

RONAN FERNANDES MOREIRA NETO

**AVALIAÇÃO DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM COMPLEXOS
AEROPORTUÁRIOS**

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

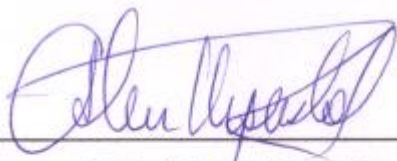
**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011**

RONAN FERNANDES MOREIRA NETO

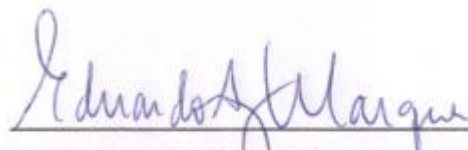
**AVALIAÇÃO DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM COMPLEXOS
AEROPORTUÁRIOS**

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

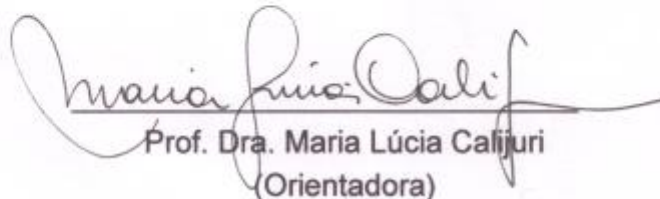
APROVADA: 29 de abril de 2011



Prof. Asher Kiperstok



Prof. Eduardo Antônio Gomes Marques



Prof. Dra. Maria Lúcia Calijuri
(Orientadora)

*Aos meus pais José
Antônio e Nilsen
Moreira, e meus
irmãos Marcos e Ana
Carolina.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas oportunidades, dificuldades e desafios ao longo do desenvolver dessa pesquisa e também pela serenidade, vontade e perseverança a mim confiadas, sem as quais os objetivos não seriam alcançados.

Aos amigos de Viçosa que contribuíram direta ou indiretamente, em especial ao Bruno.

À equipe do LabSIGEO – professora Lúcia, Aníbal, Rodrigo, Luna, Mauro Batalha, Ivan, Mateus, Everton, Francisco, Mauro Sérgio, Leonardo em especial ao Eduardo, Henrique, Marcos, e Isabella (sempre presente) – pela companhia, pela ajuda, pelas ideias, pelas correções, enfim, pelo convívio tão agradável e produtivo ao longo desses anos.

A toda equipe INFRAERO do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins, em especial Sebastião Menezes, Carlos, Rita de Cássia, Marina, Oséias, Vanete e tantos outros pela paciência, atenção e cordialidade na prestação de serviços tão importantes para o andamento desta pesquisa.

Também à equipe COPASA/ETE-CONFINS pela ajuda e parceria firmadas. Aos órgãos de fomento, FINEP, FAPEMIG e CNPq pelos recursos destinados a esta pesquisa.

Os resultados aqui apresentados são fruto do esforço conjunto de todas as pessoas citadas acima e tantas outras que se fizeram, de algum modo, presentes ao longo do desenvolver dessa pesquisa. A todos, muito obrigado.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES	V
ÍNDICE DE TABELAS	VI
RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS	3
APRESENTAÇÃO	4
JUSTIFICATIVA.....	4
ARTIGO I. CENÁRIO DE UTILIZAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL EM AEROPORTOS: ESTUDO DE CASO DO AITN17	
RESUMO	18
ABSTRACT	18
PALAVRAS CHAVE	19
INTRODUÇÃO.....	20
MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
RESULTADOS.....	36
CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ARTIGO II. AVALIAÇÃO DO USO DA FILTRAÇÃO LENTA SEGUIDA DE CLORAÇÃO NO TRATAMENTO DE	
ÁGUA PLUVIAL EM AMBIENTES AEROPORTUÁRIOS.....	50
RESUMO	51
ABSTRACT	51
PALAVRAS CHAVE	52
INTRODUÇÃO.....	53
MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
RESULTADOS.....	60
CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
CONSIDERAÇÕES FINAIS	77

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. AEROPORTO INTERNACIONAL TANCREDO NEVES, CONFINS-MG.	2
FIGURA 2. MOVIMENTO OPERACIONAL NOS 20 MAIORES AEROPORTOS DO BRASIL, E PERCENTUAL DE CADA AEROPORTO NO CONSUMO TOTAL DE ÁGUA EM 2009.	8
FIGURA 3. CONSUMO DE ÁGUA E INDICADOR DE LITROS POR PASSAGEIRO PARA OS 20 MAIORES AEROPORTOS DO BRASIL.	9
FIGURA 4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.	27
FIGURA 5. (A) PRECIPITAÇÃO MENSAL MÉDIA PARA O AITN E ESTAÇÕES VIZINHAS. (B) DISTRIBUIÇÃO SAZONAL DO POTENCIAL PLUVIAL DO AITN.	30
FIGURA 6. SETORES DE CONSUMO DO AITN.	32
FIGURA 7. VARIAÇÃO DO CUSTO DE RESERVATÓRIOS DE FIBRA E CONCRETO.	35
FIGURA 8. PERFIL DE CONSUMO NO PRÉDIO DA RECEITA FEDERAL.	37
FIGURA 9. PORCENTAGEM DE CONFIANÇA E ATENDIMENTO, CUSTO DOS RESERVATÓRIOS EM CONCRETO E FIBRA DE VIDRO PARA OS DEZ VOLUMES TESTADOS EM CADA SETOR.	42
FIGURA 10. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.	55
FIGURA 11. UNIDADE PILOTO DE TRATAMENTO. (A) CONSTRUÇÃO. (B) UNIDADE PRONTA.	57
FIGURA 12. FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO DA UPT.	58
FIGURA 13. REMOÇÃO DA TURBIDEZ NA UPT.	63
FIGURA 14. (A) VARIAÇÃO DA TURBIDEZ EM FUNÇÃO DA TAXA DE APLICAÇÃO NA SAÍDA NO FILTROS 1 (A) E FILTRO 2(B).	64
FIGURA 15. (A) REMOÇÃO DE <i>E. COLI</i> NA UPT. (B) VARIAÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS NA UPT.	66
FIGURA 16. DISTRIBUIÇÃO DO CLORO RESIDUAL LIVRE EM FUNÇÃO DA VAZÃO DURANTE AS HORAS DE MONITORAMENTO.	67
FIGURA 17. VOLUME PRECIPITADO, DEMANDA NÃO POTÁVEL E PORCENTAGEM DE ATENDIMENTO MENSAL MÉDIO DO AITN.	68
FIGURA 18. AJUSTE PARA O ENSAIO DO DESGASTE DA PASTILHA DE CLORO.	69

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. TRÁFEGO DE PASSAGEIROS NOS PRINCIPAIS AEROPORTOS DO MUNDO.	6
TABELA 2. ÍNDICE DE CONSUMO/PASSAGEIRO PARA OS 20 MAIORES AEROPORTOS DO BRASIL.	12
TABELA 3. PORCENTAGEM DE CONSUMO NÃO POTÁVEL POR EDIFICAÇÃO NO AITN.	36
TABELA 4. RESUMO DO CENÁRIO DE APROVEITAMENTO PARA OS SETORES.	40
TABELA 5. CONCENTRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA PARÂMETROS FÍSICAS, QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS VISANDO APROVEITAMENTO PLUVIAL.....	62

RESUMO

MOREIRA NETO, Ronan Fernandes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2011. **Avaliação do aproveitamento de água pluvial em complexos aeroportuários.** Orientadora: Maria Lúcia Calijuri.

Ambientes aeroportuários são pontos de consumo significativos de água e utilizam quantidades expressivas desse bem no atendimento a demandas não potáveis. A elevada necessidade de água não potável, em consonância com a presença de grandes áreas de telhados, existência de programas de controle de pássaros e ausência de árvores de grande porte, configuram os aeroportos como ambientes potenciais à implementação de medidas, processos e tecnologias com vistas à conservação da água através de sistemas de aproveitamento de água pluvial. Este estudo pretendeu avaliar o potencial do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – AITN, Confins, Minas Gerais, na utilização de água pluvial provenientes de telhados para atendimento de demandas não potáveis e a proposição de uma tecnologia de tratamento economicamente viável e de fácil replicação.

ABSTRACT

MOREIRA NETO, Ronan Fernandes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2011. **Evaluation of rainwater use in airport environments.** Advisor: Maria Lúcia Calijuri.

Airport environments are great water consumers and use significant amounts of these resources to attend non-potable demands. The need for non-potable water and the presence of large roof areas, as well as the existence of bird control programs and the absence of large trees all make airports potential places for the implementation of processes and technologies for water conservation through rainwater use systems. This study had the objective to assess the potential for rainwater collected from the roofs in the Tancredo Neves International Airport Complex, in Confins, Minas Gerais, to attend its non-potable water demands, and also to propose a treatment which is economically feasible and ease to be replicated.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica é, sem dúvida, uma questão atual e de interesse mundial. Neste século, a água tem potencial para ser um dos bens comerciais de maior valor econômico e motivo de grande disputa entre as nações. Cenários de escassez e prognósticos nada otimistas assolam milhares de pessoas ao redor do mundo e muitas já sofrem as consequências da falta de água, enquanto outras notam, a cada ano, as modificações ocorridas nos regimes dos rios e o aumento na dificuldade para conseguir tal bem.

A escassez de água é notória em regiões do planeta com pouca disponibilidade quantitativa (desertos e regiões áridas), entretanto a indisponibilidade qualitativa dos mananciais, muitas vezes ocasionada por atividades antrópicas, tem provocado a falta de água inclusive em regiões onde quantidade não é o problema. Fato é que a busca pelo uso racional da água, controle da poluição e a redução dos índices de desperdício são metas globais.

O desperdício da água tem início na saída das estações de tratamento. Sistemas obsoletos de distribuição conduzem a água com elevados índices de perdas até os pontos de consumo. Nesses, a água potável é utilizada para atender uma infinidade de atividades para as quais a potabilidade, em muitas delas, é dispensável. Para atendimento a essas demandas, denominadas “demandas não potáveis”, o aproveitamento da água pluvial apresenta-se como uma alternativa em potencial, desde que certos aspectos como índice pluviométrico, área de telhado e preocupações com a qualidade da água sejam adequados.

Os ambientes aeroportuários são pontos de consumo significativos de água e utilizam quantidades expressivas desse bem no atendimento a demandas não potáveis. A elevada necessidade de água não potável, em consonância com a presença de grandes áreas de telhados, existência de programas de controle de pássaros e ausência de árvores de grande porte, configuram os aeroportos

como ambientes potenciais à implementação de medidas, processos e tecnologias com vistas à conservação da água através de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

O Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN) localiza-se no município de Confins, região metropolitana de Belo Horizonte, entre as coordenadas: 19°39' – 19°36'S de latitude e 43°59' – 43°55'W de longitude, conforme apresentado na Figura 1 e é o objeto de estudo desta pesquisa. É atualmente o sétimo aeroporto mais movimentado do Brasil e o quinto maior consumidor de água dentre os aeroportos nacionais. É alvo de preocupação, pois passará, em curto prazo, por um processo de expansão que visa atender às demandas futuras geradas pela Copa do Mundo de 2014 e, possivelmente, as Olimpíadas de 2016.



Figura 1. Aeroporto Internacional Tancredo Neves, Confins-MG.

Desde 2005, o AITN apresenta aumento contínuo no movimento operacional e atingiu, em 2008, sua capacidade limite de cerca de cinco milhões de passageiros transportados por ano. O processo de modernização citado pretende elevar essa capacidade em aproximadamente 2,4 vezes, ou seja,

doze milhões de passageiros por ano. Em 2010 o aeroporto atendeu a mais de 7.200.000 passageiros.

Este estudo pretendeu avaliar a potencialidade do complexo aeroportuário de Confins na utilização de águas pluviais provenientes de telhados para atendimento de demandas não potáveis e a proposição de tecnologias de tratamento economicamente viáveis e de fácil replicação.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar o potencial e a viabilidade da utilização de água pluvial para atender às demandas não potáveis do complexo aeroportuário do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, Confins, Minas Gerais e apresentar cenário de aproveitamento.

Objetivos Específicos

Caracterizar a água pluvial no complexo aeroportuário;

Estudar o perfil de consumo de água do aeroporto;

Projetar, construir e operar um sistema piloto de coleta, tratamento e aproveitamento da água pluvial;

Realizar estudo de viabilidade econômica do tipo de tratamento em questão;

Setorizar o consumo de água e propor alternativas descentralizadas de armazenamento;

Avaliar a relação custo/benefício de diferentes reservatórios para cada setor, a eficiência no atendimento à demanda e o período de amortização dos investimentos;

APRESENTAÇÃO

Apresenta-se, a seguir, a estruturação do trabalho:

- Artigo I – ***Cenário de utilização de água pluvial em aeroportos: estudo de caso do AITN:*** apresenta alternativas de implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial no AITN através da análise setorizada de demandas não potáveis, áreas de telhado, porcentagem de atendimento pelo sistema, porcentagem de confiança, custo dos reservatórios, tempo de amortização do investimento, economia de água e viabilidade financeira.
- Artigo II – ***Avaliação do uso da filtração lenta seguida de cloração no tratamento de água pluvial em ambientes aeroportuários:*** apresenta a concepção e avaliação de um sistema piloto de tratamento de água pluvial. Tal sistema é composto pela etapa de filtração lenta seguida de cloração. Aborda ainda as limitações, dificuldades, vantagens e resultados obtidos em sua utilização visando atendimento às demandas não potáveis em aeroportos.
- ***Considerações finais:*** apresenta uma análise conjunta dos resultados obtidos nos artigos I e II com relação à aplicabilidade em ambientes aeroportuários.

JUSTIFICATIVA

Os ambientes aeroportuários caracterizam-se como grandes consumidores de água. Eles utilizam quantidades significativas de água em sua infraestrutura e operação, o que pode exercer forte pressão sobre a disponibilidade desse recurso (ACI, 2010).

O atendimento a fins não potáveis configura-se como a principal demanda no AITN. Atividades como os sistemas de resfriamento de água, irrigação,

descarga em bacias sanitárias e mictórios, lavagem de pistas e aeronaves, teste de bombeiros e reserva para combate a incêndios, dentre outros, habilitam os aeroportos a serem ambientes potenciais à implantação de medidas, processos e tecnologias com vistas à conservação da água.

Em nível mundial, alguns aeroportos já dispõem de diversas iniciativas para o uso racional da água: monitoramento rigoroso do consumo, com a hidrometração de toda a rede de distribuição de água, controle de vazamentos, utilização de equipamentos economizadores de água, aproveitamento de água pluvial, reúso de águas cinza e de esgoto.

Alternativas mais ousadas como o reúso de esgoto e o aproveitamento de água pluvial em banheiros, ou seja, as que necessitam de maior intervenção na estrutura aeroportuária, geralmente são efetivadas apenas na construção de novos terminais e, ou ampliações. Ou ainda, frente a situações críticas de escassez.

Na Tabela 1 apresentam-se dados do tráfego de passageiros dos principais aeroportos do mundo e os equivalentes populacionais desses empreendimentos, em termos do consumo de água. Os dados foram extraídos dos relatórios anuais disponibilizados pelas administradoras desses aeroportos. Para o cálculo do equivalente populacional considerou-se consumo de água de 200 L/habitante.dia, e apenas o volume de água potável gasto no complexo aeroportuário.

Os oito primeiros aeroportos listados estiveram entre os 30 maiores do mundo em tráfego de passageiros no ano de 2009, segundo o Airports Council International (ACI, 2010). Eles podem apresentar consumos de água equivalente aos de cidades com 34.000 habitantes, como é o caso do aeroporto London Heathrow, o que demonstra o grande volume de água necessário para a manutenção das atividades em complexos aeroportuários de grande circulação. O Aeroporto de Atlanta, no mesmo ano, teve tráfego de

passageiros de mais de 88 milhões, e consumiu algo equivalente a uma cidade de 15.000 habitantes.

Tabela 1. Tráfego de passageiros nos principais aeroportos do mundo.

Aeroportos	Sigla	Tráfego anual de passageiros¹	Equivalente Populacional	Ano base	Referências
Aeroporto Internacional de Hartsfield-Jackson Atlanta	ATL	88.032.086	15.068	2009	HAIA, 2009
Aeroporto London Heathrow	LHR	66.037.578	34.065	2009	LHA, 2010
Aeroporto Paris-Charles de Gaulle	CDG	57.906.866	30.849	2009	AP, 2009
Aeroporto Internacional de Frankfurt	FRA	50.932.840	24.384	2008	FRAPORT AG, 2010
Aeroporto Madrid-Barajas	MAD	48.250.784	18.955	2008	MBA, 2008
Aeroporto Internacional de Hong Kong	HKG	45.588.807	23.334	2009	HKIA, 2010
Aeroporto Amsterdam Schipol	MAS	43.570.370	9.795	2009	SG, 2010

Aeroportos	Sigla	Tráfego anual de passageiros²	Equivalente Populacional	Ano base	Referências
Aeroporto Leonardo da Vinci	Rome FCO	33.723.213	36.027	2008	RLVA, 2008
Aeroporto Smith	Kingsford SYD	33.000.000	15.712	2009	SA, 2009
Aeroporto Internacional de Narita	NRT	32.648.305	32.603	2008	NIAC, 2009
Aeroporto Internacional de Toronto Pearson	YYZ	30.794.980	6.690	2006	TPIA, 2006
Aeroporto Paris-Orly	ORY	25.100.000	6.494	2009	AP, 2009
Aeroportos de Portugal	ANA	24.054.759	10.545	2009	ANA, 2009
Aeroporto Manchester	Hilton MAN	22.112.625	6.849	2007	MA, 2007
Aeroporto Internacional de Zurich	ZRH	21.940.443	10.537	2009	ZIA, 2009

¹ Número de passageiros retirados do Airports Council International exceto para os aeroportos da ANA (de Portugal), CDG, ORY, NRT e ZRH para os quais os dados foram retirados dos relatórios indicados na coluna de referências. FONTE: CALIJURI et al., 2011

No Brasil, segundo informações da INFRAERO, os 20 maiores aeroportos concentraram, em 2009, 91% do movimento de passageiros do país. Destes 20 aeroportos, 4 são nacionais e 16 são internacionais, 7 estão localizados na região sudeste, 3 na região centro-oeste, 3 na região sul, 5 na região nordeste e apenas 2 na região norte. Na Figura 2 estão apresentados os movimentos operacionais nos 20 maiores aeroportos do Brasil, bem como o percentual de cada um deles no consumo total de água em 2009.

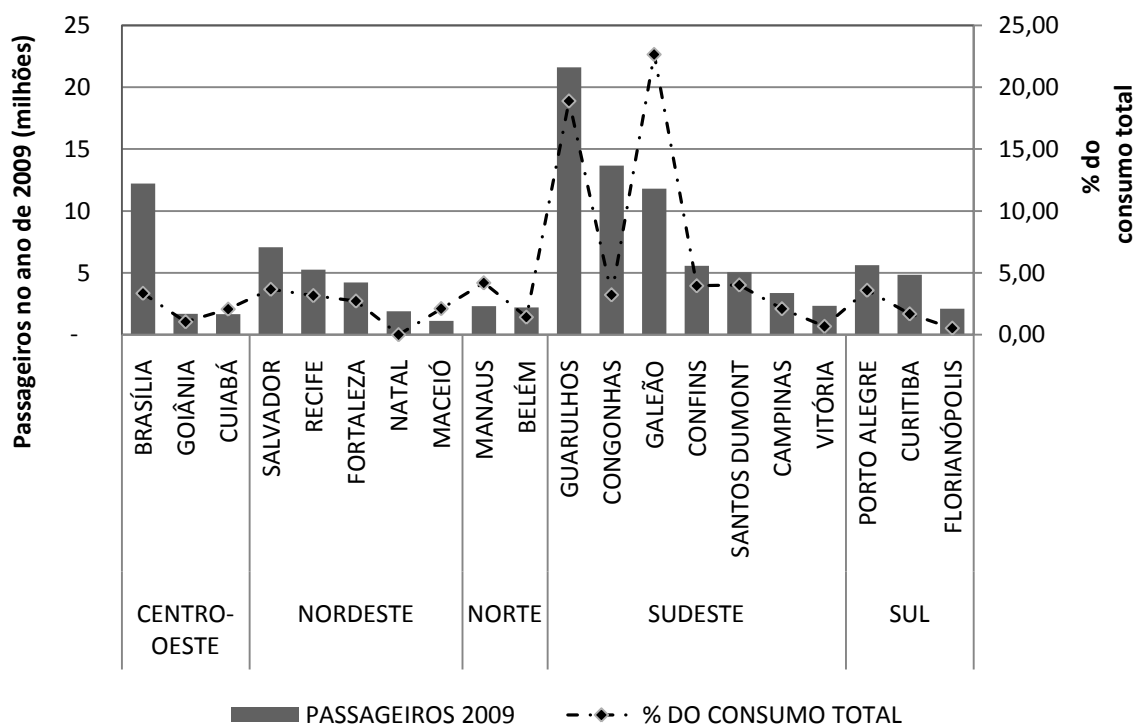


Figura 2. Movimento operacional nos 20 maiores aeroportos do Brasil, e percentual de cada aeroporto no consumo total de água em 2009.

FONTE: CALIJURI et al., 2011.

Juntos, os aeroportos sob administração da INFRAERO consumiram mais de 4,6 milhões de metros cúbicos de água para abastecer seus complexos aeroportuários, sendo que 85% deste consumo é resultante dos 20 maiores aeroportos do país, ou seja, mais de 3,9 milhões de metros cúbicos.

A gestão dos recursos hídricos nos aeroportos é importante para conhecer a real demanda destes empreendimentos e racionalizar o consumo de água. Na Figura 3 está apresentada a classificação dos 20 maiores aeroportos brasileiros em função do movimento de passageiros por ano, do consumo de água em metros cúbicos e do índice de litros por passageiro. Observa-se que nem sempre o aeroporto mais movimentado possui o maior consumo, fato que implica em diferenças significativas nas características do consumo de água.

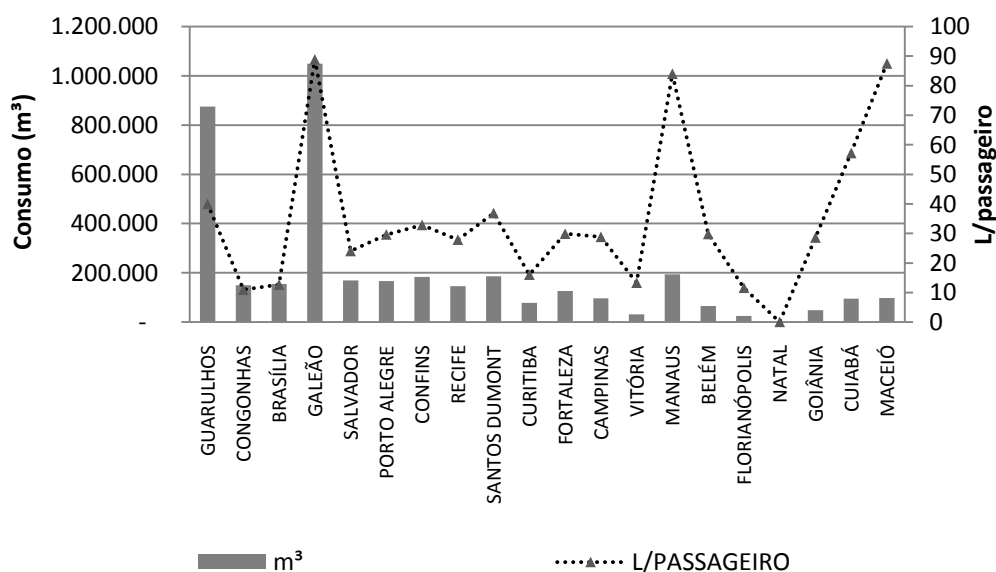


Figura 3. Consumo de água e indicador de litros por passageiro para os 20 maiores aeroportos do Brasil.

FONTE: CALIJURI et al., 2011.

O Aeroporto Internacional André Franco Montoro, em Guarulhos, região metropolitana de São Paulo, é o mais movimentado do Brasil com mais de 21 milhões de passageiros/ano, seguido pelo Aeroporto de Congonhas, São Paulo, com 13,6 milhões de passageiros/ano. O Aeroporto Internacional de Brasília aparece em terceiro lugar com mais de 12,2 milhões de passageiros/ano e o Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim/Galeão, no Rio de Janeiro, é o quarto com 11,7 milhões de passageiros/ano. Esses são os quatro aeroportos brasileiros com movimento superior a 10 milhões de passageiros/ano.

Em contrapartida no ranking dos aeroportos com maior consumo o do Galeão aparece em primeiro lugar seguido de Guarulhos, Manaus e Santos Dumont. Os dois últimos aparecem nas 14^a e 9^a posições, respectivamente, em movimento de passageiros. Em 2009 o consumo de água desses aeroportos foi de 23% para o Galeão, 19% para Guarulhos, 4% para Manaus e 4% para o Santos Dumont, do total de metros cúbicos consumidos em todos os aeroportos administrados pela INFRAERO.

Destaque especial deve ser dado ao aeroporto do Galeão que, embora ainda apresente índices elevadíssimos, já conseguiu redução significativa no consumo de água em resposta à implementação de medidas de conservação da água. Em 2001 esse aeroporto consumia 150.000 m³ de água mês. Em 2009, com aumento de 98% no número de passageiros em relação a 2001, o consumo mensal de água foi de 90.000 m³.

O reflexo do elevado consumo de água aliado ao baixo fluxo de passageiros aumenta a relação litros por passageiro e a posição desses aeroportos no ranking classificatório. Esse aumento não representa necessariamente a má gestão dos recursos hídricos, pois as características de cada aeroporto, como distância do centro e categoria (internacional ou nacional), dentre outras, influenciam no padrão de consumo e não estão contempladas nesses cálculos. Entretanto uma alta relação litros por passageiro é preocupante e mostra que medidas para a conservação da água devem ser implementadas.

Neste contexto, chama atenção o Aeroporto Internacional de Maceió, conhecido como Zumbi dos Palmares. Ele aparece na vigésima colocação no ranking de movimento operacional, com cerca de 1,1 milhões de passageiros em 2009. Entretanto consumiu em 2009 cerca de 97.600 m³ o que representa 88 L/passageiro equivalente ao índice do Galeão. Apesar do alto consumo este aeroporto possui, segundo a INFRAERO, um hotel em seu complexo aeroportuário que contribui sobremaneira para o aumento do consumo total.

O Aeroporto Internacional Eduardo Gomes, em Manaus, e o Aeroporto Internacional Marechal Rondon, em Cuiabá, seguiram a mesma tendência e apresentaram altos índices de consumo por passageiro, mesmo apresentando movimento relativamente baixo de passageiros (14^a e 19^a posições no ranking). Em contrapartida o Aeroporto de Congonhas é o segundo mais movimentado do país, apresenta cerca de 11 L/passageiro e está na 19^o posição no ranking do índice de litros por passageiro.

Aeroportos com movimento anual similar, na faixa de 5 milhões de passageiros por ano, Porto Alegre, Confins, Recife, Santos Dumont e Curitiba apresentaram comportamento semelhante e índices de consumo de 30, 33, 28, 37 e 16 litros por passageiro, respectivamente. Os índices para todos os 20 maiores aeroportos do Brasil estão apresentados na

Tabela 2.

Um comparativo dos aeroportos nacionais com os principais aeroportos do mundo mostra que o cenário brasileiro necessita de atenção e medidas de gerenciamento dos recursos hídricos que prezem pela preservação, racionalização do consumo e pela busca de fontes alternativas de água.

O AITN é hoje o sétimo aeroporto mais movimentado do país, o quinto maior consumidor de água dentre os aeroportos nacionais e possui o sétimo maior índice de litros consumidos por passageiro. Passa por um processo de modernização do atual terminal de passageiros que pretende elevar sua capacidade para cerca de doze milhões de passageiros por ano (2,4 vezes o movimento atual). Outro aspecto importante é a inauguração da plataforma industrial que elevará o AITN à categoria de aeroporto indústria.

Tabela 2. Índice de consumo/passageiro para os 20 maiores aeroportos do Brasil.

AEROPORTO	% DO FLUXO	
	DE	L/PASSAGEIRO
	PASSAGEIROS*	
GUARULHOS	16,92	40
CONGONHAS	10,7	11
BRASÍLIA	9,57	13
GALEÃO	9,24	89
SALVADOR	5,53	24
PORTO ALEGRE	4,39	30
CONFINS	4,36	33
RECIFE	4,11	28
SANTOS	3,95	37
DUMONT		
CURITIBA	3,8	16
FORTALEZA	3,3	30
CAMPINAS	2,64	29
VITÓRIA	1,83	13
MANAUS	1,81	84
BELÉM	1,72	30
FLORIANÓPOLIS	1,65	12
NATAL	1,47	0,05
GOIÂNIA	1,33	29
CUIABÁ	1,31	57
MACEIÓ	0,87	88

* Percentagem em relação ao fluxo total de passageiros no ano de 2009

A modernização e ampliação do atual terminal de passageiros, assim como a construção de um novo terminal, são ações que visam atender à tendência nacional de crescimento do setor. Toda essa expansão na capacidade operacional provoca um aumento da necessidade por insumos como energia e água, e torna evidente a necessidade da busca por fontes alternativas e uso racional da água.

O aeroporto localiza-se na Área de Proteção Ambiental Carste Lagoa Santa, uma região cárstica com as peculiaridades intrínsecas desse tipo de formação geológica. O abastecimento da cidade de Confins, assim como a do aeroporto é feito através de poços que captam água de aquíferos subterrâneos. Essa água tem dureza elevada devido às formações de calcário existentes no local.

Na busca por um sistema de gerenciamento racional de recursos hídricos, o AITN mostra-se como um candidato em potencial para a utilização de água pluvial em atividades não potáveis e apresenta características que justificam esse potencial tais como, uma extensa área de telhados, um programa de controle de pássaros e praticamente não existem árvores de grande porte no complexo aeroportuário, contribuindo para a melhoria da qualidade da água que escoar pelos telhados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRPORTS CONCIL INTERNATIONAL. Disponível em: <http://www.airports.org/cda/aci_common/display/main/aci_content07_banners.jsp?zn=aci&cp=1_725_2___>. Acesso em: 21/07/2010.

ANA, AEROPORTOS DE PORTUGAL. Relatório de Sustentabilidade (2009). Disponível em: <<http://www.bcsdportugal.org/content/index.php?action=articlesDetailFo&rec=1636>> Acesso em: 21/07/2010.

AP, AÉROPORTS DE PARIS. Rapport d'activité et de developpement durable (2009). Disponível em: <<http://www.aeroportsdeparis.fr/ADP/fr-FR/Groupe/Finance/Publications/RapportAnnuel/>> Acesso em: 25/08/2010.

CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; ALVES, H. O.; MOREIRA NETO, R. F.; SILVA, M. D. F. M. Experiências com o uso racional de água e possibilidades de minimização com reúso em aeroportos de grande circulação. In: **Uso eficiente das águas em aeroportos**. 31p. 2011 (no prelo).

FRAPORT AG. Water Disponível em: <<http://www.fraport.com/cms/environment/rubrik/2/2868.water.htm>> Acesso: 29/07/2010.

HAIA, HARTSFIELD-JACKSON ATLANTA INTERNATIONAL AIRPORT. Annual Environment Report (2009). Disponível em: <http://www.atlanta-airport.com/forms/airport/frmAiportInformation_environmentOverview.aspx> Acesso em: 15/08/2010.

HKIA, HONG KONG INTERNATIONAL AIRPORT. Water manegement (2010). Disponível em: <<http://www.hongkongairport.com/eng/csr/environmental-management/wat er- ma nagement.html>> Acesso em: 23/07/2010.

LHA, LONDON HEATHROW AIRPORT. Towards a sustainable Heathrow (2010). Disponível

em:<http://www.heathrowairport.com/assets/Internet/Heathrow/Heathrow%20downloads/Static%20files/LHR_Climate_brochure.pdf > Acesso em: 15/08/2010.

MA, MANCHESTER AIRPORT. Manchester Airport Master Plan to 2030 (2007). Disponível em:<www.manchester.gov.uk/downloads/file/3949/manchester_airport_master_plan_to_2030> Acesso em: 25/08/2010.

MBA, MADRID-BARAJAS AIRPORT. Environmental Management Report (2008). Disponível em: <http://www.aena.es/csee/Satellite?Language=EN_GB&MO=6&SMO=1&SiteName=MAD&c=Page&cid=1237543021234&pagename=subHome>. Acesso em 15/07/2010.

NIAC, NARITA INTERNATIONAL AIRPORT CORPORATION. 2009. Narita Airport Environment Report 2009 Disponível em:<www.naa.jp/en/environment/pdf_2009/kankyo_report2009.pdf> Acesso em: 23/08/2010.

RLVA, ROME LEONARDO DA VINCI AIRPORT. Environment Report 2008 (2008). Disponível em:<http://www.adr.it/portal/content/FileAttach/adr/Attach/Azienda/Ambientale_xsito.pdf;jsessionid=11e-7CkKw0K1BNArVR9mRw**.adryww05 > Acesso em 19 de jul. 2010.

SA, SYDNEY AIRPORT. Sydney Airport's Environment Strategy 2010 – 2015 (2009) (the Strategy) Disponível em: <<http://www.sydneyairport.com.au/SACL/Environment--Environment-Strategy.html>> Acesso em: 19/08/2010.

SG, SHIPHOL GROUP Water Disponível em:<<http://www.schiphol.nl/SchipholGroup/CorporateResponsibility/EnvironmentAndNoise/Water.htm>> Acesso em: 13/08/2010.

TPIA, TORONTO PEARSON INTERNATIONAL AIRPORT. Environmental Performance Report (2006). Disponível em: <<http://www.gttaa.com/local/files/>>

en/Community/Sustainability%20report%20020108.pdf> Acesso em:
23/09/2010.

ZIA, ZURICH INTERNATIONAL AIRPORT. Zurich Annual Report (2009).
Disponível em: <www.zurich-airport.com/desktopdefault.aspx/tabid-544>
Acesso em: 25/08/2010.

ARTIGO I. CENÁRIO DE UTILIZAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL EM AEROPORTOS: ESTUDO DE CASO DO AITN

RESUMO	18
ABSTRACT	18
PALAVRAS CHAVE.....	19
INTRODUÇÃO.....	20
<i>Água pluvial como forma de uso racional dos recursos hídricos.....</i>	<i>20</i>
<i>Uso racional de água em aeroportos</i>	<i>22</i>
<i>Reservatórios de água pluvial.....</i>	<i>24</i>
MATERIAIS E MÉTODOS	26
<i>AITN: localização e características.....</i>	<i>26</i>
<i>Potencial de aproveitamento pluvial</i>	<i>27</i>
Perfil de consumo e porcentagem de demanda não potável no AITN	27
Dados pluviométricos	30
Área de telhados	31
<i>Cenário de aproveitamento.....</i>	<i>31</i>
Setores de consumo.....	31
<i>Dimensionamento de reservatórios</i>	<i>33</i>
Método da Análise de Simulação	33
<i>Estimativa de Custo.....</i>	<i>35</i>
RESULTADOS.....	36
<i>Perfil de consumo e porcentagem de demanda não potável no AITN</i>	<i>36</i>
<i>Dimensionamento de reservatórios</i>	<i>37</i>
CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

RESUMO

Ambientes aeroportuários apresentam-se como empreendimentos com elevado potencial de implantação de medidas que visem à racionalização do uso da água. Suprir demandas não potáveis com água de fontes alternativas é uma tendência mundial que ganha força com o aumento da escassez. O estudo em questão apresenta um cenário de aproveitamento pluvial para um aeroporto de médio porte com o dimensionamento de reservatórios de armazenamento, através do método de análise de simulação. A escolha da melhor capacidade de reserva é obtida em função do custo dos reservatórios, porcentagem de atendimento à demanda, tempo de amortização do investimento e economia alcançada. Apresenta também um estudo sobre o perfil de consumo de água no complexo aeroportuário a fim de encontrar a porcentagem de demanda não potável associada a empreendimentos deste tipo. O aeroporto estudado apresentou 65% de sua demanda hídrica relacionada a fins não potáveis e o cenário de aproveitamento pluvial proposto gerou economia de mais de R\$ 80.000,00 por ano com a construção de cinco reservatórios em setores específicos. O tempo de amortização do investimento variou entre 3 e 15 anos, de acordo com o cenário estudado.

ABSTRACT

Airport environments present high potential for the implementation of policies to reduce water consumption and promote its rational use. The supplementation of non-potable demands with water from alternative sources is a global trend which gains strength as water shortages increase. This study presents the scenario for rainwater use in a mid-size airport and the 963option for a tank size is made according to the cost of the tank, the capacity of meeting the demands, the pay-back period and the water and economic savings. It also presents a study on the consumption pattern in the airport complex in order to find the percentage of non-potable demand associated with these types of activities. The airport studied has 65% of its water consumption to supply the non-potable demand and the scenario proposed for rainwater use provided savings of over R\$80.000,00 per year with the construction of five storage tanks in specific

sectors. The pay-back period ranged between 3 and 15 years, according to the scenario assessed.

PALAVRAS CHAVE

Aeroportos, método da análise de simulação, reservatórios de água pluvial, cenário de aproveitamento.

INTRODUÇÃO

Água pluvial como forma de uso racional dos recursos hídricos

A disponibilidade hídrica mundial tem sido uma questão preocupante nas últimas décadas e tem se intensificado com a escassez qualitativa dos recursos hídricos mediante aumento da contaminação de mananciais pelo crescimento populacional e precariedade dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto.

Algumas regiões brasileiras já sofrem com a escassez hídrica, que não é uma peculiaridade de países em desenvolvimento. A Irlanda, por exemplo, possui um dos maiores consumos per capita da Europa e, segundo Li (2010), fatalmente, no futuro, passará por falta de água principalmente em áreas urbanas.

Basinger (2010) ressalta que, além da escassez enfrentada em diversas regiões do mundo, a construção durante a primeira onda de urbanização moderna da infraestrutura de distribuição de água está envelhecendo e necessita de reparos para reduzir os índices de desperdício, que atualmente giram em torno de 30%.

Fato é que a busca por fontes alternativas de água e modelos de gestão de recursos hídricos que prezem pela racionalização do consumo e diminuição de perdas é uma tendência mundial. Neste contexto, o aproveitamento de água pluvial aparece como uma alternativa em potencial que tem sido utilizada desde a antiguidade e citada por diversos autores (OLIVEIRA, 2004; MAY, 2004; TOMAZ, 2009; JONES, 2010). Organismos internacionais têm priorizado e recomendado a economia de água, incluindo o aproveitamento de águas pluviais e práticas de reúso em edifícios, como é o caso da União Européia (EUROPEAN COMMISSION, 2009).

A utilização de água pluvial têm sido aplicada para satisfazer demandas em atividades específicas, onde não é requerida água potável. Desta forma preza-se por utilizar água potável em atividades mais “nobres” como o abastecimento público, contribuindo para a economia de energia e recursos no tratamento (JONES, 2010).

A implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial, SAAP, como fonte alternativa de água, está disseminada por todo o mundo como opção na busca pela conservação dos recursos hídricos. Na Irlanda, a utilização de água pluvial em conjunto com águas cinzas tem potencial para atender 94% da demanda doméstica do país (Li, 2010). No Japão, a cidade de Sumida, região metropolitana de Tóquio, utiliza água pluvial para alimentar um sistema de emergência caso haja problemas com o sistema principal de distribuição (TOMAZ, 2009). Na Catalunha, Espanha, municípios tem aprovado regulamentações que obrigam novos edifícios a captarem água pluvial para aproveitamento (DOMÈNECH, 2010). No Reino Unido, segundo relatório da agência de meio ambiente local (Enviromental Agency, 2008), novas edificações com mais de 100 m² de telhado são incentivadas a captar e aproveitar a água das chuvas.

Regulamentações semelhantes foram aprovadas em pelo menos quinze estados e cidades da Índia, entre eles Bangalore, Nova Déli, Kerala e Rajasthan. Na América do Norte, a coleta de águas pluviais é obrigatória em novos edifícios no Arizona e em diversas ilhas do Caribe (TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, 2005). Na Oceania, o governo australiano (Australian Government, 2009) oferece descontos de até US\$ 500,00 anuais por residência que possua sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Em Berlim, na Alemanha, a água de chuva captada em grandes edifícios e praças é destinada a recompor a paisagem urbana, abastecer vasos sanitários comunitários e alimentar lagos artificiais, o que resulta na melhoria do microclima local (RIGHETTO, 2009).

No Brasil, as iniciativas para utilização de água pluvial têm ganhado força nos últimos anos, inclusive com programas governamentais. No Programa Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semi-Árido, mais de um milhão de cisternas rurais foram construídas para a coleta e armazenamento da água pluvial, beneficiando mais de um milhão de famílias rurais do semi-árido brasileiro, atendendo inclusive ao consumo humano (RIGHETTO, 2009).

Os objetivos desta pesquisa foram: estudar o perfil de consumo do AITN; propor, a partir de demandas setorizadas, reservatórios para armazenamento de água pluvial pelo método de análise de simulação; avaliar a relação custo/benefício de dez reservatórios distintos para cada setor, determinar a eficiência no atendimento à demanda e o período de amortização dos investimentos.

Uso racional de água em aeroportos

Segundo Calijuri et al. (2011), ambientes aeroportuários caracterizam-se como grandes consumidores de água, seja na manutenção de sua infraestrutura ou na rotina operacional. Nestes empreendimentos a maior fatia de consumo deve-se às atividades menos “nobres”, que não necessitam de água potável tais como os sistemas de resfriamento de água, irrigação de áreas verdes, lavagem de pistas, pátios e aeronaves, teste de bombeiros, uso em descargas de sanitários e mictórios e reserva de combate a incêndios, que configuram a demanda não potável.

O consumo dos aeroportos pode ser equivalente ao de pequenas e médias cidades. O Aeroporto de London Heathrow apresentou em 2010, segundo LHA (2010), movimento de mais de 66 milhões de passageiros e consumo de água equivalente a uma cidade de 34 mil habitantes. O Aeroporto Internacional de Hartsfield-Jackson, em Atlanta/EUA, apresentou equivalente populacional de 15 mil habitantes e um movimento superior a 88 milhões de passageiros em 2009 (HAIA, 2009). O aeroporto de Paris, Charles de Gaulle, com 57 milhões

de passageiros em 2009 equivale a uma cidade de cerca de 31 mil habitantes (AP, 2009).

No Brasil os 20 maiores aeroportos concentraram, em 2009, 91% do movimento de passageiros do país e 85% do consumo de água do setor, com cerca de 3,9 milhões de metros cúbicos consumidos (INFRAERO, 2010).

Em nível mundial, alguns aeroportos já dispõem de diversas iniciativas para o uso racional da água que vão desde monitoramento do consumo, controle de vazamentos, utilização de equipamentos economizadores e o aproveitamento do potencial pluvial (CALIJURI ET AL, 2011).

O Aeroporto Internacional de Hartsfield-Jackson, Atlanta, através das substituições de equipamentos hidrossanitários, do sistema de aquecimento e da utilização no paisagismo de plantas com menor demanda hídrica e aproveitamento de água pluvial obteve, entre 2008 e 2009, 18% de economia de água (HAIA, 2009). O Aeroporto Internacional London Heathrow, através da análise dos dados de consumo, medição setorizada, programa para identificação de vazamentos, estabelecimento de metas de redução do consumo, substituição de equipamentos hidrossanitários e aproveitamento de água pluvial, obteve 21% de economia entre 2005 e 2009 (LHA, 2010). O Aeroporto de Roma, Leonardo da Vinci, a partir do reúso de água cinza para irrigação, limpeza e incêndio, obteve 57% de economia em 2008 (RLVA, 2008). No Japão, o Aeroporto Internacional de Narita, através da substituição de equipamentos hidrossanitários, educação ambiental, reúso de água cinza e aproveitamento de água de chuva, conseguiu 21% de economia em 2009 (NIAC, 2009). O Aeroporto Hilton Manchester obteve 30% de economia de água com a implantação da medição setorizada, sistema de detecção de vazamentos e substituição dos equipamentos hidrossanitários. Estão ainda previstos a implantação de novos hidrômetros, aproveitamento de água de chuva e reúso de água cinza (MA, 2007). O Aeroporto Internacional de Zurich, a partir do aproveitamento de água de chuva e de degelo, alcançou 16% de economia em 2008 (ZIA, 2009).

No Brasil destaca-se o Aeroporto Internacional Tom Jobim no Rio de Janeiro. Com população equivalente em torno de 30 mil habitantes, é o quarto aeroporto mais movimentado do país com 11,7 milhões de passageiros/ano e o primeiro em consumo de água, com 19% do consumo dos aeroportos da INFRAERO. O aeroporto, através do tratamento de esgoto e aproveitamento de água pluvial, tem capacidade instalada para abastecer 70% da demanda do sítio aeroportuário (INFRAERO, 2011).

Reservatórios de água pluvial

A concepção dos sistemas de aproveitamento de água pluvial baseia-se no equilíbrio entre a economia alcançada e a capacidade de armazenamento adotada. Esta última influencia de maneira significativa os custos do sistema.

No dimensionamento dos reservatórios para armazenamento de água pluvial deve-se sempre privilegiar a busca pelo melhor custo-benefício de forma a tornar o sistema atrativo e viável. No âmbito do dimensionamento, duas linhas principais são abordadas: o conceito do balanço de vazões e o conceito de regularização de vazões (MIERZWA, 2007).

O método de Rippl, um dos mais tradicionais, cujo princípio é a regularização da vazão, resulta no atendimento total da demanda ao longo do período proposto (MORUZZI, 2008). Segundo Tomaz (2009), este método apresenta o valor extremo do volume do reservatório e fornece reservatórios superdimensionados, em muitos casos inviabilizando a implantação do sistema. Mierzwa (2007) apresenta um método de dimensionamento denominado Método do Máximo Aproveitamento (MMA), que se baseia no conceito de balanço de vazões, onde o que importa é o potencial de economia alcançado com o atendimento a uma porcentagem da demanda. Tomaz (2009) também apresenta um método baseado no conceito de balanço de vazões (Método de Análise de Simulação – MAS) que, segundo o autor, é a melhor opção no dimensionamento e avaliação da confiança e eficiência de

reservatórios para aproveitamento pluvial. O método é também sugerido pela norma brasileira que trata do assunto (ABNT 15527/2007), como alternativa no dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água pluvial.

De fato, a obtenção de reservatórios de tamanho apropriado para edifícios multifamiliares é responsável por economias significativas nos sistemas de aproveitamento, tornando-os mais interessantes (EROKSUZ, 2010). O tamanho ideal de reservatórios para habitações no Brasil varia entre 2,0 e 20 m³, segundo Ghisi (2007), e a economia de água pode variar de 12 a 79%, sendo de 41% para a região Sudeste.

Khastagir (2010) apresenta a relação ótima para dimensionamento de reservatórios de água pluvial para a cidade de Melbourne, Austrália. A metodologia considera a distribuição anual de chuvas na região, a demanda do edifício, a área do telhado e a confiabilidade do fornecimento desejado. O modelo utiliza um balanço hídrico que garante a existência de água no tanque suficiente para suprir a demanda com o mínimo risco do tanque estar vazio, ou seja, alta confiabilidade. É o mesmo princípio sugerido por Tomaz (2009) no chamado *Método da Análise de Simulação (MAS)*, utilizado neste estudo.

Com relação ao tamanho dos telhados Eroksuz (2010), argumenta que para telhados pequenos o aumento no tamanho do reservatório não resulta em aumento na economia de água na mesma proporção de telhados maiores. Para um telhado de 500 m², por exemplo, o aumento do tanque na faixa de 10 m³ a 50 m³ resulta em uma economia de apenas 36%. Por outro lado, para um telhado de 1500 m² os mesmos reservatórios resultaram em 100% de economia de água da rede potável.

Palla (2011) analisou os principais componentes de SAAP na Itália a fim de descobrir sua influência na eficiência dos sistemas e concluiu que a demanda é o principal parâmetro que controla o comportamento do sistema. Altas demandas resultam em eficiência de armazenamento limitada e para demandas menores o ganho de eficiência é significativo. À luz desses

resultados, somente quando a fração de demanda (demanda total anual/volume de chuva anual) for próxima da unidade é que o dimensionamento adequado de reservatórios terá influência no desempenho quantitativo dos SAAP.

Deve-se salientar ainda que a adequação dos reservatórios ao paisagismo do local onde serão instalados faz-se cada vez mais necessária. Para tanto é preciso adequar sua forma, cor e posicionamento na paisagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

AITN: localização e características

O estudo foi realizado no Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN), localizado na cidade de Confins, a cerca de 40 km do centro de Belo Horizonte, Brasil, entre as coordenadas 43°59' – 43°55' de longitude Oeste e 19°39' – 19°36' de latitude Sul. Está instalado em um sítio aeroportuário de 15 km² e, segundo a INFRAERO (2010), possui infraestrutura capaz de movimentar mais de 40.000 toneladas de carga e transportar mais de 5 milhões de passageiros por ano.

Este movimento foi superado em 2008 e pretende-se, para o ano de 2014, elevar a capacidade para mais de 12 milhões de passageiros/ano, com a construção de um novo terminal. A capacidade de transporte de cargas aéreas também será ampliada com a implantação da plataforma logística industrial, a primeira do Brasil.

Atualmente o AITN é o sétimo aeroporto em movimento de passageiros e o quinto em consumo de água com média de 17.000 m³ mensais (INFRAERO, 2010). Apresenta-se na Figura 4 a localização do aeroporto.

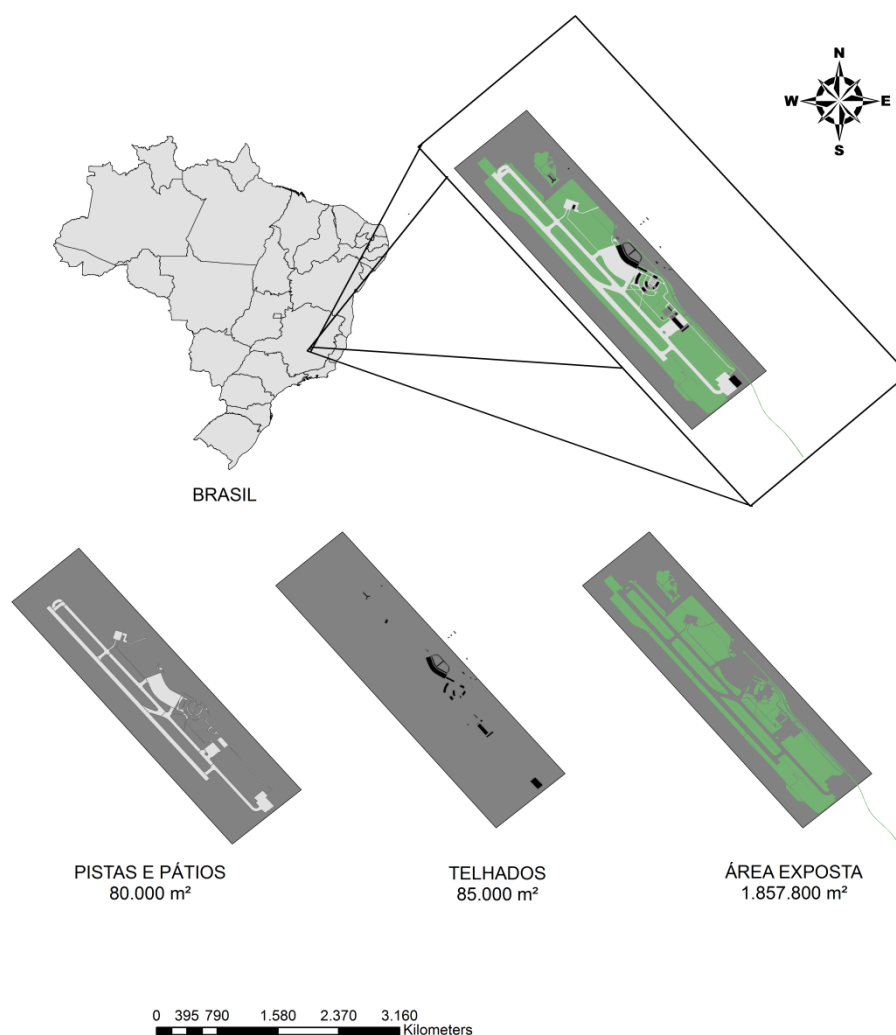


Figura 4. Localização da área de estudo.

O aeroporto possui cerca de 85.000 m² de telhados, aproximadamente 80.000 m² de pistas e pátios, além de 1.857.800 m² de áreas expostas (áreas verdes para irrigação).

Potencial de aproveitamento pluvial

Perfil de consumo e porcentagem de demanda não potável no AITN

No AITN o abastecimento é feito por água subterrânea sob responsabilidade da companhia de abastecimento público e dentro do complexo aeroportuário a distribuição e controle é de responsabilidade da INFRAERO. No aeroporto a

água potável é armazenada no reservatório apoiado e distribuída a todos os pontos de consumo. No total a rede de hidrometração é composta por 46 pontos de medição distribuídos ao longo do complexo. A análise dos dados de consumo foi feita em relação ao montante hidrometrado, ou seja, a soma dos 46 pontos de hidrometração. No total, 85% do volume de água consumido no aeroporto é quantificado e 15% são atribuídos às perdas e pontos de consumo sem identificação.

Os pontos de hidrometração contemplam os diferentes usos da água no aeroporto, incluindo usos potáveis e não potáveis. Cada edificação possui um padrão peculiar de utilização de água, no entanto edificações onde realizam-se atividades semelhantes espera-se que o perfil de consumo de água siga uma mesma tendência. A fim de conhecer o perfil do consumo de água em todo aeroporto foram escolhidas oito edificações que juntas contemplam praticamente todos os usos previstos para o aeroporto. Em cada uma dessas edificações avaliou-se o perfil de consumo e estimou-se a porcentagem do consumo utilizada para fins não potáveis (demanda não potável) em cada uma. Os oito pontos de aplicação dos questionários foram: prédio da Receita Federal; terminal de cargas (TECA); seção contra incêndio (SCI); destacamento de controle do espaço aéreo (DTCEA); parque de combustíveis; abrigo de rampas; restaurante do grupo RA e edifício sede da gerência de manutenção da INFRAERO. É preciso ressaltar que o terminal de passageiros (TPS) não possui ponto de medição na entrada e, portanto, não foi possível associar os dados obtidos com o consumo do prédio. No entanto, existem alguns pontos de consumo medidos dentro do TPS. Esses pontos foram contemplados no consumo total e considerados na divisão dos setores de consumo, que será apresentado na sequência.

A metodologia utilizada para estimar os usos finais da água nos edifícios do AITN foi baseada em Thackray (1978), Proença e Ghishi (2005), Kammers e Ghishi (2006) e Ghishi e Ferreira (2007) com questões simples visando à caracterização dos hábitos e forma de utilização da água.

A estimativa foi feita mediante aplicação de questionários entre os indivíduos que utilizam cada um dos edifícios a fim de se constatar o perfil de utilização da água no local. Nos questionários haviam questões relacionadas à frequência, forma e tempo de utilização dos equipamentos hidrossanitários, a serem respondidas por ambos os sexos, e questões específicas ao sexo masculino apenas no tocante a utilização de mictórios.

A aplicação dos questionários foi feita por amostragem. Realizou-se o levantamento da população fixa e flutuante de cada prédio do complexo aeroportuário para o cálculo do universo amostral segundo a equação 02, sugerida por Barbetta (2003).

$$n \geq \frac{N_0 \cdot N}{N_0 + N'} \quad \text{Equação 02.}$$

Em que:

$$n_0 \geq \frac{1}{\varepsilon_0^2}$$

N = número total de pessoas;

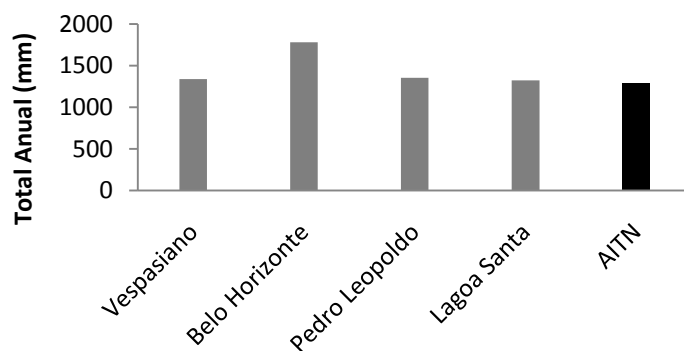
ε_0 = erro amostral desejado (1 a 20%);

n = tamanho da amostra.

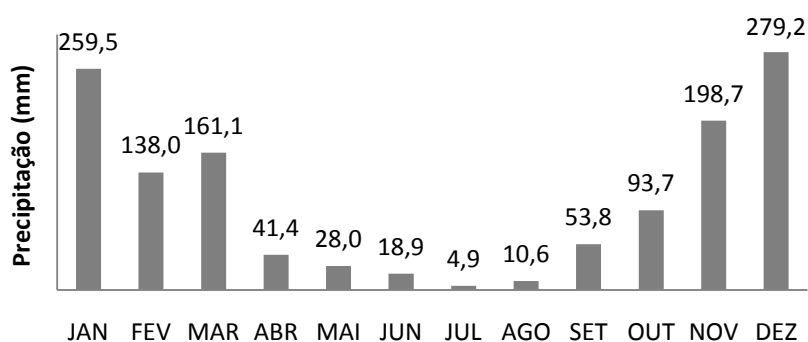
O erro amostral deve ser o menor possível, entretanto para edifícios com populações pequenas a equação 02 fornece, para pequenos erros, amostras tendendo ao valor real da população, fato indesejado dadas as dificuldades de aplicação dos questionários e participação dos indivíduos nas respostas. Adotou-se então o erro amostral máximo de 15% para os edifícios, em função da quantidade de questionários respondidos em cada prédio. O valor de 15% está entre 0 e 20%, valor considerado aceitável por Barbetta (2003).

Dados pluviométricos

Os dados de chuva foram obtidos da estação pluviométrica localizada no aeroporto sob responsabilidade do Comando da Aeronáutica Brasileira. Foram fornecidos dados de precipitação entre 1991 e 2009. Utilizou-se nesse trabalho a série histórica resultante da média mensal precipitada durante esses dezoito anos de dados. A estação apresentou total anual médio de 1287 mm, conforme apresentado na Figura 5 (a). A distribuição do potencial pluvial no aeroporto ao longo do ano é apresentada na Figura 5 (b) e foi utilizada para o dimensionamento dos reservatórios.



(a)



(b)

**Figura 5. (a) Precipitação mensal média para o AITN e estações vizinhas.
(b) Distribuição sazonal do potencial pluvial do AITN.**

Área de telhados

A partir do software ArcGis 9.3 © obteve-se a área de telhados total existente no AITN, cerca de 85.000 m², resultantes do somatório dos telhados de todos os edifícios do complexo aeroportuário.

Cenário de aproveitamento

Setores de consumo

Para avaliação do potencial de aproveitamento pluvial, o AITN foi dividido em cinco setores de consumo em função da distância entre os telhados dos edifícios, conforme apresentado na Figura 6.

Juntos estes setores representam 74,5% de todo o consumo hidrometrado no ano de 2009. O restante (25,5%) está distribuído entre os demais pontos de hidrometração e não foram agrupados em setores em função da distância entre si e da pequena porcentagem de consumo que representam isoladamente. Sendo assim, o somatório de telhados para atender ao somatório das demandas não seria possível e soluções individualizadas não alcançariam índices significativos de economia com relação ao elevado número de sistemas a serem implantados.

- O SETOR 01, onde está situado o Destacamento de Controle do Espaço Aéreo – DTCEA e a torre de controle, representa 8,0% da demanda total do aeroporto sendo que deste montante, 41% é para atender o sistema de ar condicionado (cerca de 241 m³/mês);
- No SETOR 02, terminal de passageiros –TPS, estão localizados 14 pontos de medição responsáveis por 26,2% de todo o consumo do aeroporto inclusive o segundo sistema de ar condicionado, que responde por si só a 15,9% do consumo do aeroporto;

- No SETOR 03 estão localizados os prédios da Receita Federal, Gerência de Manutenção, o lavador de veículos, a SCI – Seção Contra Incêndio e o Grupo RA e é responsável por 8,57% do consumo total;
- O SETOR 04 abriga o terminal de cargas – TECA, Correios e empresas aéreas com 1,41% do consumo;
- O SETOR 05 abriga o Centro de Manutenção de Aeronaves (CMA) e responde por 30,33% do consumo de 2009. Salienta-se que no SETOR 05 havia a obra de implantação do segundo galpão do CMA, responsável por quase 15% do consumo total do aeroporto na época. Após a finalização da construção um novo galpão com área semelhante ao do CMA será implantado. O consumo referente à obra foi incluído no dimensionamento para o setor.

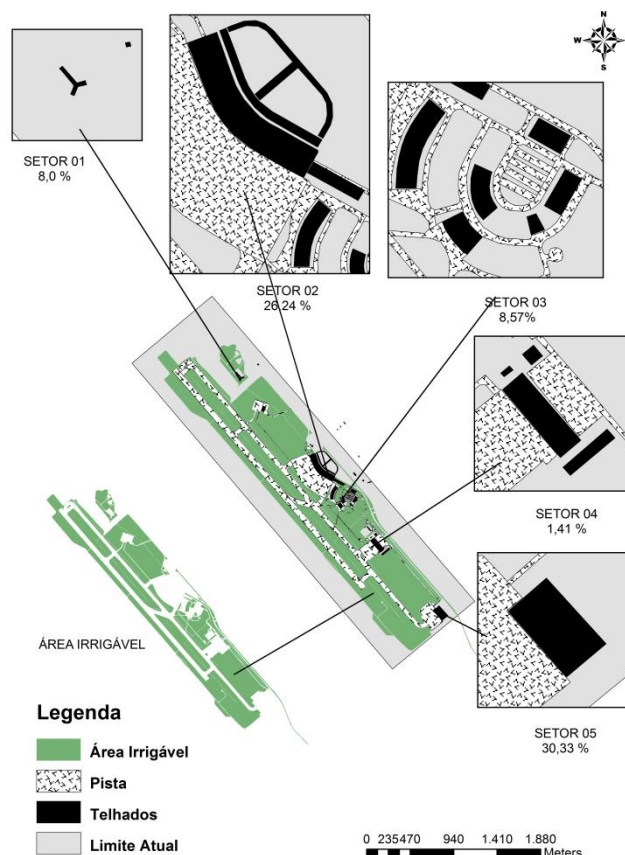


Figura 6. Setores de consumo do AITN.

Os cinco setores são apresentados na Figura 6 de acordo com sua localização no complexo aeroportuário e suas respectivas porcentagens de consumo do total hidrometrado.

Dimensionamento de reservatórios

O dimensionamento de reservatórios para o AITN considerou a distribuição espacial das demandas no complexo aeroportuário. Os setores definidos anteriormente possuem telhados próximos que foram utilizados em conjunto para atendimento a demandas específicas. Foram dimensionados então cinco SAAP, um em cada setor, de acordo com o Método da Análise de Simulação (MAS) sugerido por Tomaz (2009).

Método da Análise de Simulação

Neste método arbitra-se um volume inicial para o reservatório e verificam-se as consequências sobre o *overflow* (água que vai sobrar e extravasar) e a água de suprimento (água potável para complementar a fatia da demanda não atendida pela água pluvial armazenada por este reservatório).

Para um determinado mês aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito, segundo a equação 03.

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} - PV_{(t)} - L_{(t)} \quad \text{Equação 03.}$$

Em que:

$S_{(t)}$ = volume no reservatório no tempo t ;

$S_{(t-1)}$ = volume no reservatório no tempo $t-1$;

$Q_{(t)}$ = volume de chuva no tempo t ;

$D_{(t)}$ = demanda no tempo t ;

$PV_{(t)}$ = perdas por evaporação no tempo t ;

$L_{(t)}$ = outras perdas no tempo t ;

V = volume do reservatório (fixado).

Foram desconsideradas as perdas por evaporação na realização dos cálculos. O volume de chuva $Q_{(t)}$ foi calculado a partir de um coeficiente de escoamento superficial $c = 0,80$ de acordo com a equação 04.

$$Q_{(t)} = P_{(t)} \cdot A \cdot C \quad \text{Equação 04.}$$

Em que:

$P_{(t)}$ = precipitação no tempo t ;

A = área de captação

C = coeficiente de escoamento superficial (0,80).

O método possui a seguinte restrição: $0 \leq S_{(t)} \leq V$ ou seja, o volume de água no reservatório deve estar sempre entre zero e o valor estipulado para o mesmo.

Para a utilização do MAS, duas premissas devem ser atendidas:

- O reservatório deve estar cheio no início do tempo ($t=0$);
- Os dados pluviométricos utilizados devem ser representativos para condições futuras.

O modelo, segundo Tomaz (2009), apresenta quatro principais atributos:

- é de simples utilização e fácil entendimento;
- o uso de dados pluviométricos históricos incorpora períodos críticos de seca;
- a análise pode ser feita com dados diários ou mensais;
- são contemplados os fatores sazonais.

Ainda segundo o autor a grande vantagem do MAS é a escolha, de modo facilitado, do melhor dimensionamento em termos econômicos além de verificar seu risco e confiabilidade. No entanto o método apresenta certa limitação na análise de elevadas demandas. Utilizaram-se, neste estudo dados mensais de precipitação para realização dos cálculos.

Estimativa de Custo

Procedeu-se a modelagem do custo de reservatórios de concreto e de fibra a partir do custo por metro cúbico em função da capacidade de armazenamento (quanto maior a capacidade menor o custo por metro cúbico). Para os reservatórios de concreto os valores utilizados foram os sugeridos por Mierzwa (2007), já para os reservatórios de fibra os valores base foram obtidos a partir de uma pesquisa de mercado.

Apresentam-se, nas equações 05 e 06, a modelagem do custo por metro cúbico para reservatórios de concreto e fibra, respectivamente. Essas equações foram utilizadas para estimativa do valor dos reservatórios dimensionados e respectivo tempo de amortização dos investimentos.

$$y = 437,45 \cdot x^{-0,18} ; R^2 = 0,89 \quad \text{Equação 05}$$

$$y = 224,90 \cdot x^{-0,12} ; R^2 = 0,84 \quad \text{Equação 06}$$

Em que;

y = preço por metro cúbico (R\$/m³)

x = capacidade do reservatório (m³)

Os coeficientes obtidos no ajuste foram testados através do *software* R© e foram significativos, com $P < 0,0001$. O ajuste foi bom, com $R^2 = 0,89$ e $R^2 = 0,84$ para as equações 04 e 05, respectivamente. O comportamento do custo por metro cúbico reservado em função da capacidade do reservatório é apresentado na Figura 7.

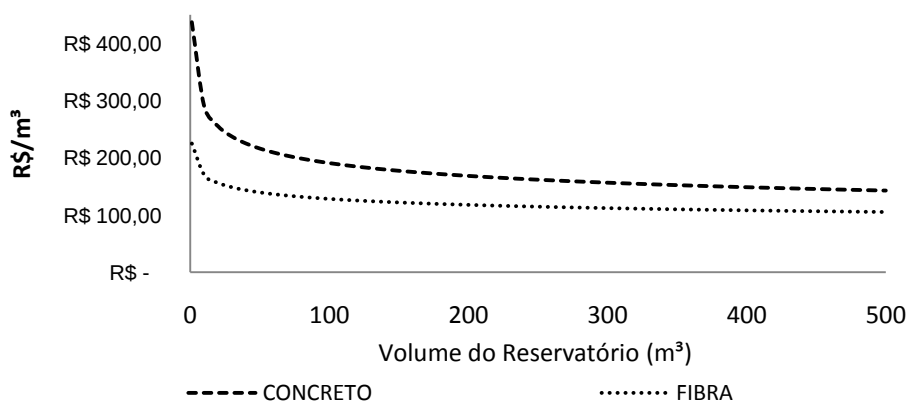


Figura 7. Variação do custo de reservatórios de fibra e concreto.

RESULTADOS

Perfil de consumo e porcentagem de demanda não potável no AITN

A aplicação dos questionários permitiu observar o perfil de consumo de água nas dependências do aeroporto. No total, oito prédios foram contemplados com os questionários: Receita Federal, TECA, SCI, DTCEA, Parque de Combustíveis, Abrigo de Rampas, Grupo RA e Gerência de Manutenção. Em cada um obteve-se a porcentagem de consumo potável e não potável a partir das respostas dos questionários, conforme apresentado na Tabela 3. A título de exemplo apresenta-se, na Figura 8, o detalhamento do resultado obtido no prédio da Receita Federal.

Tabela 3. Porcentagem de consumo não potável por edificação no AITN.

Prédio	% de consumo potável	% de consumo não potável	% do consumo total do Aeroporto	Erro amostral
Receita Federal	34	66	0,83	12,9
TECA	14	86	1,34	13,9
SCI	17	83	2,36	8,5
DTCEA	71	29	4,69	12,1
PQ Combustíveis	57	43	1,09	15,0
Abrigo de Rampa	69	31	-	-
Grupo RA	65	35	5,05	6,7
Manutenção	40	60	1,44	11,0

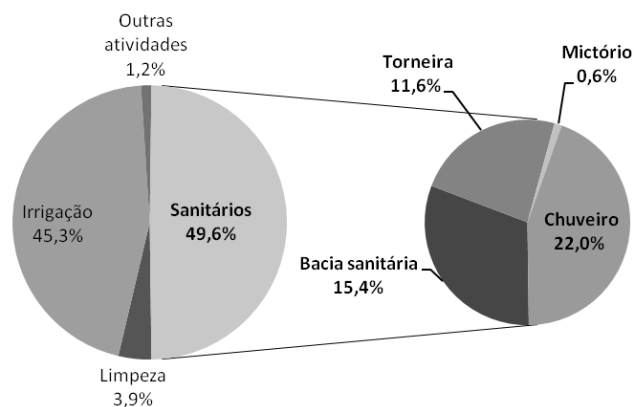


Figura 8. Perfil de consumo no prédio da Receita Federal.

Todos os 46 pontos hidrometrados foram classificados dentro de uma dessas oito divisões apresentadas na Tabela 3 de acordo com a similaridade nas atividades desenvolvidas e receberam seus respectivos índices de porcentagem de consumo potável e não potável. Procedeu-se então o cálculo de uma média ponderada em função da porcentagem total no consumo do aeroporto e das porcentagens potável e não potável para encontrar o índice que representasse o perfil de consumo de água para o AITN.

Após o cálculo obteve-se que, no AITN, aproximadamente 65% do consumo de água é para atendimento a demandas não potáveis e os outros 35% para o somatório das demandas potáveis. Este índice permitiu avaliar o potencial máximo de aproveitamento pluvial em função da área total de telhados e do índice pluviométrico previamente discutidos.

Dimensionamento de reservatórios

Foram testados dez reservatórios com capacidades em torno da demanda mensal para cada setor de consumo conforme apresentado na Figura 9.

O Setor 01 apresenta um consumo de 241 m³ mensais decorrente do sistema de ar condicionado e uma área de telhado de 2.428 m² que permite suprir até 86% de toda a demanda com a construção de um reservatório de 780 m³. Testaram-se dez reservatórios de diferentes volumes (240, 300, 360, 420, 480,

540, 600, 660, 720 e 780 m³). A construção de um reservatório de 240 m³ permite o atendimento a 67% da demanda total do setor sendo que durante seis meses no ano não há necessidade de suprimento externo. Este reservatório proporciona economia anual de R\$ 5.200,00 e os custos representam apenas 38 e 35% do valor dos reservatórios de 780 m³ fabricados em concreto e fibra, respectivamente. O tempo de amortização dos reservatórios de 240 m³ é de 7,4 anos para reservatório em concreto e 5,2 anos para reservatório em fibra.

No Setor 02, onde se situa o terminal de passageiros, a maior fatia do consumo também é representada pela água de condensação do sistema de ar condicionado, cerca de 1159 m³ mensais. O setor possui três prédios próximos que tiveram seus telhados somados para dimensionamento do sistema: TPS (37.270 m²); Prédio do ar condicionado (3.278 m²); abrigo de rampas (4.875 m²), totalizando 45.420 m² de área de telhado disponível. Nestas condições o Setor 02 consegue suprir até três vezes a demanda exercida pelo sistema de ar condicionado. Foram avaliados dez reservatórios: 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400 e 2600 m³, sendo que o último atende a 100% da demanda. Entretanto a construção de um reservatório de 1200 m³ permite que o sistema fique dez meses durante o ano sem receber suprimento externo e atinja 90% de atendimento com economia anual de R\$ 34.000,00. Este reservatório representa apenas 38 e 35% do valor dos reservatórios de 2600 m³ respectivamente em concreto e fibra, mostrando-se uma alternativa mais interessante. Este cenário de aproveitamento fornece ainda cerca de 30.000 m³ anuais de água pluvial não aproveitada que podem ser utilizados para a recarga de aquíferos ou armazenados para outros usos como a irrigação.

O Setor 03 é um setor heterogêneo que possui dez pontos de consumo que variam desde prédios administrativos, SCI, lavador de veículos e Gerência de Manutenção. Estes dez pontos de consumo estão distribuídos em cinco prédios que tiveram seus telhados agrupados para o dimensionamento do reservatório: Receita federal (1985 m²); Gerência de Manutenção (2084 m²); Lavador de

Veículos (593 m³); SCI (2208 m²) e Grupo RA (2413 m²). No total, o setor apresenta 344 m³ mensais de demanda não potável e 9283 m² de área de telhados que permitem captação de água para atendimento de até 2,3 vezes a demanda em questão. Os dez reservatórios testados foram: 300, 340, 380, 420, 480, 500, 600, 800, 900 e 1000 m³. O reservatório de 340 m³ atende a 85% da demanda anual e tem custo 37% (em concreto) e 34% (em fibra) do valor do reservatório de 1000 m³ que atende 100% e é significativamente mais caro. Com 340 m³ reservados é possível ficar nove meses durante o ano sem suprimento externo com economia de R\$ 9.500,00 anuais e amortização do investimento em 5,4 e 3,9 anos para concreto e fibra. A título de comparação o reservatório de 1000 m³, gera economia anual de R\$ 11.200,00 com amortização em 11,2 e 8,6 anos para concreto e fibra, respectivamente.

O Setor 04 possui três prédios: Terminal de cargas (8742 m²), prédio dos despachantes (790 m²) e estruturado GOL/TAM (2544 m²). O Setor possui 88 m³ de demanda não potável mensal e um total de telhados de 12076 m² que permite captar água pluvial capaz de suprir até 11,7 vezes a demanda em questão. Foram testados dez reservatórios: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 m³). Para este setor, em função da pequena demanda e da grande área de telhados, um reservatório de 45 m³ é capaz de fornecer 100% de atendimento à demanda e garantir que durante os doze meses do ano não haja necessidade de suprimento externo. O reservatório gera uma economia mensal de R\$ 2.800,00 e tem seus custos pagos em 3,4 e 2,2 anos para concreto e fibra, respectivamente.

No Setor 05 localiza-se o CMA e, na época do desenvolvimento desta pesquisa, a obra de instalação do novo hangar. O Setor possui 12620 m² de telhado e 1299 m³ de demanda mensal não potável. Com a área total disponível é possível atender até 83% da demanda anual não potável do Setor. Os reservatórios testados foram: 1000, 1200, 1400, 1600, 2000, 2400, 2800, 3200, 3600 e 3900 m³. O reservatório de 3900 m³ atende a 83% da demanda do Setor, cerca de três vezes o valor do reservatório de 1200 m³ que mostrou-se mais vantajoso por atender 66% da demanda com seis meses durante o ano

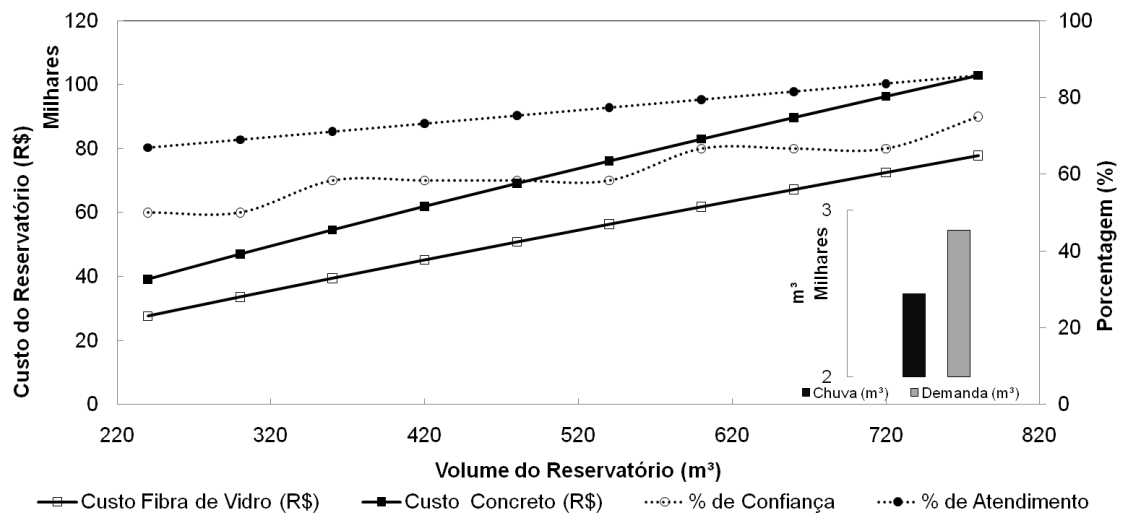
sem necessidade de suprimento externo, tempo de amortização duas vezes menor e economia de R\$ 27.800,00 por ano.

Em todos os setores, conforme evidenciado na Figura 9, a variação na capacidade apresentou efeito muito mais significativo no custo do reservatório do que no ganho em eficiência, diminuindo a relação custo-benefício do mesmo com aumento da capacidade. Para ambos os cenários mostrou-se mais vantajoso, em termos econômicos, a construção de um único reservatório frente à construção de muitos reservatórios menores. Apresenta-se, na Tabela 4 o resumo dos resultados encontrados para cada setor.

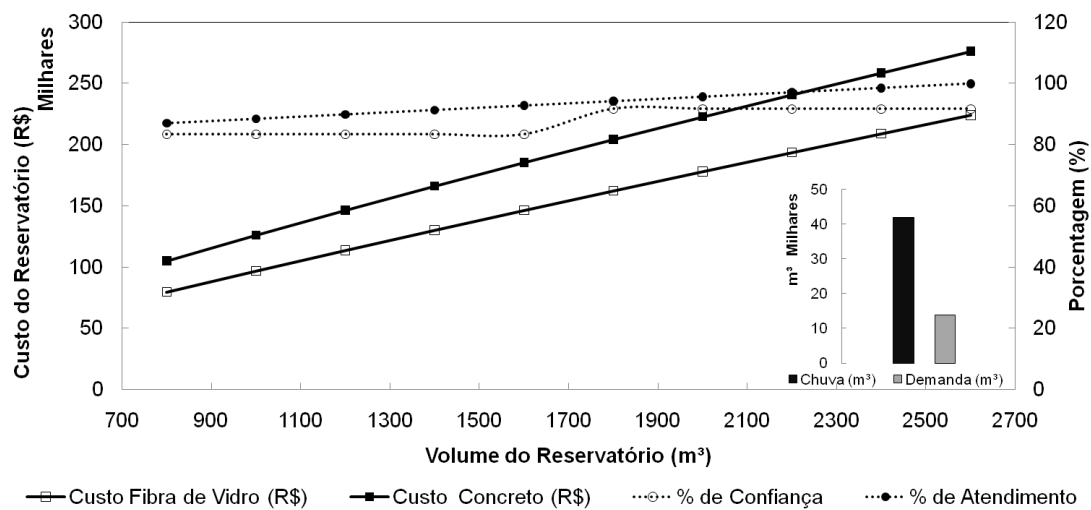
Tabela 4. Resumo do cenário de aproveitamento para os setores.

Setor	Reser. (m³)	Atendimento (%)*	Meses sem suprimento	Custo (R\$)		Amortização (Anos)		Economia (R\$/ano)
				F	C	F	C	
1	780	86	9	77.848,19	102.907,26	11,6	15,3	6.713,27
1	240	67	6	27.657,63	39.147,28	5,2	7,4	5.244,47
2	2600	100	11	224.045,41	276.189,12	5,9	7,3	37.801,26
2	1200	90	10	113.634,60	146.506,55	3,3	4,3	33.993,26
3	1000	100	12	126.161,96	96.825,43	8,6	11,2	11.228,16
3	340	85	9	37.551,56	52.088,41	3,9	5,4	9.572,47
4	45	100	12	6.360,78	9.921,17	2,2	3,4	2.872,32
4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	3900	93	8	319.848,48	385.124,72	9,1	10,9	35.175,23
5	1200	66	6	113.634,60	146.506,55	4,1	5,2	27.831,23

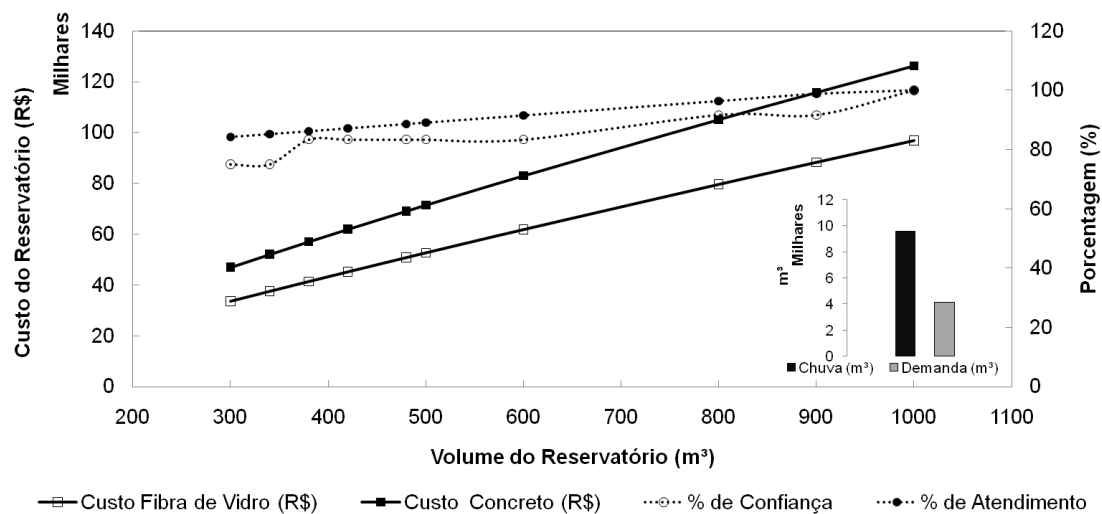
* % de atendimento da demanda anual



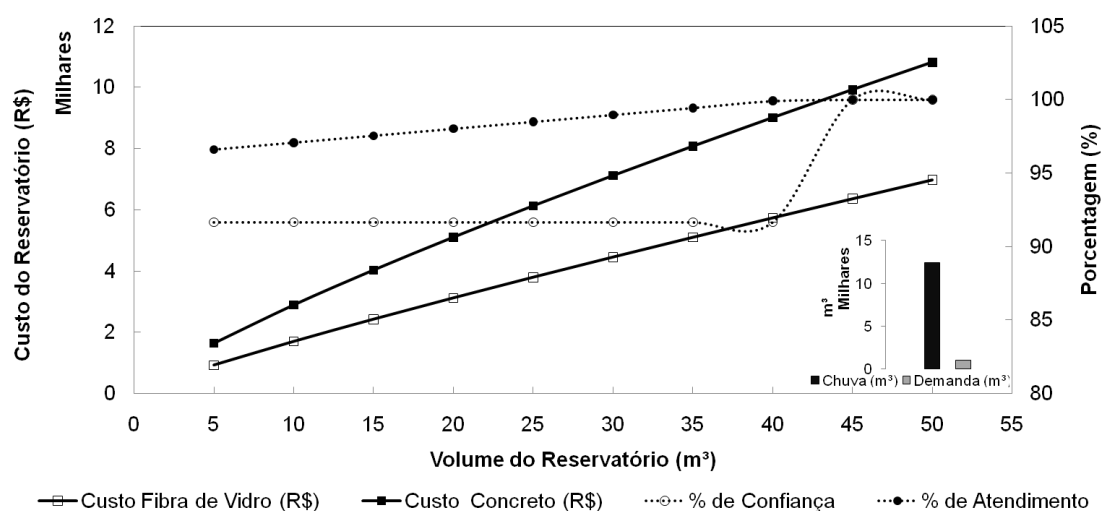
(a) Setor 01.



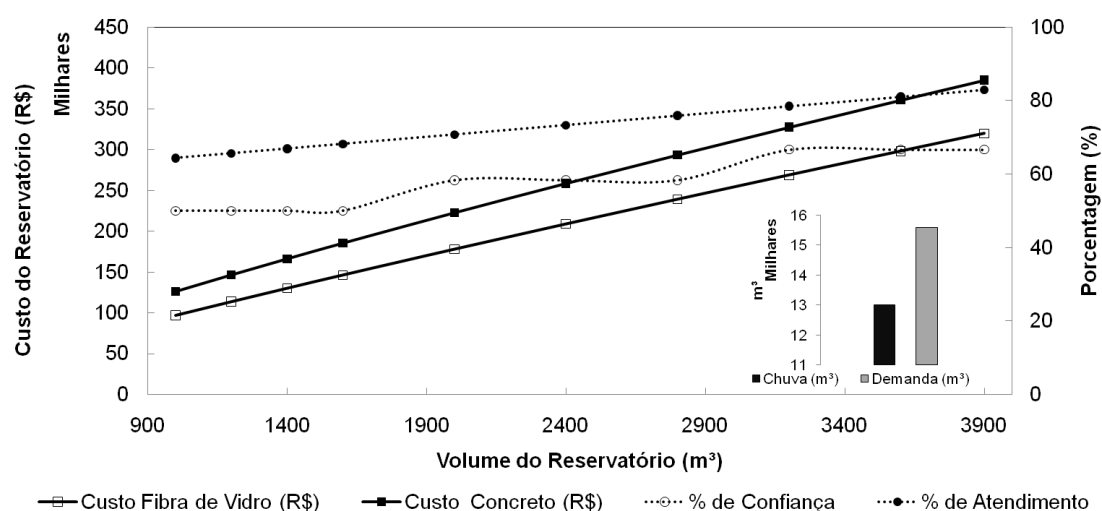
(b) Setor 02.



(c) Setor 03.



(d) Setor 04.



(e) Setor 05.

Figura 9. Porcentagem de confiança e atendimento, custo dos reservatórios em concreto e fibra de vidro para os dez volumes testados em cada setor.

Há de se salientar que o exercício do aproveitamento de água pluvial em ambientes aeroportuários resulta na construção de reservatórios de grande porte, em função do tamanho dos telhados e das demandas, o Aeroporto Tom Jobim, no Rio de Janeiro, é exemplo disso. Segundo a INFRAERO (2011), o

aeroporto possui três tanques com capacidade de 300 m³ cada e já usa a água pluvial em conjunto com o esgoto tratado no sistema de ar condicionado.

CONCLUSÕES

A análise do perfil de consumo de água do AITN mostrou que cerca de 65% do consumo de água hidrometrado é usado para suprir demandas não potáveis, índice que corrobora o elevado potencial dos complexos aeroportuários no aproveitamento pluvial.

O aeroporto possui 85.000 m² de área de telhados e índice pluviométrico anual de 1287 mm que permite coletar mais de 87.000 m³ de água pluvial por ano para aproveitamento. Este montante é equivalente ao atendimento de 1,54 vezes sua demanda não potável.

A divisão do aeroporto em setores mostrou-se vantajosa para aproveitamento de telhados próximos no suprimento de grandes demandas, tais como os sistemas de ar condicionado. Os cinco setores previstos resultarão em economia anual de cerca de R\$ 80.000,00, na conta de água do aeroporto, com tempo de amortização entre 2,2 e 11,6 anos para reservatórios construídos em fibra e 3,4 e 15,3 anos para reservatórios construídos em concreto armado.

Além da captação em telhados pode-se, a exemplo do que ocorre em muitos aeroportos em nível mundial, aproveitar a água pluvial proveniente das pistas e pátios, atualmente direcionada para o sistema de drenagem do AITN. Este montante pode ser utilizado na irrigação dos mais de 1,8 milhões de metros quadrados de área exposta ou em sistemas de recarga de aquíferos.

O método de análise de simulação (MAS) mostrou-se uma ferramenta importante na avaliação do melhor reservatório para cada setor proposto.

A utilização da metodologia descrita acima: análise do perfil de consumo, avaliação da distribuição espacial das demandas, divisão em setores e simulação do dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água pluvial configura-se como uma alternativa facilmente replicável em outros complexos aeroportuários e empreendimentos semelhantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AP. AÉROPORTS DE PARIS. Rapport d'activité et de developpement durable (2009). Disponível em: <<http://www.aeroportsdeparis.fr/ADP/fr-FR/Groupe/Finance/Publications/RapportAnnuel/>> Acesso em: 25/08/2010.

AUSTRALIAN GOVERNMENT. Water for the future. National rainwater and greywater initiative. 2009. Disponível em : <http://www.environment.gov.au/water/publications/action/pubs/nrgi.pdf>> Acesso: 10/11/2010.

BARBETTA, P. A. Estatística aplicada às ciências sociais. 5 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003.

BASINGER M., MONTALTO F., LALL U. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. ***Journal of Hydrology***, Vol 392, Paginas 105-118 15 Out. 2010. Acesso em: 08 out. 2010.

BRASIL. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Manejo de Águas Pluviais Urbanas. Rio de Janeiro, 2009.

CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; ALVES, H. O.; MOREIRA NETO, R. F.; SILVA, M. D. F. M. Experiências com o uso racional de água e possibilidades de minimização com reúso em aeroportos de grande circulação. In: **Uso eficiente das águas em aeroportos**. 31p. 2011 (no prelo).

CAMPOS, A. L. et al. Estudo para o aproveitamento de água da chuva em uma montadora de veículos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Belo Horizonte: ABES, 2007. p. 1-8.

DOMÈNECH L., SAURÍ D. A comparative appraisal of the use of rooftop rainwater in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of

Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. ***Journal of Cleaner Production***. Novembro, 2010. Acesso: 03/12/2010.

ENVIRONMENTAL AGENCY UK. Harvesting rainwater for domestic uses: an information guide.2008. Acesso: 10/11/2010.

EROKSUZ E., RAHMAN A. Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities . ***Resources, Conservation and Recycling***. Volume 54, Pgs 1449-1452. 2010. Acesso: 15/02/2011

EUROPEAN COMMISSION. Study on water performance of buildings. Reference Report 070307/2008/520703/ETU/D2, p. 161. 2009. Acesso: 16/01/2011.

GHISI E, BRESSAN DL, MARTINI M. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. ***Building and Environment***. Volume 42. Pgs 1654–66. 2007. Acesso: 16/02/2011.

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

HAIA, HARTSFIELD-JACKSON ATLANTA INTERNATIONAL AIRPORT. Annual Environment Report (2009). Acesso em: 15/08/2010.

INFRAERO. Dados de consumo dos aeroportos nacionais. **Publicação Eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por r9neto@yahoo.com.br em: 26/06/2010.Dados. 2010.

INFRAERO. Dados de consumo dos aeroportos nacionais. **Publicação Eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por r9neto@yahoo.com.br em: 06/01/2010. 2011.

JONES. M.P., HUNT. W.F. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. ***Resources, Conservation and Recycling***. Vol 54, Pages 623-629, August 2010. Acesso em 20/12/2010.

KAMMERS, P. C. e GHISI, E. Usos finais de água em edifícios públicos localizados em Florianópolis, SC. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 7590. 2006.

KHASTAGIR A, JAYASURIYA N. Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. ***Journal of Hydrology***. Volume 381. Pgs 181–8. Acesso: 15/02/2011.

LHA, LONDON HEATHROW AIRPORT. Towards a sustainable Heathrow (2010).Disponívelem:http://www.heathrowairport.com/assets/Internet/Heathrow/Heathrow%20downloads/Static%20files/LHR_Climate_brochure.pdf > Acesso em: 15 de ago. 2010.

LI Z., BOYLE F., REYNOLDS A., Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. ***Desalination***, Desalination, Vol 260, Issues 1-3, 30 September 2010, Páginas 1-8. Acesso em 08 de Nov. 2010 20:15.

MA. MANCHESTER AIRPORT. Manchester Airport Master Plan to 2030. Disponívelem:<www.manchester.gov.uk/downloads/file/3949/manchester_airport_master_plan_to_2030> Acesso em: 25/08/2010.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.

MIERZWA, J. C; HESPANHOL, I.; SILVA, M. C. C; RODRIGUES, L. D. B. Águas Pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. ***Revista de Gestão de Águas da América Latina***, v. 4, p. 29-37, 2007. Acesso: 05/01/2011.

MORUZZI R.B., CARVALHO G.S., OLIVEIRA S.C., Aplicação do conceito do balanço de vazões no dimensionamento de reservatório de água pluvial para residências unifamiliares: viabilidade e aprimoramento metodológico. **Revista Ambiente Construído**. 2008. Acesso: 05/01/2011.

NIAC. NARITA INTERNATIONAL AIRPORT CORPORATION. 2009. Narita Airport Environment Report 2009 Disponível em:<www.naa.jp/en/environment/pdf_2009/kankyo_report2009.pdf> Acesso em: 23 de ago. 2010.

OLIVEIRA, Y.V. **Uso do balanço hídrico seriado para o dimensionamento de estrutura de armazenamento de água das chuvas: estudos de casos**. 2004. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina.

PALLA A. I., GNECCO, L.G. LANZA. Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. **Journal of Hydrology**. Avaliação online 11 de Fevereiro de 2011. Acesso: 28/02/2011.

PROENÇA, L. C. e GHISHI, E. Estimativa de usos finais de água em quatro edifícios de escritórios localizados em Florianópolis. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 95-108. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. 2005.

RIGHETTO, A.M.; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T.E.A. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Programa em Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Vol 4. Cap 1. Pgs 19-73. 2009.

RLVA, ROME LEONARDO DA VINCI AIRPORT. Environment Report 2008 (2008). Acesso em 19 de jul. 2010.

THACKRAY, J. E., COCKER, V., ARCHIBALD, G. The Malvern and Mansfield studies of domestic water usage. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**. London, v 64, p. 37-61. 1978.

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. The Texas Guide on Rainwater Harvesting. Third ed. Austin, Texas. 2005. Disponível em: <http://www.twdb.state.tx.us/publications/reports/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf> Acesso: 03/10/2010.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Editora Navegar, 2009.

VILLARREAL EL, DIXON A. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply. **Ringdansen, Norrkoping, Sweden. Building and Environment** 2005. Volume 40 Pgs 1174–84. Acesso: 15/02/2011.

VIVACQUA, M.C.R. **Qualidade da Água do Escoamento Superficial Urbano – Revisão visando o uso local**. 2005. 189p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ZIA, ZURICH INTERNATIONAL AIRPORT. Zurich Annual Report (2009). Acesso em: 25/08/2010.

ARTIGO II. AVALIAÇÃO DO USO DA FILTRAÇÃO LENTA SEGUIDA DE CLORAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM AMBIENTES AEROPORTUÁRIOS

RESUMO	51
ABSTRACT	51
PALAVRAS CHAVE	52
INTRODUÇÃO.....	53
MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
<i>Área de estudo</i>	55
<i>Qualidade da água pluvial</i>	56
<i>Tratamento da água pluvial</i>	57
<i>Potencial de aproveitamento e custos de tratamento</i>	59
RESULTADOS.....	60
<i>Avaliação Qualitativa - UPC</i>	60
<i>Desempenho da Unidade de Tratamento</i>	62
<i>Potencial de aproveitamento de água de chuva e custos de tratamento</i>	67
<i>Economia de Água</i>	70
CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

RESUMO

A escassez hídrica é uma crescente no mundo todo, seja pela indisponibilidade quantitativa ou qualitativa deste recurso. A busca por fontes alternativas de água, sistemas de reaproveitamento de águas servidas e mecanismos de uso racional e minimização de desperdícios são tendências globais. O aproveitamento do potencial pluvial apresenta-se como alternativa interessante ao suplemento de demandas não potáveis em regiões aptas, tais como os complexos aeroportuários. Via de regra esses complexos apresentam grandes áreas de telhados e diversas atividades consumidoras de água não potável, o que os candidata como locais potenciais e facilitadores à instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial (SAAP). Esta pesquisa teve por objetivo a caracterização da água pluvial em complexo aeroportuário; o estudo do desempenho da filtração lenta seguida de cloração no tratamento da água pluvial e a análise da viabilidade econômica da utilização do tratamento proposto para replicação em outros complexos aeroportuários. O sistema proposto forneceu água de qualidade física, química e microbiológica compatível com requisitos de reúso e valor do metro cúbico tratado 60% menor em relação ao atual pago a companhia de abastecimento. O estudo foi desenvolvido em aeroporto de médio porte no Brasil.

ABSTRACT

Water scarcity is a reality worldwide, either by quantitative or qualitative unavailability. The search for alternative water sources, water reuse and other mechanisms for the rational use and waste minimization are all global trends. Considering these facts, the rainwater use is an interesting alternative to supplement non-potable demands in regions such as airport complexes. These complexes present large roof areas and different activities which consume non-potable water, and that makes them potential candidates for the installation of rainwater use systems (RUS). The objectives of this research were to assess the rainwater quality in an airport environment; to study the performance of the slow sand filtration followed by chlorination in the treatment of the rainwater;

and to analyze the economic feasibility of the utilization of the proposed system to be applied to other airport complexes. The system proposed provided water with physical, chemical and microbiological quality consistent with the requirements for reuse and the price of the treated cubic meter was 61% lower than the price paid to the current water supply company. The study was carried out in a mid-size airport in Brazil.

PALAVRAS CHAVE

Aproveitamento de água pluvial, aeroportos, fontes alternativas de água, uso racional de água, filtração lenta.

INTRODUÇÃO

A escassez de água é uma das principais preocupações atuais em nível mundial, na qual o aumento na complexidade da relação entre os usos conflitantes e a oferta de água de qualidade apresenta-se como um desafio para muitos países. Como consequência, práticas relacionadas ao aproveitamento de águas pluviais constituem-se, cada vez mais, como um instrumento importante para redução da captação em mananciais a fim de se priorizar, conforme sugerido por Basinger (2010), o uso de água potável para atividades mais exigentes tal qual o abastecimento público.

Via de regra os ambientes aeroportuários apresentam-se como grandes consumidores de água para atendimento a atividades operacionais ou para manutenção de sua infraestrutura, fato que pode exercer forte pressão sobre a disponibilidade deste recurso (ACI, 2010). No entanto, em decorrência da presença de grandes áreas de telhados, apresentam-se como locais potenciais e facilitadores à implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial (SAAP).

Estes sistemas, bem como sua viabilidade, têm sido objeto de estudo em muitos países nos últimos anos, dos quais cita-se Mierzwea (2007), Moruzzi (2008), Tomaz (2009), Mendez (2010), LI (2010), Jones (2010), Domènech (2010) e Bauer (2011), dentre muitos outros. Eles indicam que a qualidade das águas pluviais depende das características atmosféricas da região, da presença/ausência de árvores e pássaros, além do tipo e das condições da superfície de captação por onde a água escoar.

De modo geral, devido ao risco de contaminação por microrganismos e substâncias químicas diversas, as águas pluviais requerem algum tratamento para serem utilizadas. O nível de tratamento a ser empregado depende principalmente do uso pretendido (potável ou não potável) e da qualidade da água bruta captada (HELMREICH, 2009).

Tecnologias como a filtração lenta e a cloração são métodos tradicionais de baixo custo empregados há décadas com êxito na melhoria da qualidade bacteriológica da água para abastecimento público (FEWSTER, 2004; PROSAB, 2006; DRYDEN, 2009; KARON, 2010).

Bauer (2011) apresenta faixas de remoção de *Escherichia coli* entre 2,25 e 3,92 unidades logarítmicas para filtros lentos. Heller (2006) encontrou, na operação de filtros lentos com água sintética enriquecida com *oocistos de Cryptosporidium*, remoções da ordem de 99,99%. Keraita (2008) operou filtros lentos para o tratamento de águas residuárias e encontrou remoção de 2,0 unidades logarítmicas para coliformes termotolerantes, redução de 2,3 a 3,7 unidades logarítmicas para *E. coli* e 2,6 unidades para *Enterococos* dependendo da qualidade da água bruta e da taxa de aplicação utilizada. Karon (2010) apresenta a introdução de contaminação microbiológica advinda da areia de procedência duvidosa presente na composição de filtros lentos responsáveis pelo tratamento de água na Califórnia, Estados Unidos. Tal introdução foi comprovadamente responsável por um surto de Giardíase evidenciando que, apesar de ser uma tecnologia consagrada no tratamento de água, a filtração lenta exige cuidados em sua implantação.

Além da elevada eficiência na remoção de patógenos, os filtros lentos são de grande facilidade operacional, mostrando-se como uma alternativa adequada ao tratamento de água.

Esta pesquisa caracterizou a água pluvial em um complexo aeroportuário, estudou o desempenho da filtração lenta seguida de cloração no tratamento da água pluvial e analisou a viabilidade econômica da utilização do tratamento proposto visando replicação em outros complexos aeroportuários

MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar o potencial de aproveitamento de água pluvial no AITN realizaram-se a caracterização e o tratamento da água de chuva através da instalação de

unidades piloto de dois tipos: unidades piloto de caracterização (UPC) e unidade piloto de tratamento (UPT).

Área de estudo

O experimento foi realizado no Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN), localizado entre os paralelos 19°39' – 19°36' de latitude sul e 43°59' – 43°55' de longitude oeste, no município de Confins, a 40 km de Belo Horizonte, Brasil, conforme apresentado na Figura 10. O complexo aeroportuário possui 85.000 m² de telhados e 80.000 m² de pistas e pátios.

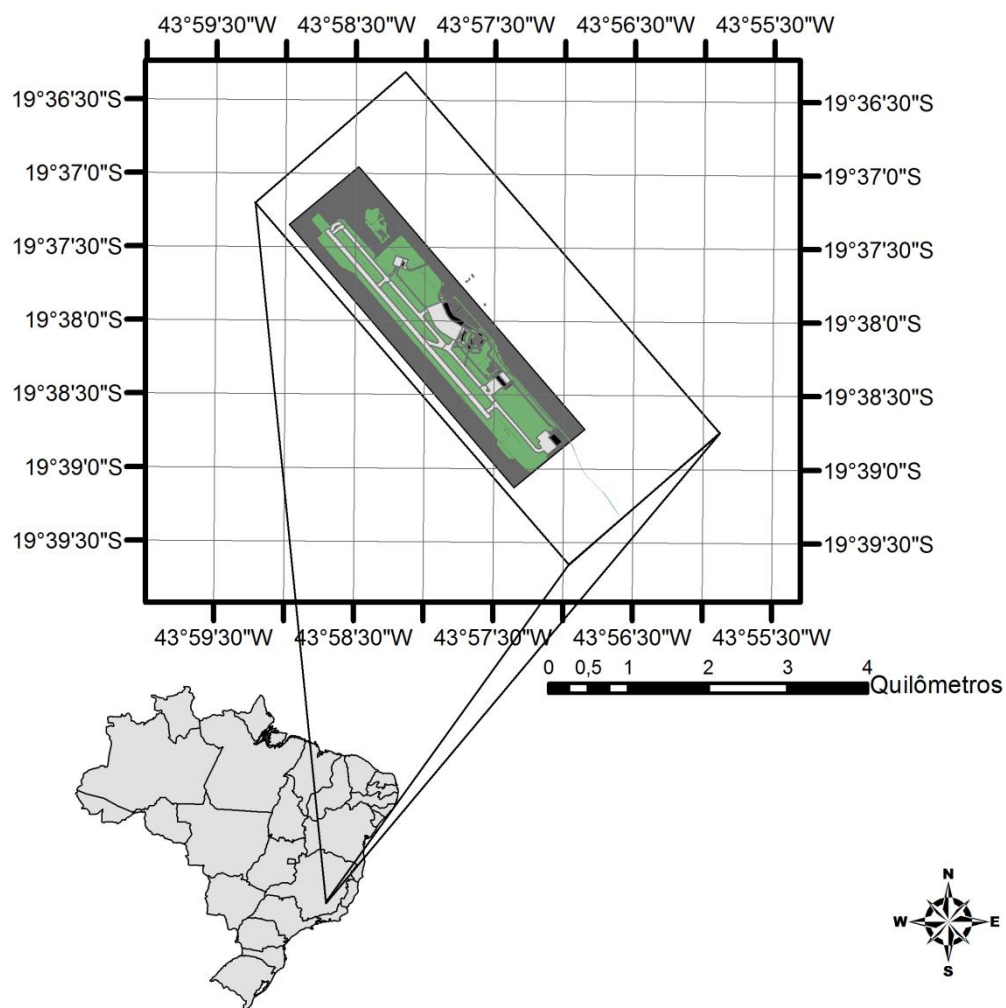


Figura 10. Localização da área de estudo.

O AITN situa-se em uma região cárstica, em área de proteção ambiental denominada APA Carste Lagoa Santa, definida pela legislação como *“uma área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais”*. Desta forma, os interesses em relação à proteção dos recursos hídricos neste tipo de ambiente são ainda maiores.

O AINT apresentou, em 2010, movimento de 7.261.000 passageiros e o consumo de água atingiu 217.460 m³. O abastecimento é suprido por água subterrânea extraída de poços perfurados na região, e é de responsabilidade da companhia estadual de saneamento. A capacidade prevista (cinco milhões de passageiros/ano) foi superada em 2008, após uma sucessão de transferências de vôos do Aeroporto Regional da Pampulha, Belo Horizonte iniciada em 2005. Dentre os aeroportos nacionais, ocupa o sétimo lugar em movimento de passageiros e o quinto em consumo de água, o qual aumentou 18% de 2009 para 2010 (INFRAERO, 2009). Obras de ampliação e modernização do aeroporto serão iniciadas em janeiro de 2012 para, dentre outros fins, atender à demanda gerada pela Copa do Mundo de futebol em 2014 e as Olimpíadas de 2016. Esta ampliação pretende aumentar em 2,4 vezes o fluxo anual de passageiros resultando, mais uma vez, no aumento do consumo de água (COSCH, 2009).

Qualidade da água pluvial

Para a caracterização da água pluvial foram instaladas unidades piloto de caracterização de águas pluviais (UPC) em pontos estratégicos do aeroporto (canais de drenagem e telhados). Cada UPC constituiu-se de um reservatório de descarte e um de armazenamento, ambos de 500 L. A caracterização ocorreu durante um ano, a fim de contemplar as variações sazonais presentes.

No total, realizaram-se nove amostragens, cinco no período chuvoso (dezembro de 2007, janeiro, fevereiro, novembro e dezembro de 2008) e quatro no período de estiagem (abril, maio e duas em setembro de 2008).

Os parâmetros avaliados foram: pH, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio (DQO), dureza total, alcalinidade, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos em suspensão totais (SST), óleos e graxas, BTEX (benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos), metais pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Sn e Zn) e os elementos Al, Fe e Mg. Os parâmetros pH e condutividade foram analisados *in loco*, utilizando pHmetro e condutímetro portáteis devidamente calibrados. Os demais parâmetros foram analisados de acordo com a metodologia descrita no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 1998).

Tratamento da água pluvial

Para tratamento e aproveitamento da água pluvial, após a etapa de caracterização, instalou-se a unidade piloto de tratamento de águas pluviais (UPT) em um telhado de 150 m² para tratamento e aproveitamento de suas águas, conforme apresentado na Figura 11.



(a)



(b)

Figura 11. Unidade Piloto de Tratamento. (a) Construção. (b) Unidade Pronta.

A UPT é composta por dois reservatórios de armazenamento (R1 e R2), ambos com 3.000 L de capacidade, dois filtros lentos em paralelo (F1 e F2), uma

unidade de desinfecção (clorador de pastilhas - CL), um reservatório de armazenamento (R3 = 1.000 L) e dois reservatórios de distribuição (R4 e R5, ambos com 5.000 L cada). A Figura 12 apresenta o fluxograma de funcionamento da UPT.

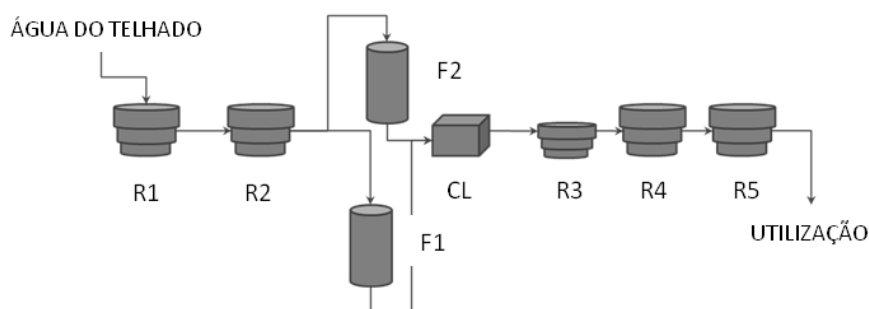


Figura 12. Fluxograma de funcionamento da UPT.

Os filtros lentos, F1 e F2, foram confeccionados em fibra de vidro, com altura de 1,4 m e diâmetros de 0,45 e 0,62 m, respectivamente. Os demais reservatórios são caixas d'água comuns fabricadas em fibra de vidro. O clorador é confeccionado em PVC com 250 mm de diâmetro, vazão regulável e recipiente específico para pastilhas de cloro.

A UPT foi operada em onze datas diferentes, e em cada operação foi aplicada uma taxa de filtração distinta nos filtros. Em cada operação, que totalizava 10 horas de monitoramento, avaliaram-se os parâmetros: pH, turbidez, temperatura, vazão de entrada nos filtros, lâmina de água sobre o leito de areia, vazão de saída no clorador, cloro residual total (CRT) e cloro residual livre (CRL). Esses parâmetros foram monitorados em cinco pontos de amostragem: água bruta (AB), saídas dos filtros (F1 e F2), água tratada na saída do clorador (AT) e no reservatório de armazenamento (R3).

Ao final de cada operação, foram coletadas amostras para avaliação de parâmetros físico-químicos (DBO, DQO, dureza e sólidos) e microbiológicos (Coliformes totais, *E. coli* e oocistos de *Cryptosporidium*). Estes parâmetros são indicadores da eficiência do sistema e possibilitaram encontrar pontos ótimos de operação.

Potencial de aproveitamento e custos de tratamento

O potencial de aproveitamento da água pluvial do AITN foi analisado considerando-se três aspectos: (i) volume potencial de água pluvial coletável nos telhados do aeroporto; (ii) consumo de água no complexo aeroportuário, evidenciando o consumo para fins não potáveis; (iii) custos associados ao tratamento da água pluvial.

A estimativa do volume de água pluvial coletável teve por base a área total de telhados existente no AITN e os índices pluviométricos da região, fornecidos pela estação meteorológica da INFRAERO, Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária, sob responsabilidade do Comando da Aeronáutica do Brasil. As áreas de telhado foram estimadas a partir de imagem de satélite através do software ArcGis 9.3 © (2008). O volume coletável foi calculado, utilizando o coeficiente C igual a 0,8 (valor adotado em função da área de cobertura do telhado), de acordo com a equação 1, retirada de Silva (2008).

$$V_c = \frac{P \times A_c \times C}{1000} \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:

V_c = Volume diário coletável (m³);

P = Precipitação;

A_c = Área de coleta;

C = Coeficiente de escoamento superficial.

O consumo total de água no aeroporto foi estimado com base em dados mensais fornecidos pela INFRAERO referentes ao período de janeiro a dezembro de 2009. Esses dados são provenientes de 46 pontos de hidrometração espalhados ao longo do complexo aeroportuário.

Para estimar-se o custo de tratamento da água pluvial foram considerados o desgaste das pastilhas de cloro e o consumo de energia elétrica para manutenção do sistema de bombeamento. Procedeu-se, então, um ensaio para medir o desgaste da pastilha em função da vazão de tratamento a qual é submetida. Metade de uma pastilha foi submetida a uma vazão semelhante

àquela aplicada na UPT. Regulada a vazão, mediu-se o peso da pastilha quatro vezes por dia durante cinco dias.

RESULTADOS

Avaliação Qualitativa - UPC

Na UPC a água pluvial bruta apresentou, em média, baixos valores de turbidez, alcalinidade e dureza, iguais a 2,25 UNT, $9,0 \text{ mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$ e $11,0 \text{ mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$, respectivamente. Apresentou ainda baixos teores de sólidos dissolvidos totais ($45,2 \text{ mgL}^{-1}$), sólidos suspensos ($32,6 \text{ mgL}^{-1}$), matéria orgânica (DQO $10 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$) e média de $1,12 \times 10^4$ para *E. coli*.

Em todas as amostragens realizadas a concentração de óleos e graxas, BTEX e metais pesados (com exceção do zinco) estiveram abaixo do limite de detecção do método. Os limites para BTEX são: benzeno $< 1 \text{ } \mu\text{gL}^{-1}$; tolueno $< 1 \text{ } \mu\text{gL}^{-1}$; etilbenzeno $< 1 \text{ } \mu\text{gL}^{-1}$; xileno (m, p-xileno) $< 2 \text{ } \mu\text{gL}^{-1}$; e xileno (o-xileno) $< 1 \text{ } \mu\text{gL}^{-1}$. As análises de BTEX foram realizadas devido à presença destes compostos na constituição do petróleo e seus derivados, como gasolina, querosene de aviação e borracha, podendo haver residuais nos telhados provenientes do fluxo das aeronaves. Para metais pesados têm-se os seguintes limites: As e Cd $< 0,01 \text{ mgL}^{-1}$; Pb, Cr, Mn, Cu, Ni e Ag $< 0,05 \text{ mgL}^{-1}$; Sn e Ba $< 0,5 \text{ mgL}^{-1}$; e Hg $< 0,001 \text{ mgL}^{-1}$. Para zinco encontrou-se o valor médio de $1,16 \text{ mgL}^{-1}$. A presença deste elemento é justificada, possivelmente, pela composição da liga metálica das telhas e calhas que compõem o telhado.

Apresenta-se, na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** as concentrações de referência para reúso em fins não potáveis e a qualidade da água obtida após caracterização e tratamento.

Constatou-se que a água pluvial coletada do telhado é de boa qualidade. A qualidade da água bruta está de acordo com as recomendações de reúso para

as atividades listadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** em termos dos arâmetros pH, sólidos dissolvidos, condutividade elétrica e dureza.

A concentração de sólidos suspensos em duas amostragens foi superior à concentração limite recomendada para uso em torres de resfriamento. A DQO foi inferior a 30 mgL^{-1} em todas as campanhas de amostragem. Verificou-se que os valores de DQO foram inferiores inclusive ao limite de DBO_5 exigido para torres de resfriamento e descargas sanitárias em todas as campanhas. No entanto, os resultados de duas campanhas não se adequaram ao limite para lavagem de pisos e irrigação de áreas verdes. Em termos microbiológicos verificou-se a presença de *E. coli* em duas amostras. Relacionando este resultado com os valores recomendados em termos de coliformes termotolerantes observa-se que a concentração de *E. coli* atendeu ao limite indicado para uso de água em torres de resfriamento e descargas sanitárias.

Tabela 5. Concentração de referência para parâmetros físicas, químicas e microbiológicas visando aproveitamento pluvial.

Parâmetros	Unidade	Torres de Resfriamento	Lavagem de pisos/irrigação	Descargas sanitárias	UPC	UPT*
pH	-	6 – 9 ⁽¹⁾	6 – 9 ⁽¹⁾	6 – 9 ⁽¹⁾	7,2	6,8
Turbidez	UNT	3 ⁽¹⁾	2 ⁽¹⁾	5 ⁽¹⁾	2,3*	1,9*
Dureza	mgCaCO ₃ L ⁻¹	50 – 180 ⁽¹⁾	-	-	11	11
SST	mgL ⁻¹	30 ⁽¹⁾	-	-	33	46
SDT	mgL ⁻¹	500 ⁽²⁾	-	-	45	NR
DQO	mgL ⁻¹	75 ⁽¹⁾	-	-	10	27
DBO ₅	mgL ⁻¹	30 ⁽¹⁾	10 ⁽¹⁾	30 ⁽³⁾	NR	NR
Coliformes Termotolerantes	NMP100m L ⁻¹	200 ⁽¹⁾	Ausente ⁽¹⁾	1000 ⁽³⁾	NR	NR
Condutividade e Elétrica	µScm ⁻¹	800 – 1200 ⁽¹⁾	-	-	41	NR

⁽¹⁾US EPA (2004); ⁽²⁾Metcalf & Eddy (2003); ⁽³⁾FINEP/PROSAB (2006). * A média da caracterização na UPC foi maior que a média da água bruta na entrada da UPT.**valores referentes à água pluvial tratada. NR = não realizado.

Verificou-se o atendimento às recomendações de US EPA (2004), Metcalf & Eddy (2003) e PROSAB (2006) para os usos não potáveis em que pode ser aproveitada a água pluvial.

Desempenho da Unidade de Tratamento

A utilização de filtros lentos é recomendada para o tratamento de águas superficiais com turbidez até 10 UNT. A água pluvial caracterizada na UPC apresentou valores bem abaixo deste limite (2,3 UNT em média) e a água bruta na entrada da UPT valores ainda menores (0,79 UNT em média).

Helmreich e Horn (2009) afirmam que a eficiência dos filtros lentos é voltada preferencialmente para a remoção microbiológica, como de fato evidenciou-se neste estudo, deixando a desejar na remoção de turbidez. No presente caso houve aumento de turbidez com a passagem da água bruta pelos filtros, porém, com melhoria da qualidade microbiológica. A água bruta recolhida do telhado apresentou, na maioria das observações, valores menores que 1,0 UNT (média = 0,79; desvio padrão = 0,23; variância = 0,05), fato que influenciou diretamente o funcionamento dos filtros lentos, que acabaram por incrementar turbidez às amostras, como apresentado na Figura 13. Este incremento de turbidez pode ser atribuído às impurezas dos grãos de areia que compõem o leito filtrante.

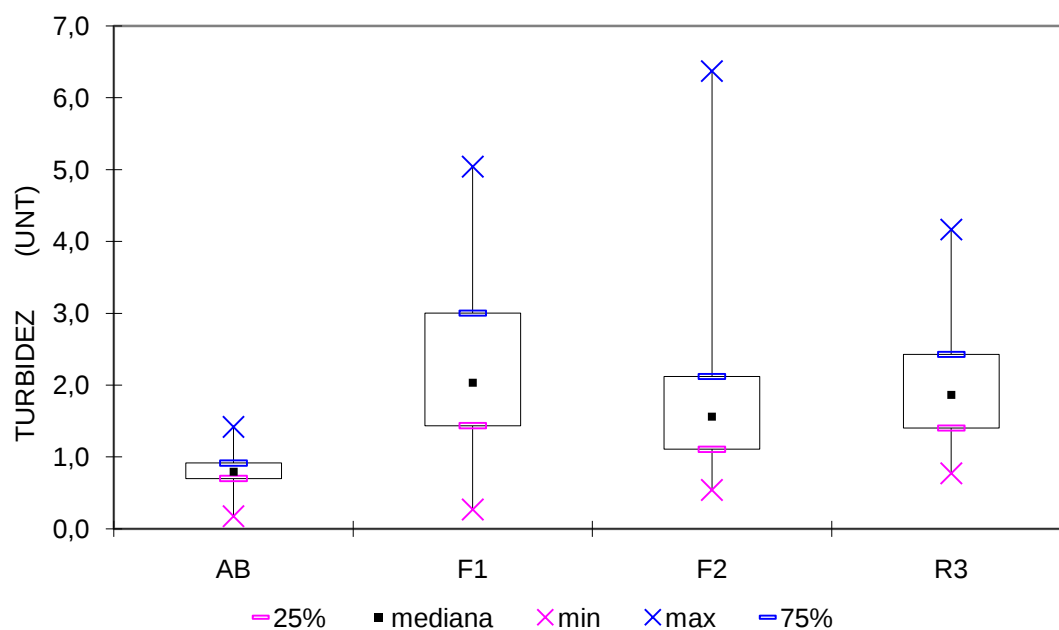
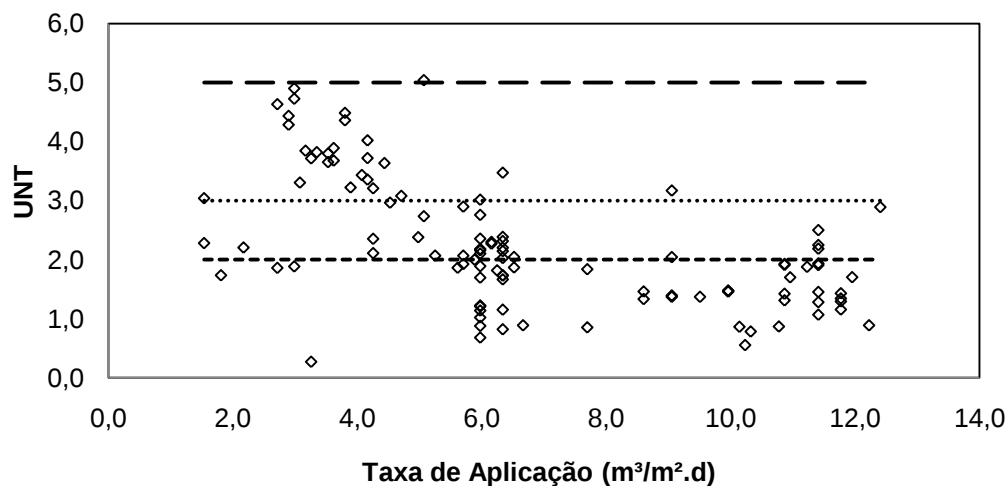


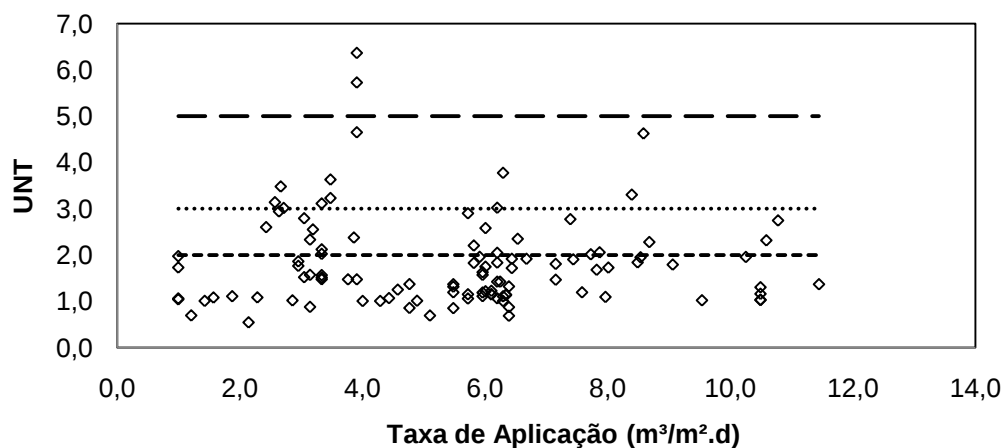
Figura 13. Remoção da turbidez na UPT.

Estatisticamente, ao nível de 5% de significância para o teste Tukey (após proceder-se a ANOVA), houve diferença significativa apenas entre a turbidez da água bruta e a turbidez na saída do filtro 01, sendo maior o valor no filtro. Os demais pontos não apresentaram diferença estatística significativa entre si, inclusive na comparação entre água bruta e tratada.

As Figura 14 (a) e (b) apresentam a variação da turbidez em função da taxa de aplicação para os filtros 01 e 02, respectivamente, nos quais não foi possível identificar uma taxa de filtração ótima que resultasse em valores menores de turbidez na água filtrada. As duas figuras apresentam ainda, para a turbidez, os valores de referência para reúso em irrigação, lavagem de pisos, torres de resfriamento e descarga em sanitários, conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada..**



(a) F1



----- Lavagem de Pisos e Irrigação
 Torre de Resfriamento
 — Descarga em Sanitários

(b) F2

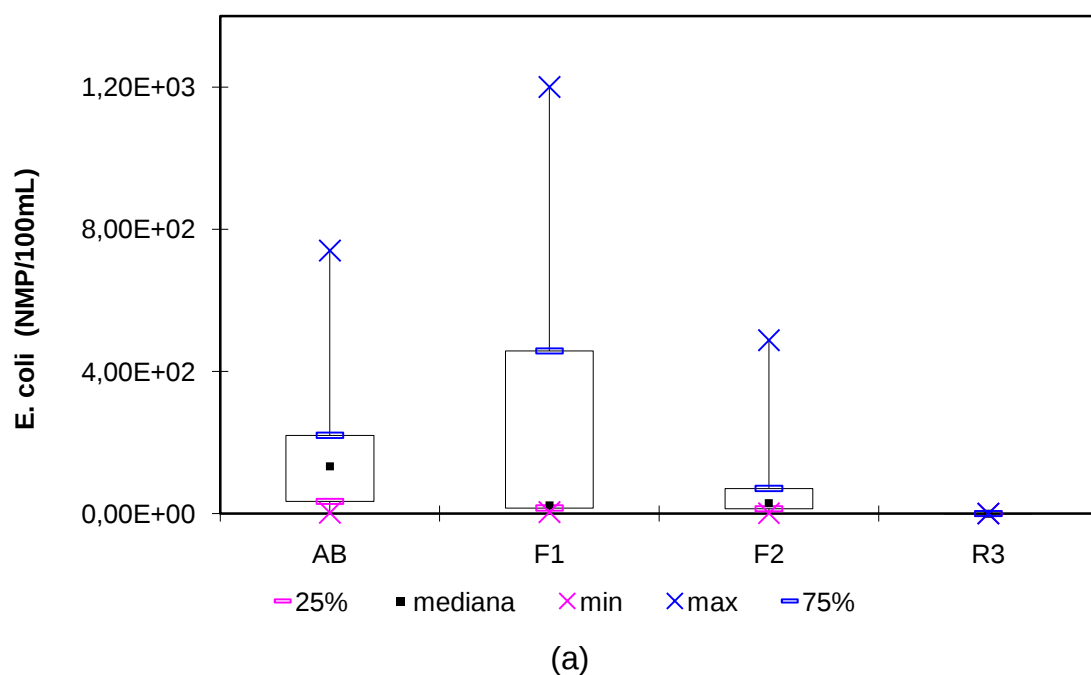
Figura 14. (a) Variação da turbidez em função da taxa de aplicação na saída no Filtros 1 (a) e Filtro 2(b).

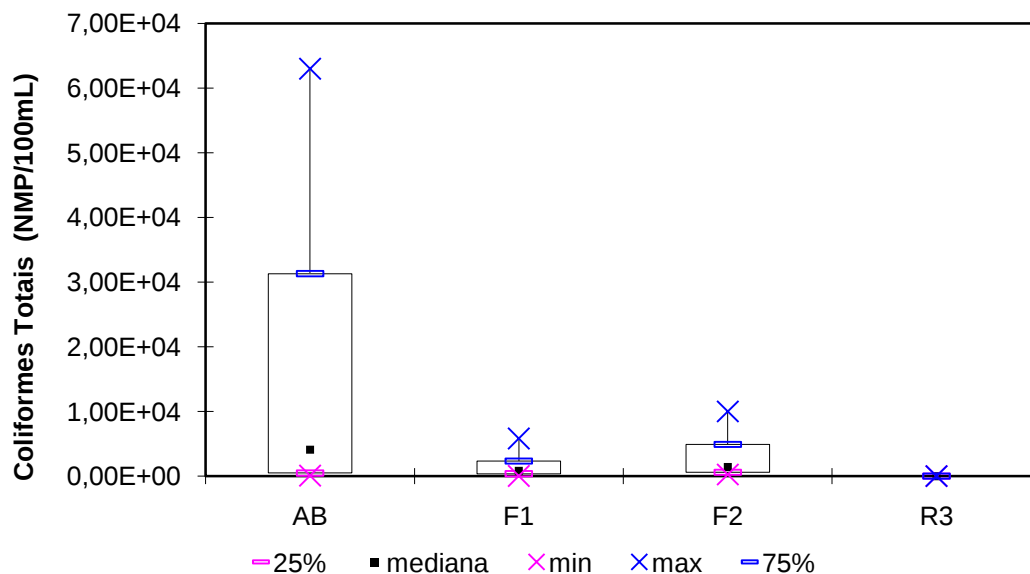
A água pluvial tratada apresentou-se de excelente qualidade para aproveitamento, conforme apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, em termos de pH, turbidez, dureza, SST, DQO e coliformes.

Em relação à turbidez, parâmetro que remete à qualidade microbiológica da água, 48% das amostras observadas estiveram dentro do limite de referência para reúso em irrigação e lavagem de pisos, 75% estiveram dentro do limite para reúso em torres de resfriamento e 99% dentro do limite para utilização em descarga de sanitários.

A baixa concentração de dureza encontrada na água de chuva, tanto na fase de caracterização quanto na fase de tratamento, apresenta-se como uma grande vantagem para sua utilização em torres de resfriamento pela baixa formação de incrustação nas tubulações.

Em termos microbiológicos, a utilização dos filtros mostrou-se como uma boa alternativa, tendo alcançado eficiência de remoção máxima de quatro unidades logarítmicas para coliformes totais e três unidades logarítmicas para *E. coli*, conforme apresentado nas Figura 15 (a) e (b). Não foram encontrados oocistos de *Cryptosporidium* em nenhuma das amostras analisadas.





(b)

Figura 15. (a) Remoção de *E. coli* na UPT. (b) Variação de Coliformes Totais na UPT.

O nível de cloro residual livre (CRL), apresentado na Figura 16, variou em função da vazão na saída do clorador e 81,25% dos valores registrados estiveram entre 0 e 2,0 mgCl.L⁻¹(valor recomendado para a água pós filtração). Destes valores, 23% estiveram abaixo de 0,5 mgCl.L⁻¹, valor residual mínimo recomendado pela legislação de potabilidade brasileira (BRASIL, 2005). Os valores de cloro residual foram comparados com os limites da legislação de potabilidade pela ausência de valores de referência para reúso.

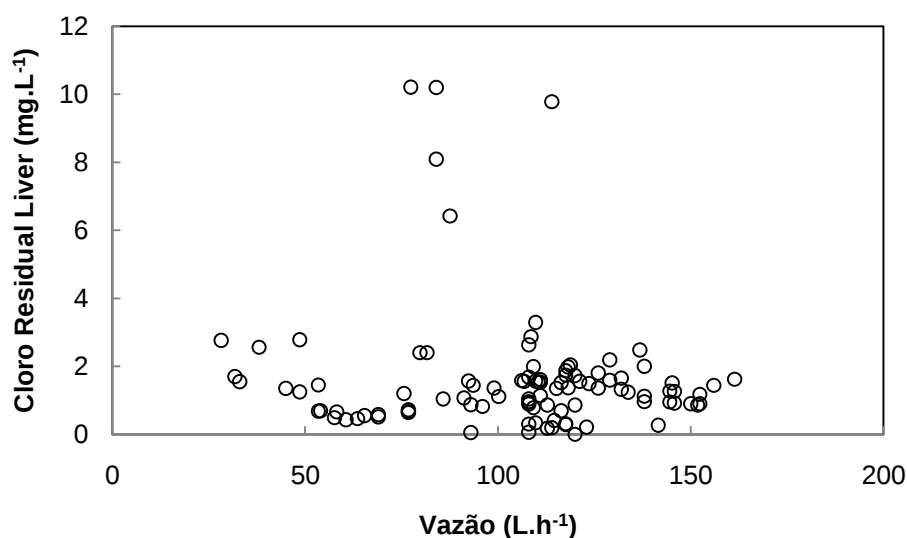


Figura 16. Distribuição do cloro residual livre em função da vazão durante as horas de monitoramento.

Potencial de aproveitamento de água de chuva e custos de tratamento

O estudo do potencial de atendimento à demanda pela água pluvial proveniente da captação em telhados mostrou que nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, correspondentes ao período de chuvas na região do AITN, a porcentagem de atendimento à demanda excedeu 100%, ou seja, nesses meses há possibilidade de reservar água para suprir a demanda atual e parte da demanda nos meses seguintes. Em janeiro, por exemplo, o atendimento à demanda atingiu 186%. Nos demais meses (período de estiagem) a porcentagem de atendimento não atinge 100% indicando que parte da demanda não será atendida apenas com a água precipitada no relativo mês. Ressalta-se que em julho o volume coletável não corresponde nem a 5% da demanda e em agosto, menos de 10%. A Figura 17 apresenta o volume mensal médio precipitado, a demanda mensal não potável e a porcentagem de atendimento mensal do AITN.

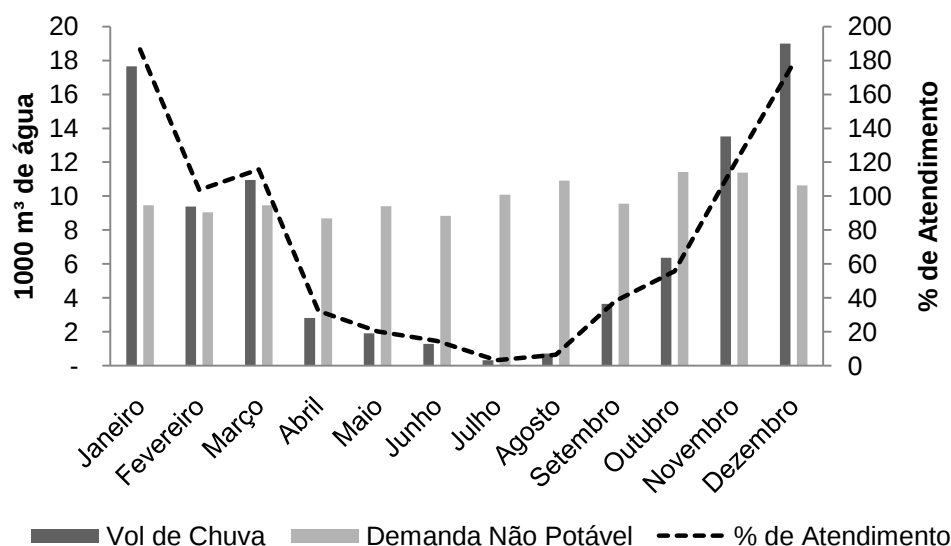


Figura 17. Volume precipitado, demanda não potável e porcentagem de atendimento mensal médio do AITN.

Este cenário de aproveitamento foi calculado a partir da utilização apenas das áreas de telhado existentes no aeroporto, sem considerar a água passível de coleta no sistema de drenagem que escoar pelas pistas e pátios. O aeroporto possui 80.000 m² de área pavimentada, incluindo as pistas e pátios para aeronaves. A água que escoar sobre essas superfícies é drenada para quatro canais principais que podem ser utilizados como pontos de instalação de SAAP para aproveitamento deste potencial.

Para a análise econômica elaborou-se o seguinte cenário: a UPT possui capacidade instalada de fornecer 11.000 litros de água tratada/mês e ficará cheia durante todo o ano, ou seja, todo mês o sistema de bombeamento será responsável por recalcar 11 m³ de água (367 L/d). A bomba, trabalhando com vazão de 1100 L/h, funcionará durante 20 minutos por dia (10 h/mês) para atingir os 11 m³ no fim do mês. A bomba possui potência de 380 W e, portanto, representa um consumo de 3,80 kWh a cada mês. A tarifa paga pelo aeroporto à concessionária é de R\$ 0,34/kWh, deste modo, cada bomba do sistema representará um adicional mensal de R\$ 1,20 na conta de energia. Os custos de implantação deste sistema de aproveitamento são de R\$ 9.600,00.

Os resultados do ensaio de desgaste da pastilha de cloro foram ajustados a uma equação linear através do *software R*[®], conforme apresentado na Figura 18. Os coeficientes ajustados foram significativos ($P < 0,0001$) e a equação apresentou bom ajuste ($R^2 = 0,96$). Pelo ajuste estabelecido, a metade da pastilha testada foi totalmente consumida no quinto dia de ensaio. Nestas condições, gasta-se uma pastilha a cada 10 dias. O preço de mercado está na faixa de R\$ 6,00 por pastilha. Deste modo seriam necessárias 3 pastilhas por mês, com um custo total de R\$ 18,00 por mês.

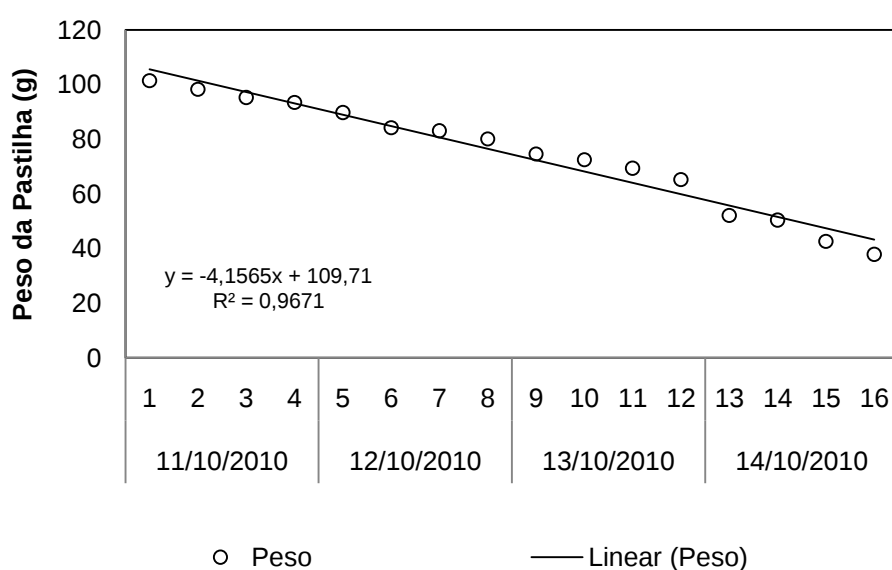


Figura 18. Ajuste para o ensaio do desgaste da pastilha de cloro.

O custo operacional total da UPT é de aproximadamente R\$ 20,40 por mês, ou seja, R\$ 1,90 por m³ de água pluvial tratada, valor 60% menor que a atual tarifa paga à companhia de abastecimento. A economia mensal de água gerada pela unidade (R\$ 31,80) é maior que seu custo operacional tornando-a auto-suficiente em termos econômicos.

Economia de Água

De posse da demanda não potável anual do aeroporto estimou-se a economia de água obtida pela sua substituição por água pluvial tratada captada dos telhados. A demanda hídrica mensal média do AITN é de 15.200 m³, dos quais 9.880 m³ (65%) podem ser supridos com água pluvial. Estima-se que cerca de 87.000 m³ de água pluvial proveniente dos telhados podem ser aproveitadas anualmente, volume suficiente para atender 70% da demanda de água para fins não potáveis do aeroporto. Atualmente paga-se R\$ 4,70 por metro cúbico de água tratada, desta forma a utilização do potencial pluvial resultante do aproveitamento dos telhados do aeroporto geraria uma economia em torno de R\$ 240.000,00 por ano.

CONCLUSÕES

O aproveitamento do potencial pluvial total proveniente dos telhados do AITN, cerca de 87.000 m³/ano, é capaz de promover economia anual de R\$ 240.000,00 e substituição de mais de 70% de toda demanda não potável do aeroporto com água 60% mais barata que a água fornecida pela companhia de saneamento.

A água captada do telhado apresentou qualidade satisfatória, podendo ser tratada por sistema simplificado através de filtração lenta seguida por cloração, para utilização em fins não potáveis como o uso em torres de resfriamento, lavagens de pisos, equipamentos e aeronaves, teste de bombeiros, canteiro de obras e irrigação de áreas verdes. Em relação à remoção microbiológica, o tratamento empregado foi eficiente, não sendo encontrados *E. coli* nem oocistos de *Cryptosporidium* em nenhuma amostra de água tratada. A qualidade da água bruta coletada dos telhados pode eliminar a necessidade da filtração lenta. Neste caso se introduz no processo de tratamento o descarte do *first flush* seguido de cloração, sendo necessário, para isso, estudos específicos. No entanto, a água tratada pelo SAAP apresentou qualidade potável, possibilitando sua utilização para os fins previstos neste estudo.

Para melhor avaliar o potencial do aeroporto, visando à instalação de unidades de aproveitamento de água pluvial, sugere-se que esta seja feita individualmente por setor de consumo, através da análise do tamanho do telhado disponível e da demanda existente. Esta é uma abordagem mais interessante para dimensionamento adequado dos reservatórios, bem como para elaboração de soluções otimizadas de armazenamento a fim de melhorar o custo benefício.

A água utilizada no complexo aeroportuário é extraída de poços tubulares subterrâneos e possui custo de R\$ 4,70/m³, já a água pluvial através do tratamento proposto apresenta custo de R\$ 1,90/m³. Desta forma, o investimento em um sistema de aproveitamento da água pluvial mostra-se viável economicamente, diminui o consumo de água potável, reduz custos associados ao abastecimento do aeroporto, além de contribuir para a preservação dos recursos hídricos da região.

O sistema aqui apresentado é perfeitamente adaptável em qualquer ambiente aeroportuário desde que avaliadas as áreas de telhado disponíveis, o potencial pluvial e a demanda a ser suprida.

Embora a prática da utilização do potencial pluvial seja crescente em nível mundial, as iniciativas para seu efetivo aproveitamento ainda são incipientes e merecem maior atenção. A falta de interesse em instalar-se SAAP deriva, principalmente, de fatores econômicos onde o baixo custo da água potável prejudica a relação custo/benefício dos sistemas. A permissão de utilização da água pluvial para atendimento de demandas potáveis, desde que garantida a qualidade, é um fator que pode contribuir para a melhoria desta relação e viabilização dos sistemas de aproveitamento. Outro fator importante de ser considerado é a flexibilização dos padrões de reúso para outras atividades de modo a incentivar o aproveitamento.

No AITN o baixo preço cobrado pela água potável deriva de sua origem subterrânea e, nesse caso, da não observação dos custos econômicos e ambientais associados principalmente ao sistema de bombeamento e à

utilização dos recursos hídricos subterrâneos de uma região cárstica. O tratamento aqui abordado mostrou-se, entretanto, economicamente viável, mesmo quando aplicado em um aeroporto onde o custo da água é relativamente baixo em comparação com outros aeroportos sob administração da INFRAERO.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRPORT COUNCIL INTERNACIONAL. Disponível em: http://www.aci.aero/cda/aci_common/display/main/aci_content07_banners.jsp?zn=aci&cp=1_725_2 Acesso em: agosto. 2010.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th edition, Washington. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. São Paulo, 2007. 11 p.

BASINGER M., MONTALTO F., LALL U. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. ***Journal of Hydrology***, Vol 392, Páginas 105-118. 2010. Acesso em: 09/12/2010.

BAUER R. Removal of bacterial fecal indicators, coliphages and enteric adenoviruses from waters with high fecal pollution by slow sand filtration. ***Water Research***, Vol 4. P 439-452. 2011. Acesso: 20/01/2011.

BRASIL. Portaria n.º 518/2004 / Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_518_2004.pdf > Acesso 20/01/2011.

BRASIL. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Tratamento e utilização de esgotos sanitários. FINEP/PROSAB 4 Tema 2, Rio de Janeiro, 427p., 2006.

BRASIL. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro. 2006. Acesso: 10/06/2010.

COSCH - USO RACIONAL DA ÁGUA. Aeroporto Santos Dummont. Disponível em: <<http://www.cosch.com.br/cases/aeroporto/>> Acesso: 17/05/2010.

DOMÈNECH L., SAURÍ D. A comparative appraisal of the use of rooftop rainwater in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. ***Journal of Cleaner Production***. 2010. Acesso: 03/12/2010.

DRYDEN H.T. Drinking water: Improving sand filter performance. ***Filtration & Separation***, Vol 44. Pags 22-25., 2009. Acesso: 03/01/2011.

FEWSTER E., A. MOL AND C. WIESSANT-B. The long term sustainability of household bio-sand filtration, in: PROCEEDINGS OF THE 30TH WEDC INTERNATIONAL CONFERENCE, VIENTIANE, Laos PDR, 2004, pp. 1–3.

HELLER, L. MARTINS VIEIRA M. B. C., ALVES BRITO L.L. SALVADOR P.D. Desempenho da filtração lenta em areia submetida a cargas de pico de oocistos de *cryptosporidium* SP, bactérias e sólidos: uma avaliação em instalação piloto. ***Engenharia Sanitária e Ambiental***. Vol 11. Pgs 27 -38. 2006. Acesso: 02/09/2010.

HELMREICH B., HORN H. Opportunities in rainwater harvesting. ***Desalination***, 245 Pgs 118-124. 2009. Acesso: 20/01/2011.

INFRAERO. **Sinal verde para obras de reforma e adequação do Aeroporto de Confins**. 26 mar. 2009. Disponível em: <<http://www.infraero.com.br>>. Acesso em: 12 mai. 2009.

JONES. M.P., HUNT. W.F. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. ***Resources, Conservation and Recycling***. Vol 54, Pages 623-629, August 2010. Acesso em 20/12/2010.

KARON AE., HANNI KD., MOHLE-BOETANI J.C., BERETTI R.A., HILL V.R., ARROWOOD M., JOHNSTON S.P., XIAO L., VUGIA D.J. Giardiasis outbreak at a camp after installation of a slow-sand filtration water-treatment system. ***Epidemiology and Infection***. Vol 29. Pgs 1-5. 2010. Acesso: 02/10/2010.

KERAITA, B., DRECHSEL, P., KONRADSEN, F., VREUGDENHIL, R.C. Potential of simple filters to improve microbial quality of irrigation water used in urban vegetable farming in Ghana. ***Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/ Hazardous Substances Environmental Engineering*** . Vol 43, Pgs 749–755.2008. > Acesso 05/09/2010.

LI Z., BOYLE F., REYNOLDS A., Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. ***Desalination***, Desalination, Vol 260, Issues 1-3, 30 September 2010, Páginas 1-8. Acesso em 08 de Nov. 2010 20:15.

MENDEZ C.B, KLENZENDORF J.B., AFSHAR B.R., SIMMONS M.T., BARRETT M.E., KINNEY K.A., KIRISITS M.J. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. ***Water Research***. In Press, Corrected Proof, Available online. 2010. Acesso: 02/02/2011.

GEROGE T., FRANKLIN L., BURTON H., DAVID S. **Wasterwater Engineering: Treatment and Reuse**. METCALF & EDDY, INC. Editora Higher Education.1848pgs. Quarta edição. 2003.

MIERZA, J. C; HESPANHOL, I.; SILVA, M. C. C; RODRIGUES, L. D. B. Águas Pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. ***Revista de Gestão de Águas da América Latina***, v. 4, p. 29-37, 2007. Acesso: 05/01/2011.

MORUZZI R.B., CARVALHO G.S., OLIVEIRA S.C., Aplicação do conceito do balanço de vazões no dimensionamento de reservatório de água pluvial para residências unifamiliares: viabilidade e aprimoramento metodológico. ***Revista Ambiente Construído***. 2008. Acesso: 05/01/2011.

SILVA, G. **Aproveitamento de água de chuva em um prédio industrial e numa escola pública – estudo de caso**. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, SP. 145 pgs, 2008.

SZEWZYK, R., SZEWZYK, U., ***Personal Communication***. Regine Szewzyk, Umweltbundesamt, Berlin. regine.szewzyk@uba.de. Ulrich Szewzyk. Technical University, Berlin. www.tu-berlin.de. 2009. Acesso: 04/09/2010

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Editora Navegar, 2009.

USEPA. **Guidelines for Water Reuse**. 2004. Disponível em: <www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r04108/625r04108.pdf> Acesso: 05/09/2010.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cenário de consumo e gestão das águas nos aeroportos brasileiros necessita de maior atenção inclusive na implementação de medidas efetivas, ainda incipientes, que visem à proteção dos recursos hídricos.

A qualidade da água pluvial captada nos telhados do AITN foi excelente e necessitou de tratamento simplificado para atender aos requisitos de reúso propostos, inclusive os mais exigentes, como as torres de resfriamento. A filtração lenta seguida de desinfecção por cloração mostrou-se atrativa e viável economicamente, além de eficiente e confiável.

A adoção de reservatórios descentralizados dimensionados a partir da análise da demanda, análise do perfil de consumo do empreendimento, distribuição espacial das demandas e dos telhados, divisão em setores de consumo e análise de custo apresenta-se como uma metodologia funcional e de fácil replicação em qualquer ambiente aeroportuário, mostrando-se uma ferramenta importante na busca por uma melhor gestão das águas nos aeroportos do Brasil.

À luz dos fatos expostos no presente trabalho é possível concluir que o AITN apresenta-se como um ambiente facilitador à instalação de SAAP, levando a crer que também sejam os demais complexos aeroportuários espalhados pelo país. Desta forma o potencial de aproveitamento de água pluvial em aeroportos torna-se uma fonte expressiva no âmbito da conservação dos recursos hídricos a nível nacional e a instalação de SAAP é recomendada.