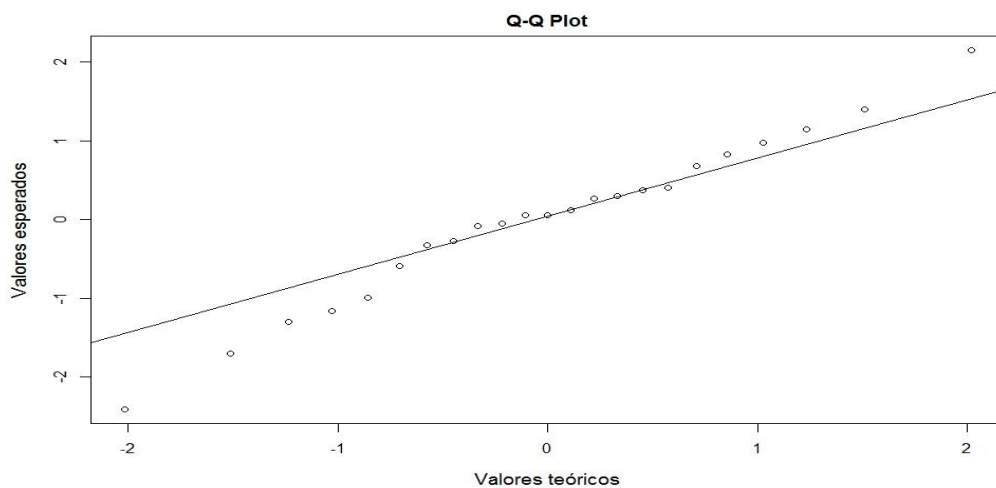


Figura 2B. Gráfico Q-Q Plot para o Grupo P1.

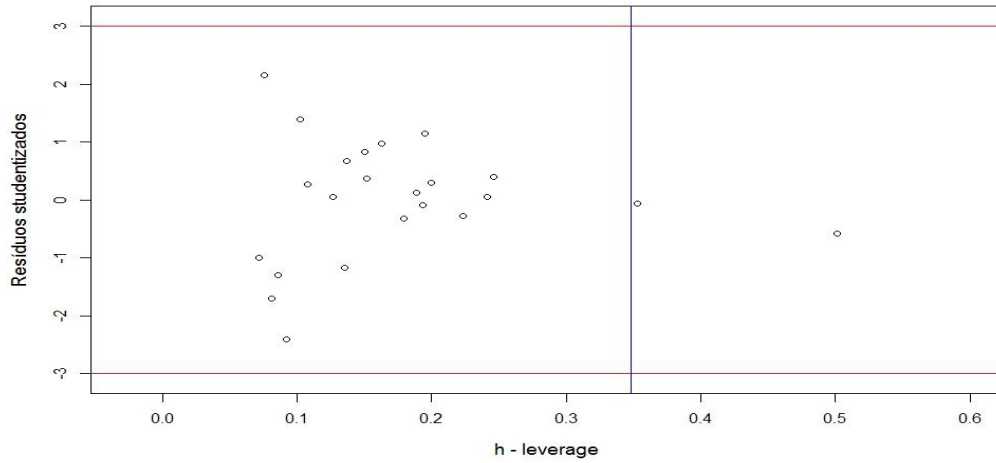


Figura 3B. Gráfico dos resíduos e distâncias “leverage” para o Grupo P1.

Grupo P2

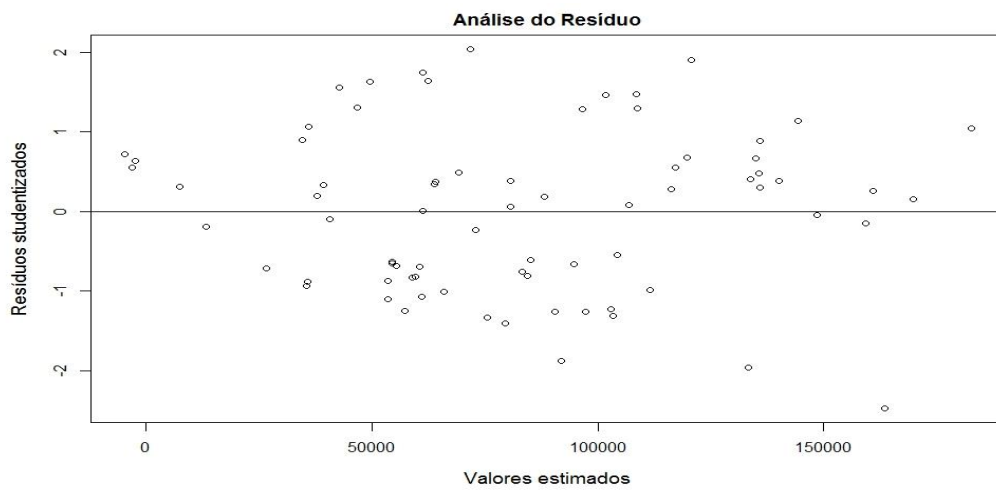


Figura 4B. Gráfico dos resíduos *versus* valores preditos para o Grupo P2.

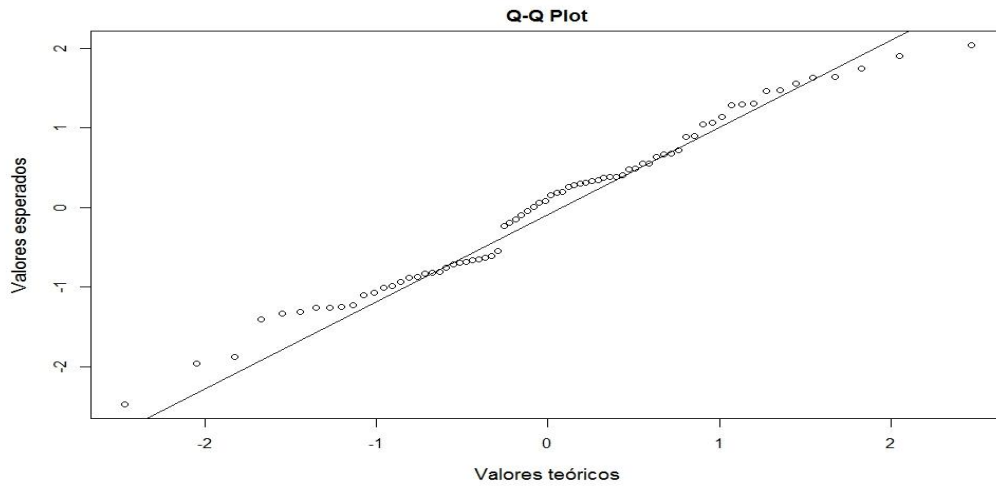


Figura 5B. Gráfico Q-Q Plot para o Grupo P2.

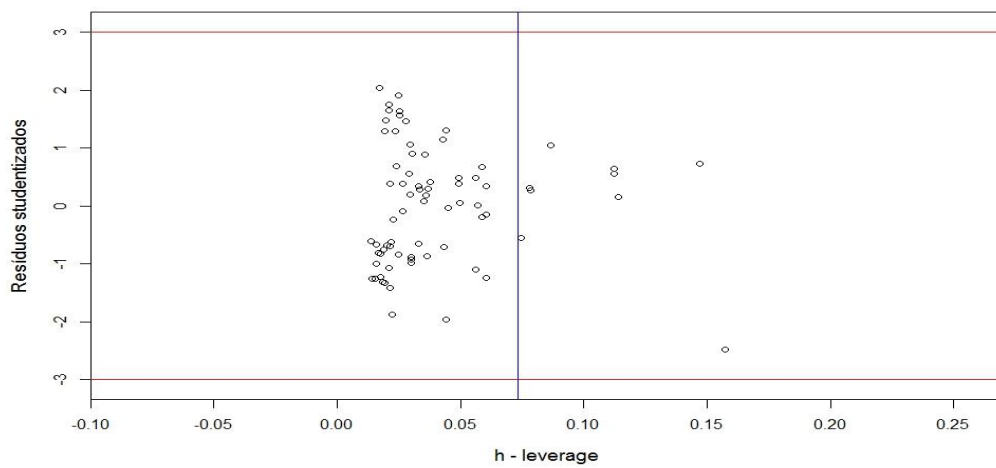


Figura 6B. Gráfico dos resíduos e distâncias “leverage” para o Grupo P2.

Grupo C1

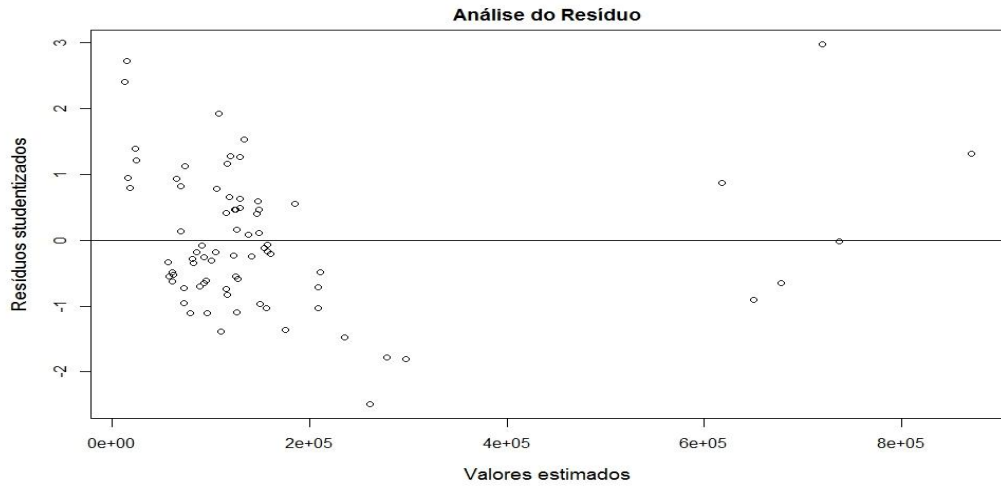


Figura 7B. Gráfico dos resíduos *versus* valores preditos para o Grupo C1.

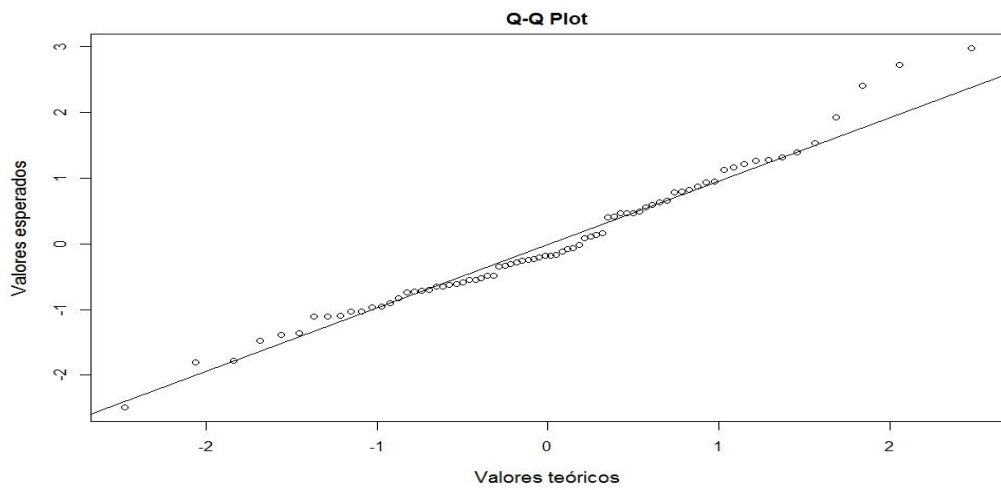


Figura 8B. Gráfico Q-Q Plot para o Grupo C1.

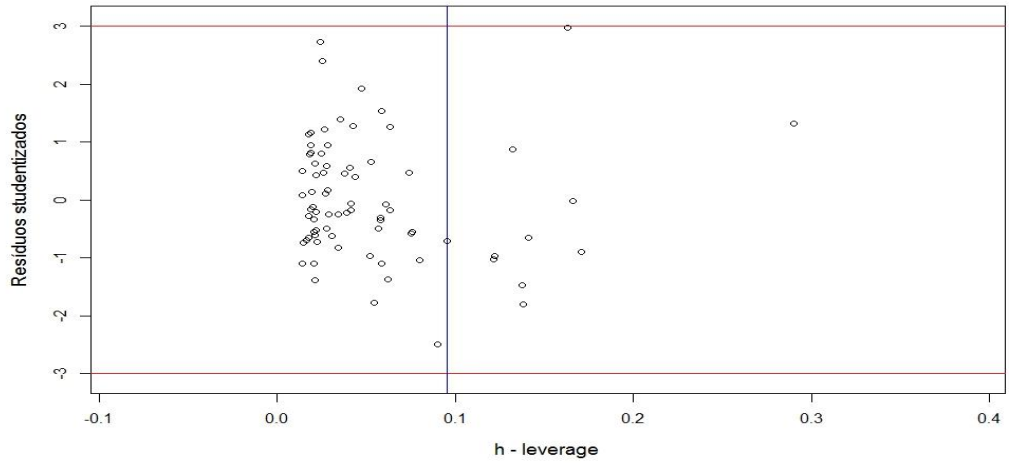


Figura 9B. Gráfico dos resíduos e distâncias “leverage” para o Grupo C1.

Grupo C2

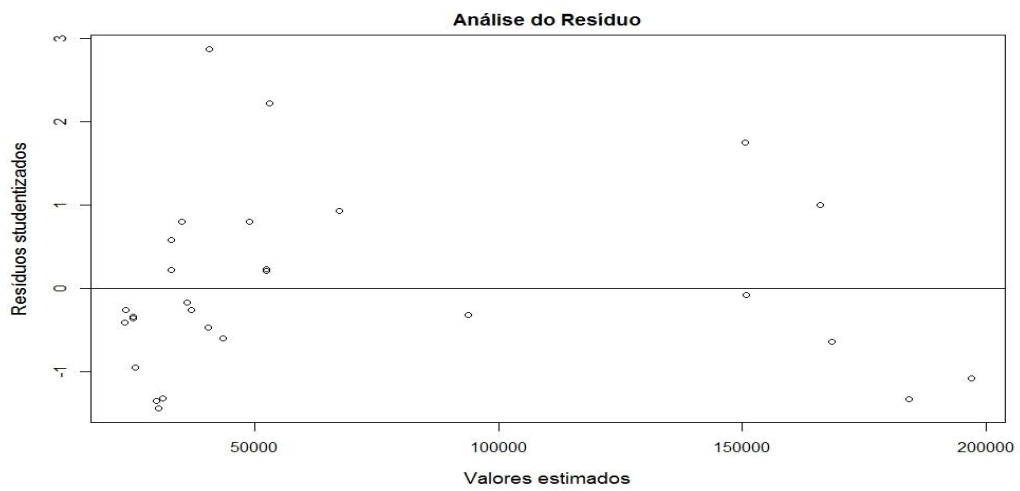


Figura 10B. Gráfico dos resíduos *versus* valores preditos para o Grupo C2.

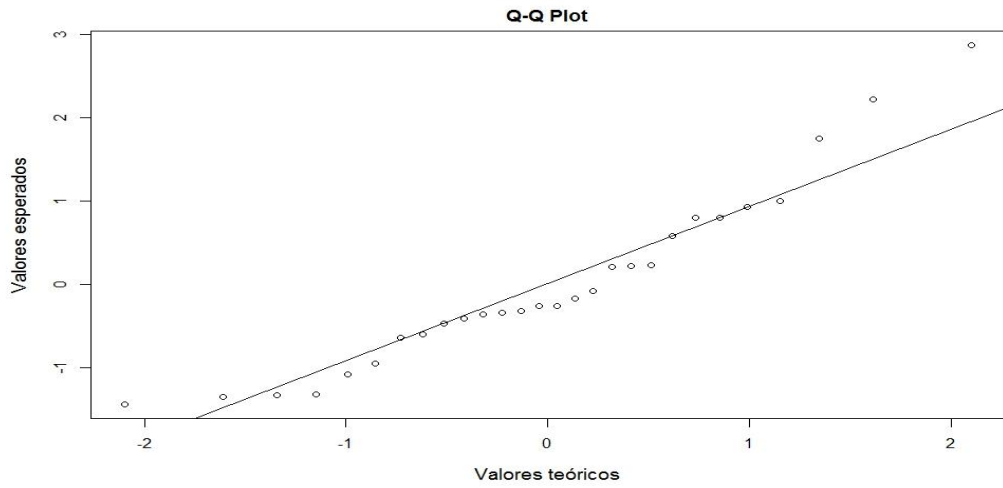


Figura 11B. Gráfico Q-Q Plot para o Grupo C2.

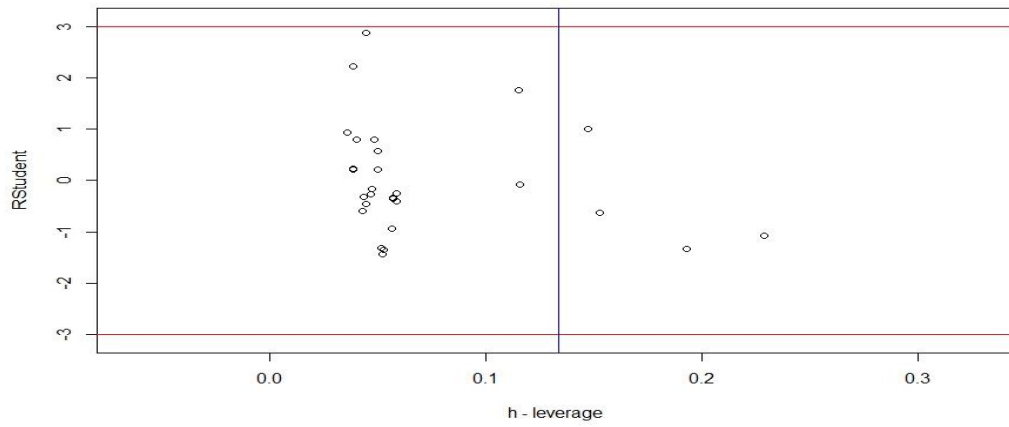


Figura 12B. Gráfico dos resíduos e distâncias “leverage” para o Grupo C2.

APÊNDICE C

Este apêndice apresenta as figuras utilizadas para análise gráfica dos resíduos do modelo de regressão obtido para o aeroporto de Confins.

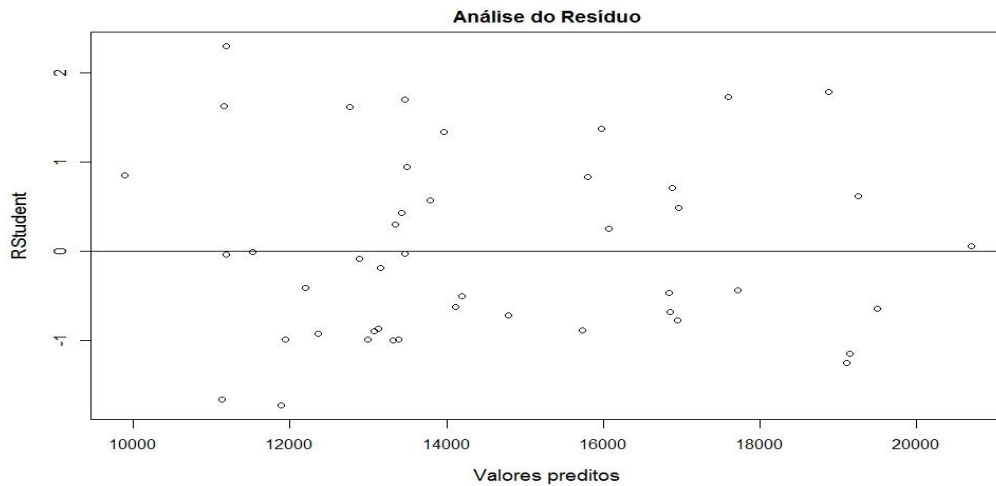


Figura 1C. Gráfico dos resíduos *versus* valores preditos para o aeroporto de Confins.

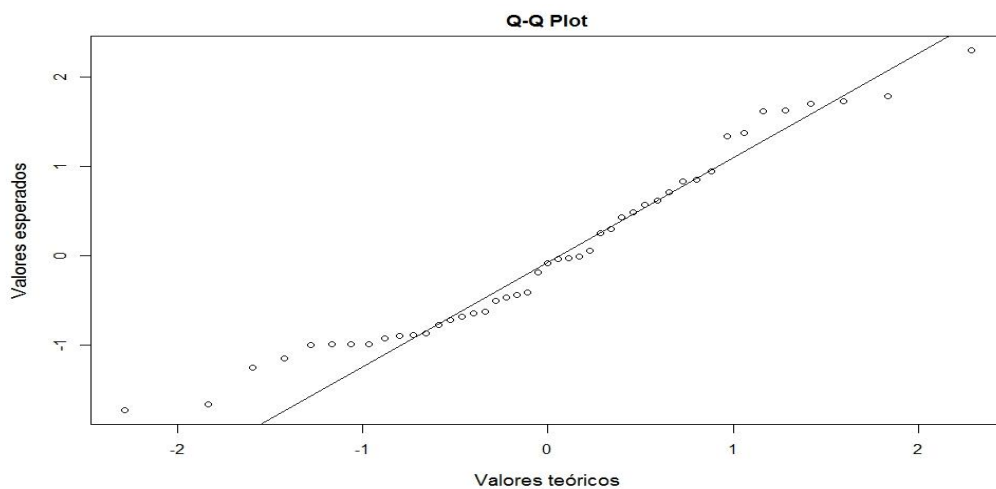


Figura 2C. Gráfico Q-Q Plot para o aeroporto de Confins.

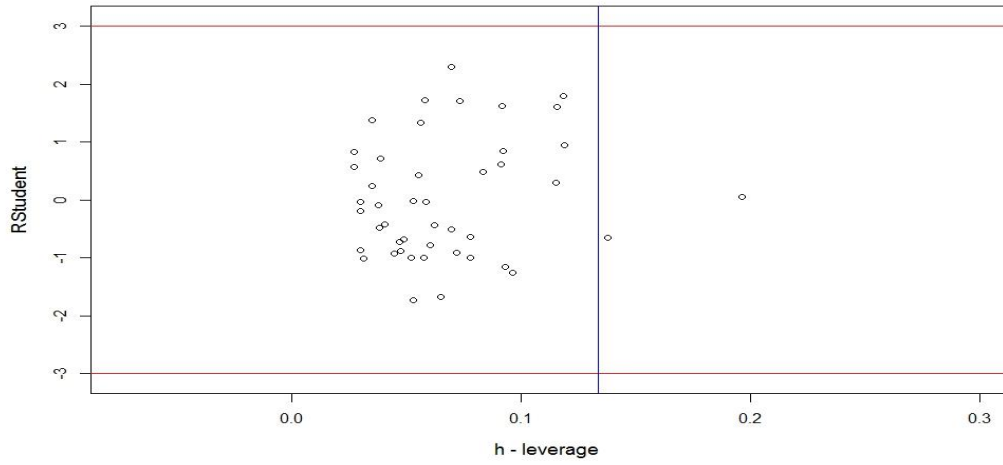


Figura 3C. Gráfico dos resíduos e distâncias “leverage” para o aeroporto de Confins.