

# Aproveitamento de águas pluviais: uma análise para o caso do Parque de Material Aeronáutico do Galeão<sup>1</sup>

Rainwater harvesting: an analysis for the case of the Aeronautical Material Park of Galeão

Aprovechamiento de aguas pluviales: un análisis para el caso del Parque de Material Aeronáutico de Galeão

1º Ten Eng Mayara Condé Rocha Murça  
Mestranda em Engenharia de Infraestrutura Aeroespacial  
Instituto Tecnológico da Aeronáutica - ITA  
Divisão de Engenharia Civil - IEI  
São José dos Campos/SP - Brasil  
mayara@ita.br

Maj Eng Marcio Antonio da Silva Pimentel  
Doutor em Engenharia Química pela PEQ/COPPE/UFRJ e em Geomateriais pela UNIVERSITÉ PARIS-EST  
Instituto Tecnológico da Aeronáutica - ITA  
Divisão de Engenharia Civil - IEI  
São José dos Campos/SP - Brasil  
pimentel@ita.br

Marcelo De Julio  
Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela USP/São Carlos  
Instituto Tecnológico da Aeronáutica - ITA  
Divisão de Engenharia Civil - IEI  
São José dos Campos/SP - Brasil  
dejulio@ita.br

## RESUMO

Este trabalho objetiva desenvolver uma metodologia de avaliação do potencial de aproveitamento de águas pluviais das instalações militares do Comando da Aeronáutica. A partir do estudo de caso do Parque de Material Aeronáutico do Galeão, foi possível discutir a eficiência do pré-tratamento na melhoria de qualidade da água de chuva, criar parâmetros de projeto, aprimorar técnicas de dimensionamento e analisar a viabilidade técnico-econômica do aproveitamento de águas pluviais nessa organização militar. Assim, espera-se que a metodologia apresentada sirva de subsídio para a evolução de projetos nessa área, contribuindo para o amadurecimento de uma mentalidade sustentável e para a redução de gastos da União.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de águas pluviais. Comando da Aeronáutica. Sustentável. Qualidade da água.

Recebido / Received / Recebido  
11/07/12

Aceito / Accepted / Acepto  
14/11/12

<sup>1</sup> O presente artigo é a síntese de trabalho premiado pela Lâurea Lacaz Neto, como melhor trabalho de graduação do ITA (ano 2011).

## ABSTRACT

*This work intends to develop a methodology to evaluate the potential of rainwater harvesting in the context of Aeronautics Command plants. From the case study of the Aeronautical Material Park of Galeão, it was possible to discuss the efficiency of pretreatment in improving the rainwater quality, create design parameters, improve technical design and analyze the technical and economic feasibility of rainwater harvesting in this military organization. Thus, it is expected that this methodology will serve as input for the development of projects in this area, enabling the achievement of a sustainable mindset and a reduction of Union expenses.*

**Keywords:** Rainwater harvesting. Aeronautics Command. Sustainable. Water quality.

## RESUMEN

*Este trabajo tiene como objetivo desarrollar una metodología de evaluación del potencial de aprovechamiento de aguas pluviales de las instalaciones militares del Comando de Aeronáutica. A partir del estudio de caso del Parque de Material Aeronáutico de Galeão, fue posible discutir la eficiencia del pretratamiento en la mejoría de cualidad del agua de lluvia, crear parámetros de proyecto, perfeccionar técnicas de establecer las dimensiones y analizar la viabilidad técnica y económica del aprovechamiento de aguas pluviales en esa organización militar. Así, se espera que la metodología presentada sirva de base para la evolución de proyectos en ese área, contribuyendo para la madurez de una mentalidad sostenible y para la reducción de gastos de la Unión.*

**Palabras-clave:** Aprovechamiento de aguas pluviales. Comando de Aeronáutica. Sostenibilidad. Calidad del agua.

---

## INTRODUÇÃO

O descompasso atual entre a evolução da demanda e da oferta do recurso natural de importância vital e econômica para a sociedade, a água, é uma das maiores ameaças ao futuro das gerações. Ao mesmo tempo em que o crescimento populacional e o desenvolvimento da indústria geram demandas crescentes de água potável, o desperdício, a poluição industrial, urbana e agrícola e a escassez de saneamento são alguns dos fatores que acarretam a degradação dos corpos hídricos e, conseqüentemente, a redução da oferta de água de boa qualidade. Assim, verifica-se que uma mentalidade sustentável, voltada para a proteção dos recursos hídricos, deve ser adotada com urgência por toda a sociedade.

Para que efetivamente possa ser empregado um modelo de desenvolvimento sustentável, devem ser implementados conceitos de uso racional da água em duas direções: gestão da demanda e gestão da oferta. No que tange à gestão da demanda, as ações devem envolver a otimização do consumo e a redução do desperdício através da utilização de aparelhos hidráulicos mais eficientes, medição individualizada, entre outros. Por outro lado, no que diz respeito à gestão da oferta, pode-se falar do controle de qualidade e do aproveitamento de fontes alternativas, tais como a água pluvial e as águas cinzas.

O aproveitamento de águas pluviais não é um tema recente. Segundo Tomaz (2003), há exemplos clássicos que mostram que esse procedimento existe desde os primórdios da civilização, a saber: a Pedra Moabita, encontrada em uma região próxima a Israel e que continha gravações que sugeriam a captação de água pluvial, datando de 850 aC, e a Fortaleza dos Templários, na cidade de Tomar (Portugal), que foi construída em 1160 dC e era abastecida com água de chuva. No entanto, devido à preocupação global com a escassez dos recursos hídricos, esse tema passou a ganhar cada vez mais relevância no mundo científico. Atualmente, muitos países estão seriamente empenhados no desenvolvimento de pesquisas nessa área e na concessão de financiamentos para incentivar a construção de sistemas de captação de águas pluviais, como é o caso dos Estados Unidos, da Alemanha e do Japão.

No âmbito do Comando da Aeronáutica (COMAER), a grande quantidade de hangares e edificações com áreas de cobertura relevantes, existentes nas instalações militares por todo o país, revela um potencial animador para a implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais (MURÇA, 2011). Além disso, as próprias atividades

inerentes ao COMAER estendem o leque de opções de aplicabilidade desses sistemas, como: lavagem de pistas e pátios, lavagem de aeronaves e veículos, entre outros. Em consequência, é possível uma redução de gastos da União e a inserção de uma mentalidade voltada ao uso racional da água, integrando a Força Aérea Brasileira (FAB) ao desenvolvimento sustentável. Vê-se, então, que um estudo aprofundado sobre o aproveitamento de águas pluviais em instalações militares é indispensável para que projetos possam ser desenvolvidos nessa área futuramente.

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver um estudo de viabilidade técnica e econômica do aproveitamento de águas pluviais, aplicável a organizações do Comando da Aeronáutica, a partir do estudo de caso do Parque de Material Aeronáutico do Galeão. Para tal, foi necessário realizar um levantamento de dados nessa organização militar, analisar a qualidade da água pluvial com e sem pré-tratamento, desenvolver uma metodologia de projeto e, finalmente, analisar a viabilidade econômica do aproveitamento em comparação ao uso da água fornecida pela concessionária.

## **1 REVISÃO DA LITERATURA**

### **1.1 LEGISLAÇÃO VIGENTE**

Para a concepção de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em instalações do COMAER, o conhecimento sobre os aspectos legais que embasam tais projetos é imprescindível. No Brasil, diretrizes para o aproveitamento de água pluvial foram apresentadas pela primeira vez no Manual de Conservação e Reúso de Águas em Edificações (BRASIL; FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2005), que propõe uma metodologia para a implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e define padrões de qualidade em função de quatro classes de reúso da água. Apenas em 2007, foi publicada uma norma brasileira diretamente relacionada ao tema, a NBR 15527 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), que trata do aproveitamento de água de chuva proveniente do escoamento superficial em coberturas em áreas urbanas, exclusivamente para fins não potáveis.

A disseminação dos conceitos de gerenciamento eficiente dos recursos hídricos levou municípios e estados a instituírem leis específicas, com recomendações e/ou obrigatoriedades, no que diz respeito à captação de água pluvial, voltadas ao seu consumo e à minimização de enchentes, como é o caso de Rio de Janeiro, Curitiba, entre outros.

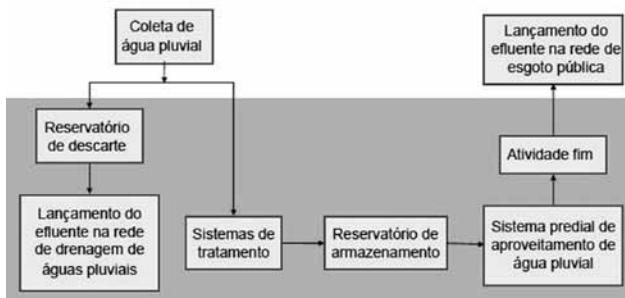
Finalmente, a Instrução Normativa nº 01 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, de 19 de janeiro de 2010 (BRASIL, 2010), representa um marco da internalização dos conceitos de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços e obras por parte dos órgãos e entidades da administração pública federal, já que os mesmos passaram a constituir uma exigência legal. Recentemente, o Decreto Federal nº 7.746, de 5 de junho de 2012 (BRASIL, 2012), complementa essa instrução, estabelecendo critérios, práticas e diretrizes para a promoção do desenvolvimento nacional sustentável nas contratações realizadas pela administração pública federal.

A discussão acerca do aproveitamento de água de chuva, para fins potáveis e não potáveis, também exige o conhecimento de outros instrumentos legais, como a Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011a), que trata do padrão de potabilidade da água, a NBR 12216 da ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), que estabelece diretrizes para o tratamento de água de abastecimento, e a Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – (BRASIL, 2005), que trata da classificação dos corpos d'água e das diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

### **1.2 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS**

Um sistema de aproveitamento de águas pluviais pode ser resumido conforme o esquema apresentado na Figura 1. A qualidade da água pluvial é um fator determinante para a especificação dos procedimentos necessários antes do aproveitamento dessa fonte alternativa. Ela resulta da incorporação de substâncias presentes na atmosfera quando da precipitação, bem como do escoamento superficial em coberturas e solos, variando, portanto, devido a uma série de fatores: localização geográfica, condições meteorológicas, tipo e ocupação do solo, intensidade e duração da precipitação, período entre precipitações consecutivas, tipo de material da cobertura, entre outros. Dependendo da qualidade

da água pluvial avaliada e da aplicabilidade desejada para a mesma, um determinado tipo de tratamento é requerido.



**Figura 1** – Esquema de um sistema de aproveitamento de águas pluviais

**Fonte:** Adaptado do Manual de Conservação e Reúso de Águas em Edificações (BRASIL; FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2005)

O descarte da precipitação inicial (*first flush*) é internacionalmente reconhecido como a primeira forma de redução da carga de contaminação em sistemas de aproveitamento de água pluviais (MARTINSON; THOMAS, 2005). Apesar disso, não há um acordo sobre qual o volume ótimo de escoamento inicial a ser descartado em virtude da variabilidade dos fatores intervenientes. A NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) recomenda, na falta de dados, o descarte de 2 mm do escoamento inicial. Martinson e Thomas (2005) recomendam valores que variam entre 0 e 8,5 mm, tendo em vista a turbidez média inicial e a turbidez desejada. Segundo a *American Rainwater Catchment Systems Association* (2009), devem ser adotados preferencialmente valores de 0,5 mm, 2,0 mm e 8,0 mm para locais com contaminação baixa, média e alta, respectivamente. Dessa forma, pode-se observar que a realização de análise experimental é a melhor opção para que se defina o *first flush* em um projeto.

Em geral, após o descarte da precipitação inicial, a água de chuva deve ser submetida a outros sistemas de tratamento para garantir o atendimento ao padrão de qualidade exigido para o aproveitamento, como mostra a Figura 1. A eficiência requerida para esse tratamento depende da qualidade da água após o descarte inicial, bem como da aplicabilidade desejada. May (2009) investigou a utilização de filtros de areia de alta taxa (sem coagulante) e desinfecção com hipoclorito de sódio para tratamento da água de chuva, obtendo redução de 62% de cor aparente, 75,7% de turbidez, 100% de coliformes totais e de coliformes termotolerantes, o que viabilizaria

o consumo para fins não potáveis de acordo com os requisitos da NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007). Murakami (2010) analisou o tratamento da água de chuva por meio de filtração direta com emprego de filtro de pressão e aplicação de solução de amido natural de milho como coagulante primário. Os resultados experimentais indicaram que, com o sistema implantado, foi possível reduzir o descarte do escoamento inicial em cerca de 85%, como também obter reduções médias de 30%, 54% e 30% para cor aparente, turbidez e coliformes termotolerantes, respectivamente. No entanto, nenhum parâmetro resultou em conformidade com a NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), revelando a necessidade de aprimorar o sistema, seja pela investigação de outras taxas de filtração ou de meios filtrantes, e de realizar a desinfecção. Assim, verifica-se que a análise experimental da eficiência do tratamento também deve ser realizada antes de sua implementação.

No que diz respeito à utilização da água de chuva para fins potáveis, tratamentos mais sofisticados são necessários, uma vez que é preciso atender ao padrão de potabilidade, conforme previsto na Portaria nº 2.914 (BRASIL, 2011a). Para isso, tornam-se necessárias análises laboratoriais mais complexas, com pesquisas de organismos patógenos, a fim de assegurar que a água de chuva aproveitada não causará riscos à saúde humana.

O projeto de um sistema de aproveitamento de águas pluviais não consiste apenas na determinação do sistema de tratamento via análise experimental, mas também no dimensionamento de toda a rede (calhas, condutores, reservatórios, sistemas de bombeamento e do sistema de tratamento em si). Esse dimensionamento afeta diretamente a viabilidade econômica do projeto e, por isso, a otimização sempre deve ser almejada. Em geral, o reservatório de armazenamento é o elemento mais caro do sistema em função de suas dimensões. Ao mesmo tempo, seus métodos de dimensionamento são empíricos e baseados em experiências internacionais, como aqueles citados pela NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007): Método Azevedo Neto, Método de Rippl, Método da Simulação, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês e Método Prático Australiano. Dessa forma, verifica-se a necessidade de desenvolvimento de ferramentas mais aprimoradas de dimensionamento que incluam técnicas de otimização.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para discutir o aproveitamento de águas pluviais no contexto das instalações do Comando da Aeronáutica, utilizou-se como estudo de caso o Parque de Material Aeronáutico do Galeão (PAMA-GL). Assim, o trabalho desenvolvido foi dividido em três etapas principais:

- levantamento de dados do PAMA-GL;
- caracterização da qualidade da água pluvial; e
- dimensionamento do sistema de aproveitamento.

O levantamento de dados do PAMA-GL teve como objetivo a obtenção de informações indispensáveis à análise. Primeiramente, foi realizado o levantamento do perfil de consumo de água dessa organização militar (OM). Por meio de dados da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE), no período de 2004 a 2010, foi possível obter o histórico de consumo de água potável. A análise da rotina no PAMA-GL permitiu identificar potenciais atividades consumidoras de água pluvial e balizar a previsão de consumo diário. Por sua vez, a análise do plano diretor e o levantamento das dimensões das edificações viabilizaram a definição do posicionamento do reservatório de águas pluviais e a escolha de edificações para o aproveitamento. Nesse último caso, utilizou-se a metodologia do Processo de Análise Hierárquica (SAATY, 1991). Finalmente, para a obtenção do histórico de precipitações, consultou-se o Banco de Dados Climatológicos do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), onde foi possível obter os dados diários de precipitação da Estação Meteorológica do Galeão no período de 2004 a 2010 (BRASIL, 2011b).

A caracterização da qualidade da água pluvial foi desenvolvida para cinco valores de *first flush* (0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 5,0 mm), com o objetivo de determinar parâmetros de projeto (volume de precipitação inicial a ser descartado e eficiência requerida para o pós-tratamento). Para isso, foi necessário definir o ponto de coleta de água pluvial, o método de coleta e as análises físico-químicas e microbiológicas. A definição do ponto de coleta foi feita com base nos resultados da avaliação do potencial de aproveitamento das edificações da OM e exigiu análise das plantas baixas das redes de água pluvial existentes e inspeções *in loco*. O desenvolvimento do método de coleta requereu a construção de um aparato experimental (pluviômetro e aparato para recolhimento da água) que viabilizasse a coleta para os respectivos valores de descarte de

escoamento inicial de precipitação. Assim, para cada dia de precipitação, amostras de água de chuva em escoamento na tubulação da caixa de areia (ponto de coleta) eram coletadas nos instantes em que a lâmina d'água atingia as marcações pré-definidas no pluviômetro, posicionado, previamente, em local aberto. Por fim, a armazenagem e a preservação das amostras foram realizadas de acordo com a NBR 9898 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987).

A determinação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos a serem analisados foi feita após extensa revisão bibliográfica sobre os parâmetros de qualidade da água e sobre a legislação vigente, considerados os objetivos do trabalho e a disponibilidade de laboratórios. Assim, foram realizadas as seguintes análises: turbidez, cor aparente, cor verdadeira, pH, cloreto, fluoreto, nitrato, sulfato, fosfato, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes totais e coliformes termotolerantes. Todos os ensaios foram realizados no laboratório do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental (DSSA) da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca (ENSP) – unidade técnico-científica da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) – e seguiram os procedimentos preconizados no manual *Standard methods for the examination of water and wastewater* (CLESCERI; GREENBERG; EATON, 1999).

Após o levantamento de dados e a caracterização da qualidade da água pluvial, foi realizado o dimensionamento dos elementos do sistema de aproveitamento de águas pluviais com o uso de métodos hidráulicos consagrados. Para o reservatório de acumulação, desenvolveu-se novo método de dimensionamento baseado na resolução de problemas de programação matemática para minimizar o custo no ciclo de vida por meio de ferramentas da pesquisa operacional (TAHA, 2008). Assim, foi desenvolvida uma planilha de dimensionamento, utilizando-se *Visual Basic for Applications* (VBA), em que, a partir de alguns parâmetros de entrada, pode-se obter o volume do reservatório que minimiza o valor presente da opção de captação de água de chuva. O detalhamento desse método é apresentado por Murça (2011) e Murça, De Julio e Pimentel (2011).

Por fim, como foi feita uma previsão de demanda de água de chuva, considerando o perfil de consumo de água do PAMA-GL, decidiu-se realizar uma análise de sensibilidade das métricas econômicas com relação à demanda. Considerando-se possíveis

cenários de aumento (25 e 50%) e redução (25 e 50%) de demanda ( $24,8 \text{ m}^3$ ) para o mesmo volume de reservatório obtido ( $199 \text{ m}^3$ ), foram calculados o valor presente do sistema de aproveitamento de águas pluviais, o valor presente da opção de utilização de água da concessionária, a economia anual com consumo de água potável e o *payback*.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DO PAMA-GL

Considerando as atividades potenciais de lavagem de aeronaves, descargas em bacias sanitárias e lavagem de peças, pátios e viaturas, obteve-se uma previsão de consumo diário de água pluvial de  $24,8 \text{ m}^3$  para o PAMA-GL após a quantificação do consumo de cada uma delas. No emprego da metodologia do Processo de Análise Hierárquica, foram escolhidas para o aproveitamento as edificações H001 e H003 (dois hangares de manutenção de aeronaves), mostradas na Figura 2. É válido observar que os atributos considerados no Processo de Análise Hierárquica

foram a área em planta da edificação (quanto maior a área, maior o volume de chuva aproveitável) e a distância da mesma em relação ao reservatório de águas pluviais (quanto menor a distância, menor o custo do sistema de aproveitamento). A Tabela 1 apresenta os resultados da análise do potencial de aproveitamento das edificações do PAMA-GL.

Como se pode observar, os hangares H001 e H003 obtiveram as maiores pontuações. O hangar H004 não foi mostrado na Figura 2, devido ao fato de o mesmo ainda não existir fisicamente, apenas em projeto. Cabe ressaltar ainda que, no caso do PAMA-GL, a escolha de duas edificações (H001 e H003) foi fundamental para atender à demanda estimada de água não potável e que, na maioria dos projetos de aproveitamento de águas pluviais, utiliza-se apenas uma edificação por questões patrimoniais. Portanto, o Processo de Análise Hierárquica foi essencial para o caso estudado, podendo ser estendido para a maior parte das organizações militares do COMAER, que possuem edificações extensas com consideráveis coberturas em grandes áreas patrimoniais.



**Figura 2:** Principais edificações do PAMA-GL.  
**Fonte:** Murça (2011).

**Tabela 1:** Resultado final da aplicação do Processo de Análise Hierárquica.

Edificação	Pontuação final
H 001	0,570
H 003	0,159
D 001	0,147
H 004	0,086
H 002	0,038

Fonte: Murça (2011).

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PLUVIAL

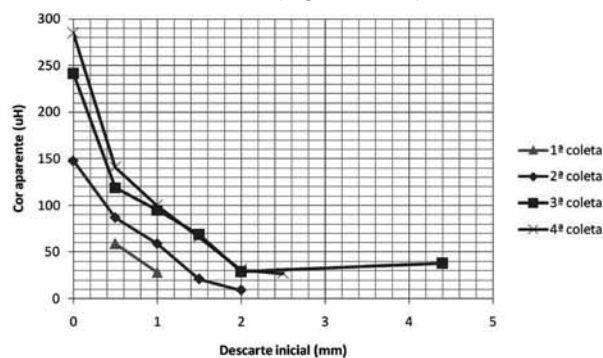
No que diz respeito à caracterização, foram realizadas quatro coletas de amostras de água de chuva nos meses de maio, junho e julho de 2011. Não foi possível obter amostras para o descarte de 5,0 mm, uma vez que, ao término da precipitação nos quatro dias considerados, foram atingidas apenas as seguintes alturas pluviométricas: 1,5 mm, 2,0 mm, 4,4 mm e 2,5 mm. Verificou-se que o descarte do escoamento inicial efetivamente contribuiu para a redução dos valores de turbidez e cor aparente, como mostram as Figuras 3 e 4, sobretudo nos primeiros milímetros (descarte inicial menor que 1,5 mm). Observou-se que, para descartes de 0,5 mm, 1,0 mm, 1,5 mm e 2,0 mm da precipitação inicial, foram obtidas as reduções médias de turbidez de 59%, 76%, 88% e 91% e reduções médias de cor aparente de 49%, 62%, 77% e 90%, respectivamente.

Essas reduções mostraram-se próximas ao que é encontrado na literatura da área. Por exemplo, Doyle e Shanahan (2010) obtiveram valores médios de redução de turbidez de 40% e de 73% para descartes de 0,5 mm e 1,0 mm, respectivamente, em um experimento com coletas de água pluvial proveniente de coberturas residenciais em Bisate, Ruanda, e propuseram a recomendação de 1 mm de *first flush* após três dias consecutivos sem chuva. Despins, Farahbakhsh e Leidl (2009) obtiveram diferenças nos valores finais de turbidez e de cor menores que 15% para a água de chuva tratada com filtração ou apenas com *first flush* de 1 mm em um experimento na cidade de Guelph, no Canadá.

Apesar de a literatura amplamente tratar o *first flush* como técnica efetiva para reduzir a carga de contaminantes da água de chuva, trabalhos que avaliem quantitativamente o efeito do descarte da precipitação inicial sobre a qualidade da água pluvial são raros. Pela análise do pH, observou-se que a água de chuva apresenta natureza ácida, revelando a necessidade de ser realizada correção de pH antes do seu aproveitamento. O *first flush* também contribuiu para a redução do teor de matéria orgânica e os valores de DBO obtidos podem ser considerados baixos, estando sempre inferiores a 10 mg/L.

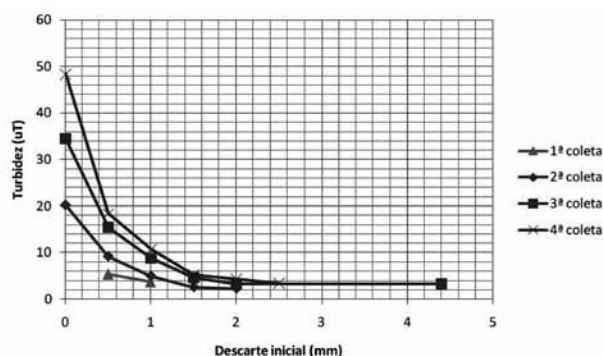
O comportamento dos parâmetros microbiológicos coliformes totais e coliformes termotolerantes mostrou-se bastante irregular, o que pode ser explicado pelo fato de a contaminação microbiológica ser muito sensível ao trajeto realizado pela água de chuva, desde o telhado até o ponto de coleta de amostras, e ao próprio método de coleta. Além disso, devido à presença de coliformes em quase todas as amostras e à necessidade de manutenção de cloro residual na água não potável, o tratamento da água pluvial deve incluir desinfecção.

Segundo o Relatório Anual da Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2009), o Parque de Material Aeronáutico do Galeão está localizado na sub-região III da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, que apresenta maior nível de poluição atmosférica do estado. O relatório afirma ainda que essa região possui a segunda maior concentração de fontes emissoras de poluentes do país e possui sérios problemas de poluição do ar. O relatório destaca que, no período de maio a setembro, devido à atuação dos sistemas de alta pressão que dominam a região, ocorrem com frequência situações de estagnação atmosférica, o que agrava os índices de poluição. Portanto, o período da coleta e a localização do PAMA-GL justificam a considerável redução de cor aparente e de turbidez em função do descarte inicial (Figuras 3 e 4).



**Figura 3:** Gráfico de cor aparente para cada descarte inicial considerado.

Fonte: Murça (2011).



**Figura 4:** Gráfico de turbidez para cada descarte inicial considerado.

Fonte: Murça (2011).

Considerando os resultados da caracterização, concluiu-se que, se adotado um descarte de 1,5 mm, faz-se necessário especificar um tratamento para reduzir a cor aparente em 78,2% e a turbidez em 61% para que o aproveitamento para fins não potáveis possa ser realizado, de acordo com a NBR 15527 da ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), já que a mesma preconiza valores menores que 15 uH e 2 uT. Se adotado um descarte de 2,0 mm, as reduções de cor aparente e de turbidez devem ser de 52% e 53%, respectivamente. Ainda, devem ser realizadas correção de pH e desinfecção. Cabe ressaltar também que os oxidantes normalmente usados para desinfecção (hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio) possuem caráter básico, ou seja, a introdução dos mesmos elevará o pH da água, reduzindo e podendo até eliminar a necessidade de correção de pH.

Por fim, concluiu-se que a água de chuva resultante do pré-tratamento de descarte inicial de 1,5 mm e 2,0 mm enquadra-se na classe B, de acordo com a NBR 12216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) e, com correção de pH, enquadra-se na classe 1, de acordo com a Resolução nº 357 (BRASIL, 2005), revelando um potencial animador para a realização do aproveitamento para fins potáveis. Esse potencial está relacionado ao fato de que o tratamento para potabilizar águas classe B deve ser composto por desinfecção, correção de pH e filtração e/ou decantação, sem necessidade de coagulação, e de que águas classe 1 podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, ou seja, também sem necessidade de coagulação.

### 3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA E AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Após a determinação das edificações para o aproveitamento e a realização da caracterização, foi possível projetar o sistema de aproveitamento de águas pluviais do PAMA-GL. Assim, foram dimensionados o reservatório de acumulação, o reservatório de autolimpeza (considerando um descarte de 1,5 mm), as calhas, os condutores verticais e horizontais, o sistema elevatório e as unidades de tratamento. O reservatório de acumulação foi dimensionado com o novo método proposto, que se baseia na minimização do custo no ciclo de vida do sistema, e obteve-se uma redução de 48%, 68%, 14% e 53% no valor presente da opção de captação de água de chuva quando comparado ao Método de Rippl, ao Método Azevedo Neto, ao Método Prático

Alemão e ao Método Prático Inglês, respectivamente. O reservatório de autolimpeza projetado foi do tipo reservatório provido de orifício para descarte do *first flush*, o qual é encaminhado para a rede de águas pluviais existente. As unidades de tratamento consistiram em filtros comerciais sob pressão e cloradores por contato para a realização da filtração e da desinfecção, respectivamente. É válido observar que foram analisados outros tipos de tratamento, como a filtração lenta e as mantas de geotêxtil, mas eles se mostraram menos atrativos econômica e/ou tecnicamente. Os demais elementos do sistema foram dimensionados de acordo com a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989).

Uma vez dimensionado o sistema, foi desenvolvida uma estimativa de custos considerando os relatórios de insumo e de serviços de setembro de 2011, para o estado do Rio de Janeiro, disponibilizados pela Caixa Econômica Federal (2011), conforme o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Assim, obteve-se que o valor presente do sistema de aproveitamento de águas pluviais ( $VPR_{\text{chuva}}$ ) do PAMA-GL é de R\$ 1.319.995,36 para um período de análise de 20 anos. É válido observar que esse valor engloba um custo anual estimado de operação e manutenção do sistema correspondente a 6% do custo do reservatório, conforme recomendado por Tomaz (2003). Apesar disso, deve-se ressaltar a importância da realização de estudos de tratabilidade para a determinação precisa dos custos de operação e manutenção.

Por outro lado, tem-se que o valor presente da opção de utilização de água da concessionária ( $VPR_{\text{concessionária}}$ ) para atender à demanda de projeto, considerando o mesmo período de análise, é de R\$ 1.414.819,77. Como esse valor é maior que o anterior, concluiu-se que o sistema de aproveitamento é viável economicamente. Cabe ressaltar que o processo de análise hierárquica e o método proposto de dimensionamento de reservatório foram relevantes na tomada de decisão a julgar pela pequena diferença encontrada entre os valores presentes (6,7%). Obteve-se também que o *payback* é de 3,7 anos e que a redução de consumo de água potável é de 4.718,19 m<sup>3</sup>, o que totaliza uma economia anual de R\$ 56.618,31 para um nível de confiança de 95%. Isso significa que, uma vez mantido o padrão histórico de precipitação, apenas em 5% dos casos a redução de consumo de água potável e a economia anual seriam menores que o esperado.



Por fim, os resultados de análise de sensibilidade das métricas econômicas com relação à demanda são apresentados na Tabela 2. Observa-se que a implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais é viável para todos os cenários analisados. O máximo *payback* obtido foi de 5,3 anos e, à medida que se aumentou a demanda, esse resultado foi diminuindo, tendendo a uma estabilização em torno de 3 anos, em virtude do limite de capacidade do reservatório. De fato, uma vez fixado o volume do reservatório, o *payback* tende a diminuir se a demanda de água potável aumenta, uma vez que o *overflow* positivo, resultante do balanço de massa para a demanda estimada, pode agora ser utilizado para suprir o incremento de demanda. É válido observar que o *payback* é obtido pelo quociente entre o custo de implantação do reservatório e o custo do volume de água da concessionária, substituída por água pluvial, e não considera, portanto, o suprimento de água potável necessário quando o reservatório de água pluvial não é capaz de atender à demanda projetada.

Por outro lado, como o volume do reservatório é finito, há um limite no total de água potável que pode ser substituído por água pluvial, o que justifica a tendência de estabilização do *payback* para níveis de demanda maiores. O menor *payback* de um sistema com reservatório com capacidade pré-estabelecida está associado, portanto, a um nível de *overflow* igual a zero. Para um entendimento aprofundado sobre o balanço de massa e sobre as métricas econômicas utilizadas no método proposto para o dimensionamento de reservatório de água pluvial, sugere-se consultar Murça (2011).

## CONCLUSÕES

O aproveitamento de águas pluviais insere-se no contexto sustentável do uso racional da água no que diz respeito à gestão da oferta e ao aproveitamento de fontes alternativas. As dimensões das edificações existentes nas organizações do Comando da Aeronáutica, bem

como as atividades inerentes ao meio militar, revelam um potencial animador para o aproveitamento de água pluvial, ação que contribui para o amadurecimento de uma mentalidade sustentável e para a redução de gastos da União.

Por meio do estudo de caso do PAMA-GL, foi possível estudar a viabilidade técnica e econômica do aproveitamento nessa organização e criar uma metodologia capaz de auxiliar a expansão de projetos nessa área. Por meio da caracterização da água pluvial, mostrou-se que a técnica do *first flush* é realmente eficiente como forma de pré-tratamento, uma vez que foi responsável por redução acentuada dos valores de turbidez, cor e DBO e que, se adotado um descarte de 1,5 mm de precipitação inicial, o aproveitamento para fins não potáveis pode ser realizado após tratamento que reduza a cor aparente em 78,2% e a turbidez em 61% e que promova correção de pH e desinfecção.

Os resultados indicaram ainda que a água de chuva analisada enquadra-se na classe B, de acordo com NBR 12216 da ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), e na classe 1, de acordo com a Resolução nº 357 do CONAMA (BRASIL, 2005), revelando potencial para o aproveitamento para fins potáveis. Contudo, ressalta-se a necessidade de serem efetuadas análises químicas complementares em sistemas de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis que estejam em funcionamento.

No que diz respeito ao dimensionamento do sistema, verificou-se que a aplicação da pesquisa operacional no dimensionamento do reservatório de acumulação permitiu a obtenção de volumes menores quando comparados aos métodos tradicionais, ampliando, assim, a viabilidade econômica do projeto. Por fim, concluiu-se que a implementação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais no PAMA-GL é viável economicamente para cinco cenários de demanda e que, utilizando-se a água de chuva para atividades como lavagem de aeronaves, peças, pátios e viaturas e descargas em bacias sanitárias, é possível uma redução significativa do consumo de água potável anual.

**Tabela 2:** Análise de sensibilidade das métricas econômicas em relação à demanda.

<b>Demanda</b>	<b>VPR<sub>CHUVA</sub> (R\$)</b>	<b>VPR<sub>CONCESSIONÁRIA</sub> (R\$)</b>	<b>Economia anual (R\$)</b>	<b>Payback (anos)</b>
<b>Estimada</b>	<b>1.319.995,36</b>	<b>1.414.819,77</b>	<b>56.618,31</b>	<b>3,7</b>
<b>50% menor</b>	<b>633.965,36</b>	<b>707.409,89</b>	<b>39.098,51</b>	<b>5,3</b>
<b>25% menor</b>	<b>924.605,89</b>	<b>1.061.114,84</b>	<b>48.757,36</b>	<b>4,2</b>
<b>25% maior</b>	<b>1.549.657,45</b>	<b>1.768.524,72</b>	<b>61.343,60</b>	<b>3,4</b>
<b>50% maior</b>	<b>1.881.478,65</b>	<b>2.122.229,67</b>	<b>64.684,99</b>	<b>3,2</b>

Fonte: Murça (2011).

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216**: projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro: 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898**: preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro: 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: 1989.
- BRASIL. Agência Nacional das Águas; FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Conservação e reúso da água em edificações**. São Paulo: ANA; FIESP; SINDUSCON-SP, 2005.
- AMERICAN RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS ASSOCIATION. **Rainwater catchment design and installation standards**. Austin: ARCSA, 2009. Disponível em: <[http://www.harvesth2o.com/adobe\\_files/ARCSA\\_Rainwater%20Code.pdf](http://www.harvesth2o.com/adobe_files/ARCSA_Rainwater%20Code.pdf)>. Acesso em: 28 mar. 2011.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 mar. 2005.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instrução Normativa nº 01, de 19 de janeiro de 2010. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 jan. 2010. Seção 1, p. 40-41.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011a.
- BRASIL. Instituto de Controle do Espaço Aéreo. **Dados climatológicos do aeroporto do Galeão**. São José dos Campos: ICEA, 2011b.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Decreto Federal nº 7.746, de 05 de junho de 2012. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 06 jun. 2012.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI**: índices da construção civil. Rio de Janeiro: CAIXA, 2011. Disponível em: <[http://www1.caixa.gov.br/gov/gov\\_social/municipal/programa\\_des\\_urbano/SINAPI/](http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programa_des_urbano/SINAPI/)>. Acesso em: 02 out. 2011.
- CLESCERI, L.; GREENBERG, A.; EATON, A. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. New York: American Water Works Association; American Public Health Association; Water Environment Federation, 1999.
- DESPINS, C.; FARAHBAKHS, K.; LEIDL, C. Assessment of rainwater quality from rainwater harvesting systems in Ontario, Canada. **Journal of Water Supply: Research and Technology: AQUA**, London, v. 58, n. 2, p. 117-134, 2009.
- DOYLE, K.; SHANAHAN, P. The impact of first flush removal on rainwater quality and rainwater harvesting systems' reliability in rural Rwanda. In: **WORLD ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES CONGRESS**, 2010, Providence, Rhode Island. **Anais...** Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2010.
- MARTINSON, D. B.; THOMAS, T. H. Quantifying the first flush phenomenon. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAIN WATER CATCHMENT SYSTEMS**, 12., 2005, Nova Deli. **Proceedings...** Warwick: International Rainwater Catchment Systems Association, 2005.
- MAY, S. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2009. 222 f. Tese (Doutorado)—Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- MURAKAMI, M. **Avaliação do desempenho de uma unidade em escala real para tratamento de água pluvial empregando a filtração rápida por meio de filtro de pressão e amido natural de milho como coagulante primário**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado)—Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.
- MURÇA, M. C. R. **Aproveitamento de águas pluviais em instalações militares do Comando da Aeronáutica: aplicação ao caso do PAMA-GL**. 2011. 138 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)—Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- MURÇA, M. C. R.; DE JULIO, M.; PIMENTEL, M. A. S. Novo método para dimensionamento de reservatórios em sistemas de aproveitamento de água de chuva: estudo de caso em uma instalação aeroportuária militar. In: SOUSA JÚNIOR, W. C.; RIBEIRO, E. N. **Uso eficiente de água em aeroportos**. São Carlos: RiMa, 2011, v. 1, p. 135-148.
- RIO DE JANEIRO (Estado). Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório anual da qualidade do ar do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: INEA, 2009.
- SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1991.
- TAHA, H. A. **Pesquisa operacional**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. 2. ed. São Paulo: Navegar, 2003.