

***INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA***



**Gustavo Bezerra de Paula Pessoa**

**Aproveitamento da água de chuva:  
estudo de caso no AISP- Guarulhos**

***Trabalho de Graduação  
2007***

***Civil-Aeronáutica***

CDU 628.179:656.71

Gustavo Bezerra de Paula Pessoa

**Aproveitamento da água de chuva:  
estudo de caso no AISP- Guarulhos**

Orientador  
Prof. PhD. Wilson Cabral de Sousa Júnior

**Divisão de Engenharia Civil**

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS  
COMANDO-GERAL DE TECNOLOGIA AEROESPACIAL  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2007

### **Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

#### **Divisão de Informação e Documentação**

Pessoa, Gustavo Bezerra de Paula  
Aproveitamento da água de chuva: estudo de caso no AISP- Guarulhos  
São José dos Campos, 2007.  
Número de folhas no formato 45f.

Trabalho de Graduação – Divisão de Engenharia Civil-Aeronáutica –  
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2007. Orientador: Prof. Wilson Cabral de Sousa Júnior

1. Aproveitamento de água de chuva. 2. Aeroporto de Guarulhos. 3. Tratamento de água de chuva. I. Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil-Aeronáutica. II. Aproveitamento da água de chuva: estudo de caso no AISP- Guarulhos.

### **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

BEZERRA, Gustavo Bezerra de Paula. **Aproveitamento da água de chuva: estudo de caso no AISP- Guarulhos**. 2007. 47p. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

### **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Gustavo Bezerra de Paula Pessoa

TÍTULO DO TRABALHO: Aproveitamento da água de chuva: estudo de caso no AISP- Guarulhos.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2007.

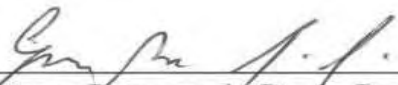
É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

---

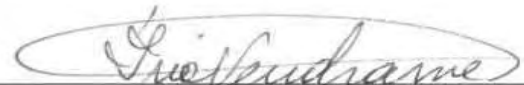
Gustavo Bezerra de Paula Pessoa  
Rua H8A, 139. CTA  
CEP 12228-460. São José dos Campos - SP

## Aproveitamento da água de chuva: estudo de caso no AISP- Guarulhos

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação

  
\_\_\_\_\_  
Gustavo Bezerra de Paula Pessoa  
Autor

  
\_\_\_\_\_  
Prof. PhD. Wilson Cabral de Sousa Júnior  
Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Iria Fernandes Vendrame  
Coordenadora do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 28 de Novembro de 2007.

## **Resumo**

O tratamento com ozônio é uma possível alternativa para o tratamento de água de chuva no Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos, que possui um potencial de reutilização de 1.703.136,95 m<sup>3</sup> de água de chuva por ano. Deste, 190.509,05 m<sup>3</sup> são oriundos de telhados, 754.063,51 m<sup>3</sup> dos pátios e 758.564,40 m<sup>3</sup> das pistas. Por outro lado, o consumo do aeroporto médio de 2000 a 2006 é de 596.594 m<sup>3</sup> que corresponde a 40% do potencial de reutilização.

O custo total aproximado do tratamento de ozônio para atender à demanda do aeroporto, considerando 10 anos de vida útil, é de R\$ 51.890,26 por ano. Que é um valor elevado, portanto sugere-se que o tratamento com ozônio seja usado apenas para os fins mais nobres, deixando apenas o tratamento com cloro para os outros fins.

Viu-se que o potencial de aproveitamento de água de chuva é bastante elevado (250% da demanda), que a precipitação acumulada ao longo dos anos vem aumentando, o que mostra que a alternativa de aproveitamento de águas é cada vez mais interessante.

## **Abstract**

The ozone treatment is a possible alternative to the rain water treatment of the International Airport of São Paulo/Guarulhos that has a rain water reuse potential of 1.703.136,95 m<sup>3</sup> year (190.509,05 m<sup>3</sup> comes from the roof, 754.063,51 m<sup>3</sup> from the aircraft parking lot and 758.564,40 m<sup>3</sup> from the lanes). On the other side, the medium airport consumption from 2000 to 2006 is 596.594 m<sup>3</sup> that is 40% of the reuse potential.

The approximated total cost of the ozone treatment to supply the airport demand is R\$ 51.890,26 year, with 10 years of lifetime. This is a high number, so it is suggested that the ozone treatment be used only to noble purposes. And the other's purpose water to be treated with chlorine.

It was realized that the water potential reuse is very high (250% of the demand) and that the rainfall accumulated during the last years is increasing. It shows that the water reuse is increasingly interesting.

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente à minha mãe, que, sem ela, não teria chegado nem perto de me formar. À minha família e aos meus amigos da última turma de INFRA, que conquistei e que me fizeram crescer pessoalmente e profissionalmente, durante esses seis anos de faculdade: eles sabem quem são.

Não poderia esquecer meus amigos que me ajudaram a elaborar esse trabalho: Carla, colhendo chuva e com as fontes de pesquisa e Juberval, que me auxiliou no cálculo das áreas. Além disso, ao Willy, com seu grande conhecimento sobre ozônio e ao orientador deste trabalho, Wilson que me ajudou na estruturação.

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MOTIVAÇÃO</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>ESTUDOS</b> .....	<b>3</b>
3.1	ESTUDOS DAS ÁGUAS PLUVIAIS ANTES DE TOCAR O SOLO.....	3
3.2	ESTUDOS DAS ÁGUAS PROVENIENTES DOS TELHADOS.....	5
3.3	CAPTAÇÃO E DESCARTE DE PRIMEIRA ÁGUA.....	7
3.3.1	<i>Tonel</i> .....	7
3.3.2	<i>Auto-limpeza</i> .....	8
3.4	MÉTODOS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS .....	9
3.4.1	<i>Cloração</i> .....	9
3.4.2	<i>Tratamento de água para remoção dos THMs</i> .....	9
3.4.3	<i>Uso de desinfetantes alternativos</i> .....	10
3.5	TRATAMENTO DE ÁGUA COM OZÔNIO .....	15
3.5.1	<i>Vantagens do uso do Ozônio</i> .....	16
3.5.2	<i>Limitações do uso do Ozônio</i> .....	16
3.5.3	<i>Avaliação do Ozônio como Desinfetante</i> .....	16
3.5.4	<i>Processo de Ozonização</i> .....	17
3.6	ESTUDO DE APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA EM AEROPORTOS .....	19
3.6.1	<i>No Brasil</i> .....	19
<b>4</b>	<b>MÉTODOS E APLICAÇÕES</b> .....	<b>21</b>
4.1	COLETA DA ÁGUA DA CHUVA .....	21
4.1.1	<i>1º método</i> .....	21
4.1.2	<i>2º método (recomendação)</i> .....	23
4.2	MODELO PARA DETERMINAÇÃO DE ÁGUA ESCOADA .....	23
<b>5</b>	<b>DADOS</b> .....	<b>25</b>
5.1	PLUVIOMETRIA.....	25
5.2	ÁREAS .....	29
5.2.1	<i>Telhados</i> .....	29
5.2.2	<i>Pátio de Aeronaves</i> .....	30
5.2.3	<i>Pista</i> .....	30
<b>6</b>	<b>POTENCIAL DE ÁGUA DE CHUVA PARA APROVEITAMENTO</b> .....	<b>31</b>
6.1	CÁLCULO.....	31
6.2	COMPARAÇÃO COM O CONSUMO DO AEROPORTO .....	31
<b>7</b>	<b>CUSTOS DO TRATAMENTO COM OZÔNIO</b> .....	<b>32</b>
7.1	CUSTO INICIAL .....	32
7.2	CUSTO CORRENTE.....	33
7.3	CUSTO TOTAL .....	35
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>36</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>37</b>



## Figuras

FIGURA 1: DESCARTE DE PRIMEIRA ÁGUA. (FONTE: DACACH, 1990).....	7
FIGURA 2: RESERVATÓRIO DE AUTO-LIMPEZA COM BÓIA DE NÍVEL. (FONTE: DACACH, 1990). ....	8
FIGURA 3: COMPONENTES BÁSICOS DE UM SISTEMA DE OZONIZAÇÃO. (FONTE: LAHLOU, 1999) .....	17
FIGURA 4: QUALIDADE DA ÁGUA COM O TEMPO DE CHUVA. ....	22
FIGURA 5: PRECIPITAÇÃO HORÁRIA NO AISP GUARULHOS NO ANO DE 2002.....	25
FIGURA 6: PRECIPITAÇÃO HORÁRIA NO AISP GUARULHOS NO ANO DE 2003.....	25
FIGURA 7: PRECIPITAÇÃO HORÁRIA NO AISP GUARULHOS NO ANO DE 2004.....	26
FIGURA 8: PRECIPITAÇÃO HORÁRIA NO AISP GUARULHOS NO ANO DE 2005.....	26
FIGURA 9: PRECIPITAÇÃO HORÁRIA NO AISP GUARULHOS NO ANO DE 2006.....	26
FIGURA 10: GRÁFICO DAS PRECIPITAÇÕES ANUAIS DE 2002 A 2006.....	27

# **1 Objetivo**

Esse trabalho tem como objetivo explorar os vários métodos de tratamento de água da chuva assim como analisar o potencial do aproveitamento de água de chuva no Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. Além disso, fazer um cálculo dos custos específicos para a implantação de um sistema de tratamento com ozônio para aproveitamento da água de chuva desse aeroporto considerando seu consumo.

## 2 Motivação

A qualidade das águas do mundo já é alvo, há anos, de preocupação da humanidade quando se pensa na disponibilidade desse recurso para gerações futuras. Sabe-se que de toda água existente no mundo, apenas 2,5% são de água doce, sendo 1,75% concentradas nos pólos e geleiras. O que nos faz ter apenas 0,75% da água da Terra podendo ser aproveitada. Com o desenvolvimento experimentado pelo homem, que há não muito tempo despertou para a necessidade da preservação ambiental, muitas dessas águas já estão poluídas e precisam de tratamento mais específico para que possam ser aproveitadas. No Brasil, 80% da sua água doce se concentra na Amazônia que possui apenas 5% da população do país.

Essa preocupação/conscientização tende ser crescente de acordo com os males que a escassez desse recurso possa causar a humanidade. Para que essa escassez não chegue a níveis que possam comprometer a vida humana, a humanidade deve adotar uma postura de desenvolvimento sustentável (aquele desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades, segundo a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento realizada em 1987).

E a partir disso que vem a motivação desse trabalho: de que o aeroporto de Guarulhos se desenvolva de modo sustentável em se falando de água. E a visão desse trabalho e de que isso (ou uma etapa disso) pode ser feito através de um sistema de captação de água da chuva para uma utilização com fins potáveis ou não.

### **3 Estudos**

#### ***3.1 Estudos das águas pluviais antes de tocar o solo***

A qualidade da água antes de ela tocar o solo depende de uma série de fatores como posição geográfica, frequência de chuvas, duração da chuva, presença ou não de emissores de poluição na região analisada, etc.

Isso pode ser visto na tabela abaixo citada na tese de graduação de Mariana Cristina Kitamura. Em regiões urbanas, onde há grande emissão de CO<sub>2</sub>, notamos um pH mais baixo devido a combinação de água com o dióxido de carbono formando um ácido fraco. Esse fato, entretanto é comum, na maioria das áreas e esse fato isoladamente confere a água da chuva um pH em torno de 5,65. Porém nessas áreas urbanas há emissão de mais poluentes que conferem à água um pH abaixo disso além de outros íons como o óxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, chumbo, etc.

**Tabela 1: Concentrações iônicas da água de chuva.**

Local	P (mm)	pH	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Salvador, Aratú	1900	5,8	0,52	0,75	0,17	0,15	1,67	-	0,02	-
		7,5	6,05	30,96	6,52	1,18	37,2	-	0,44	-
Salvador, Ondina	1900	5,2	0,2	0,04	0,06	0,03	0,43	-	0,02	-
		6,7	14	11,5	2,8	4,48	30,17	-	0,25	-
Ubatuba	2124	<4,5>	0,37	<0,01	0	0,04	0,44	0,48	-	-
			2,54	0,49	0,39	0,3	4,2	1,81	-	-
Sao Jose dos Campos	1100	4	0,01	0,02	0,01	0,005	<0,05	1,84	-	-
		4,8	2	4,73	1,28	0,215	1,26	2,71	-	-
Campos do Jordão	1692	4,4	<0,02	0,01	<0,02	<0,005	0,03	1,27	-	-
		5,19	0,13	0,53	0,62	0,156	0,8		-	-
Cubatão, Centro	2414	3,7	0,2	0,84	0,2	0,31	0,8	2	0,24	0,03
		4,7	6,5	1,44	0,6	1,13	2,6	8	1,1	0,63
Vila Parisi	2414	5,8	0,4	4,15	1,64	0,65	2,9	16	0,97	0,03
		6,8	3,4	35,4	2,4	2,96	3,6	26	4,4	0,4
Oceano Índico	112	<4,92>	0,25	0	0,007	0,035	0,45	0,36	0,005	0,02
			27,36	1,06	1,008	3,1	52,47	7,205	0,501	0,539
Alasca	28,5	<4,96>	0	0	0	0	0,02	0	0,005	0,074
			0,35	0,13	0,285	0,036	0,81	1,436	0,188	0,347
Austrália	91,6	<4,78>	0	0	0	0	0,06	0	0,005	0,025
			1,49	1,01	0,301	0,183	3,01	1,182	0,356	1,271
Venezuela	152,5	<4,81>	0,002	0	0	0	0	0	0,002	0,02
			0,156	0,05	0,242	0,03	0,41	0,351	0,233	0,899
Kennedy S., Center	-	>4,0	0,47	0,024	0,01	0,06	0,8	0,32	0,011	0,192
		4,7	4,9	1,176	0,2	0,24	8,48	4,424	1,14	1,897
Delhi	-	7	0,3	0,5	0,8	0,25	1,26	4,5	-	-
		8,4	10,4	13	10,5	5,5	17	89,5	-	-
Minnesota	-	3,68	0,02	0,08	0,01	0,06	-	0,16	0,01	0,054
		7,9	10,72	6,06	5,02	1,45	-	30,6	6,214	12,41
Bermudas	-	<4,79>	0,43	0	0	0,05	0,7	0,24	0	0
			34,25	1,35	1,85	3,9	63,1	16,186	0,701	31,31

Fonte: Kitamura, 2004.

Mais especificamente, para algumas regiões do Brasil, temos as seguintes observações:

**Tabela 2: Parâmetros encontrados das águas de chuva de diversas localidades do Brasil.**

Local/Parâmetros	pH	Cl <sup>-</sup> mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/L	Ca <sup>2+</sup> mg/L	Na <sup>2+</sup> mg/L	Mg <sup>2+</sup> mg/L	H <sup>-</sup> mg/L
Pedras Altas - RS	4,98	1,35	0,99	0,89	0,45	0,723	0,722	0,13	0,01
Parque Nacional Itatiaia - RJ	4,94	0,184	0,74	0,732	0,423	0,0862	0,08987	0,0267	0,012
Rio Corumbataí - SP	5,5	2,2	2,2	4,5		8,85	0,97	0,79	
Região Metropolitana SP	6,2	1,03	1,63	1,36	0,5	0,92	0,28		
Região Metropolitana SP	4,77	0,03	0,83	0,97	0,5	0,22	0,08	0,004	0,02
Região Metropolitana RJ	4,77	2,36	1,98	0,98	0,34	0,6	0,144	0,24	0,02
Figueira - Paraná	4,7		3,31		0,54	0,7			
Piracicaba - SP	4,5	0,25	0,9	1,03	0,31	0,11	0,62	0,28	0,33
Manaus - Amazonas	4,7	0,16	0,96	0,26	0,054	0,048	0,055	0,011	0,017
Região Metropolitana Porto Alegre	5,5	4,2		0,45		0,95		0,81	
Cubatão - SP	3,6	7,71	7,67		1,25	4,32	3,62	1	

Fonte: Tordo, Olga

### 3.2 Estudos das águas provenientes dos telhados

Os telhados contêm uma série de impurezas que se acumulam no período em que a chuva não incide sobre eles. Nesse período, há acúmulo de poeira (poluentes, partículas sólidas, materiais provenientes do ar em geral), bactérias, excrementos de aves, ratos, insetos, etc. Isso causa uma considerável proliferação de microorganismos e substâncias nocivas à saúde humana.

A chuva é o agente de limpeza desses telhados e, é por isso, que a primeira água de chuva deve ser descartada, dado que ela lava o telhado carregando todo o grosso dessas impurezas mencionadas anteriormente. Isso já foi concluído por outros estudos.

Num estudo feito por Yaziz et al. (1989), a análise do primeiro fluxo de água captada em coberturas de telha cerâmica e em ferro galvanizado mostrou que a concentração de matéria orgânica é maior no início e diminui gradativamente da primeira à quinta amostra. Os coliformes fecais, por exemplo, variam de 4 – 41/100mL na primeira e estão ausentes nas demais amostras de 1L. Portanto, nesse trabalho o tratamento de água é o de outras chuvas que não a primeira.

Outro fator importante a ser considerado na qualidade das águas provenientes dos telhados é o material de que eles são feitos. Dependendo do material, podemos notar maiores concentrações de algumas substâncias em um e de outras em outro telhado de material diferente.

Segundo Ghanayem (2001), que realizou estudos na Palestina sobre qualidade da água em diversos tipos de telhado. Considerando-se como fator decisivo na qualidade da água a presença de coliformes fecais, ele chegou à conclusão que o melhores telhados são: o metálico, o asfáltico, o de fibrocimento e o de telhas cerâmicas (vide Tabela 3).

**Tabela 3: Parâmetros microbiológicos da água de chuva em diferentes telhados na Palestina.**

<b>Tipos de Telhado</b>	<b>Coliformes Fecais NMP/100 MI</b>	<b>Coliformes Totais NMP/100 mL</b>
Cerâmico	8	65
Chapa Galvanizada	6	45
Concreto	5	15
Asfalto	5	15

**Fonte: Ghanayem (2001)**

Um outro estudo que comparou a qualidade da água proveniente de uma gama de telhados foi o citado por Torto que analisou diversos telhados na Nova Zelândia. O resultado desse trabalho pode ser visto na Tabela 4.

**Tabela 4: concentrações de metais encontrados na água da chuva coletada em diferentes telhados em algumas cidades da NZ.**

<b>Tipo de Telhado</b>	<b>Cádmio mg/L</b>	<b>Cobre mg/L</b>	<b>Chumbo mg/L</b>	<b>Zinco mg/L</b>
Poléster	0,00024	0,534	0,02	0,079
Telha concreto/ cimento amianto	0,00014	0,011	0,046	0,1
Cerâmico/ com pintura	0,0004	0,304	0,041	0,049
Cascalho	0,00011	0,007	0,002	0,062
Zinco/ metal galvanizado	0,00012	0,02	0,058	3,5
Metal galv. Pintado	-	-	-	1,3
Outros metais	-	0,89	0,013	1,98
Outros tipos	0,00065	0,016	0,024	0,495

**Fonte: Gadd e Kennedy (2001).**

Além desses, vários outros estudos foram feitos para correlacionar a qualidade da água com o material do telhado da qual ela fosse captada. Eles mostram a grande influencia do material do telhado com a qualidade da água captada por ele. Isso significa dizer que é possível que um específico tratamento de água só seja viável se houver uma cobertura específica que confira à água uma qualidade superior às outras. Por hora, abordaremos o tratamento de água com Ozônio e, se for o caso, voltaremos a levantar mais especificamente esse assunto se for o caso.

### 3.3 *Captação e Descarte de primeira água*

Segundo o Manual da ANA/FIESP & SindusCon/SP (2005), o descarte da primeira água pode ser feito através de um reservatório de descarte, que acumulará a água proveniente dos primeiros momentos de precipitação.

#### 3.3.1 Tonel

Diversos métodos podem ser empregados para a esse fim. Dacach (1990) lançou mão de um tonel de 50 litros, que recebia a primeira água através das calhas por um orifício de 0,5 cm de acordo com a Figura 1.



Figura 1: Descarte de primeira água. (Fonte: Dacach, 1990).



### 3.3.2 Auto-limpeza

Outro método mais cômodo é o dos reservatórios de auto-limpeza com torneira à bóia de nível. Nesse método, a primeira água é captada e direcionada até o reservatório de descarte que enche até a bóia ser acionada e a vazão seguinte ser direcionada para o reservatório de armazenamento. Depois disso, o reservatório de descarte deve ser esvaziado por meio de um registro para que as condições iniciais sejam restabelecidas. Conforme esquematizado na Figura 2.



Figura 2: Reservatório de auto-limpeza com bóia de nível. (Fonte: Dacach, 1990).

No dimensionamento do reservatório de descarte, são utilizadas regras práticas. Na Flórida, por exemplo, descarta-se 0,4 litros por  $m^2$  de telhado. No Brasil, especificamente em Guarulhos, descarta-se 1,0 litro por  $m^2$ , ou 1 mm de chuva por  $m^2$  (Tomaz, 2003).

### ***3.4 Métodos de Tratamento de Águas***

#### **3.4.1 Cloração**

O método de tratamento mais difundido no Brasil é a cloração pelo seu baixo custo associado além de sua boa aplicabilidade, conferindo à água um bom nível de qualidade. A cloração, entretanto, segundo Sanches (2003), quando é aplicado em águas que contêm matéria orgânica natural, que é o caso da água de chuva captada dos telhados, favorece a formação de tria trihalometanos (THMs) além de outros subprodutos da desinfecção, que pode resultar na formação de íons brometo na água em tratamento.

Alguns THMs, como o clorofórmio, têm sido identificados como substâncias cancerígenas, segundo dados do Instituto Nacional de Câncer dos EUA. No Brasil, a concentração máxima permitida para os padrões de potabilidade de água de trihalometanos é de 100 g L<sup>-1</sup>.

Há especialmente quatro THMs que são fonte de preocupação em se falando do tratamento de água, pois apresentam concentrações significativas. São eles: clorofórmio (CHCl<sub>3</sub>), diclorobromometano (CHBrCl<sub>2</sub>), dibromoclorometano (CHBr<sub>2</sub>Cl) e bromofórmio (CHBr<sub>3</sub>) sendo o principal o clorofórmio, por apresentar maiores concentrações.

#### **3.4.2 Tratamento de água para remoção dos THMs**

Atualmente há processos para a remoção dos THMs. Os mais utilizados são a aeração e o do carvão ativo em pó. Sanches (2003), enfatiza que o primeiro, no entanto, não é eficaz na retirada dos precursores. No caso da armazenagem da água os THMs depois de certo tempo (3 dias a temperatura ambiente em recipientes abertos) tendem a se evaporar pelo fato de eles serem voláteis.

O problema deste método é que nesse período de armazenagem pode ocorrer a recontaminação da água. Além disso, a utilização de aeradores é muito onerosa por causa do custo e da manutenção dos equipamentos necessários.

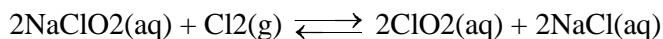
Na utilização de carvão ativo em pó, a eficiência do processo varia bastante, dependendo da quantidade de matéria orgânica natural presente na água. Outra possível alternativa é de remover-se a matéria orgânica antes da reação com o cloro. Deste modo impediria-se a formação de THMs.

### 3.4.3 Uso de desinfetantes alternativos

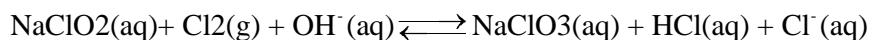
No cenário atual, há um interesse crescente pelo uso de métodos de tratamento alternativos que minimizem a formação de trihalometanos. Os mais conhecidos são o tratamento com ozônio (O<sub>3</sub>), o permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) e o dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>), entre outros.

#### Dióxido de cloro

A aplicação do dióxido de cloro mostradas por Sanches (2003) para o tratamento de água de abastecimento tornou-se possível devido à disponibilidade comercial do clorito de sódio, a partir do qual todo o dióxido de cloro para tratamento de água normalmente é produzido. Em estações de tratamento, o dióxido de cloro é gerado a partir de soluções de clorito de sódio (NaClO<sub>2</sub>). Segundo as reações a seguir:



Pode ocorrer a formação de íons clorato segundo a seguinte reação:



Comercialmente há dois métodos disponíveis para a geração de dióxido de cloro a partir do cloro e clorito de sódio: o sistema cloro aquoso/clorito de sódio e o sistema cloro gasoso/clorito de sódio.

O dióxido de cloro tem uso restrito devido ao fato de haverem problemas de estocagem e manuseio associados a ele, exigindo capacitação técnica específica para sua utilização, por causa do seu efeito explosivo. Por isso, de acordo com o autor anterior, sua produção deve ser feita no local de uso. É demonstrado através de estudos que o dióxido de cloro apresenta as seguintes vantagens quando comparado aos outros compostos clorados:

- maior estabilidade em soluções aquosas;

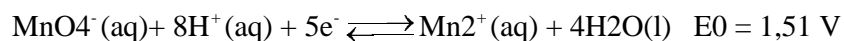
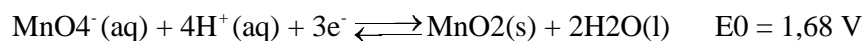
- hidrolisa compostos fenólicos (o que diminui a possibilidade de odores e sabores);
- reage em menor intensidade com a matéria orgânica, apesar de ser cerca de 2,5 vezes mais oxidante do que o gás cloro;
- com baixo tempo de contato, o dióxido de cloro é um eficiente desinfetante e é efetivo no controle do sabor e odor, além de oxidar o ferro e manganês e não há necessidade de acréscimos desse composto em casos que haja amônia na água bruta;
- não produz quantidades significativas de subprodutos da desinfecção (haloaldeídos, halocetonas e haloacéticos), com exceção da formação de íons clorito e clorato em determinadas faixas de pH, pois cerca mais da metade do dióxido de cloro é reduzido a clorito.

Como desvantagens dele, podemos citar:

- a desinfecção com dióxido de cloro produz subprodutos, como cloritos e cloratos, cujos padrões de potabilidade brasileiros são 0,2 mg L<sup>-1</sup>;
- altos custos são associados ao monitoramento de cloritos e cloratos;
- a luz solar decompõe o dióxido de cloro;
- pode produzir odores repulsivos em alguns sistemas.

### **Permanganato de potássio**

O permanganato de potássio, segundo o mesmo autor, é um eficiente oxidante para a oxidação de uma gama de compostos orgânicos e inorgânicos, principalmente o ferro e o manganês (principalmente quando eles encontram-se em complexos com a matéria orgânica natural) e para o controle de sabor e odor da água de consumo. Ele também é utilizado em decantadores no controle de algas. É altamente reativo sob as condições da maioria das estações de tratamento de água. Em meio ácido, as reações parciais dele são:



Em condições alcalinas, a reação parcial é:



As taxas das reações de oxidação dos componentes encontrados em águas naturais são relativamente rápidas e dependem do pH, temperatura e da dosagem. Segundo Sanches (2003), Este reagente pode desativar diversos vírus e bactérias, entretanto, não é utilizado como desinfetante primário ou secundário quando aplicado em doses comumente utilizadas em tratamento de água. Doses mais altas têm custos elevados e, além disso, os resíduos do permanganato de potássio deixam a água rosada.

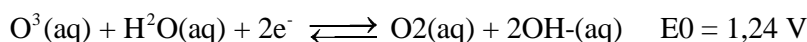
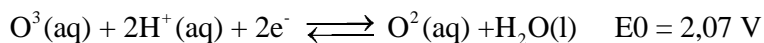
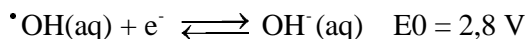
Não há estudos sobre a formação de subprodutos com esse método de tratamento.

### **Ozônio/peróxido de hidrogênio**

No tratamento de água com a combinação de ozônio/peróxido de hidrogênio é semelhante à ozonização, porém no trabalho de Sanches, há um acréscimo na concentração dos radicais livres hidroxila ( $\bullet \text{OH}$ ) em relação ao processo de ozonização simples. Com isso aumenta-se o potencial de oxidação e de desinfecção.

Nesse processo, moléculas de ozônio são convertidas em radicais hidroxilas e aprimora-se a transferência do ozônio da fase gasosa para a líquida, aumentando o potencial de oxidação e, conseqüentemente, aumentando as taxa de reação. A principal diferença entre os dois processos analisados é que a ozonização depende principalmente da oxidação direta da matéria orgânica pelo ozônio, enquanto o peroxônio depende em mais alto grau da oxidação pelo radical hidroxila.

A seguir estão apresentados os potenciais de redução do ozônio e dos radicais hidroxilas:

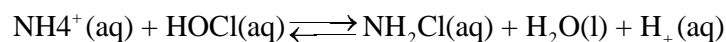


A duração do tempo de contato com o peroxônio não pode ser medido, apesar de seu alto poder desinfetante, pois não se pode garantir a geração de resíduos na rede.

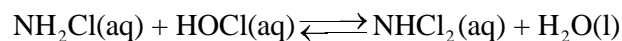
### Cloraminas

As cloraminas são obtidas através da reação do cloro residual com a amônia. A partir das reações mostradas por Sanches, a seguir, podem-se formar os seguintes três tipos de cloramina:

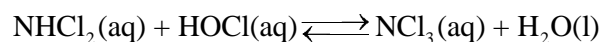
Monocloramina:



Dicloramina:



Tricloramina:



Dependendo do pH, da relação cloro/hidrogênio, da temperatura e do tempo de reação, tem-se a formação de cada tipo de cloramina. Com altas relações clor/hidrogênio, a formação de produtos mais clorados é favorecida. Com pH 8,5, a monocloramina encontra-se em maior quantidade. Em pH 4,4, praticamente quase toda cloramina encontra-se na forma de tricloramina, que promove gosto e odor desagradáveis na água (não interessa para fins potáveis). Com pH entre 4,5 e 9, monocloramina e dicloramina são presentes em variadas proporções.. Por exemplo, pode-se encontrar quase que somente dicloramina quando o pH esta entre pH 4,5 e 5,5.

É relevante se estudar essas diferentes possibilidades de quantidades de mono, di e tricloroaminas dado que elas apresentam diferentes poderes de desinfecção (a dicloramina tem maior efeito bactericida, depois a monocloramina, enquanto que a tricloramina apresenta praticamente nenhum efeito desinfetante).

As cloraminas podem ser utilizadas como desinfetantes primários em uma estação de tratamento com o amônio e o cloro sendo adicionados à água simultaneamente ou um logo após o outro. Como desinfetantes secundários as cloraminas apresentam as seguintes vantagens segundo Sanches (Maio, 2003):

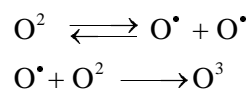
- são menos reativas com a matéria orgânica do que o cloro, minimizando a formação de trihalometanos e ácidos haloacéticos;
- são de fácil obtenção e baixo custo;
- minimizam o surgimento de problemas de gosto e odor.

Algumas das suas desvantagens são:

- têm menor poder de desinfecção que o cloro, o ozônio e o dióxido de cloro, e o tempo de contato para controle bacteriológico deve ser muito longo;
- não oxidam ferro, manganês e sulfito;
- devem ser produzidas in situ.

### 3.5 *Tratamento de Água com Ozônio*

O ozônio é uma forma alotrópica do oxigênio, apresenta odor peculiar irritante, muito volátil e pouco solúvel em água além de pouco estável. De acordo com Sanches (Maio, 2003) ele é um potente oxidante capaz de oxidar compostos orgânicos e inorgânicos na água. Sua produção tem de ser realizada no próprio local da aplicação por causa de sua instabilidade. O modo mais comum de se produzir o ozônio é através da decomposição do oxigênio molecular e posterior combinação de um átomo radical de oxigênio com uma molécula de oxigênio. Isso é feito, segundo Sanches, pela técnica de descarga em plasma frio ou descarga corona conforme as reações representadas a seguir:



O ozônio se decompõe na água de modo espontâneo por meio de mecanismos complexos que envolvem a geração de radicais livre de hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ). Os mecanismos de reação do ozônio na água são:

- em valores de pH neutro ou ácido, oxidação direta dos compostos pelo ozônio;
- em valores de pH básico, oxidação dos compostos feita pelos radicais livres produzidos durante a decomposição do ozônio. A velocidade de decomposição do ozônio é elevada e acentua-se quanto mais alta for a temperatura. Na aplicação do ozônio 10% de se perde por volatilização.



### **3.5.1 Vantagens do uso do Ozônio**

- reduz cor, sabor e odor;
- atua rapidamente sobre materiais orgânicos (forte oxidante)
- rápida atuação sobre bactérias;
- já que seu tempo de meia-vida é de apenas alguns minutos, não apresenta risco à saúde humana em caso de doses excessivas;
- destrói detergentes, pigmentos e fenóis;
- rápida ação desinfetante (suficiente tempo de contato de 5 e 10 minutos);
- seu tratamento pode ser combinado com a pós-cloração para eliminação de problemas organolépticos provenientes do material orgânico produtor de gosto e odor.

### **3.5.2 Limitações do uso do Ozônio**

- gás com odor irritante, venenoso, necessita de mão-de-obra especializada para sua manipulação;
- não existem técnicas suficientemente específicas razoáveis para o controle dos resíduos após a aplicação;
- elevados custos operacionais devido a altos gastos com eletricidade, instalações e operação que faz esse processo ser de 10 a 15 vezes mais oneroso que no tratamento com cloro.

### **3.5.3 Avaliação do Ozônio como Desinfetante**

Para se ter uma noção geral das características do ozônio para sua utilização como desinfetante, comparou-se suas características com as de um desinfetante ideal. Na prática não há nenhum desinfetante ideal, porém essa idealização foi utilizada para se avaliar os diversos aspectos importantes a um desinfetante e sabermos como o ozônio se comporta neles.

**Tabela 5: Características do ozônio.**

Característica	Propriedades/requisitos (Desinfetante ideal)	Ozônio
Disponibilidade/custo	Deve ser disponível em grandes quantidades	Moderadamente alto custo
Habilidade de desodorizar	Deve desodorizar enquanto desinfeta	Alto
Homogeneidade	A solução deve ser uniforme em sua composição	Homogêneo
Interação com material estranho	Não ser absorvido por nenhuma partícula orgânica a não ser bactérias	Oxida matéria orgânica
Não corrosivo	Não deve corroer metais	Altamente corrosivo
Não tóxico para formas de vida mais evoluídas	Deve ser tóxico somente para microorganismos e não tóxico para humanos ou outros animais	Tóxico
Penetração	Deve ter a capacidade de penetra por superfícies	Alto
Segurança	Deve ser seguro de transportar, estocar, manusear e usar	Moderado
Solubilidade	Deve ser solúvel em água ou em tecido de células	Alto
Estabilidade	Deve ter pequena perda de ação germicida no período de ação	Instável; deve ser gerado na hora da utilização
Toxidade para microorganismos	Deve ser efetivo em baixas concentrações	Alto
Toxidade a temperatura ambiente	Deve ser efetivo em temperatura ambiente	Alto

Fonte: Metcalf&Eddy, 2003.

Pela tabela mostrada acima, vemos que, apesar de o ozônio não atender algumas características de um desinfetante ideal, ele apresenta muitas das características necessárias para isso e pode ser considerado relativamente um bom desinfetante.

### 3.5.4 Processo de Ozonização

De acordo com LAHLOU (1999), os elementos básicos para um sistema de tratamento com ozônio são a geração de ozônio, alimentação de gás, contato do ozônio e a destruição do gás do ozônio resultante. Esses itens podem requisitar um grau de sofisticação tecnológica elevado se necessário um tratamento em larga escala, porém em pequena escala há alternativas menos complexas.

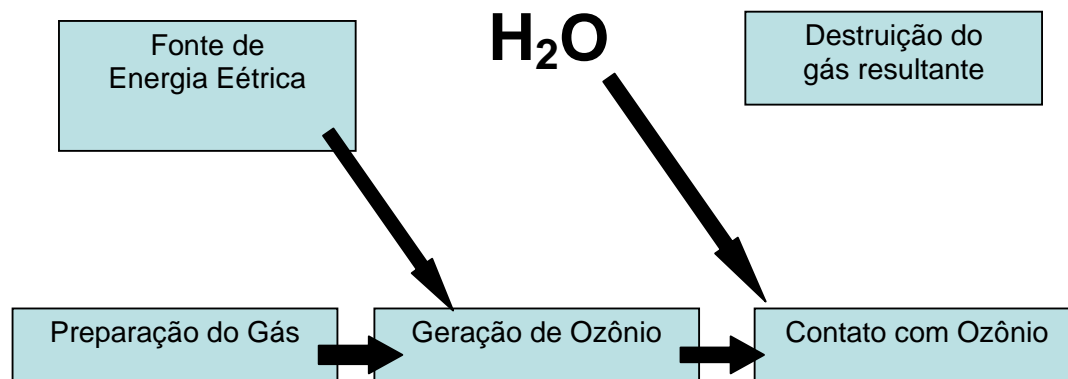


Figura 3: Componentes básicos de um sistema de ozonização. (Fonte: LAHLOU, 1999)

A figura acima mostra os cinco componentes básicos de um sistema de ozonização. A parte central do sistema é o gerador de ozônio, que está conectado a uma fonte de energia elétrica. Para a segurança e eficiência do sistema ser assegurada, deve-se instrumentar e controlar todos os componentes.

De acordo com Sanches (Maio 2003):

“Qualquer que seja o desinfetante alternativo, deve-se garantir que:

- a) seja efetivo na inativação de bactérias, vírus e protozoários, entre outros organismos patogênicos;
- b) sua aplicação seja confiável e feita por meio de equipamentos simples, tendo em vista o grau de desenvolvimento socioeconômico da comunidade;
- c) não produza qualquer composto secundário que cause risco à saúde pública;
- d) apresente atributos similares ao do cloro, tais como fornecer resíduos persistentes na água;
- e) tenha sua concentração facilmente medida, não acarrete sabor e odor, e seja disponível no mercado a custos razoáveis.”

No Brasil, não se tem feito uso de agentes desinfetantes alternativos tais como ozônio, dióxido de cloro, permanganato de potássio e peroxônios, sendo que estes vêm sendo utilizados somente em universidades, para fins de pesquisa.

Não tem havido investimento em desinfetantes alternativos ao uso do cloro, por este apresentar o mais baixo custo, mantendo ainda alguma eficiência. A utilização de tal agente aumenta os riscos à saúde pública, principalmente quando a água apresenta uma coloração muito escura, o que geralmente é devido a uma grande quantidade de matéria orgânica (substâncias húmicas). O controle tem sido realizado principalmente através de dosagem da quantidade de trihalometanos formados na água.

Em países desenvolvidos, tais como França, Alemanha e Estados Unidos, tais agentes alternativos já vêm sendo empregados no tratamento de água pública. Futuramente, os desinfetantes não clorados deverão ser crescentemente utilizados, de forma combinada e até substitutiva ao cloro, de acordo com o desenvolvimento socioeconômico da comunidade e com os custos envolvidos no tratamento de água.

### ***3.6 Estudo de aproveitamento da água de chuva em aeroportos***

A aproveitamento de água em aeroportos pode ser feita com aplicações diversas, desde uma simples coleta de água no telhado como uma coleta envolvendo amplas associadas a estruturas hidráulicas, telhados calhas, etc. Já há estudos e sistemas de aproveitamento de água de chuva (em Singapura, por exemplo), porém para utilização com fins não-potáveis (descargas e combate a incêndio). (Fonte: APPAN, 1993)

#### **3.6.1 No Brasil**

De acordo com a INFRAERO, no Brasil já há exemplos de aplicações e estudos para a aplicação de sistemas de aproveitamento de água. A Infraero e a Agência Nacional de Águas (ANA) firmaram, em 2004, Protocolo de Intenções para a implementação de uma série projetos relacionados à conservação e ao uso racional de água e à gestão de recursos hídricos nos aeroportos administrados pela empresa. Os projetos escolhidos foram desenvolvidos e serão executados por Universidades, Instituições de Ensino e Pesquisa, Instituições de Pesquisa e Institutos Tecnológicos.

O Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), por meio da Finep (Financiadora de Estudos e Projetos) e do CT-Hidro (Fundo Setorial de Recursos Hídricos), publicou Chamada Pública para a escolha das propostas. No último dia 20 abril, foram selecionados nove projetos, entre os 20 apresentados. Dos escolhidos, sete já têm definidos os aeroportos em que serão implementados.

Os projetos Contribuições para Implantação de Programa de Conservação e Aproveitamento de Água em Aeroportos de Pequeno Porte e Capacitação de Gestores de Recursos Hídricos de Aeroportos, desenvolvidos pela Fundação Universidade de Passo Fundo e pela Associação Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, respectivamente, ainda não têm aeroportos definidos para a implantação.

O projeto Aplicação de novas tecnologias para reaproveitamento e uso racional da água, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), será executado no Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins; Conservação da Água no Aeroporto Internacional Afonso Pena (em Curitiba), será implementado no aeroporto paranaense, pela Associação Paranaense de Cultura. No Estado de São Paulo, o

Aeroporto Internacional de Guarulhos receberá o projeto Avaliação e Implementação de Tecnologias de Uso Eficiente da Água em Aeroportos, idealizado pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), e o Aeroporto de Congonhas, o projeto Conservação e Aproveitamento de Águas em Sistemas Aeroportuários, da Universidade de São Paulo (USP).

No Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão, o Instituto Nacional de Tecnologia colocará em prática o projeto Estudo de Tecnologias Complementares para Tratamento de Água em Sistemas de Climatização de Aeroportos. Com o objetivo de preservar o Igarapé Val-de-Cans, localizado no entorno do Aeroporto Internacional de Belém, foi escolhido o projeto Otimização da Estação de Tratamento de Esgotos do Aeroporto Internacional de Belém, desenvolvido pela Universidade Federal do Pará (UFPA); e o projeto Racionalização do Uso da Água no Aeroporto Internacional de Salvador será executado pela Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Em São Paulo, é crescente o número de empresas que estão atentas para as possibilidades do aproveitamento. A Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp) prepara em parceria com a Agência Nacional de águas (ANA) um manual de aproveitamento para as indústrias, dividido por setores produtivos, a começar do químico, petroquímico, siderurgia, celulose e papel e alimentício. Historicamente, a indústria nunca se preocupou com a gestão da água, considerada um recurso natural barato. A mentalidade está mudando, pois hoje o uso da água está sujeito a outorga e cobrança pela captação e tratamento.

## 4 Métodos e Aplicações

### 4.1 Coleta da Água da chuva

#### 4.1.1 1º método

Essa coleta deve ser feita por meio de calhas que conduzem a água da chuva que cai sobre o telhado. As amostras devem ser coletadas em garrafas pet para posterior análise. O método de coleta compreende um espaço de duração de chuva de uma hora e nesse período devem ser coletadas amostras a cada 10 minutos totalizando seis garrafas. Esse número e distribuição de coletas são tomados devido ao fato de que no final das observações, a qualidade da água converge para um padrão estável.

A partir deste tipo de coleta foi observado que as garrafas do tipo “pet” não são indicadas para este tipo de experimento, pois elas não conservam muito bem as características da água. Para utilizá-las precisa-se que os testes da qualidade da água sejam aplicados num horizonte de, no máximo, 2 dias (o que não é tão simples de se fazer).

Outro fator a ser considerado nesse tipo de coleta é a vulnerabilidade de quantidade de amostras à frequência e intensidade de chuvas. Dados esses fatores, criou-se um outro método.

#### **Aplicação**

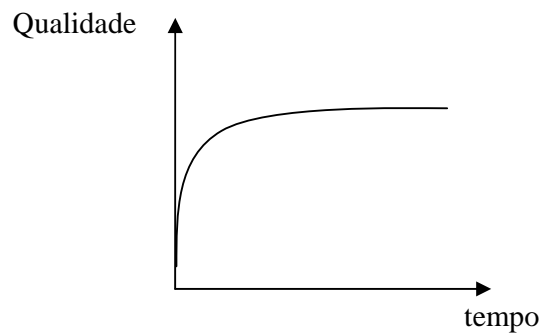
Coleta de Água no H8-A, CTA São José dos Campos - SP

Realizou-se a coleta de água em duas canaletas do alojamento H8A no dia 21 de Abril de 2007 com a chuva que teve seu início às 15h20min. O início da coleta se deu algum tempo após o início da chuva porque se esperou ter uma vazão suficiente para efetuar-se a coleta, que iniciou às 15h43min. Não se completou a coleta das seis amostras por causa da pequena duração da chuva. Os dados das coletas na Tabela 6:

**Tabela 6: Dados da coleta de chuva**

Início da chuva 15:20		tempo (s)	
Hora	Garrafa	1ª Canaleta	2ª Canaleta
15:43	1	23	25
15:53	2	27	35
16:03	3	135	170
16:13	4	180	120
16:23	5		
16:33	6		

Observou-se que as primeiras amostras apresentam uma turbidez muito acentuada e que as últimas apresentavam quase a mesma. Isso se deu devido ao fato de as primeiras amostras conterem muita poluição proveniente do telhado e do ar. Depois de um tempo, a chuva “lava” o telhado e o ar e então as amostras começam a seguir um padrão de qualidade. Empiricamente notou-se que a qualidade da água se comporta como a seguinte curva exponencial mostrada na figura 4.

**Figura 4: Qualidade da água com o tempo de chuva.**

A próxima atividade a ser realizada será a coleta pelo segundo método.

#### 4.1.2 2º método (recomendação)

Esse método visa contornar os problemas encontrados no outro. Para isso, primeiramente utiliza-se garrafas especiais para armazenamento da água para uma posterior análise de sua qualidade. Depois, a chuva é substituída por uma simulação (chuva artificial) com balde ou mangueira. Desse modo, pode-se controlar melhor a vazão de água e, não se depende mais da aleatoriedade das chuvas. Este método, entretanto, tem um outro problema que não existia no outro. Estaremos simulando a chuva (que, antes do telhado, está contaminada com impurezas do ar) com água potável, que possui substâncias não presentes na chuva como o Flúor. Além disso, não estaremos contabilizando os efeitos das impurezas do ar.

Essas imprecisões do método, porém podem ser facilmente contornadas. Primeiramente porque se sabe exatamente a quantidade de flúor e outras substâncias que estão presentes na chuva simulada. Em segundo lugar, a “primeira água” da chuva é que possui poluições do ar, as outras não apresentam esse fator tão acentuado.

### 4.2 Modelo para determinação de água escoada

A base desse modelo é que um sistema de captação de água, segundo Tomaz (2003), obedece à seguinte relação:

$$Q = C.I.A$$

(Equação 1)

Onde,

Q = vazão de água escoada ( $m^3/T$ );

C = coeficiente de *run-off*;

I = intensidade em (m);

A = área ( $m^2$ ).

Esse método não é muito preciso, mas é bastante utilizado quando se quer saber a acumulação em uma bacia. Na Tabela 7 estão os valores estudados por Paulo Wilken dispostos em 1978.



**Tabela 7: Coeficientes de Escoamento Superficial “C” (P.S. Wilken, 1978)**

Superfície	Coefficiente C
Telhados	0,70 a 0,95
Pavimentos	0,40 a 0,90

## Aproveitamento de água de chuva no AISP-Guarulhos

### Quantidade de água disponível (potencial de aproveitamento)

Para se fazer esse levantamento, deve-se avaliar os seguintes fatores:

- Área de telhado;
- Área de pátio;
- Clima (pluviosidade);
- Restrições de uso (qualidade da água).

### Qualidade da água

Para cada perfil de água coletada, deve-se fazer análises de qualidade assim como os testes e estudos de tratamentos a serem dados a cada uma delas. E será analisado o tratamento pré-eliminar como ozônio em cada uma delas.

### Estudo de viabilidade

Devem ser analisadas as possibilidades e se é viável a utilização do ozônio como tratamento pré-eliminar através dos seguintes parâmetros:

- Tecnologia disponível;
- Custos;
- Benefícios e resultados esperados.

## 5 Dados

### 5.1 Pluviometria

Os dados de pluviometria que serão usados para o cálculo do potencial de água a ser reutilizada foram fornecidos pela estação de tratamento do AISP Guarulhos. Abaixo estão os gráficos descrevendo precipitação pluviométrica diária do período de 2002 a 2006:

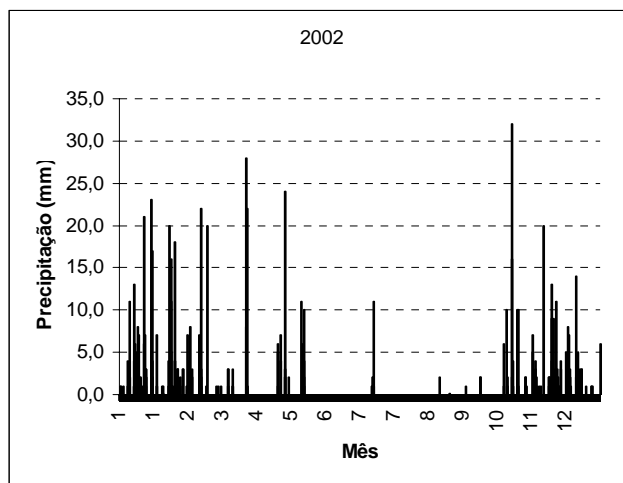


Figura 5: Precipitação Horária no AISP Guarulhos no ano de 2002

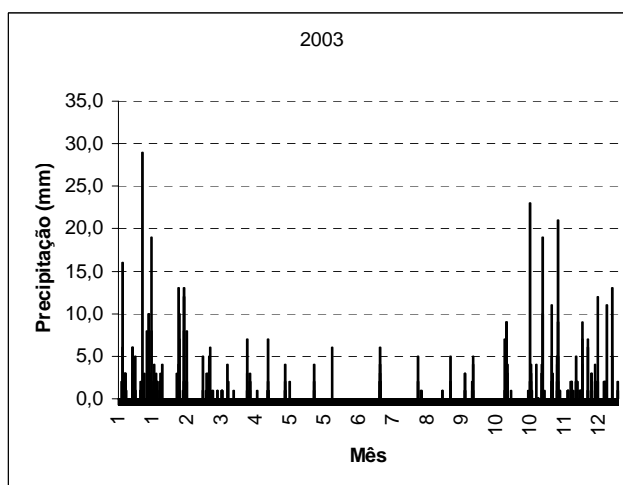


Figura 6: Precipitação Horária no AISP Guarulhos no ano de 2003

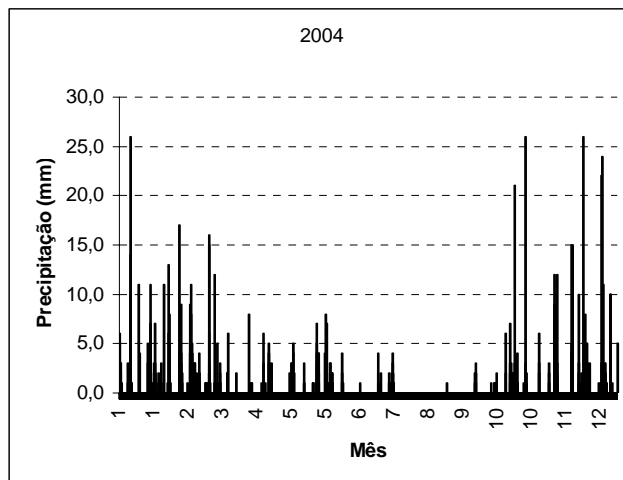


Figura 7: Precipitação Horária no AISP Guarulhos no ano de 2004

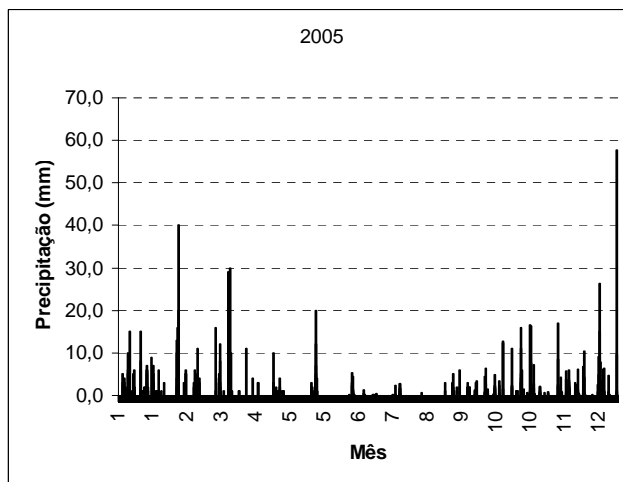


Figura 8: Precipitação Horária no AISP Guarulhos no ano de 2005

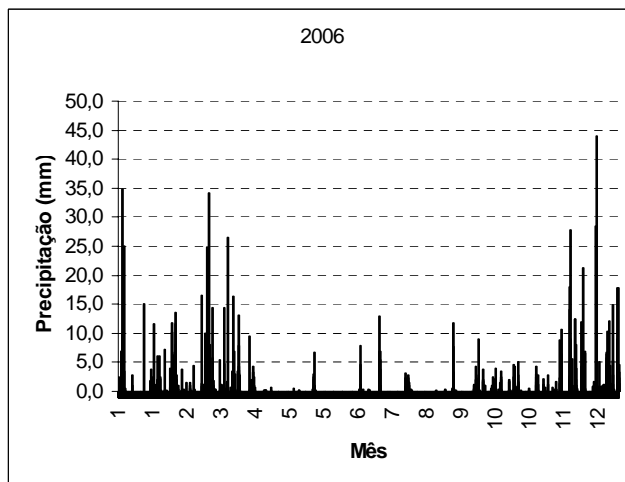


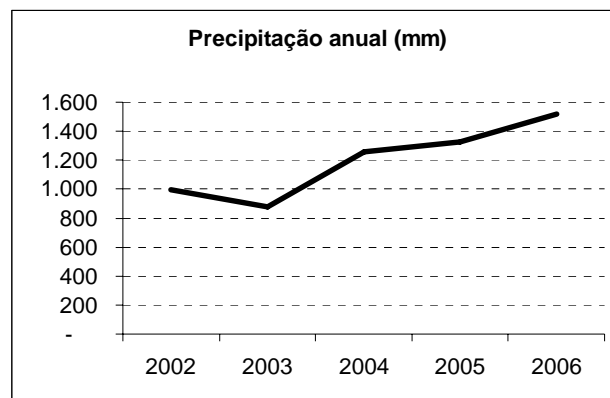
Figura 9: Precipitação Horária no AISP Guarulhos no ano de 2006

É possível se observar nas Figura 5 à Figura 9 a sazonalidade das chuvas na região do Aeroporto de Guarulhos, ficando mais concentradas entre os meses de outubro e março. Esse período é o ideal para que seja aproveitada a água de chuva, pois, com chuvas periódicas, as superfícies de captação acumulam menos poluição e a água captada é de melhor qualidade além de se ter um maior volume. Por isso recomenda-se que o aproveitamento de água de chuva seja realizado principalmente neste período.

Dessa massa de dados segue como anexo 1 do presente trabalho extraiu-se a precipitação acumulada em cada um dos anos e daí, calculou-se a média de precipitação anual no período analisados.

**Tabela 8: Precipitações e média anual de chuva de 2002 a 2006**

Ano	Precipitação anual (mm)
2002	994
2003	877
2004	1.256
2005	1.324
2006	1.521
Media	1.194



**Figura 10: Gráfico das precipitações anuais de 2002 a 2006**

Vale notar no gráfico 10 a crescente taxa de precipitação anual. Mostrando que o tratamento de águas de chuva está se tornando cada vez mais viável para o AISP Guarulhos.

Como já foi citado, segundo Tomaz (2003), precisa-se descartar 1 mm de chuva por m<sup>2</sup> de telhado. Dessa forma, se desconsiderar-se apenas dias com pluviosidade acima de 1 mm e que seria descartado o primeiro milímetro de cada chuva, tem-se a seguinte quantidade de chuva aproveitável na tabela 9.

**Tabela 9: Quantidade de precipitação aproveitável nos telhados**

<b>Ano</b>	<b>Precipitação</b>
<b>2002</b>	904
<b>2003</b>	789
<b>2004</b>	1.146
<b>2005</b>	1.213
<b>2006</b>	1.399
<b>Média</b>	1.090

Para o caso de pátios e pistas, como a superfície é bem mais poluída, considerou-se chuvas com precipitações apenas acima de 2mm e que seriam descartados os 2 mm iniciais de cada chuva. Deste modo, as precipitações aproveitáveis estão descritas na tabela 10.

**Tabela 10: Quantidade de precipitação aproveitável nos pátios e pistas**

<b>Ano</b>	<b>Precipitação</b>
<b>2002</b>	827
<b>2003</b>	712
<b>2004</b>	1.056
<b>2005</b>	1.121
<b>2006</b>	1.300
<b>Média</b>	1.003

## 5.2 Áreas

As áreas foram divididas de acordo com cada superfície e qualidade da água que será captada. São elas:

### 5.2.1 Telhados

As áreas de telhados foram fornecidas pela administração do AISP Guarulhos e estão descritas na tabela abaixo, de acordo com Plano de Gerenciamento de Recursos Hídricos do AISP.

**Tabela 11: Áreas de Telhado do Setor 1 (Terminais de Passageiros e Terminal de Cargas).**

Local	Área de cobertura (m <sup>2</sup> )
TPS 1	31.330,28
TPS 2	31.379,25
FINGER TPS 1	8.868,99
EDIFÍCIO INTERLIGAÇÃO	3.376,21
REMOTA CENTRAL	6.369,04
REMOTA LATERAL	7.331,75
GUARITA DE ACESSO SETOR "A"	273,18
GUARITA DE ACESSO SETOR "C"	273,18
TERMINAL VIP REGIONAL	153,28
HELIPORTO - TERMINAL DE PASSAGEIRO	360,87
LAVAÇÃO AUTOMÓVEL - ESTACIONAMENTO TAXI	109,37
TPS 2 - FINGER	11.252,46
CENTRAL TELEFÔNICA	1.308,70
GUARITA SERVIÇO TECA INFRAERO	204,19
EDIFÍCIO APOIO - ESTACIONAMENTO TAXI	941,89
ABRIGOS DE PONTO DE PARADA DE ÔNIBUS	482,48
ABRIGO DAS CABINES E CANCELAS ESTACIONAMENTO VEÍCULOS - SAÍDA TPS 1	321,87
ABRIGO DAS CABINES E CANCELAS ESTACIONAMENTO VEÍCULOS - SAÍDA TPS 2	321,87
SUBESTAÇÃO PRINCIPAL 138 Kv	2.114,29
Central de Água .Gelada.	1.474,06
TECA INFRAERO - ED. ANEXO - MANUTENÇÃO E SERVIÇO	622,66
TECA EDIFÍCIO ADMINISTRAÇÃO INFRAERO	2.791,49
TECA INFRAERO - IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO	62.119,61
ABRIGO DAS CABINES E CANCELAS - ESTACIONAMENTO VEÍCULOS - TPS 1 E 2	321,87
COB. MET. DOS ACESSOS AOS TPS, ADM E ESTACIONAMENTO	19.867,78
TORRE DE CONTROLE	1.807,68
GUARITA - TECA INFRAERO	204
<b>Total</b>	<b>195.982,30</b>

Fonte: INFRAERO – Superintendência Regional Sudeste

**Tabela 12: Áreas da ETE.**

<b>Local</b>	<b>Área de cobertura (m<sup>2</sup>)</b>
GUARITA DE ACESSO SETOR "B"	273,18
ETE	438,75
ESTAÇÃO DE TRAT. DE LIXO	1.551,24
VIVEIRO DE PLANTAS - GALPÃO ADMINISTRAÇÃO	612,24
LAVAÇÃO DE CONTAINERS - APOIO PARA EST. DE TRAT. DE LIXO	174
VIVEIRO DE PLANTAS - ESTUFA	2.109,15
CENTRO DE RECEPÇÃO	408,11
VIVEIRO DE PÁSSAROS	15,12
VIVEIRO DE PLANTAS - ESTUFA ISOLADA	77,15
PRÉDIO APOIO À ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE LIXO	340,36
<b>Total</b>	<b>5.999,30</b>

Fonte: INFRAERO – Superintendência Regional Sudeste

Portanto, somando-se as áreas de telhado dos Terminais de Passageiros, de Carga e da ETE, temos um total de 201.981,60 m<sup>2</sup> de área total de telhados.

### **5.2.2 Pátio de Aeronaves**

As áreas de pátio e de pista foram calculadas através das plantas. Esse cálculo foi realizado manualmente pelo fato de as plantas estarem em formato de figura. O cálculo foi feito por aproximações de áreas por polígonos.

Por este método a área total de pátio calculada foi de 867.487,50 m<sup>2</sup>.

### **5.2.3 Pista**

Pelo mesmo método de cálculo utilizado para calcular a área de pátio, a área total de pistas (de taxi, principal e secundárias) calculada foi de: 872.665,40 m<sup>2</sup>.

## 6 Potencial de água de chuva para aproveitamento

### 6.1 Cálculo

Utilizando-se a equação 1:

**Tabela 13: Cálculo do volume de escoamento potencial por ano**

Local	Área (m <sup>2</sup> )	Coefficiente de run-off	I (mm)	Volume de escoamento/ano (m <sup>3</sup> )
Telhados	201.981,60	0,8	1.090	176.127,96
Pátio de Aeronaves	867.487,50	0,75	1.003	652.567,47
Pistas	872.665,40	0,75	1.003	656.462,55
Total				1.485.157,97

Utilizou-se coeficientes de run-off conservadores, de modo a minimizar o risco de superestimar o potencial de água de chuva para aproveitamento. No caso dos telhados (de amianto), há menor absorção e evaporação que nos pátios e pistas (Concreto e CBUQ), tanto pelo material quanto pelas temperaturas de superfície. Por isso foram considerados coeficiente de run-off baixos (0,8 e 0,75) para a categoria que se encontram dentro da tabela 6.

### 6.2 Comparação com o consumo do Aeroporto

O consumo do AISP, segundo a INFRAERO, é dada na **tabela a seguir**.

**Tabela 14: Consumo de água anual no AISP GRU**

Ano	Demanda (m <sup>3</sup> )
2000	806.482
2001	602.646
2002	524.976
2003	445.722
2004	530.267
2005	599.519
2006	666.548
<b>Média</b>	596.594

Como o consumo médio do aeroporto é de 596.594 m<sup>3</sup> (Tabela 14) nota-se que, potencialmente pode-se suprir toda a demanda com apenas 40% do potencial de aproveitamento de água de chuva sem considerar os fins de utilização, pois parte da água potencialmente aproveitável tem restrições de utilização. Então, pode-se utilizar toda a água do telhado (que tem melhor qualidade) e parte das águas dos pátios e pistas.



## 7 Custos do tratamento com Ozônio

O ozônio será considerado nesta parte como tratamento complementar ao tratamento com cloro. Isso porque depois do tratamento com cloro, a água, segundo estudos mostrados nesse trabalho apresentará gosto desagradável além de uma alta probabilidade de concentração excessiva de THMs. Além disso, o cloro é interessante para fazer o tratamento inicial, pois o custo associado a esse tratamento é bem mais baixo (será desprezado) que com o ozônio, por isso o ozônio deve ficar para a parte mais nobre do tratamento.

Nesta parte serão calculados os custos de modo conservador, ou seja, maximizando-os. Admitindo que a finalidade de uso da água tenha como destino mais nobre o uso sanitário, então precisar-se-á que, dos poluentes presentes na água de chuva (seções 3.1 e 3.2), apenas os orgânicos devem ser eliminados.

### 7.1 Custo Inicial

Será considerado o dia crítico dos cinco anos analisados para que seja dimensionada a quantidade de ozônio necessária assim como os custos envolvidos nisso. Neste dia, o volume considerado de água a ser tratada será o volume escoado menos o volume de descarte, ou seja, o volume aproveitável no dia crítico.

Daí, verificou-se que a precipitação máxima em um dia é de 71,5 mm. Portanto a precipitação aproveitável máxima é de 70,5 mm para os telhados e 69,5 mm para os pátios e pistas, conforme mostra a Tabela 15.

**Tabela 15: Volume máximo escoado no dia crítico de 2002 a 2006.**

Local	Área (m <sup>2</sup> )	Coefficiente de run-off	I (mm)	Volume de escoamento/dia (m <sup>3</sup> )
Telhados	201.981,60	0,80	70,50	11.391,76
Pátio de Aeronaves	867.487,50	0,75	69,50	45.217,79
Pistas	872.665,40	0,75	69,50	45.487,68
Total				102.097,23

Para conseguir-se uma eficiência maior que 99,99% no tratamento das matérias orgânicas (para água potável), segundo Rice (1984), é preciso que se tenha uma concentração de ozônio de 0,4 mg/l por, pelo menos, 4 minutos.

**Tabela 16: Quantidade de ozônio necessária para tratar a água**

Local	Quantidade de O <sup>3</sup> (g/dia)	Quantidade de O <sup>3</sup> (g/h)
Telhados	4.556,70	189,86
Pátio de Aeronaves	18.087,11	753,63
Pistas	18.195,07	758,13
Total	40.838,89	1.701,62

Para o volume máximo de escoamento diário considerado a ser tratado (102.097,23 m<sup>3</sup>, conforme Tabela 15), portanto, precisa-se de 40.838,89 g de ozônio, ou seja, de uma produção de 1.701,62 g de ozônio por hora. Essa é a capacidade máxima de produção diária necessária para o sistema de tratamento de ozônio. E daí pode-se saber aproximadamente o custo do investimento.

Vale lembrar que nem toda essa capacidade precisa ser utilizada, uma vez que a água pode ser estocada em um reservatório e ser tratada durante um período maior que um dia. Considerando-se 50% dessa capacidade, ou seja, 850,81 g de ozônio por hora, o custo inicial aproximado (1,80 R\$/USD) seria R\$ 713815,20 (22 plantas de ozônio variáveis 4lb/dia) mais R\$ 259569,20 (bombas, instalação elétrica, monitores, etc.). Totalizando R\$ 973.384,40.

Se isso for financiado em 10 anos a uma taxa de 11%, no Brasil. A parcela anual seria de R\$ 148.902,75.

## **7.2 *Custo Corrente***

Neste tópico não serão abordados os custos com manutenção, pois isso depende de muitos fatores que não serão tangíveis no momento.

Depois de implantado o sistema de tratamento com ozônio o único custo associado ao processo é com energia (desconsiderando o custo com manutenção), no caso de sistemas alimentados com oxigênio (melhor custo/benefício). Para o cálculo deste custo, precisa-se calcular a quantidade de ozônio usada durante um ano. Para isso será usado o volume de água a ser tratada no ano crítico.

Verificou-se que a precipitação máxima em um ano é de 1.521,1 mm, a precipitação aproveitável máxima é de 1.398,9 mm para os telhados e de 1300,0 mm para os pátios e pistas, conforme mostra a Tabela 17.

**Tabela 17: Cálculo do Volume de escoamento potencial no ano**

Local	Área (m <sup>2</sup> )	Coefficiente de run-off	I (mm)	Volume de escoamento/ano (m <sup>3</sup> )
Telhados	201.981,60	0,8	1.398,90	226.041,65
Pátio de Aeronaves	867.487,50	0,75	1.300,00	845.800,31
Pistas	872.665,40	0,75	1.300,00	850.848,77
			Total	1.922.690,73

Conforme citado em 7.1, para conseguir-se uma eficiência maior que 99,99% no tratamento das matérias orgânicas, segundo Rice (1984), é preciso que se tenha uma concentração de ozônio de 0,4 mg/l por, pelo menos, 4 minutos.

**Tabela 18: Quantidade de ozônio necessário para o escoamento potencial**

Local	Quantidade anual de O <sup>3</sup> (g)
Telhados	90.416,66
Pátio de Aeronaves	338.320,13
Pistas	340.339,51
Total	769.076,29

Para o volume máximo de escoamento anual considerado a ser tratado no período analisado (1.922.690,73 m<sup>3</sup>, conforme Tabela 18), portanto, precisa-se de 769.076,29 g de ozônio no ano. Essa é a quantidade máxima de produção anual necessária para o sistema de tratamento de ozônio, no período analisado. E daí pode-se saber aproximadamente o custo corrente anual de energia para o tratamento.

Considerando, o preço de R\$ 0,20/ kWh (ANEEL) em serviços públicos, para se produzir 769.076,29 g de ozônio no ano, ou, 2.136,32 g por dia, gasta-se aproximadamente R\$ 43,48 (produção de ozônio) mais R\$ 9,05 (bombeamento e monitores). Totalizando R\$ 52,53.

É importante observa-se também que esse custo deve aumentar com o tempo se a tendência de chuvas se confirmar como foi visto no gráfico 10. Isso, no entanto, não é um problema, dado que o custo corrente é bem menor que o inicial e é a parte dos custos que torna o investimento com ozônio por vezes viável.

### 7.3 *Custo Total*

O custo total diário é a soma do custo inicial com o custo corrente:

$$CT = (R\$ 148.902,75 / 365) + (R\$52,53)$$

$$CT = R\$ 355,41 \text{ por dia}$$

$$CT = R\$ 10.662,38 \text{ por mês}$$

$$CT = R\$ 129.725,66 \text{ por ano}$$

Onde,

CT = Custo Total

Vale observar que este custo é para o melhor tratamento com ozônio de modo a ter uma eficiência maior que 99,99%, segundo RICE (1984). Além disso, o CT foi calculado para o tratamento de toda a água de chuva potencial de aproveitamento. Porém esse custo corresponde a 250% do consumo do aeroporto. Fazendo-se o mesmo cálculo supondo que só seria tratada a água que fosse consumida, teria-se:

$$CT = R\$ 142,17 \text{ por dia}$$

$$CT = R\$ 4.264,95 \text{ por mês}$$

$$CT = R\$ 51.890,26 \text{ por ano}$$

$$CV = R\$ 0,087 \text{ por m}^3$$

Onde,

CV = custo por volume.

Esses valores são podem ser mais baixos se considerar-se a economia de coagulantes, floculantes e cloro. Além disso, o sistema de tratamento pode ter uma vida maior que 10 anos e seu preço se diluir em outros anos.

## 8 Conclusão

Percebe-se que o tratamento com ozônio é uma possível alternativa para o tratamento de água de chuva no Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos, que possui um potencial de aproveitamento de 1.703.136,95 m<sup>3</sup> de água de chuva por ano. O consumo do aeroporto médio de 2000 a 2006 é de 596.594 m<sup>3</sup> que corresponde a 40% d potencial de aproveitamento.

O custo total aproximado do tratamento de ozônio para atender à demanda do aeroporto, considerando 10 anos de vida útil, é de R\$ 51.890,26 por ano. Sendo 15% de custos correntes e 85% de custos de investimento inicial. Que é um valor elevado, portanto sugere-se que o tratamento com ozônio seja usado apenas para os fins mais nobres, deixando apenas o tratamento com cloro pra os outros fins.

É importante fazer um estudo da qualidade das águas provenientes de telhado, dos pátios e das pistas e através da qualidade requerida para cada fim, calcular a quantidade de ozônio e os custos envolvidos para o tratamento dessa água de aproveitamento.

Viu-se que o potencial de aproveitamento de água é bastante elevado (250% da demanda), que a precipitação acumulada ao longo dos anos vem aumentando, o que mostra que a alternativa de aproveitamento de águas de chuva é cada vez mais interessante.

Dada a sazonalidade das chuvas na região do Aeroporto de Guarulhos, ficando mais concentradas entre os meses de outubro e março, recomenda-se que, principalmente, nesse período seja aproveitada a água de chuva, pois, com chuvas periódicas, as superfícies de captação acumulam menos poluição e a água captada é de melhor qualidade além de se ter um maior volume.

## 9 Referências Bibliográficas

- [1] PETERS, Madelon Rebelo. *Potencialidade de Aproveitamento de Fontes Alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial*. 109f. 2006. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- [2] LAHLOU, Mohamed, Ozone, *Tech Brief (NDWC)*, n. 12, dec., 1999
- [3] TUCCI, Carlos E.M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3.ed. UFRGS, 2002. 944p.
- [4] KITAMURA, M. C. *Aproveitamento de águas pluviais para uso não potável na PUCPR*. 68f. 2004. Tese (Graduação em Engenharia Ambiental) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.
- [5] SANCHES, S. M. et al. Agentes desinfetantes alternativos para o tratamento de água. *Química Nova na Escola*, n. 17, mai., 2003.
- [6] INFRAERO, Disponível em: <[www.infraero.gov.br](http://www.infraero.gov.br)>. Acesso: 16 de nov. 2007.
- [7] TOMAZ, Plínio. *Aproveitamento de água de chuva*. 2.ed. São Paulo: Navegar, 2003.
- [8] RICE, R. G. *Handbook of ozone technology and applications*. Boston: Butterworth, 1982. 2v.
- [9] TORDO, O. C. *Caracterização e avaliação do uso de água de chuva para fins potáveis*. 121f. 2004 Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.
- [10] APPAN, A. The utilization of rainfall in airports for non-potable uses. 1993. *Nanyang Technological University*, Singapore.

**FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO**

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p align="center">TC</p>	2. DATA <p align="center">22 de novembro de 2007</p>	3. DOCUMENTO N° <p align="center">CTA/ITA-IEI/TC-014/2007</p>	4. N° DE PÁGINAS <p align="center">45</p>
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Aproveitamento da água de chuva: estudo de caso no AISP - Guarulhos			
6. AUTOR(ES): <b>Gustavo Bezerra de Paula Pessoa</b>			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil – ITA/IEI			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Aproveitamento de água de chuva, aeroporto de Guarulhos. tratamento de água de chuva.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Tratamento de água; Reciclagem; Chuvas; Abastecimento de água; Aeroportos; Análise econômica; Engenharia sanitária			
10. APRESENTAÇÃO: <b>X Nacional</b> <b>Internacional</b> Trabalho de Graduação, ITA, São José dos Campos, 2007 45 páginas			
11. RESUMO: <p>O tratamento com ozônio é uma possível alternativa para o tratamento de água de chuva no Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos, que possui um potencial de reutilização de 1.703.136,95 m<sup>3</sup> de água de chuva por ano. Deste, 190.509,05 m<sup>3</sup> são oriundos de telhados, 754.063,51 m<sup>3</sup> dos pátios e 758.564,40 m<sup>3</sup> das pistas. Por outro lado, o consumo do aeroporto médio de 2000 a 2006 é de 596.594 m<sup>3</sup> que corresponde a 40% do potencial de reutilização.</p> <p>O custo total aproximado do tratamento de ozônio para atender à demanda do aeroporto, considerando 10 anos de vida útil, é de R\$ 51.890,26 por ano. Que é um valor elevado, portanto sugere-se que o tratamento com ozônio seja usado apenas para os fins mais nobres, deixando apenas o tratamento com cloro pra os outros fins.</p> <p>Viu-se que o potencial de aproveitamento de água de chuva é bastante elevado (250% da demanda), que a precipitação acumulada ao longo dos anos vem aumentando, o que mostra que a alternativa de aproveitamento de águas é cada vez mais interessante.</p>			
12. GRAU DE SIGILO: <b>(X) OSTENSIVO</b> ( ) RESERVADO ( ) CONFIDENCIAL ( ) SECRETO			