

# Avaliação do aproveitamento de água pluvial para atendimento de uso não potável no Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos

*Rainwater harvesting evaluation for non-potable use at São Paulo International Airport/Guarulhos*

Rodrigo Braga Moruzzi<sup>1</sup>, Wilson Cabral de Sousa Júnior<sup>2</sup>, Jenner Arduino<sup>3</sup>, Marcelo de Julio<sup>4</sup>

## RESUMO

Foram avaliados diferentes aspectos relativos à demanda e à oferta de água pluvial para atendimento de usos não potáveis no Aeroporto Internacional de São Paulo (AISP), em Guarulhos. Para tal, estudaram-se diferentes estratos de demanda e definiram-se os usos pretendidos. Posteriormente, avaliaram-se a oferta e o volume do reservatório. Os resultados indicaram que a água pluvial pode suprir parcialmente (44%) o uso da Central de Água Gelada (CAG) do AISP. Na máxima demanda diária identificada (118 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>), os volumes de reservatório de 500 a 3.732 m<sup>3</sup> apresentaram eficiências da ordem de 60% e períodos de amortização entre 3,5 e 7,5 anos, no cenário de maior custo da água. Para o cenário de menor custo da água, os volumes de 500 a 1.700 m<sup>3</sup> apresentaram tempos de amortização de investimento da ordem de 7 a 10 anos, considerando ainda máxima demanda.

**Palavras-chave:** aproveitamento de água pluvial; método das eficiências; demanda; oferta.

## ABSTRACT

Different aspects related to rainwater demand and supplies for non-potable uses at São Paulo International Airport, in Guarulhos, Brazil were analyzed. For this, it was investigated different demand stratum and defined the intended uses. Subsequently, the supply and reservoir volume were evaluated. The daily balance for one year was evaluated for distinct scenarios, considering different arbitrated volumes and demands. The results indicated that rainwater could supply 44% of the airport's cold water central (air conditioning system) demand. Considering the maximum daily demand identified (118 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>) and the higher water cost scenario, reservoir volumes from 500 to 3,732 m<sup>3</sup> presented efficiencies close to 60% and payback between 3.5 and 7.5 years. For the lower water cost scenario, volumes from 500 to 1,700 m<sup>3</sup> showed payback between 7 and 10 years, also considering the maximum daily demand.

**Keywords:** rainwater harvesting; efficiencies method; demand; supply.

## INTRODUÇÃO

As atividades aeroportuárias, em função de suas características, exercem influência significativa sobre o ambiente em seu entorno. A movimentação de pessoas e o consumo de recursos naturais nos maiores aeroportos os tornam equivalentes a cidades de médio porte e incluem impactos socioambientais de modalidades diversas.

Alguns aeroportos respondem por importante parcela do consumo de água em suas localidades. Um caso ilustrativo neste sentido é o do Aeroporto Internacional Hartsfield-Jackson em Atlanta,

cujo movimento de passageiros e aeronaves é um dos maiores do mundo, com consumo de água atingindo cerca de 3.500 m<sup>3</sup>/dia. Este consumo torna o empreendimento um dos maiores usuários de água do estado da Geórgia, Estados Unidos, de acordo com Tharpe (2007).

Diante deste contexto, aeroportos de grande movimentação e localizados em regiões com menor disponibilidade hídrica, têm liderado iniciativas para a redução do consumo e diversificação de fontes de provimento de água. É o caso do Aeroporto Internacional de Brisbane,

<sup>1</sup>Doutor em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP). Professor Livre-Docente Adjunto-III da Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" (Unesp) - Rio Claro (SP), Brasil.

<sup>2</sup>Doutor em Economia pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Professor do Curso de Engenharia Civil do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) - São José dos Campos (SP), Brasil.

<sup>3</sup>Arquiteto e Urbanista pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC Campinas) - Campinas (SP), Brasil.

<sup>4</sup>Doutor em Engenharia Civil pela EESC-USP. Professor do Curso de Engenharia Civil do ITA - São José dos Campos (SP), Brasil.

**Endereço para correspondência:** Rodrigo Braga Moruzzi - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, Departamento de Planejamento Regional - Avenida 24 A, 1515 - Bela Vista - 13506-900 - Rio Claro (SP), Brasil - E-mail: rmoruzzi@rc.unesp.br

**Recebido:** 14/05/13 - **Aceito:** 26/08/15 - **Reg. Abes:** 117248

localidade que vivenciou na última década uma das maiores estiagens em uma série histórica de mais de 100 anos (BRISBANE AIRPORT, 2006).

Tais iniciativas incluem avanços em reuso de águas servidas, como reportam Qun *et al.* (2007), que empregaram biorreatores com membranas para tratamento de efluentes e adequação ao reuso, dentre as inúmeras possibilidades de aplicação de MBR. Mierzwa *et al.* (2006), nesta mesma linha, demonstraram o conceito de aproveitamento integral da água a partir do reuso e do ciclo fechado de uma planta de pesquisa nuclear, em um processo que denominaram “Efluente Zero”. Outras iniciativas avançadas para o uso racional da água são reportadas, ainda que de maneira não sistemática, para os aeroportos de Adelaide na Austrália, Beijing na China e Bruxelas, na Bélgica, dentre outros.

No caso brasileiro, o crescimento da economia na última década, e a consequente ampliação da classe média, tem projetado um aumento na demanda por transporte aéreo de passageiros e carga. Tal fato, que convertido em números, conforme apresentado por McKinsey e Company (2010), projetam um aumento da demanda por transporte aéreo no país de até três vezes a demanda atual, para 2030, demonstra o potencial impacto das atividades aeroportuárias sobre os recursos naturais, e em especial sobre a água. Nessa perspectiva, ao se incluir ainda os grandes eventos previstos como a Copa do Mundo de Futebol em 2014 e as Olimpíadas de 2016, a serem realizadas no Brasil, prevê-se a ampliação da infraestrutura aeroportuária existente e de novos projetos, de forma a atender a essa nova demanda pelos serviços.

Neste contexto, o caso do Aeroporto Internacional de São Paulo (AISP), em Guarulhos, é representativo do desafio da ampliação da infraestrutura em um cenário de maior escassez de recursos naturais.

O AISP está situado em uma área de 13.774.086,00 m<sup>2</sup>. Com dois Terminais de Passageiros (TPS), TPS1 e TPS2, atendeu no ano de 2009 mais de 20 milhões de passageiros. Há previsão de construção de um terceiro terminal e edifícios de apoio para ampliação da capacidade dos serviços prestados. O AISP é abastecido por uma rede própria de água potável suprida por poços artesianos, após desinfecção. Entre os anos 2000 a 2009 o AISP consumiu em média 644.186 metros cúbicos de água por ano, com uma clara tendência de crescimento do consumo nos últimos anos.

Portanto, dadas as restrições na oferta e as projeções de aumento da demanda, há que se analisar a inserção de fontes alternativas de provimento de água para o AISP, já no curto prazo. O aproveitamento de água pluvial se insere neste contexto como uma alternativa interessante para análise, sobre a qual se discorre no presente manuscrito, inicialmente submetido em 2011. Tal fonte contribuiria para a redução da pressão sobre o aquífero subterrâneo e o manancial superficial, ambos em acelerado grau de exploração na região.

Por outro lado, há que se otimizar o uso da água no AISP, de forma a reduzir o impacto da demanda. Embora tenham sido adotadas tecnologias de menor consumo ao longo do tempo, como é o caso de

torneiras e mictórios com acionamento eletrônico nos sanitários dos TPS, outras técnicas para uso eficiente da água devem ser incorporadas à gestão aeroportuária. A própria manutenção das tecnologias poupadoras de água é um dos pontos que merece atenção.

Uma análise compreensiva, envolvendo a oferta (aproveitamento de água pluvial) e a demanda (investimentos em uso eficiente da água) se coloca como um diferencial na gestão dos recursos hídricos, além da possibilidade de provimento de solução mais econômica para a infraestrutura aeroportuária, em especial o AISP.

Do ponto de vista específico do aproveitamento de água pluvial, o dimensionamento do reservatório é uma etapa crucial no projeto, visto que esse é um item de alto dispêndio relativamente aos demais e, dessa forma, determinante na viabilidade econômica. De acordo com a NBR 15527 da ABNT (2007), o volume do reservatório deve ser dimensionado de acordo com critérios técnicos, econômicos e ambientais, todavia podem ser utilizados outros métodos, desde que devidamente justificado.

Os métodos apresentados no anexo da NBR 15527 da ABNT (2007) são majoritariamente empíricos ou baseados em experiências internacionais. Dentre esses, o Método de Azevedo Neto, de Rippl e da Simulação são mais conhecidos. São citados ainda três outros métodos denominados práticos: Método Prático Alemão, Método Prático Inglês e Método Prático Australiano. Para os métodos não empíricos da referida norma, o balanço de massa e a equalização de vazão são usados. Alternativamente aos métodos descritos na norma, Moruzzi *et al.* (2012) estabeleceram uma análise racional para o dimensionamento baseada em eficiências de atendimento (*Ea*) e de aproveitamento (*Eh*), demanda de água pluvial e tempo de retorno do investimento (payback descontado).

De maneira a contribuir para este esforço analítico e operacional, este artigo teve como objetivo avaliar os diferentes aspectos relativos à demanda e à oferta de água pluvial para atendimento de usos não potáveis no Aeroporto Internacional de São Paulo (AISP), em Guarulhos.

## METODOLOGIA

A demanda de água no AISP foi obtida a partir de estimativas de consumo por setores de uso, em atividades onde não havia medição (dados obtidos junto à Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO). O consumo agregado em sanitários nos terminais de passageiros foi estimado a partir de medições (hidrometração remota) realizadas em um sanitário padrão localizado na área de embarque de voos internacionais (Terminal 2, ASA D), com divisão em banheiros masculino e feminino.

A oferta de água pluvial foi determinada por meio da análise dos dados pluviométricos da Estação Meteorológica de Superfície (EMS) de Guarulhos durante o período de 1978 a 2007 (HIDROAER, 2011).

O volume do reservatório foi determinado por meio da análise integrada da demanda, das eficiências do sistema e do tempo de amortização do investimento, conforme apresentado em Moruzzi *et al.* (2012). Para tal, foram simulados cenários contemplando diferentes demandas e custo da água. Um desenho esquemático de todo o sistema, com ênfase na cobertura, é apresentado na Figura 1.

Nos tópicos subsequentes são apresentados os métodos para avaliação da demanda, da oferta e da determinação do volume para armazenamento de água pluvial.

## Avaliação da demanda, seus estratos e uso pretendido

O diagnóstico da demanda de água no AISP envolveu o levantamento de dados de medições realizadas nos poços de abastecimento e estimativas setoriais com base em hidrômetros tipo Woltmann, velocimétricos e multijatos, com saída pulsada, instalados em um sanitário padrão do AISP localizado no saguão de embarque internacional (ASA D). A resolução de leitura foi de 0,1 pulso.L<sup>-1</sup> e a transmissão dos dados foi realizada a cada intervalo de 10 minutos. Os hidrômetros tinham vazão mínima de 0,10 L.s<sup>-1</sup> e máximas variando entre 0,30 e 6,70 L.s<sup>-1</sup>, conforme o tipo, e foram dimensionados considerando-se uma demanda máxima provável estimada pelo método da raiz quadrada, conforme a norma NBR 5626 (ABNT, 1998).

O ensaio de micromedição consistiu na instalação de hidrômetros de diagnóstico em um sanitário de acesso público no AISP, com

dois banheiros para adultos sendo um masculino e um feminino, dois banheiros para crianças, masculino e feminino, e ainda, dois banheiros para pessoas com necessidades especiais, masculino e feminino. Além disso, implantou-se uma pequena rede de monitoramento remoto para transmissão de dados de acionamentos das tecnologias poupadoras de água em teste, e contagem de usuários — por sensores de presença. O sanitário escolhido foi o de número 93 da planta aeroportuária, localizado no Terminal 2, ASA D, embarque internacional. Para a medição dos volumes consumidos nos ambientes monitorados foram utilizados hidrômetros tipo Woltmann, Velocimétricos ou Multijatos, de acordo com as características de cada ramal, todos com saída pulsada e registro em *dataloggers*. Os hidrômetros foram dimensionados considerando-se uma demanda máxima provável estimada pelo método da raiz quadrada, conforme NBR 5626 (ABNT, 1998). Foram instalados 13 hidrômetros, sendo um geral, para a medição do consumo total verificado no conjunto de ambientes sanitários em estudo e os demais para a medição do volume consumido por grupos de equipamentos sanitários.

Assim, a partir do consumo geral do AISP para o ano de 2009, e com base na estratificação e detalhamento do consumo setorial, estabeleceram-se demandas para algumas áreas do aeroporto com potencial para receber abastecimento a partir de sistemas de aproveitamento de água de pluvial. Considerando a utilização para fins não potáveis, conforme critérios apresentados no manual do Sinduscon-SP (2005), a Central de Água Gelada (CAG) e as bacias sanitárias foram os usos

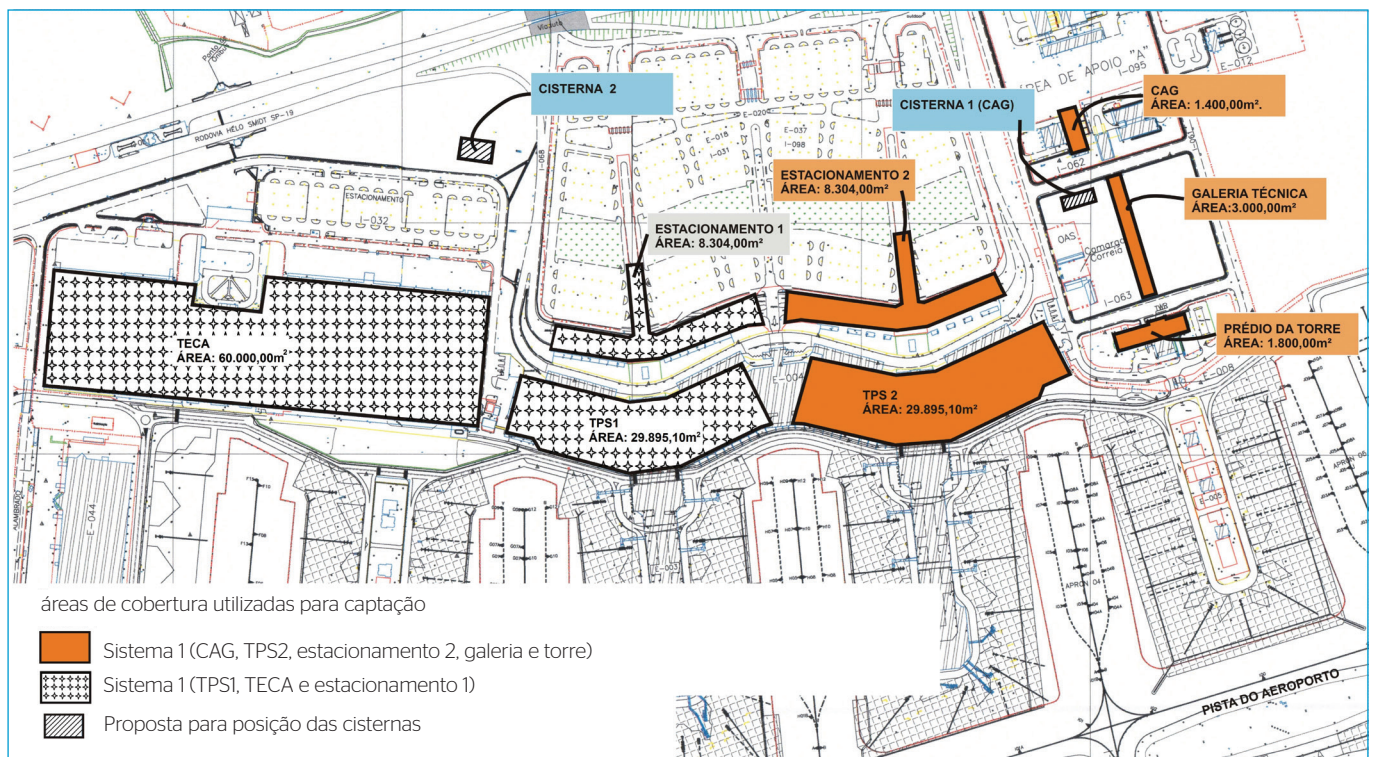


Figura 1 - Arranjo das coberturas e posição dos reservatórios (cisternas) de águas pluviais.

previamente selecionados por representarem um percentual significativo do consumo global.

## Avaliação da oferta e determinação do volume do reservatório

O primeiro passo para a avaliação da oferta da água pluvial foi a obtenção de dados consistidos, dentro do limite espacial representativo para a área de interesse e com histórico suficiente para gerar dados estatisticamente representativos da variação temporal das chuvas. Nesse caso, foram investigadas três estações climatológicas com dados pluviométricos diários, sendo uma fornecida pelo AISP e as outras duas disponíveis na base de dados da ANA (2011). Foi selecionada a estação que apresentou o melhor conjunto de dados para o objeto desse estudo, constituindo a menor distância espacial do ponto de interesse e registros de precipitações atmosféricas diárias consistidas com o maior histórico de registros disponíveis.

Para a Estação Meteorológica de Superfície (EMS) de Guarulhos foram analisados os dados diários e mensais e, para estes, calculadas as médias, os percentis (0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 0,95 e 0,99), os desvios padrão, os intervalos de confiança de 95% para a média e as distribuições dos quartis (0, 1, 2, 3 e 4, correspondendo ao menor valor, 25%, mediana, 75% e maior valor, respectivamente). As amplitudes semi-quartilicas e entre os percentis 10-90 ( $P_{90}-P_{10}$ ) e entre o máximo registro (extremo) e a mediana também foram analisadas.

Posteriormente, foi realizada a análise integrada das variáveis (eficiências, demandas e tempos de amortização) a partir da simulação para volumes iniciais presumidos. O método foi apresentado em Moruzzi et al. (2012), que afirma que a verificação isolada da eficiência de atendimento ( $Ea$ ) pode induzir a um falso resultado, uma vez que baixos valores de demanda apresentam altas eficiências de atendimento (Equação 3). Todavia, valores reduzidos de demanda proporcionam um baixo retorno do investimento, uma vez que os custos são amortizados pela economia de água tratada. Assim, foi proposto o índice denominado eficiência de aproveitamento ( $Eh$  na Equação 4), definida pela razão entre o volume aproveitado e o precipitado (Equação 2). Desta forma, a convergência entre os valores mencionados de eficiência (atendimento ( $Ea$ ) e aproveitamento ( $Eh$ )) ocorre para a maior demanda possível de ser atendida que, por sua vez, incorre em menor tempo de retorno do investimento. O balanço de massa foi aplicado para o cômputo das parcelas referentes aos volumes armazenados, disponibilizados e utilizados diariamente, aplicado ao período total de um ano, tempo no qual foi considerado o esvaziamento do tanque para manutenção (Equação 1). As Equações de 1 a 5 apresentam a sequência aplicada para cada formulação empregada.

Foram assumidas as seguintes hipóteses:

1. para cada simulação a demanda diária de água pluvial foi mantida constante;

2. entre simulações a máxima demanda avaliada foi sempre menor ou igual a disponibilidade, sendo para o extremo  $Ea=Eh$ ;
3. os reservatórios de volumes presumidos iniciaram o período simulado vazio ( $V_{(t=0)}=0$ );
4. a área de captação em telhado foi mantida fixa (44.399,1 m<sup>2</sup>) durante a análise, não prevendo ampliações futuras no sistema de captação;
5. o descarte da primeira chuva foi mantido fixo em 1 mm;
6. a eficiência do sistema de captação foi fixado em 80%;
7. o coeficiente de escoamento superficial adotado foi de 0,85, devido a característica da superfície de coleta;
8. o retorno do investimento foi avaliado pelo método *pay-back descontado* com base no custo estimado do sistema e no custo da água, referente ao benefício gerado pela economia de água tratada e/ou comprada de terceiros;
9. a taxa de juros para amortização do investimento foi mantida fixa em 7% (a.a).

Assim, considera-se que a demanda já é totalmente suprida pelo sistema público de abastecimento na condição inicial e, assim, o sistema de água pluvial pode apresentar falhas de fornecimento, as quais serão supridas pelo abastecimento convencional. Dessa forma, a maximização da demanda implica na redução do período de amortecimento do investimento.

Os custos estimados dos sistemas, utilizados para simulação do tempo de amortização do investimento, foram levantados com base em dados quantitativos e de execução a partir de tabelas de custos sintéticas para a região de São Paulo obtidas da PINI e SINAPI de junho e julho de 2010, respectivamente. A INFRAERO é uma estatal pública federal, portanto sujeita a Lei 8.666, de 21 de julho de 1993 que define as regras para os processos de licitações públicas. Assim, os custos levantados para construção dos sistemas estudados obedeceram às diretrizes para orçamentos de projetos para enfrentar o processo de licitação pública tendo por base as tabelas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil (SINAPI). Destaca-se que os custos foram estimados exclusivamente para reservatório, moldado *in loco*, pois os demais custos foram considerados comuns à implantação do sistema de aproveitamento. Ademais, tal item representa o item de maior dispêndio do sistema. Para determinar o custo do reservatório de água pluvial, consultou-se o Informativo SBC (2011), a fim de obter preços diferenciados de reservatórios de concreto armado de acordo com a capacidade. Tal decisão foi tomada devido a especificidade da metodologia de gerar como saída o volume do reservatório não disponíveis comercialmente.

A Equação 1 foi empregada no balanço  $dV/dt=I-O$  por meio da discretização para intervalo de 1 dia, onde  $dV/dt$  representa a taxa de acúmulo de água pluvial no reservatório e  $I$  e  $O$  correspondem a entrada e saída ( $L.T^{-1}$ ), respectivamente. A Equação 2, preconizada pela NBR



15527/07, relaciona a precipitação atmosférica com a área de coleta, o coeficiente de escoamento superficial, a eficiência do sistema de captação e o descarte da primeira chuva. As Equações 3 e 4, apresentadas em Moruzzi *et al.* (2012), definem as eficiências de atendimento ( $Ea$ ) e de aproveitamento ( $Eh$ ). A Equação 5 define a eficiência de atendimento pleno da demanda, ou seja da disponibilização total da demanda para um determinado tempo ( $i$ ). As Equações de 3 a 5 foram utilizadas em conjunto com as equações de balanço de massa diário na avaliação do volume do reservatório para 1 ano. Salienta-se que a definição do período de 1 ano decorre da necessidade de manutenção, e consequente esvaziamento do reservatório, tal como preconizado pela NBR 15527/07.

$$S_{(i)} = Vp_{(i)} + S_{(i-1)} - D_{(i)}; i = 1, 2, \dots, 365 \text{ dias} \quad (1)$$

$$Vp_{(i)} = (C \times P_{(i)} \times A \times \eta) - ff \quad (2)$$

$$Ea = \frac{\sum_{i=1}^{365} Va(i)}{\sum_{i=1}^{365} D(i)} \quad Va(i) = \begin{cases} D(i) & \text{se } Vp(i) + S(i-1) \geq D(i) \\ S(i-1) + Vp(i) & \text{se } 0 < S(i-1) + Vp(i) < D(i) \end{cases} \quad (3)$$

$$Eh = \frac{\sum_{i=1}^{365} Va(i)}{\sum_{i=1}^{365} Vp(i)} \quad \text{para } ff = 0 \quad (4)$$

$$Edt = \frac{\sum_{i=1}^{365} Va(i)}{\sum_{i=1}^{365} D(i)} \quad Va(i) = \begin{cases} D(i) & \text{se } Vp(i) + S(i-1) \geq D(i) \\ 0 & \text{se } 0 < S(i-1) + Vp(i) < D(i) \end{cases} \quad (5)$$

Em que:

$S_{(i)}, S_{(i-1)}$  = volume de água no reservatório (L);

$Vp_{(i)}$  = volume de água pluvial (L);

$D_{(i)}$  = demanda diária (L.dia<sup>-1</sup>);

$P_{(i)}$  = precipitação média (mm);

$A$  = área de captação (m<sup>2</sup>);

$C$  = coeficiente de escoamento superficial (-);

$\eta$  = eficiência do sistema de captação (-);

$ff$  = descarte da primeira chuva (mm);

$Va$  = volume aproveitado (L.dia<sup>-1</sup>);

$Ea$  = eficiência de atendimento (-);

$Eh$  = eficiência de aproveitamento (-);

$Edt$  = eficiência de atendimento pleno da demanda (-).

O valor da  $Edt$  não é inserido no cômputo da análise econômica, mas foi empregada para avaliação do atendimento pleno da demanda, caracterizada pela disponibilização total frente aos usos pretendidos.

A análise levou em consideração dois cenários de abastecimento para avaliação do tempo de amortização do investimento, a saber:

1. atual sistema, considerando abastecimento por caminhão pipa com custo de R\$ 14,99.m<sup>-3</sup>, e;
2. abastecimento por meio do Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Guarulhos, com custo estimado em R\$ 5,93.m<sup>-3</sup> (ano base 2010).

Com relação à área de captação, foram realizados a análise dos projetos de cobertura e o levantamento fotográfico (realizados no projeto HIDROAER, 2011). Os terminais de passageiros, a CAG, a galeria técnica e o prédio da torre, são cobertos com telhas cimentícias e lajes impermeabilizadas e os estacionamentos possuem coberturas metálicas. Com base nestas informações, e adotando-se os critérios de proximidade à unidade de demanda, tipo de cobertura e área disponível para captação, foram definidas as áreas de telhado passíveis de utilização.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No item subsequente são apresentados os resultados do levantamento da demanda, da avaliação dos estratos, das tendências de crescimento e da determinação do uso pretendido. Posteriormente, são apresentados os resultados referentes à avaliação da disponibilidade de água pluvial e a determinação do volume de reservação mais adequado.

### Resultados referentes à avaliação da demanda, seus estratos e uso pretendido

Na Tabela 1, são apresentadas informações sobre o consumo de água no AISP. Observa-se uma redução no consumo entre os anos de 2000 e 2003, tanto em termos agregados quanto em consumo *per capita*.

**Tabela 1** – Consumo de água no Aeroporto Internacional de São Paulo entre os anos de 2000-2009.

| Período (Ano) | Volume total de água consumida (m <sup>3</sup> ) | Número de Passageiros | Consumo de Água/Passageiro (L.pax <sup>-1</sup> ) |
|---------------|--|-----------------------|---|
| 2000          | 806.482  | 13.742.576            | 58,7  |
| 2001          | 602.646  | 13.111.947            | 46,0  |
| 2002          | 524.976  | 11.902.990            | 44,1  |
| 2003          | 445.722  | 11.581.034            | 38,5  |
| 2004          | 530.267  | 12.940.193            | 41,0  |
| 2005          | 599.519  | 15.834.797            | 37,9  |
| 2006          | 666.548  | 15.759.181            | 42,3  |
| 2007          | 655.042  | 18.795.596            | 34,9  |
| 2008          | 735.911  | 20.400.304            | 36,1  |
| 2009          | 874.750  | 21.725.578            | 40,3  |

Fonte: HIDROAER (2011).

Nota-se também um aumento de 96% na movimentação de passageiros a partir de 2003 até 2009, com consequente aumento no consumo de água. A tendência de crescimento permanece principalmente com a perspectiva de ampliação do AISP, em função do aumento do tráfego aéreo no país.

Na Figura 2, pode-se observar uma estimativa de estratificação do consumo de água por setores, avaliando-se o peso no consumo de cada área do aeroporto e, pontualmente, a maior demanda.

Conforme se pode observar na Figura 2, a Central de Água Gelada (CAG) e os sanitários dos terminais de passageiros (TPS) 1 e 2 são responsáveis, respectivamente, por cerca de 11% e 32% do consumo total de água no AISP. Dessa forma, a estratégia proposta consistiu em direcionar o aproveitamento de água pluvial para a CAG (Sistema 1). Outro sistema de aproveitamento de água pluvial — que utilizaria a infraestrutura do Terminal de Cargas (TECA) — poderia prover as instalações dos TPS, incluindo uso sanitário, não sendo, no entanto, objeto deste estudo.

Na Tabela 2 é apresentado o consumo integral do AISP no ano de 2009, incluindo a captação nos poços artesianos e o volume abastecido pelos caminhões pipa para suprir a demanda de consumo no período. A Tabela 3 apresenta o consumo da CAG em 2009.

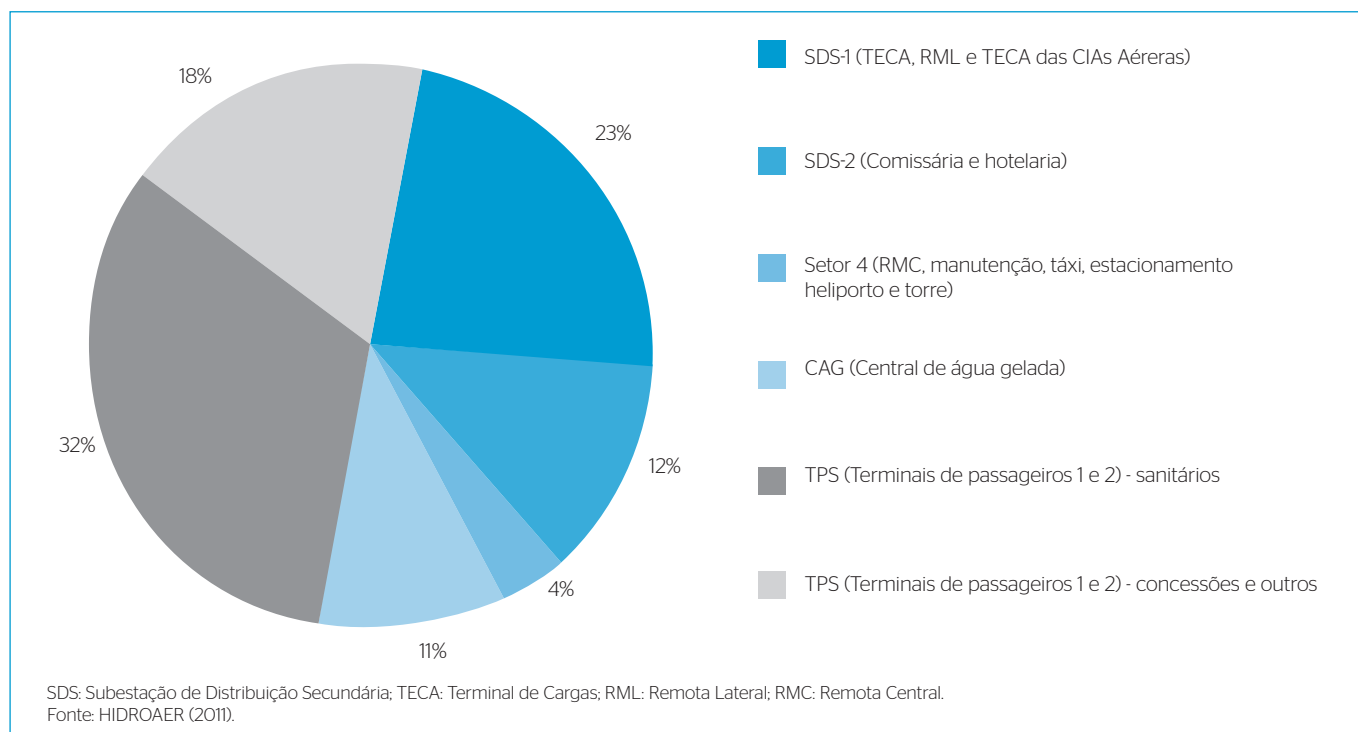
Na Figura 3, apresenta-se a evolução do número de passageiros, do volume total de água consumido e do consumo *per capita* para o AISP. Nota-se que, apesar do aumento do número de passageiros, o crescimento do consumo *per capita* não evoluiu na mesma proporção.

Na Figura 4, são apresentados os dados referentes ao número de passageiros e consumo *per capita*, parametrizados em relação ao ano de 2000. Nesta, fica evidente a tendência divergente entre os dados que representam o número de passageiros e aqueles que exprimem o consumo por passageiro. Tal resultado deve-se provavelmente às práticas de redução de consumo, com foco em tecnologias poupadoras — torneiras com acionamento mecânico e, posteriormente, eletrônico, e mictórios com acionamento eletrônico — nos sanitários do aeroporto,

**Tabela 2 - Consumo de água no Aeroporto Internacional de São Paulo, de janeiro a dezembro de 2009.**

| Período (mês/ano) | Volume captado dos poços (m³) | Volume fornecido por caminhões-pipa (m³) | Volume total consumido pelo SBGR (m³) |
|-------------------|-------------------------------|--|---------------------------------------|
| 01/09             | 64.492                        | 4.902                                    | 69.394                                |
| 02/09             | 65.001                        | 0  | 65.001                                |
| 03/09             | 71.316                        | 900                                      | 72.216                                |
| 04/09             | 68.944                        | 6.556                                    | 75.500                                |
| 05/09             | 69.911                        | 3.525                                    | 73.436                                |
| 06/09             | 67.246                        | 1.090                                    | 68.336                                |
| 07/09             | 69.273                        | 7.726                                    | 76.999                                |
| 08/09             | 68.904                        | 11.044                                   | 79.948                                |
| 09/09             | 66.186                        | 4.089                                    | 70.275                                |
| 10/09             | 62.868                        | 9.956                                    | 72.824                                |
| 11/09             | 64.806                        | 9.204                                    | 74.010                                |
| 12/09             | 63.099                        | 13.712                                   | 76.811                                |
| TOTAL             |                               |  | 874.750                               |

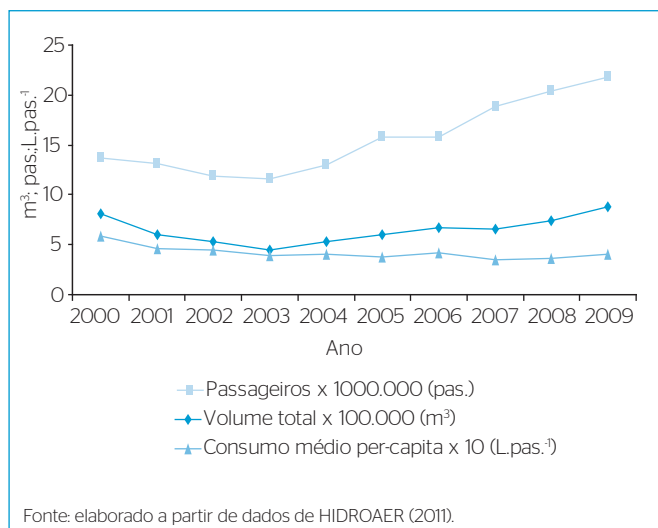
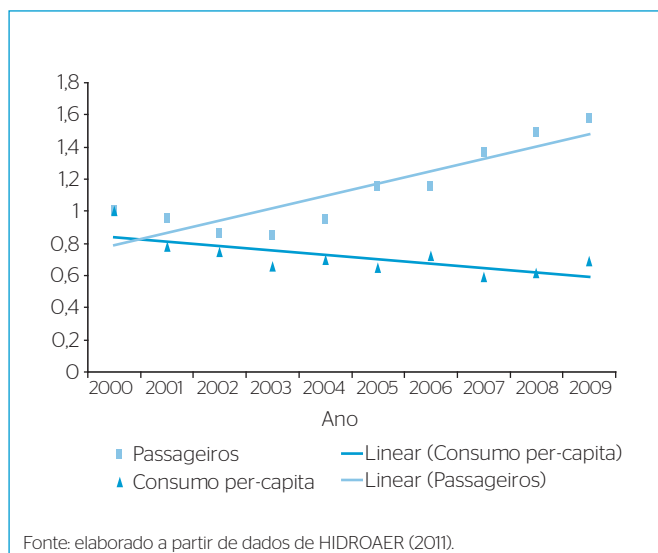
Fonte: HIDROAER (2011).



**Figura 2 - Estratificação do consumo de água no Aeroporto Internacional de São Paulo.**

**Tabela 3** - Consumo de água pela Central de Água Gelada do Aeroporto Internacional de São Paulo em 2009.

| Volume total consumido pela CAG (m³) |        |
|--------------------------------------|--------|
|                                      | 8.756  |
|                                      | 7.690  |
|                                      | 8.332  |
|                                      | 7.651  |
|                                      | 6.527  |
|                                      | 5.964  |
|                                      | 6.999  |
|                                      | 7.138  |
|                                      | 7.538  |
|                                      | 7.989  |
|                                      | 10.019 |
|                                      | 11.742 |

**Figura 3** - Evolução do número de passageiros, do volume total de água consumido e do consumo *per capita* para o Aeroporto Internacional de São Paulo.**Figura 4** - Dados referentes ao número de passageiros e consumo *per capita*, parametrizados em relação ao ano de 2000 e respectivos ajustes de linha de tendência para o Aeroporto Internacional de São Paulo.

além de micromedição do consumo das concessionárias, que vêm sendo implantados desde 2003 no AISP.

Em relação à área de captação, verificou-se por meio da análise dos projetos do AISP (instalações prediais, arquitetura e de implantação), a proximidade dos prédios TPS2 e CAG, assim como o TPS1 e o TECA, o que os coloca como boa escolha para uma setorização para coleta de água de pluvial. Na Tabela 4 são apresentados os resultados do levantamento das áreas de cobertura. Na Figura 5 são apresentados os resultados da medição realizada em 17 meses da CAG bem como a análise estatística desses dados, considerando o intervalo de 95% de confiança para a média e os quartis.

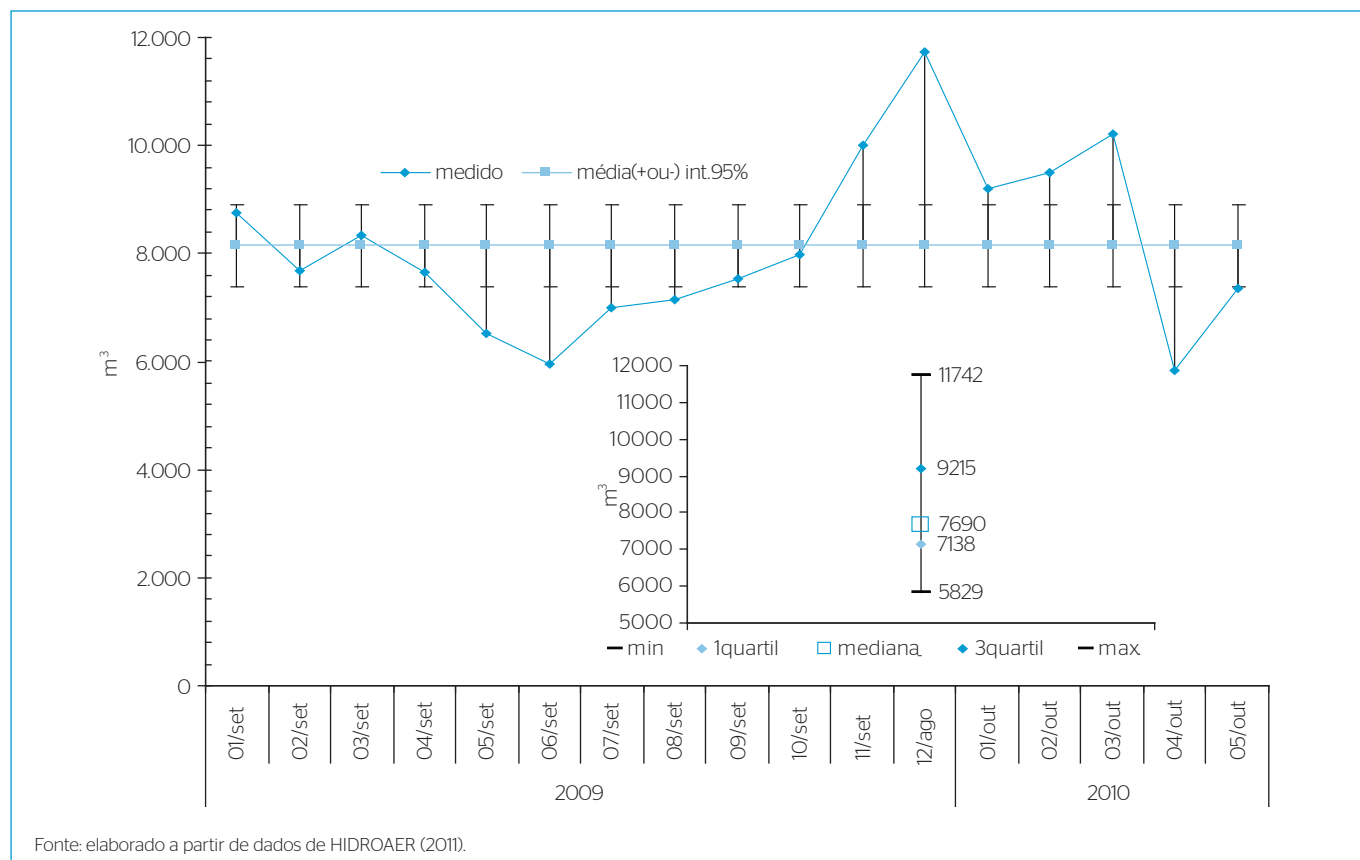
### Resultados referentes à avaliação da oferta e a determinação do volume do reservatório

O ordenamento do histórico das precipitações mensais em relação aos percentis pode ser observado na Figura 6. Verifica-se grande amplitude (média de  $P_{90}$ - $P_{10}$  de 150 mm) entre os percentis. Somente em 20% das precipitações foram registrados valores inferiores a 100 mm entre os meses de dezembro a março. A Figura 7 apresenta a distribuição dos quartis para os dados de chuva de 1 dia, distribuído nos meses do ano. A média do desvio quartílico para o conjunto de dados foi de 35,2 mm sendo que as maiores amplitudes semi-interquartílicas foram verificadas para os meses chuvosos (42-50 mm). Da mesma forma, as maiores amplitudes entre as medianas e as máximas (extremos) foram registradas nos meses chuvosos (332 mm para o mês de março). Ademais, verifica-se que a variação temporal das chuvas é bem expressiva, caracterizado pelo clima tropical de altitude (Cwa), com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C, de acordo com a Classificação Climática de Köppen (CEPAGRI, 2011).

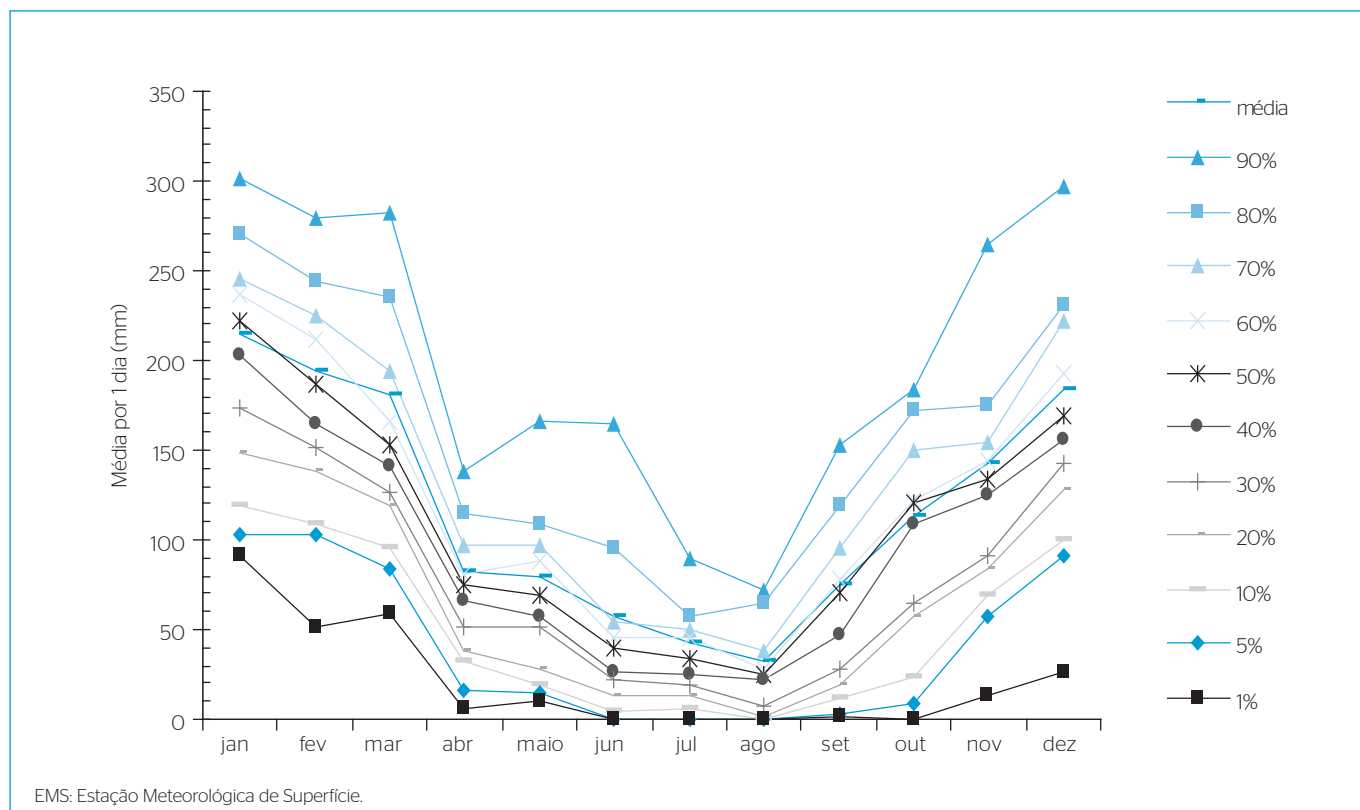
Na Figura 8, foram apresentados os dados situados entre o intervalo de confiança de 95% para a média. Nesta, é possível verificar que os percentis entre 40 e 60%, incluindo evidentemente a média, são representativos de 95% do universo amostral. Tais análises permitem verificar a variabilidade da oferta de água pluvial, auxiliando na definição dos dados de entrada no modelo e a consequente estratégia para a reservação.

**Tabela 4** - Distribuição das áreas de cobertura para captação de água pluvial.

| Local                   | Área (m²) |
|-------------------------|-----------|
| CAG                     | 1.400,00  |
| Terminal de passageiros | 29.895,10 |
| Galeria e torre         | 4.800,00  |
| Estacionamento 1        | 2.184,00  |
| Estacionamento 2        | 720,00    |
| Estacionamento 3        | 5.400,00  |
| Total                   | 44.399,10 |



**Figura 5** - Análise estatística da demanda da Central de Água gelada (CAG) do AISP. Valores medidos, médios e intervalo de 95% para a média. Em detalhe a distribuição dos quartis (0, 1, 2, 3 e 4), correspondentes aos valores mínimos, 25%, mediana, 50% e máximo, respectivamente.



**Figura 6** - Ordenamento das precipitações atmosféricas mensais dos dados registrados pela Estação Meteorológica de Superfície de Guarulhos durante o período de 1978 a 2007.

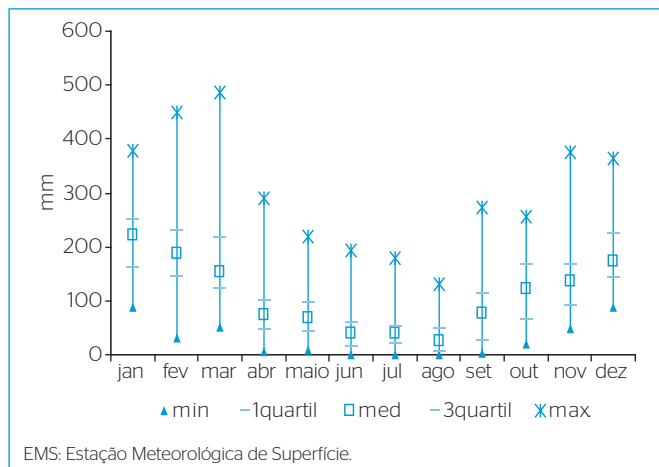


A análise dos dados apresentados respaldou a utilização da média como entrada para o balanço de massa. Ademais, a disponibilização de dados diários médios possibilita uma análise mais detalhada do comportamento dos reservatórios para as demandas investigadas.

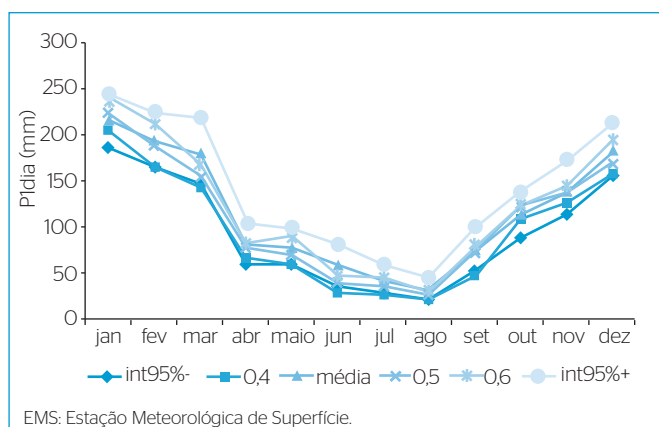
Com base nessas informações e na análise da demanda apresentada, foram propostos dois sistemas de aproveitamento de água pluvial independentes, considerando a distribuição das áreas de coleta e a proximidade dos pontos a serem abastecidos.

O primeiro sistema proposto foi para atendimento do abastecimento complementar de água da CAG – sistema de refrigeração dos Terminais de Passageiros, foco do presente artigo.

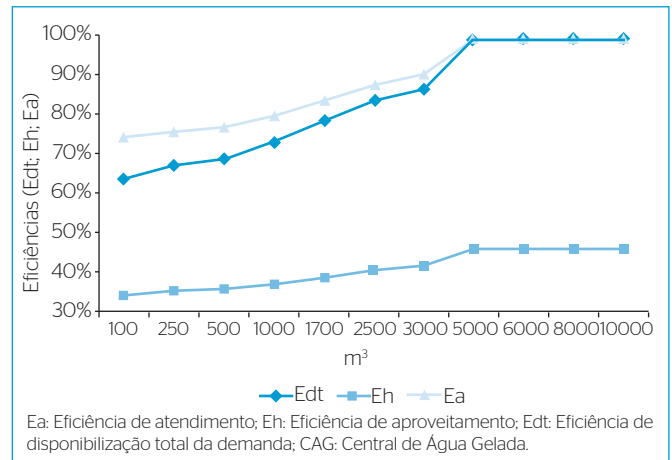
O segundo sistema seria para atender os sanitários dos terminais de passageiros (TPS), cujo dimensionamento não constitui objeto específico do presente artigo. Todavia a análise da demanda pode permitir futuras avaliações para fins de aproveitamento.



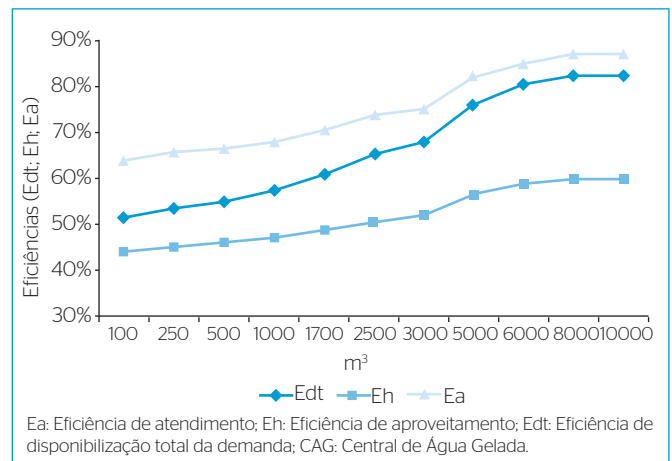
**Figura 7** - Distribuição dos quartis para os dados de chuva de 1 dia, registrados pela Estação Meteorológica de Superfície de Guarulhos durante o período de 1978 a 2007.



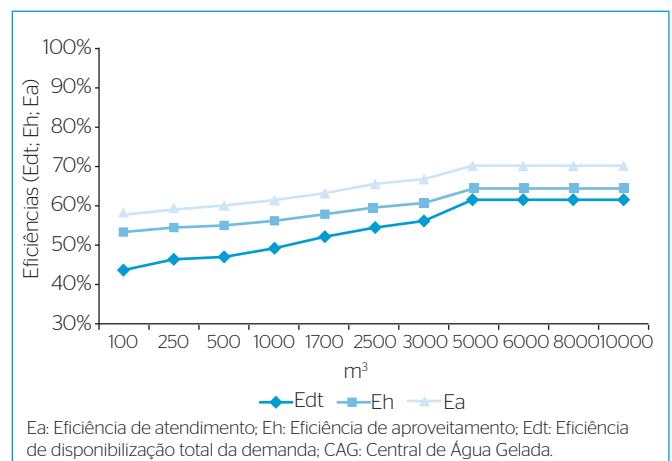
**Figura 8** - Distribuições das chuvas de 1 dia ( $P_{1dia}$ ) situadas entre o intervalo de confiança de 95% para a média. Os valores de 0,4, 0,5 e 0,6 correspondem aos percentis de 40%, 50% e 60%, respectivamente. Análise realizada com os valores de chuva diária registrados pela Estação Meteorológica de Superfície de Guarulhos durante o período de 1978 a 2007.



**Figura 9** - Eficiências de atendimento, de aproveitamento e de disponibilização total da demanda para diferentes volumes de reservatório, mantido fixo a demanda em  $54,29 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ , correspondente a 20% da demanda total da Central de Água Gelada.



**Figura 10** - Eficiências de atendimento, de aproveitamento e de disponibilização total da demanda para diferentes volumes de reservatório, mantido fixo a demanda em  $81,44 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ , correspondente a 30% da demanda total da Central de Água Gelada.



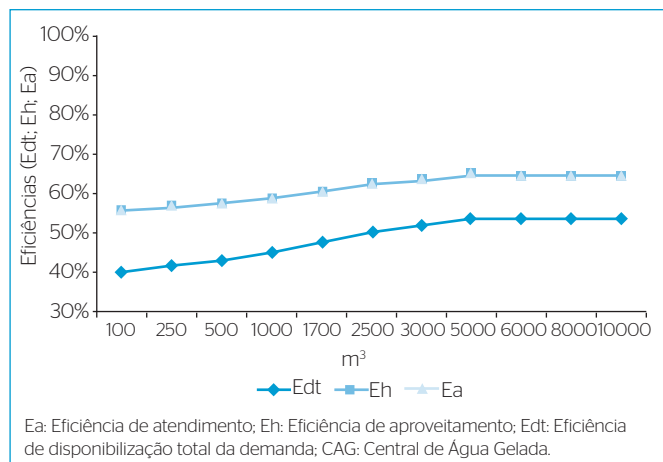
**Figura 11** - Eficiências de atendimento, de aproveitamento e de disponibilização total da demanda para diferentes volumes de reservatório, mantido fixo a demanda em  $108,59 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ , correspondente a 40% da demanda total da Central de Água Gelada.

Nas Figuras de 9 a 12 são apresentados os resultados das simulações das eficiências (*Ea* e *Eh*) bem como àquela referente a disponibilização total (*Edt*) para diferentes valores de demandas, correspondentes a percentuais do uso na CAG. Salienta-se que a eficiência de disponibilização

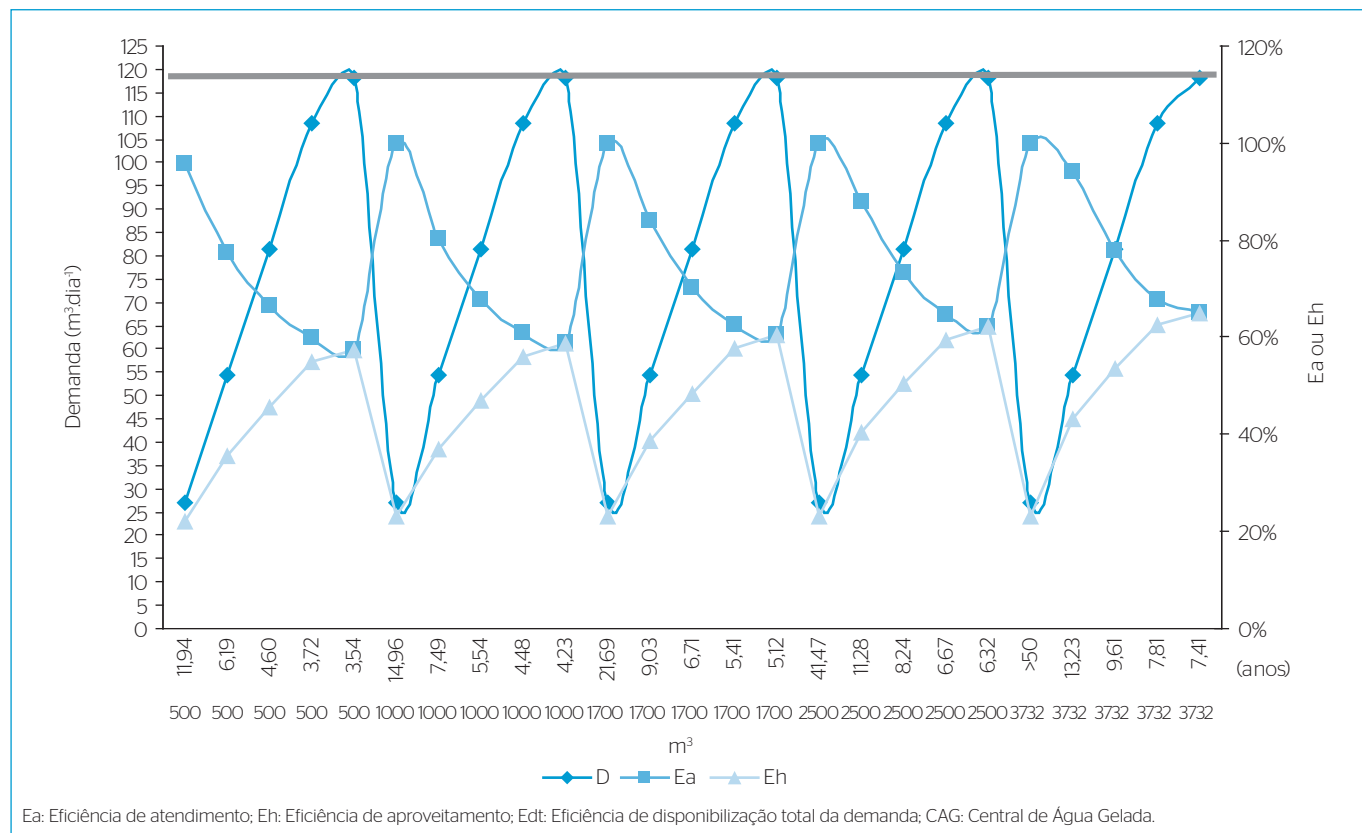
total da demanda (*Edt*) refere-se exclusivamente a razão entre os dias de atendimento pleno da demanda ( $Vp_{(i)} + S_{(i-1)} \geq D_{(i)}$ ) e o número de dias total simulados (365), enquanto os valores de *Ea* contabilizam inclusive os atendimentos parciais da demanda ( $0 \leq Vp_{(i)} + S_{(i-1)} \leq D_{(i)}$ ), conforme apresentado na Equação 3. Por essa razão os valores de *Edt* são sempre inferiores aos valores de *Ea*.

Em termos gerais, verifica-se que todas as eficiências investigadas tendem a valores máximos a partir de um determinado volume de reservatório. Verifica-se que os máximos para *Ea* e *Edt* tendem a diminuir com o incremento da demanda enquanto os valores de *Eh* aumentam. Na condição de máxima demanda verifica-se *Ea*=*Eh* (Figura 12). Essas informações são necessárias e de extrema importância, mas não são suficientes para a determinação do volume do reservatório. Para tal, deve-se acoplar a análise de custo.

Na Figura 13, são apresentados os resultados de eficiências (*Ea* e *Eh*) para diferentes valores de demanda (*D*), volumes de reservatório e tempos de amortização de investimento em anos. Nessa figura, a linha contínua paralela ao eixo das abscissas representa o valor da máxima demanda ( $\sum Vp_{(i)} = \sum D_{(i)}$ ). Na Figura 13, pode-se observar que a convergência das eficiências (*Ea*=*Eh*), a qual decorre da máxima demanda aproveitada, implica no menor tempo de amortização do



**Figura 12** - Eficiências de atendimento, de aproveitamento e de disponibilização total da demanda para diferentes volumes de reservatório, mantido fixo a demanda máxima ( $\sum Vp_{(i)} = \sum D_{(i)}$ ) de 118 m³.dia⁻¹, correspondente a 44% da demanda total da Central de Água Gelada.



**Figura 13** - Relação entre as eficiências de atendimento, de aproveitamento, demandas e tempos de amortização para diferentes volumes de reservatório, mantido fixo o custo da água referente ao caminhão pipa (R\$ 14,99.m³). Dados: área de telhado de 44.399,1 m²; ff de 1mm; C de 0,85;  $\eta=0,8$  e custo dos reservatórios conforme levantamento apresentado. Demanda máxima ( $\sum Vp_{(i)} = \sum D_{(i)}$ ) de 118 m³.dia⁻¹, correspondente a 44% da demanda total da Central de Água Gelada.

investimento. Tal resultado decorre das hipóteses acima descritas para concepção das Equações de 1 a 5 e podem ser consultadas na íntegra em Moruzzi *et al.* (2012).

A análise isolada do valor correspondente a variável  $E_a$  pode conduzir a soluções inapropriadas, uma vez que altos valores (próximos a 100%) são obtidos para baixas demandas. Isto indica que haverá grande disponibilidade de água para atendimento da demanda, incorrendo em baixo uso do potencial instalado ou em volumes ociosos de reservatório.

Por outro lado, observa-se que o valor correspondente a  $E_h$  tende a crescer na medida em que a demanda aumenta. Pode-se verificar que existe um ponto de convergência para os valores de  $E_a=E_h$  e, nessas condições, o tempo de amortização é mínimo para cada volume de reservatório simulado. Isso sugere que a otimização do reservatório decorre da maximização do seu uso, atendendo a máxima demanda possível. Adicionalmente, verifica-se que para a condição de máxima demanda, o incremento do volume do reservatório não resulta em aumento significativo do valor de  $E_h$  (de 57 para 62% para reservatórios de 500 e 1.500 m<sup>3</sup>, respectivamente). Para o volume presumido de 3.732 m<sup>3</sup> o volume extravasado iguala-se a zero, na condição de máxima demanda.

Na Figura 14, pode-se verificar os resultados referentes a avaliação do cenário 2 (custo da água de R\$ 5,93). Em relação ao cenário anterior

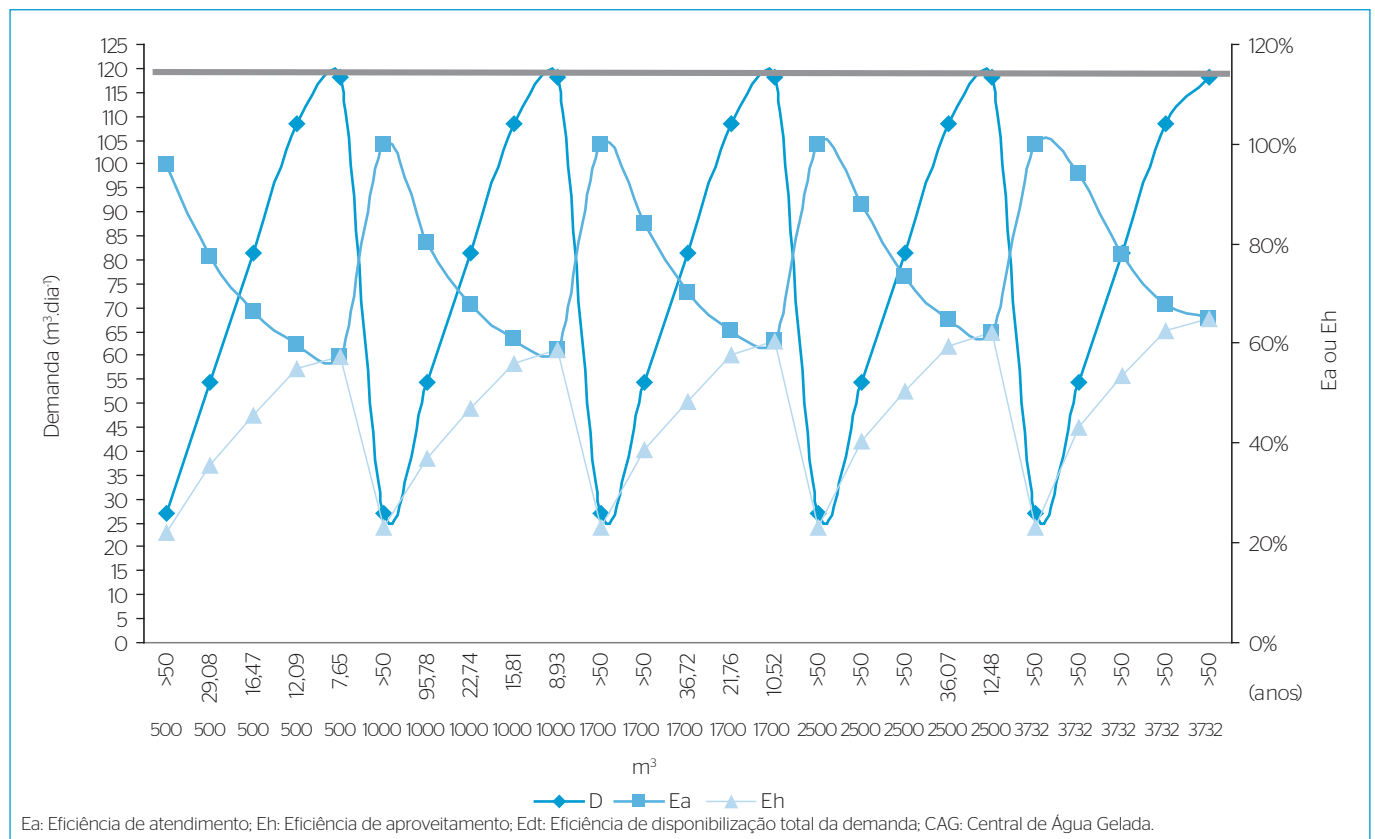
(Figura 13) nota-se o aumento do tempo de amortização do investimento para as mesmas demandas e volumes de reservatórios simulados.

A análise global das variáveis para os diferentes volumes presumidos de reservatório nos cenários de custo da água forneceu diferentes perspectivas. A condição mais apropriada depende da análise de critérios racionais de disponibilidade, demandas e custos. A integração dessas variáveis fornece uma poderosa ferramenta de análise e propicia ao tomador de decisão a escolha da alternativa mais apropriada, frente às particularidades de cada projeto e da organização na qual este está inserido. Destaca-se que, no que tange a análise dos custos, uma alternativa viável economicamente pode não ser viável do ponto de vista financeiro para uma determinada organização em um determinado período.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados apresentados nesse artigo, pôde-se concluir:

- Com relação à demanda –
  - os sanitários dos terminais de passageiros (TPS) 1 e 2 e a Central de Água Gelada (CAG) corresponderam aos maiores usos potenciais para aproveitamento de água pluvial, com percentuais de 32 e 11%, respectivamente;



**Figura 14** - Relação entre as eficiências de atendimento, de aproveitamento, demandas e tempos de amortização para diferentes volumes de reservatório, mantido fixo o custo da água referente ao caminhão pipa (R\$ 5,93.m<sup>-3</sup>). Dados: área de telhado de 44.399,1 m<sup>2</sup>; ff de 1 mm; C de 0,85; η=0,8 e custo dos reservatórios conforme levantamento apresentado. Demanda máxima ( $\sum V_{p_0} = \sum D_{0_0}$ ) de 118 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>, correspondente a 44% da demanda total da Central de Água Gelada.

- a quantidade e a qualidade requeridas foram decisivas para a escolha da CAG como uso pretendido para aproveitamento de água pluvial. O máximo atendimento por água pluvial da CAG foi de 44%. A qualidade da água pluvial também foi determinante na escolha desse uso, pois a presença de sílica na água dos poços requer manutenção contínua e pode prejudicar o sistema da CAG.
- Com relação à oferta e a determinação do volume de reservação –
  - verificou-se que os percentis entre 40 e 60%, incluindo evidentemente a média, são representativos de 95% do universo amostral de chuvas na área do AISP. Tais análises permitiram verificar a variabilidade da oferta de água pluvial. Ademais, a disponibilização de dados diários médios possibilita uma análise mais detalhada do comportamento dos reservatórios para as demandas investigadas auxiliando na estratégia para a reservação;
  - a análise integrada de critérios racionais de disponibilidade, demandas e custos apresentada nesse trabalho, forneceu uma

poderosa ferramenta para tomada de decisão. Especificamente para uso na CAG, e na máxima demanda diária identificada ( $118 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ ), os volumes de reservatório de 500 a  $3.732 \text{ m}^3$  apresentaram eficiências da ordem de 60% e períodos de amortização entre 3,5 e 7,5 anos, no maior cenário de custo da água ( $\text{R\$ } 14,99 \cdot \text{m}^{-3}$ ). Para o cenário de menor custo da água ( $\text{R\$ } 5,93 \cdot \text{m}^{-3}$ ), os volumes de 500 a  $1.700 \text{ m}^3$  apresentaram tempos de amortização de investimento da ordem de 7 a 10 anos, considerando ainda máxima demanda.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO, o Fundo Setorial de Recursos Hídricos (FNDCT/CT-Hidro) e a Agência Nacional de Águas – ANA pelo apoio financeiro. Dedicam o trabalho em memória ao Prof. Dr. Marcelo De Julio.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (2011). Hidroweb – base de dados hidrológicos. Disponível em: <<http://hidrowebana.gov.br/>>. Acesso em: 14 jun. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (2007) *NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1998) *NBR 5626: Instalação predial de água fria*, 1998. Rio de Janeiro: ABNT.

BRISBANE AIRPORT. (2006) *Brisbane Airport Environment Strategy*. Disponível em: <<http://bne.com.au/>>. Acesso em: 22 nov 2006.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA – CEPAGRI. (2011)

HIDROAER (2011) Projeto FINEP/HIDROAER – Uso eficiente da água no Aeroporto Internacional de São Paulo, em Guarulhos. Relatório final. Fev. 2011. Disponível em: <<http://www.hidroaer.ita.br/>>. Acesso em: 14 jun 2011.

Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas – FIPE; Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. (2010). *Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil: Relatório Consolidado*. Rio de Janeiro: McKinsey & Company.

MIERZWA, J.C.; BELLO, S.M.G.; HESPANHOL, I. (2006) *Effluent zero release concept - The Brazilian experience*. The Chinese Journal of Process Engineering, v. 6, p. 691-696.

MORUZZI, R.B.; OLIVEIRA, S.C.; GARCIA, M.L. (2012) A proposal for reservoir volume calculation in rainwater harvesting systems. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, v6, n6, p.707-714.

QUN, M.; AN, W.; SUN, Z.; LIU, Z. (2007) An application of membrane bio-reactor process for the wastewater treatment of Qingdao International Airport. *Desalination*, v. 202, p. 144-149.

SBC (2011). Informativo SBC – março de 2011. SBC, 2011. Disponível em: <<http://www.informativosbc.com.br/>> Acesso em: março de 2011.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO – SINDUSCON-SP. (2005). *Conservação e Reuso da Água em Edificações*. São Paulo, Prol Editora Gráfica, 151 p.

THARPE, J. (2007) Airport hoping to flush away less water. Atlanta: The Atlanta Journal-Constitution. Disponível em: <<http://www.ajc.com/>> Acesso em: 20 set 2007.