

MARCOS DORNELAS FREITAS MACHADO E SILVA

**INTEGRAÇÃO DE MÉTODOS PARA O USO EFICIENTE DE ÁGUA EM  
AMBIENTES URBANOS**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S586i  
2014

Silva, Marcos Dornelas Freitas Machado e, 1984-  
Integração de métodos para o uso eficiente de água em  
ambientes urbanos / Marcos Dornelas Freitas Machado e Silva. –  
Viçosa, MG, 2014.  
xviii; 155f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Maria Lúcia Calijuri.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Água - Consumo. 2. Água - uso. 3. Abastecimento de  
águas nas cidades. 4. Abastecimento de água - Custos. 5. Água -  
Fontes alternativas. 6. Energia - Fontes alternativas .  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.  
II. Título.

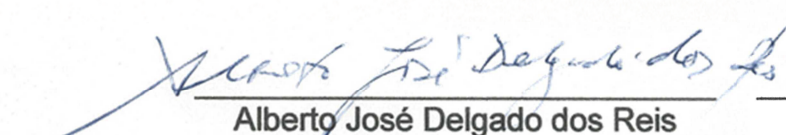
CDD 22. ed. 333.91

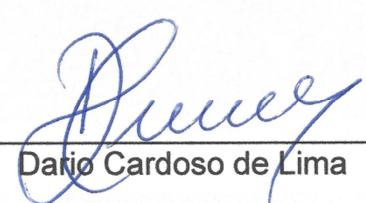
MARCOS DORNELAS FREITAS MACHADO E SILVA

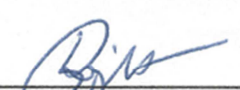
**INTEGRAÇÃO DE MÉTODOS PARA O USO EFICIENTE DE ÁGUA EM  
AMBIENTES URBANOS**

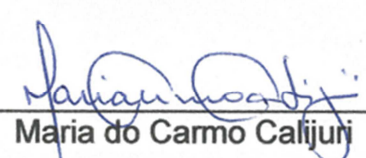
Tese apresentada à Universidade Federal  
de Viçosa, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, para obtenção do título  
de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 24 de junho de 2014.

  
Alberto José Delgado dos Reis

  
Dario Cardoso de Lima

  
Rejane Helena Ribeiro da Costa

  
Maria do Carmo Calijuri

  
Maria Lúcia Calijuri  
(Orientadora)

*Aos meus pais Marco Antônio e Eucirleá,  
aos meus irmão Lucas e Fellipe,  
e à minha esposa Ana Cristina,  
dedico.*

*“Mas, sejam fortes e não desanimem,  
pois o trabalho de vocês será recompensado”.  
II Crônicas 15:7*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela proteção e cuidado.

Aos meus pais, Marquinho e Léa, pelos exemplos de conduta e integridade, pelo amor, dedicação e incentivo.

Aos meus irmão, Lucas e Fellipe, que acima de tudo são grandes amigos.

À minha esposa Ana Cristina, pelo apoio, paciência e carinho.

À professora Maria Lúcia Calijuri, pelo exemplo de paixão pela pesquisa, e que durante estes sete anos foi muito além do papel de orientadora, me deu apoio incondicional e um ombro amigo.

Aos professores Dario Cardoso de Lima, Maria do Carmo Calijuri e Rejane Helena Ribeiro da Costa, e ao pesquisador Alberto Delgado dos Reis, por terem participado da banca de qualificação, por participarem da banca de defesa, pelas sugestões e contribuições para o aperfeiçoamento deste estudo.

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

Ao CNPq e FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudo e recursos financeiros para a pesquisa.

Ao grande amigo Madson, que me apoiou nesta decisão, mesmo sabendo das dificuldades que ela traria, a quem devo muita gratidão.

À todos os companheiros que fazem ou já fizeram parte do nPA/SIGEO, entre eles, Thiago, Henrique, Mauro, Madson, Ronan, Rodrigo, Eduardo, Leonardo, Isabella, Mateus, Paula, Everton, Aníbal, Luna, Alessandra, Francisco, Lucas, Mauro, Éder, Mariana, Ivan, Marcus e Gabriel pelas discussões e tantos momentos de aprendizagem e descontração.

Aos colegas do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA), Mônica, André, Agostinho, Júlio, Capelão e Priscila, pela ajuda fundamental.

À INFRAERO, em especial à Marina Quirino, Rita de Cássia, Carlos Cesar, Sebastião Cordeiro, José Milton, pela dedicação para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Sr. José Mário Gomes Guimarães pela montagem e manutenção do experimento e por toda disposição em ajudar.

À equipe da ITRON, especialmente ao Edgar da Costa, Rodrigo Louzada, Rafael Moreira e Renato Pinto, pelo fornecimento da tecnologia para hidrometração do Aeroporto Internacional Tancredo Neves.

Aos antigos companheiros de república em Viçosa, André, Vinícius, Lucas, Marcos, Arthur, Belquior e Danilo, pela amizade e convívio.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, o meu mais sincero agradecimento.

## **BIOGRAFIA**

Marcos Dornelas Freitas Machado e Silva, filho de Marco Antônio Machado da Silva e Eucirléa Dornelas Freitas Machado da Silva, nasceu na cidade de Belo Horizonte-MG no dia 1 de junho de 1984. Coursou o ensino médio profissionalizante em Informática Industrial no CEFET de Belo Horizonte e, parcialmente, no CEFET de Vitória-ES. Ingressou, em 2005, na Universidade Federal de Viçosa - UFV, se formando em julho de 2009 como Engenheiro Ambiental. Neste mesmo ano iniciou o mestrado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da UFV, se transferindo para o doutorado direto em 2011. Em junho de 2014 defende sua tese.



## SUMÁRIO

|                                                                                                                              |              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                                                                                                 | <b>x</b>     |
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>                                                                                                | <b>xii</b>   |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>                                                                                  | <b>xiii</b>  |
| <b>RESUMO .....</b>                                                                                                          | <b>xvii</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                                                        | <b>xviii</b> |
| <b>I - INTRODUÇÃO GERAL .....</b>                                                                                            | <b>1</b>     |
| 1. Apresentação .....                                                                                                        | 1            |
| 2. Contextualização .....                                                                                                    | 2            |
| 3. Objetivos.....                                                                                                            | 5            |
| 3.1. Geral .....                                                                                                             | 5            |
| 3.3. Específicos .....                                                                                                       | 5            |
| 4. Hipótese de pesquisa .....                                                                                                | 6            |
| 5. Revisão bibliográfica.....                                                                                                | 7            |
| 5.1. Sistema de monitoramento do consumo.....                                                                                | 7            |
| 5.2. Equipamentos hidrosanitários economizadores .....                                                                       | 8            |
| 5.3 Reuso de água cinza .....                                                                                                | 10           |
| 5.4. Aproveitamento de água pluvial.....                                                                                     | 12           |
| 5.5. Panorama mundial do consumo de água em aeroportos .....                                                                 | 14           |
| 5.6. Ações para uso racional de água em aeroportos .....                                                                     | 16           |
| 5.7. Sistemas fotovoltaicos .....                                                                                            | 22           |
| 5.8. Estudos de viabilidade econômica.....                                                                                   | 23           |
| 6. Referências bibliográficas .....                                                                                          | 27           |
| <b>II - POTENCIAL DE REDUÇÃO ATUAL E FUTURA DO CONSUMO DE ÁGUA<br/>NO AEROPORTO INTERNACIONAL TANCREDO NEVES (AITN).....</b> | <b>37</b>    |
| 1. Introdução.....                                                                                                           | 38           |
| 2. Metodologia .....                                                                                                         | 41           |
| 2.1. Caracterização da área de estudo .....                                                                                  | 41           |
| 2.2. Quantificação dos Usos finais.....                                                                                      | 42           |
| 2.3. Potencial de redução do consumo.....                                                                                    | 45           |
| 2.4. Estimativa futura de consumo e potencial de redução futura .....                                                        | 49           |

|                                                                                                                                                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.5. Estudo da viabilidade econômica .....                                                                                                       | 49         |
| 3. Resultados e Discussões .....                                                                                                                 | 54         |
| 3.1 Quantificação dos usos finais .....                                                                                                          | 54         |
| 3.2. Potencial de redução do consumo.....                                                                                                        | 56         |
| 3.3. Estimativa futura de consumo e potencial de redução futura .....                                                                            | 63         |
| 3.4. Estudo de viabilidade econômica .....                                                                                                       | 65         |
| 4. Conclusões e recomendações .....                                                                                                              | 74         |
| 5. Referências Bibliográficas .....                                                                                                              | 76         |
| <b>III - INTEGRAÇÃO DE TÉCNICAS EM UNIDADES QUE UTILIZAM FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA E ENERGIA COM VISTA À SUSTENTABILIDADE.....</b>             | <b>81</b>  |
| 1. Introdução.....                                                                                                                               | 83         |
| 2. Metodologia .....                                                                                                                             | 86         |
| 2.1. Caracterização do local de estudo.....                                                                                                      | 86         |
| 2.2. Apresentação da unidade conceitual.....                                                                                                     | 86         |
| 2.3. Sistema de aproveitamento de água pluvial .....                                                                                             | 87         |
| 2.4. Sistema fotovoltaico.....                                                                                                                   | 89         |
| 2.5. Estudo de viabilidade econômica .....                                                                                                       | 89         |
| 2.6. Análise de sensibilidade .....                                                                                                              | 90         |
| 3. Resultados e Discussões .....                                                                                                                 | 93         |
| 3.1. Sistema de aproveitamento de água pluvial .....                                                                                             | 93         |
| 3.2. Sistema fotovoltaico.....                                                                                                                   | 97         |
| 3.3. Estudo de viabilidade econômica .....                                                                                                       | 97         |
| 3.4. Análise de sensibilidade .....                                                                                                              | 99         |
| 4. Conclusões e recomendações.....                                                                                                               | 102        |
| 5. Referências Bibliográficas.....                                                                                                               | 104        |
| <b>IV - INTEGRAÇÃO DE TÉCNICAS DIRIGIDAS À FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA E ENERGIA PARA PROMOVER A SUSTENTABILIDADE DE PAISAGENS URBANAS .....</b> | <b>110</b> |
| 1. Introdução.....                                                                                                                               | 111        |
| 2. Metodologia .....                                                                                                                             | 114        |
| 2.1. Caracterização da área de estudo.....                                                                                                       | 114        |
| 2.2. Sistema de irrigação automatizado.....                                                                                                      | 115        |
| 2.3. Sistema de aproveitamento de água pluvial .....                                                                                             | 120        |

|                                                      |            |
|------------------------------------------------------|------------|
| 2.4. Sistema fotovoltaico .....                      | 121        |
| 2.5. Estudo de viabilidade econômica .....           | 122        |
| 2.6. Análise de sensibilidade .....                  | 123        |
| 3. Resultados e Discussões .....                     | 124        |
| 3.1. Sistema de irrigação automatizada.....          | 124        |
| 3.2. Sistema de aproveitamento de água pluvial ..... | 129        |
| 3.3. Sistema fotovoltaico.....                       | 133        |
| 3.4. Estudo de viabilidade econômica .....           | 134        |
| 3.5. Análise de sensibilidade .....                  | 135        |
| 4. Conclusões e recomendações .....                  | 137        |
| 5. Referências Bibliográficas .....                  | 140        |
| <b>V - CONCLUSÕES GERAIS .....</b>                   | <b>145</b> |
| <b>ANEXO I – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO.....</b>          | <b>147</b> |
| <b>ANEXO II – QUESTIONÁRIOS APLICADOS .....</b>      | <b>151</b> |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela I-1. Comparação de equipamentos sanitários convencionais e economizadores.....                                        | 9  |
| Tabela I-2. Valores de referência para qualidade da água .....                                                               | 11 |
| Tabela I-3. Valores de referência para aproveitamento de água pluvial .....                                                  | 13 |
|                                                                                                                              |    |
| Tabela II-1. Custo unitário dos equipamentos economizadores .....                                                            | 51 |
| Tabela II-2. Consumo estimado e hidrometrado .....                                                                           | 54 |
| Tabela II-3. Consumo ajustado de água por uso em cada edifício (m <sup>3</sup> ).....                                        | 55 |
| Tabela II-4. Consumo ajustado de água por equipamento e edifício (m <sup>3</sup> ) .....                                     | 56 |
| Tabela II-5. Volume mensal de água em perdas visíveis em vazamentos contínuos (m <sup>3</sup> ).....                         | 57 |
| Tabela II-6. Consumo mensal de água com o uso de equipamentos economizadores (m <sup>3</sup> ) .....                         | 58 |
| Tabela II-7. Consumo de água potável e não potável e reuso de água cinza ..                                                  | 59 |
| Tabela II-8. Aproveitamento médio mensal de água pluvial .....                                                               | 61 |
| Tabela II-9. Análise integrada das ações.....                                                                                | 62 |
| Tabela II-10. Resultados da análise de regressão multivariada para duas variáveis do movimento aeroportuário (N = 120) ..... | 64 |
| Tabela II-11. Consumo futuro e redução alcançada com as ações integradas                                                     | 64 |
| Tabela II-12. Equipamentos hidrosanitários economizadores previstos (unid.)                                                  | 66 |
| Tabela II-13. Viabilidade econômica da instalação de equipamentos economizadores.....                                        | 67 |
| Tabela II-14. Dimensionamento da unidade de tratamento de águas cinza .....                                                  | 68 |
| Tabela II-15. Viabilidade econômica do reuso de águas cinza .....                                                            | 68 |
| Tabela II-16. Dimensionamento da unidade de aproveitamento de água pluvial .....                                             | 69 |
| Tabela II-17. Viabilidade econômica do aproveitamento de água pluvial .....                                                  | 70 |
| Tabela II-18. Dimensionamento das unidades com as ações integradas .....                                                     | 71 |
| Tabela II-19. Viabilidade econômica das ações integradas .....                                                               | 72 |

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela III-1. Cargas consideradas para o dimensionamento do SF .....          | 89  |
| Tabela III-2. Custo unitário da unidade conceitual .....                      | 90  |
| Tabela III-3. Novos cenários avaliados .....                                  | 91  |
| Tabela III-4. Características dos locais avaliados .....                      | 92  |
| Tabela III-5. Resultado do monitoramento para os diferentes tratamentos ..... | 93  |
| Tabela III-6. Análise de viabilidade econômica da unidade conceitual .....    | 98  |
| Tabela III-7. Matriz da viabilidade econômica dos cenários e locais.....      | 99  |
|                                                                               |     |
| Tabela IV-1. Cargas consideradas para o dimensionamento do SF.....            | 121 |
| Tabela IV-2. Custo unitário da unidade conceitual.....                        | 122 |
| Tabela IV-3. Parâmetros físicos do solo avaliado no jardim .....              | 124 |
| Tabela IV-4. Coeficiente das paisagens e grupo de demanda .....               | 126 |
| Tabela IV-5. Irrigação total necessária – IRT (mm) .....                      | 127 |
| Tabela IV-6. Análise da viabilidade econômica da unidade conceito.....        | 134 |
| Tabela IV-7. Análise da viabilidade econômica dos cenários .....              | 135 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura I-1. Passageiros, índice de consumo e EP dos principais aeroportos mundiais .....    | 14  |
| Figura I-2. Passageiros, índice de consumo e EP dos 10 maiores aeroportos brasileiros ..... | 15  |
| Figura II-1. Imagem do Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN) .....                  | 41  |
| Figura II-2. Distribuição mensal da precipitação no AITN .....                              | 60  |
| Figura III-1. Dados meteorológicos médios de Viçosa (2004-2012) .....                       | 86  |
| Figura III-2. Volume aproveitado x custo .....                                              | 96  |
| Figura III-3. Volume aproveitado, consumo e precipitação em 2012 .....                      | 96  |
| Figura III-4. Energia gerada pelo SF e consumido pela unidade conceito em 2012 .....        | 97  |
| Figura IV-1. Fluxograma dos sistemas integrados .....                                       | 114 |
| Figura IV-2. Velocidade de infiltração da água no solo .....                                | 125 |
| Figura IV-3. Evapotranspiração de referência – Eto (2004-2011) .....                        | 125 |
| Figura IV-4. Calibração do sensor de umidade .....                                          | 127 |
| Figura IV-5. Volume de água gasto na irrigação com o uso dos sensores em 2012 .....         | 128 |
| Figura IV-6. Volume consumido na irrigação .....                                            | 129 |
| Figura IV-7. Resultados do monitoramento da água pluvial bruta e tratada ...                | 130 |
| Figura IV-8. Volume aproveitado x Custo .....                                               | 132 |
| Figura IV-9. Volumes precipitados e aproveitados na irrigação .....                         | 133 |
| Figura IV-10. Energia gerada pelo SF e consumido pela unidade conceito ...                  | 134 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                       |                                                                        |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------|
| €                     | Euro                                                                   |
| $\mu\text{S.cm}^{-1}$ | Microsiemens por centímetro                                            |
| A                     | Ampère                                                                 |
| a.a.                  | Ao ano                                                                 |
| ABNT                  | Associação Brasileira de Normas Técnicas                               |
| Ac                    | Área de coleta                                                         |
| Ah                    | Ampère hora                                                            |
| AITN                  | Aeroporto Internacional Tancredo Neves                                 |
| AMS                   | Aeroporto Internacional de Amsterdã                                    |
| ASFAMAS               | Associação Brasileira dos Fabricantes de Materiais para Saneamento     |
| ATL                   | Aeroporto Internacional de Atlanta                                     |
| C                     | Coeficiente de escoamento superficial                                  |
| CC                    | Capacidade de campo                                                    |
| CDG                   | Aeroporto Internacional Charles de Gaulle                              |
| CE                    | Condutividade elétrica                                                 |
| CEPAI                 | Centro de Pesquisa e Análise da Informação                             |
| cm                    | Centímetro                                                             |
| CRESESB               | Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito |
| Cwa                   | Clima mesotérmico úmido com verões chuvosos e invernos secos           |
| <i>d</i>              | Densidade                                                              |
| Da                    | Densidade aparente                                                     |
| DBO <sub>5</sub>      | Demanda bioquímica de oxigênio após 5 dias                             |
| DESP                  | Escritório dos Despachantes                                            |
| DOA                   | Divisão de Manutenção do Departamento de Aviação                       |
| DQO                   | Demanda química de oxigênio                                            |
| DTCEA                 | Destacamento de Controle do Espaço Aéreo                               |
| E                     | Eficiência                                                             |
| EI                    | Eficiência da irrigação                                                |
| EMBRAPA               | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                            |
| ENG                   | Engeforma                                                              |
| EP                    | Equivalente populacional                                               |
| Eto                   | Valores de evapotranspiração de referência                             |
| Etp                   | Evapotranspiração da paisagem                                          |
| EVAC                  | Sistema de descarga a vácuo                                            |
| f                     | Fator de disponibilidade hídrica                                       |
| FAO                   | Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação           |
| FCO                   | Aeroporto Internacional de Fiumicino                                   |
| FRA                   | Aeroporto Internacional de Frankfurt                                   |
| g/m <sup>3</sup>      | Gramas por metro cúbico                                                |
| GL                    | Graus de liberdade                                                     |

|                                              |                                                    |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| h                                            | Hora                                               |
| la                                           | Intensidade de aplicação                           |
| IGP-M                                        | Índice Geral de Preços do Mercado                  |
| INFRAERO                                     | Empresa brasileira de infraestrutura aeroportuária |
| INMET                                        | Instituto Nacional de Meteorologia                 |
| IRT                                          | Irrigação total necessária                         |
| Kd                                           | Fator de densidade                                 |
| KL                                           | Coeficiente de paisagem                            |
| km <sup>2</sup>                              | Quilômetros quadrados                              |
| Kmc                                          | Fator de microclima                                |
| Ks                                           | Fator de espécies                                  |
| kWh                                          | Quilowatt hora                                     |
| L                                            | Litros                                             |
| L.habitante <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup> | Litros por habitante por dia                       |
| L/min                                        | Litros por minuto                                  |
| L/passageiro                                 | Índice de consumo litros por passageiro            |
| L/s                                          | Litros por segundo                                 |
| L/uso                                        | Litros por uso                                     |
| LESA                                         | Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental    |
| LHR                                          | Aeroporto Internacional de Heathrow                |
| Lpf                                          | Litros por funcionamento                           |
| m                                            | Metros                                             |
| m/s                                          | Metros por segundo                                 |
| m <sup>3</sup>                               | Metros cúbicos                                     |
| MAD                                          | Aeroporto Internacional de Madrid-Barajas          |
| MAN                                          | Gerência de Manutenção                             |
| MAS                                          | Método da Análise de Simulação                     |
| mca                                          | Metros de coluna d'água                            |
| M <sub>f</sub>                               | Média da frequência de uso do dispositivo          |
| mg.L <sup>-1</sup>                           | Miligramas por litro                               |
| mgCaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>         | Miligramas de carbonato de cálcio por litro        |
| MJ.m <sup>-2</sup>                           | Megajoule por metro quadrado                       |
| mL/s                                         | Mililitro por segundo                              |
| mm                                           | Milímetro                                          |
| mm/h                                         | Milímetro por hora                                 |
| MR                                           | Massa do recipiente                                |
| MSS                                          | Massa do solo seco                                 |
| MSU                                          | Massa do solo úmido                                |
| M <sub>t</sub>                               | Média do tempo de uso do dispositivo               |
| MUC                                          | Aeroporto Internacional de Munique                 |
| MWh/ano                                      | Megawatts hora por ano                             |
| N                                            | Tamanho da população                               |
| n                                            | Tamanho da amostra                                 |
| NBR                                          | Norma técnica brasileira                           |
| NMP                                          | Número mais provável                               |



|                         |                                                                      |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| NMP.100mL <sup>-1</sup> | Número mais provável por 100 mililitros                              |
| NPA                     | Núcleo de Pesquisas Ambientais Avançadas                             |
| °C                      | Graus Celsius                                                        |
| OD                      | Oxigênio dissolvido                                                  |
| P                       | Precipitação média diária (mm)                                       |
| PD                      | <i>Payback</i> descontado                                            |
| pH                      | Potencial hidrogeniônico                                             |
| PLI                     | Ponto limite de irrigação                                            |
| PMP                     | Ponto de murcha permanente                                           |
| Q                       | Vazão no dispositivo                                                 |
| R\$                     | Reais                                                                |
| R <sup>2</sup>          | Coeficiente de correlação                                            |
| RF                      | Receita federal                                                      |
| SAAP                    | Sistema de aproveitamento de água pluvial                            |
| SABESP                  | Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo                |
| SBBR                    | Aeroporto Internacional de Brasília                                  |
| SBCF                    | Aeroporto Internacional de Confins                                   |
| SBCT                    | Aeroporto Internacional de Curitiba                                  |
| SBGL                    | Aeroporto Internacional do Galeão                                    |
| SBGR                    | Aeroporto Internacional de Guarulhos                                 |
| SBPA                    | Aeroporto Internacional de Porto Alegre                              |
| SBRF                    | Aeroporto Internacional de Recife                                    |
| SBRJ                    | Aeroporto internacional Santos-Dumont                                |
| SBSP                    | Aeroporto Internacional de Congonhas                                 |
| SBSV                    | Aeroporto Internacional de Salvador                                  |
| SCI                     | Seção contra incêndio                                                |
| SDT                     | Sólidos dissolvidos totais                                           |
| SF                      | Sistema fotovoltaico                                                 |
| SFO                     | Aeroporto Internacional de São Francisco                             |
| SST                     | Sólidos em suspensão totais                                          |
| ST                      | Sólidos totais                                                       |
| SYD                     | Aeroporto Internacional de Sidney                                    |
| t                       | Teste-t                                                              |
| T                       | Tempo de coleta (s).                                                 |
| TDH                     | Tempo de detenção hidráulica                                         |
| TECA                    | Terminal de Cargas                                                   |
| TIR                     | Taxa Interna de Retorno                                              |
| TMA                     | Taxa mínima de atratividade                                          |
| TPS                     | Terminal de passageiros                                              |
| UC                      | Umidade crítica                                                      |
| UFC.100mL <sup>-1</sup> | Unidades formadoras de colônia por 100 mililitros                    |
| UFV                     | Universidade Federal de Viçosa                                       |
| uH                      | Unidade Hazen                                                        |
| UNESCO                  | Organização das Nações Unidas para a educação, a ciência e a cultura |

|               |                                                 |
|---------------|-------------------------------------------------|
| unid.         | Unidade                                         |
| UNT           | Unidade de turbidez                             |
| USEIA         | United States Energy Information Administration |
| USEPA         | United States Environmental Protection Agency   |
| USP           | Universidade de São Paulo                       |
| UV            | Ultravioleta                                    |
| $U_v$         | Umidade volumétrica do solo                     |
| V             | Volume coletado de água                         |
| $V_c$         | Volume diário coletável                         |
| VDR           | Volume de descarga reduzido                     |
| VIB           | Velocidade de infiltração básica do solo        |
| VPL           | Valor presente líquido                          |
| W             | Watts                                           |
| Wh/dia        | Wattshora por dia                               |
| WHO           | World Health Organization                       |
| $\varepsilon$ | Erro amostral desejado                          |

## RESUMO

SILVA, Marcos Dornelas Freitas Machado e, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2014. **Integração de métodos para o uso eficiente de água em ambientes urbanos.** Orientadora: Maria Lúcia Calijuri. Coorientadores: Mônica de Abreu Azevedo e Eduardo Antônio Gomes Marques.

Os problemas relacionados à escassez hídrica estão em evidência e a busca por tecnologias para redução do consumo de água e por fontes alternativas de abastecimento é incentivada. Varias ações têm sido exploradas como a melhoria do monitoramento do consumo, identificação de vazamentos, instalação de equipamentos economizadores e uso de fontes alternativas, como água cinza e água pluvial. Esta última é o foco de vários estudos, devido aos inúmeros serviços sociais, ambientais e econômicos que proporciona. Mas, apesar destes benefícios, ela também pode promover efeitos negativos, relacionados ao aumento do consumo de energia durante o bombeamento, tornando-se um desafio resolver o problema da falta de água sem elevar o consumo de energia. Diante do exposto, o intuito desta pesquisa foi integrar tecnologias e metodologias para redução do consumo de água, analisando a viabilidade técnico-econômica como subsidio para futuras intervenções. Foram desenvolvidos três estudos sobre o tema. O primeiro abordou o diagnóstico do consumo de água e usos finais como instrumento para avaliar as melhores ações conservacionistas, tendo como estudo de caso o Aeroporto Internacional Tancredo Neves. O segundo discutiu o uso de unidades compactas que utilizam simultaneamente fontes alternativas de água e energia em edifícios. Por fim, o terceiro debateu a sustentabilidade de áreas verdes em ambientes urbanos através da irrigação otimizada a partir de água pluvial e energia solar. Em todos eles, a redução do consumo de água foi significativa. O sistema de tratamento de água pluvial apresentou desempenho satisfatório e o sistema fotovoltaico conseguiu suprir as demandas energéticas. Contudo, o estudo da viabilidade econômica mostrou que o retorno financeiro pode ser rápido ou lento, variando em razão do valor das tarifas de água, taxa de reajuste das tarifas, tecnologia adotada e demanda hídrica a ser atendida. Todavia, é possível reduzir o consumo de água de fontes tradicionais promovendo o desenvolvimento social, econômico e ambiental sustentável das cidades.

## ABSTRACT

SILVA, Marcos Dornelas Freitas Machado e, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, June de 2014. **Integration of techniques and technologies in pursuit of efficient use of water in buildings.** Adviser: Maria Lúcia Calijuri. Co-advisers: Mônica de Abreu Azevedo e Eduardo Antônio Gomes Marques.

The issues related to water scarcity are in evidence and the search for consumption reduction technologies and alternative sources is encouraged. Several actions have been pointed out such as the improvement of consumption monitoring, identification of leaks, use of water saving fixtures and alternative sources such as greywater and rainwater. Rainwater use has been the focus of several studies due to its numerous social, environmental and economic benefits. Despite these advantages, it can also promote negative effects related to the increase in energy use due to pumping, thus it is a challenge to solve water shortage problems without increasing energy consumption. Therefore, the objectives of this research were to integrate technologies and methodologies that reduce water consumption and perform a technical and economic feasibility analysis as basis for future interventions. Three studies were developed on the subject. The first study addresses the diagnosis of water consumption and end-uses as an instrument to evaluate the best conservation measures, and presents the case-study for the Tancredo Neves International Airport. The second study discusses the use of compact units that simultaneously use alternative sources of water and energy in buildings. The last one assesses the sustainability of green areas in urban environments through an optimized irrigation system using rainwater and solar energy. For all the studies, the reduction in water consumption was significant. The rainwater treatment system presented satisfactory performance and the photovoltaic system was able to supply the energy needs. The economic feasibility analysis showed that the financial return may be obtained in short or long periods, depending on the technology adopted, water tariffs and water demand. Therefore, the studies show that it is possible to reduce the consumption of traditional sources and promote the sustainable social, economic and environmental development of the cities.

## **I - INTRODUÇÃO GERAL**

### **1. Apresentação**

Este trabalho surgiu da necessidade crescente de tornar o uso da água potável mais eficiente, bem como encontrar alternativas para as fontes tradicionais de abastecimento. Esta busca é antiga e relatos evidenciam estas práticas desde os séculos VII a II a.C., na região da Anatólia, atual Turquia, onde haviam cisternas de captação de chuva para um sistema emergencial de água. Com a industrialização acelerada e o aumento da poluição dos recursos hídricos, a escassez hídrica tem atingido maiores proporções. Por isto, a busca por soluções que permitam a redução do seu consumo tem sido incentivada.

Em 2005, o Núcleo de Pesquisas Ambientais Avançadas – NPA, formada por pesquisadores da UFV, iniciaram estudos relacionados com o uso racional de água no Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN), em Confins, região metropolitana de Belo Horizonte. Desde então, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos nesta linha de pesquisa, entre eles as dissertações de mestrado de Moreira Neto (2011), sobre o aproveitamento de água pluvial, de Couto (2012), tratando do reuso de águas cinza e de Carvalho (2013), propondo modelos de previsão de consumo. No decorrer dos estudos, notou-se a dificuldade da INFRAERO na gestão da água no AITN, assim como oportunidades para tornar o seu uso mais eficiente. Estas oportunidades foram exploradas, sendo o presente trabalho um desdobramento dos anteriores.

Este documento foi organizado, além da introdução geral e conclusões finais, em três estudos. O primeiro abordou o diagnóstico do consumo de água e usos finais como instrumento para avaliar as melhores ações conservacionistas para redução do consumo de água, tendo como estudo de caso o Aeroporto Internacional Tancredo Neves. O segundo discutiu o uso de unidades compactas que utilizam simultaneamente fontes alternativas de água e energia em edifícios, tendo como estudo de caso uma unidade piloto instalada na UFV. Por fim, o terceiro debateu a sustentabilidade de áreas verdes em ambientes urbanos através da irrigação otimizada a partir de água pluvial e energia solar, também utilizando a unidade piloto na UFV.

## **2. Contextualização**

Nas últimas décadas os problemas relacionados à água estiveram associados principalmente à escassez quantitativa deste recurso em algumas regiões. Entretanto, o desenvolvimento das cidades sem planejamento, sem dar a devida atenção para o tratamento de seus efluentes tem gerado a escassez qualitativa, agravando ainda mais os conflitos pelo uso da água (Zeng et al., 2013). Isto é preocupante, pois a água doce é a espinha dorsal do desenvolvimento socioeconômico de um país (Jha et al., 2014).

Encontrar alternativas viáveis para redução do consumo de água de fontes tradicionais é essencial. A redução da pressão sobre elas permite que mais pessoas possam ser atendidas com água de qualidade, impactando diretamente nos aspectos da saúde pública. Além disso, as fontes alternativas podem ser as únicas soluções viáveis em locais de escassez hídrica.

Do ponto de vista financeiro, as vantagens também são grandes, adiando os investimentos em infraestrutura de abastecimento centralizado e mitigando o aumento do preço do fornecimento centralizado de água (Vieira et al., 2014). Além disso, estudos comprovam que o custo de algumas fontes alternativas podem ser inferiores às tarifas praticadas pelas concessionárias de água, com curto tempo de retorno (Moreira Neto et al., 2012b; Couto et al., 2013).

Em se tratando de grandes consumidores de água, aeroportos têm papel de destaque, pois possuem o consumo equivalente ao de pequenas cidades. Com a popularização e o crescimento por esta opção de transporte, a demanda de água passa a ser cada vez maior (Carvalho et al., 2013).

Entretanto, nos aeroportos existem boas oportunidades para implantação de ações para promover o uso eficiente da água, principalmente pela quantidade de usos não potáveis (Moreira Neto et al., 2012b). Nesses ambientes existem equipamentos hidrosanitários que podem ser substituídos ou complementados por dispositivos economizadores; possuem extensas áreas irrigáveis, nas quais se pode reutilizar efluente tratado; e grandes áreas de telhados que permitem a coleta de água pluvial que pode ser aproveitada para diversos fins não

potáveis, como torres de resfriamento, sistema de combate a incêndio, descargas de sanitários, lavagem de aeronaves, pistas e veículos.

Ainda que aeroportos sejam grandes consumidores de água, e possuam alguns consumos peculiares, existem poucos estudos que quantificam o potencial que ações de conservação de água têm na redução no seu consumo. Além disso, existe certa dificuldade na definição de quais ações adotar, uma vez que a economia proporcionada por cada uma pode variar.

O gerenciamento do consumo e a estimativa de usos finais de água são as melhores formas de se quantificar o potencial de redução em edifícios (Proença e Ghisi, 2010). Este tipo de estudo permite identificar quais atividades ou instalações hidráulicas respondem pelo maior consumo, orientando a adoção de medidas com maior impacto e menor custo. Todavia, essas ações precisam ser estudadas de forma integrada, pois a soma das reduções alcançadas por elas de forma isolada é diferente da redução alcançada integrando-as, induzindo a superestimativa.

Entre as fontes alternativas de água, os sistemas de aproveitamento de água pluvial (SAAP) são especialmente atraentes, pois possuem pequeno custo de implantação, necessitam de construções simples, utilizam materiais comuns e de fácil acesso, podem ter vários usos e necessitam de tratamento simples (Vargas-Parra et al., 2013). Além disso, o seu aproveitamento proporciona inúmeros serviços sociais, ambientais e econômicos, entre eles, a redução do escoamento e, conseqüentemente, a atenuação de enchentes.

Apesar dos benefícios dos SAAP, eles também podem promover efeitos negativos relacionados principalmente à elevação do consumo de energia para o bombeamento da água (Vieira et al., 2014). O uso destes sistemas descentralizados em grande escala resulta no incremento da demanda energética das cidades, podendo gerar problemas em locais que operam próximo do limite.

Desta forma, é necessário investigar o uso dos SAAP integrados à sistemas que geram energia elétrica. A energia solar é uma destas fontes, suprimindo com vantagem muitas das necessidades. Ela aparece, após as hidroelétricas e

usinas eólicas, como a terceira mais importante fonte de energia renovável em termos globais de capacidade instalada (EPIA, 2013).

Nesta busca pela redução do consumo de água, outro ponto que merece destaque é o consumo de paisagens urbanas. Existem diversos relatos do impacto que a irrigação de jardins e parques tem no consumo das cidades. Este é o caso de alguns municípios do oeste dos EUA onde a irrigação consome até 50% da água municipal (Lowry Jr. et al., 2011), enquanto no oeste da Austrália chega a 56% do consumo doméstico (Syme et al., 2004). Além disso, muitas vezes a irrigação acontece de forma inadequada. Salvador et al. (2011), ao avaliarem o consumo de água na irrigação de jardins de 102 casas em Zaragoza, Espanha, constataram que em 60% das residências haviam consumos maiores que o necessário.

Entretanto, estas áreas verdes não devem ser reduzidas, pois possuem papel positivo em ambientes urbanos. Destaca-se a mitigação do efeito de ilha de calor urbana, atenuação de tempestades, sequestro de CO<sub>2</sub> para formar biomassa lenhosa e foliar, melhora do habitat da vida selvagem e oferecimento de oportunidades de lazer (Jim e Chen, 2008; Takebayashi e Moriyama, 2007).

Tudo isto indica a necessidade de medidas para aumentar a eficiência do uso da água em paisagens urbanas. A irrigação automática com o uso de sensores de umidade pode auxiliar neste processo (Coates et al., 2013). Estes permitem reduzir o consumo em até 75% em comparação com a irrigação manual. Além de conservar a água de irrigação, alguns destes estudos relataram aumento na qualidade visual da paisagem (Hunt et al., 2001 e Devitt et al., 2008).

No entanto, apesar de existirem estudos que buscam a eficiência na irrigação, que avaliam o aproveitamento de água pluvial e que utilizam fontes energéticas alternativas, não existem estudos que os integrem, criando unidades capazes de gerar seus próprios insumos, indicando se elas podem ser sustentáveis.

Alcançar a segurança da água é um dos maiores desafios do século 21. Por isso é fundamental explorar melhor as tecnologias alternativas disponíveis, a fim de se reduzir o consumo de fontes tradicionais, promovendo o desenvolvimento social, econômico e ambiental sustentável das cidades.



### **3. Objetivos**

#### **3.1. Geral**

Integrar técnicas direcionadas à economia do consumo de água e desenvolver o estudo de viabilidade técnico-econômica como subsidio para futuras intervenções em ambientes urbanos.

#### **3.3. Específicos**

- Quantificar os usos finais de água nos principais edifícios do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, a fim de avaliar o potencial de redução no consumo atual e futuro através de ações como a substituição de equipamentos hidrosanitários convencionais por economizadores, o aproveitamento de água pluvial e o reuso de água cinza;
- Analisar tecnicamente e economicamente o uso de unidades compactas, de baixo custo e replicável, capazes de disponibilizar água pluvial tratada, com a qualidade requerida para usos não potáveis, utilizando energia solar como fonte alternativa;
- Integrar técnicas e tecnologias capazes de promover a irrigação automática e eficiente de paisagens urbanas, utilizando fontes alternativas de água e energia, buscando sua sustentabilidade.

#### **4. Hipótese de pesquisa**

- O uso integrado de medidas conservacionistas permite potencializar a economia de água, com redução do investimento, em grandes consumidores, como ambientes aeroportuários;
- O aproveitamento de água pluvial aliado ao uso da energia solar em edifícios apresenta viabilidade técnica e econômica;
- As paisagens urbanas podem se tornar autossuficientes por meio da irrigação otimizada e com o uso de fontes alternativas de água e energia.

## **5. Revisão bibliográfica**

### **5.1. Sistema de monitoramento do consumo**

Para utilizar a água de forma racional é imprescindível que se faça o correto gerenciamento do consumo. A prática de se analisar os dados de consumo permite conhecer melhor o caminho das águas de forma a identificar os pontos críticos. Desta forma, a instalação de um sistema de coleta de dados é necessário.

O monitoramento do consumo pode ser realizado de forma manual ou automática. Entretanto, para se traçar o perfil de consumo, as medições manuais são inviáveis, uma vez que seria necessário que uma pessoa monitorasse o consumo durante pequenos intervalos por longos períodos.

As tecnologias de medição automática de água permitem a desagregação dos dados de consumo em eventos individuais de uso final, aumentando significativamente o nível de compreensão do uso de água (Stewart et al., 2010). Conhecer o uso final auxilia na modelagem das previsões de demanda (Jacobs, 2007; Blokker et al., 2010).

Tamaki et al. (2006) descrevem os ganhos obtidos com a implantação do sistema com medição em tempo real na Cidade Universitária da USP. Entre as vantagens estão a obtenção de dados mais confiáveis, possibilidade de levantamento de informações como o perfil diário de consumo e vazões mínimas, detecção mais rápida e precisa de anomalias e maior correspondência entre o consumo e o sistema consumidor. Kenna (2008) cita outras vantagens, como a diminuição de mão de obra, redução de custos operacionais e melhora da gestão.

Tecnologia semelhante foi utilizada por Beal et al. (2011) em seu estudo sobre usos finais de água em residências. A obtenção do perfil diário de consumo permitiu a comparação entre o que os moradores achavam que tinham gasto e o real. De posse destas informações, eles puderam conhecer onde estavam os gargalos, e com isso direcionar suas ações para redução do consumo.

Existem vários estudos que utilizam o sistema de monitoramento automático para traçar o perfil de consumo de água em residências (Carragher et al., 2012; Beal et al., 2011; Bennett et al., 2013; Willis et al., 2013; Mayer et al., 2004; Mead, 2008). Entretanto, seu estudo em grandes consumidores, como indústrias e aeroportos ainda é incipiente.

## **5.2. Equipamentos hidrosanitários economizadores**

Equipamentos economizadores promovem a redução do consumo de água independentemente da ação do usuário ou da sua disposição em mudar de comportamento. Todavia, o valor percentual de economia pode variar em função da pressão do ramal de alimentação, do número de usos (frequência), tempo de acionamento e hábitos dos usuários (Lamberts et al., 2010).

As especificações técnicas dos componentes economizadores de água devem ser realizadas, considerando-se as seguintes questões: pressão hidráulica disponível nos pontos de utilização; conforto do usuário; higiene; atividade do usuário; risco de contaminação; facilidade de manutenção; facilidade de instalação, tendo em vista a adequação do sistema; avaliação técnico-econômica; e utilização de componentes antivandalismo, no caso de locais públicos (ANA et al., 2005).

A SABESP (2012), a partir de relatórios de projetos de pesquisa da Escola Politécnica/USP e das informações técnicas da Associação Brasileira dos Fabricantes de Materiais para Saneamento (ASFAMAS), apresenta valores de referência para a economia gerada com os equipamentos economizadores, conforme apresentado na Tabela I-1.

**Tabela I-1. Comparação de equipamentos sanitários convencionais e economizadores**

| Equipamento Convencional                   | Consumo  | Equipamento Economizador        | Consumo  | Economia |
|--------------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|----------|
| Bacia com caixa acoplada                   | 12 L/uso | Bacia VDR                       | 6 L/uso  | 50%      |
| Bacia com válvula bem regulada             | 10 L/uso | Bacia VDR                       | 6 L/uso  | 40%      |
| Ducha (água quente/fria)<br>- até 6 mca    | 0,19 L/s | Restritor de vazão<br>8 L/min   | 0,13 L/s | 32%      |
| Ducha (água quente/fria)<br>- 15 a 20 mca  | 0,34 L/s | Restritor de vazão<br>8 L/min   | 0,13 L/s | 62%      |
| Ducha (água quente/fria)<br>- 15 a 20 mca  | 0,34 L/s | Restritor de vazão<br>12 L/min  | 0,20 L/s | 41%      |
| Torneira de pia - até 6 mca                | 0,23 L/s | Arejador vazão cte<br>(6 L/min) | 0,10 L/s | 57%      |
| Torneira de pia - 15 a 20 mca              | 0,42 L/s | Arejador vazão cte<br>(6 L/min) | 0,10 L/s | 76%      |
| Torneira uso geral/tanque<br>- até 6 mca   | 0,26 L/s | Regulador de vazão              | 0,13 L/s | 50%      |
| Torneira uso geral/tanque<br>- 15 a 20 mca | 0,42 L/s | Regulador de vazão              | 0,21 L/s | 50%      |
| Torneira uso geral/tanque<br>- até 6 mca   | 0,26 L/s | Restritor de vazão              | 0,10 L/s | 62%      |
| Torneira uso geral/tanque<br>- 15 a 20 mca | 0,42 L/s | Restritor de vazão              | 0,10 L/s | 76%      |
| Torneira de jardim - 40 a 50 mca           | 0,66 L/s | Regulador de vazão              | 0,33 L/s | 50%      |
| Mictório                                   | 2 L/uso  | Válvula automática              | 1 L/s    | 50%      |

Fonte: SABESP (2012)

Hamzo e Barreto (2007) avaliaram a economia de água de dois dispositivos seletivos de descarga em relação a um convencional em um edifício público, obtendo redução média de 42,4% e 45,9% comparados com os vasos sanitários sem dispositivo. Já Uchida e Oliveira (2006) compararam o desempenho de vasos sanitários com o volume de descarga reduzido e vasos com sistema de acionamento seletivo de descarga (volume nominal de 3 e 6 litros/descarga) em apartamentos residenciais, encontrando consumo 18% menor com o dispositivo economizador.

Vimieiro e Pádua (2005) apontam uma economia de 7,5% e tempo de retorno de 4,5 anos em residências de baixa renda, após a instalação parcial de torneiras de fechamento automático, válvulas de descarga de vazão regulável, reguladores de vazão para torneiras e caixa de descarga de embutir. Vimieiro e Pádua (2007) também comprovaram uma redução 16% no consumo e um tempo de retorno de 8 meses com a instalação de 11 torneiras automáticas e 11 válvulas de descarga de ciclo variável com regulação de vazão em uma escola de ensino fundamental.

### **5.3 Reuso de água cinza**

A água cinza é definida como a água que é ligeiramente contaminada pela atividade humana e que não tem contaminação fecal, como a água de uma máquina de lavar roupa, chuveiro, banho, entre outras (Liu et al., 2010; Friedler, 2004).

A separação de águas residuais domésticas em água cinza e água negra (efluente dos vasos sanitários) é uma estratégia para simplificar o processo de reutilização e descentralizar o tratamento de águas residuais (Liu et al., 2010). Segundo Friedler (2004) a água cinza normalmente representa de 60% a 70% do efluente gerado.

O reconhecimento do valor dos nutrientes presentes na água cinza é crescente e, juntamente com a escassez hídrica, é a força motriz para incentivar seu reuso (WHO, 2006). Segundo Gilboa e Friedler (2008), o reuso representa um dos principais métodos para redução no consumo de água potável. Todavia, o seu uso final depende de fatores como o tratamento aplicado e as características do efluente (Wichmann e Otterpohl, 2009).

Diversas tecnologias têm sido desenvolvidas para tratar a água cinza possibilitando o reuso seguro (Elmitwalli e Otterpohl, 2007; Lamine et al., 2007; Halalsheh et al., 2008; Ghunmi et al., 2010; Santos et al., 2011; Couto, 2012).

A utilização de filtros de areia seguida de desinfecção representa uma tecnologia comum para uso doméstico no Reino Unido, entretanto, a elevada

carga orgânica e turbidez têm limitado a eficácia do processo de desinfecção química (Jefferson et al., 2000). Já os sistemas de membranas, microfiltração e osmose reversa, apresentam problemas de obstrução e custos elevados (Nghiem et al., 2006; Oschmann et al., 2005). Os sistemas de tratamento biológico anaeróbios apresentam-se como alternativa interessante devido ao reduzido custo e à possibilidade de aproveitamento de energia (Leal et al., 2011). As maiores dificuldades enfrentadas para o tratamento desse efluente são as grandes variações na qualidade em um mesmo ponto (Al-Jayyousi, 2003).

Para que o reuso da água cinza na irrigação não cause efeitos negativos nas plantas é importante que seja feito o seu monitoramento. A Tabela I-2, adaptada de Ayers e Westcot (1985), traz alguns valores de referência para a qualidade da água para irrigação.

**Tabela I-2. Valores de referência para qualidade da água**

| Problemas e constituintes relacionados | Unidades                     | Grau de restrição para irrigação |            |        |
|----------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------|--------|
|                                        |                              | Nenhuma                          | Moderada   | Severa |
| Condutividade elétrica                 | $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ | < 700                            | 700 a 3000 | > 3000 |
| Sólidos dissolvidos totais             | $\text{mg}.\text{L}^{-1}$    | < 450                            | 450 a 2000 | > 2000 |
| Nitrogênio ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )  | $\text{mg}.\text{L}^{-1}$    | < 5,0                            | 5,0 a 30,0 | > 30,0 |
| pH                                     | -                            | Amplitude normal de 6,5 a 8,4    |            |        |

Do ponto de vista econômico, vários estudos têm comprovado sua viabilidade. Couto (2012) em seu estudo identificou que o custo da água cinza tratada foi 2,5 vezes menor que a tarifa da água potável cobrada pela concessionária local. Mandal et al. (2011) ao avaliarem seu reuso em descarga de vasos sanitários e irrigação de residências, encontraram períodos de retorno de apenas 1,6 anos. Já Mourad et al. (2011) mostraram que em edifícios residenciais o tempo de retorno foi um pouco maior, 7 anos. Isto indica que o retorno financeiro pode variar, estando ligado ao volume aproveitado e ao custo da tarifa de água local.

#### **5.4. Aproveitamento de água pluvial**

O aproveitamento de água pluvial é uma técnica segura adotada em todo mundo. Elas possuem uso doméstico, industrial e agrícola, dentre outros, proporcionando reduções significativas dos custos advindos do consumo de água a partir de fontes tradicionais (Aladenola e Adeboye, 2010).

Uma das opções mais procuradas, quando se trata de uso racional, é o aproveitamento de água pluvial. Segundo Muthukumaran et al. (2011), o seu uso em residências pode gerar economia de 40%. Ward et al. (2010) também encontrou valores próximos, variando entre 36% e 46%. Ghisi e Oliveira (2007), da mesma forma, economias de 33,6% a 35,5%. Entretanto, apesar do potencial de economia, ainda é necessário maior incentivo fiscal do governo para que esta tecnologia seja mais difundida (Rahman et al., 2012).

Santos e Taveira-Pinto (2013) descreveram seis metodologias diferentes para o dimensionamento de reservatórios de água pluvial e as analisaram tentando encontrar a melhor relação custo-benefício. Na ocasião, reservatórios projetados para atender 100% da demanda se mostraram inviáveis devido às dimensões e custos, enquanto os que atendiam 80% da demanda apresentaram melhor relação custo-benefício. Estudos semelhantes foram desenvolvidos por Tomaz (2009), Su et al. (2009), Imteaz et al. (2011) e Moreira Neto et al. (2012b).

Existem diversos estudos sobre a qualidade da água pluvial, entre eles o de Huston et al. (2012), que identificaram a origem dos poluentes, como metais pesados e contaminantes iônicos. Já Gikas e Tsihrintzis (2012) avaliaram a qualidade da água pluvial bruta referente às primeiras precipitações, encontrando valores satisfatórios para os parâmetros físico-químicos mas inadequados para parâmetros biológicos.

Em geral, devido aos riscos biológicos e presença de outros contaminantes, é necessário o tratamento da água pluvial antes do seu aproveitamento, sendo que o nível de tratamento a ser empregado depende principalmente do uso pretendido e da qualidade da água bruta captada (Helmreich e Horn, 2009).



Moreira Neto et al. (2012a) reuniram valores de referência para o aproveitamento de água pluvial, conforme apresentado na Tabela I-3.

**Tabela I-3. Valores de referência para aproveitamento de água pluvial**

| Parâmetros                 | Unidade                              | Torres de Resfriamento    | Lavagem de pisos/irrigação | Descargas sanitárias |
|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|
| pH                         | -                                    | 6 – 9 <sup>(1)</sup>      | 6 – 9 <sup>(1)</sup>       | 6 – 9 <sup>(1)</sup> |
| Turbidez                   | UNT                                  | 3 <sup>(1)</sup>          | 2 <sup>(1)</sup>           | 5 <sup>(1)</sup>     |
| Dureza                     | mgCaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> | 50 – 180 <sup>(1)</sup>   | 500 <sup>(4)</sup>         | 500 <sup>(4)</sup>   |
| SST                        | mg.L <sup>-1</sup>                   | 30 <sup>(1)</sup>         | -                          | -                    |
| SDT                        | mg.L <sup>-1</sup>                   | 500 <sup>(2)</sup>        | 1000 <sup>(4)</sup>        | 1000 <sup>(4)</sup>  |
| DQO                        | mg.L <sup>-1</sup>                   | 75 <sup>(1)</sup>         | -                          | -                    |
| DBO <sub>5</sub>           | mg.L <sup>-1</sup>                   | 30 <sup>(1)</sup>         | 10 <sup>(1)</sup>          | 30 <sup>(3)</sup>    |
| Coliformes Termotolerantes | NMP.100mL <sup>-1</sup>              | 200 <sup>(1)</sup>        | Ausente <sup>(1)</sup>     | 1000 <sup>(3)</sup>  |
| Condutividade Elétrica     | µS.cm <sup>-1</sup>                  | 800 – 1200 <sup>(1)</sup> | -                          | -                    |

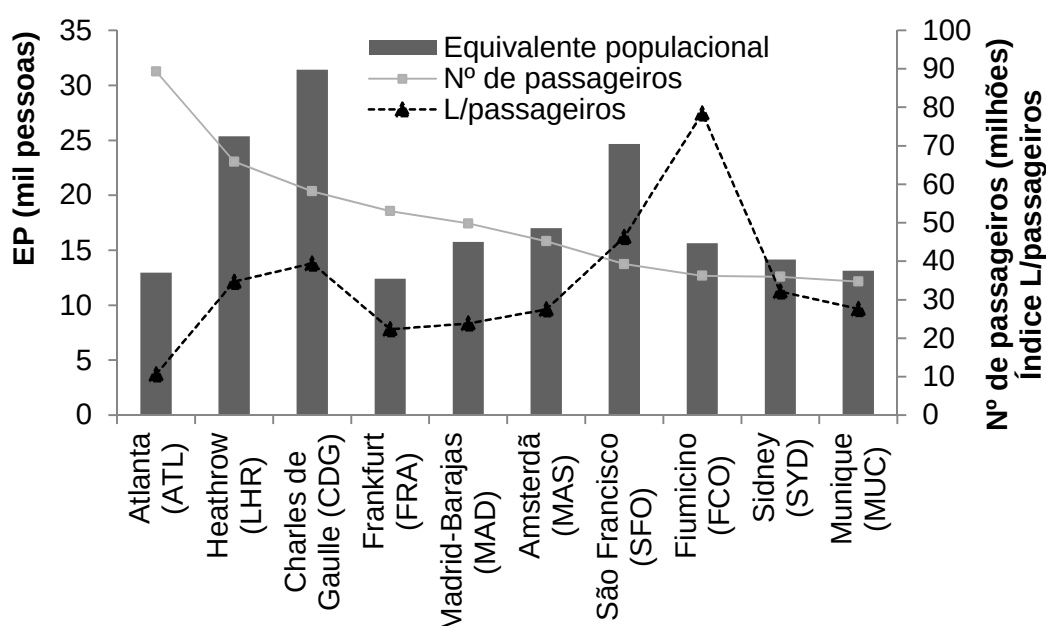
(1)USEPA (2004); (2)Metcalf & Eddy (2003); (3)PROSAB (2006); (4) Min. da Saúde nº 518 (2004).

Smith et al. (2000) apresentaram uma planta de tratamento baseada no uso de membranas de ultrafiltração e osmose reversa, apesar de ter custos elevados de implantação e operação. Moreira Neto et al. (2012a) utilizaram um sistema de tratamento mais barato, a filtração lenta em areia seguida de cloração, e obtiveram resultados satisfatórios para usos não potáveis. Naddeo et al. (2013), através da combinação de microfiltração a 0,5 µm, adsorção em carvão ativado e desinfecção por radiação UV, permitiram que a água tratada alcançasse o padrão de potabilidade.

A viabilidade econômica para este tipo de sistema depende de características como o tamanho da área de captação, o tamanho do reservatório, a demanda hídrica e as condições climáticas. Morales-Pinzón et al. (2014) relataram *payback*, que corresponde ao período de retorno do investimento, de até 5,5 anos para grupos de edifícios residenciais e 6,0 anos para grupo de casas. Santos e Taveira-Pinto (2013), indicaram tempo de retorno de 17 a 23 anos para edifício público. Ghisi et al. (2009), ao avaliarem o uso de água pluvial na lavagem de veículos em postos de combustível, encontraram, para alguns cenários, *payback* de apenas 2,6 anos e chegando a 13,8 anos.

## 5.5. Panorama mundial do consumo de água em aeroportos

Aeroportos utilizam quantidades significativas de água em sua operação, podendo ser comparados a pequenas cidades. Carvalho et al. (2013) reuniram dados dos relatórios anuais de 2010 dos principais aeroportos internacionais do mundo relativos ao consumo de água e número de passageiros. A partir dos seus respectivos consumos anuais, e considerando o consumo médio da população das cidades como  $200 \text{ L.habitante}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ , estabeleceram a sua equivalência. Desta forma, foi possível comparar o consumo dos aeroportos ao equivalente populacional (EP) de cidades, conforme apresentado na Figura I-1.



Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2013)

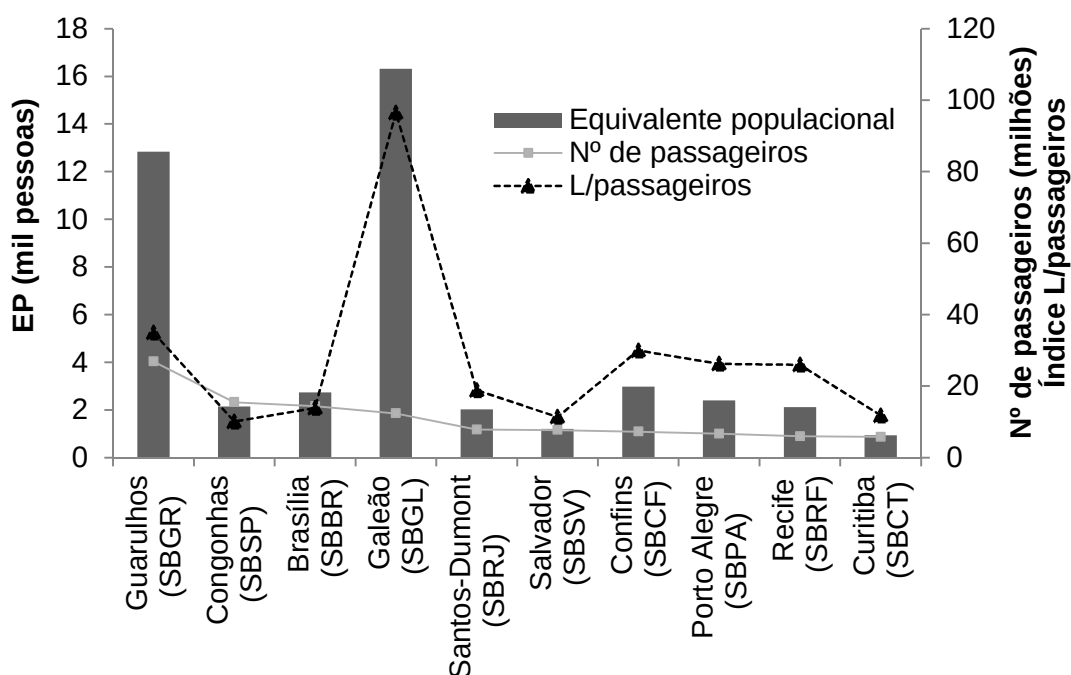
**Figura I-1. Passageiros, índice de consumo e EP dos principais aeroportos mundiais**

Nota-se que, apesar do número de passageiros decrescer da esquerda para a direita, o EP não segue a mesma tendência, apresentando grandes variações, sendo possível concluir que o movimento de passageiros por si só não reflete o consumo aeroportuário. O Aeroporto de Atlanta (ATL), que movimentou quase 90 milhões de passageiros, apresentou o EP de 12,96 mil pessoas, enquanto o Aeroporto de Munique (MUC), tendo um fluxo de 34,7 milhões de passageiro, apresentou praticamente o mesmo EP, 13,14 mil pessoas. Este consumo é reflexo de variáveis como clima da região, distância do centro urbano, porte do

aeroporto, número de lojas e restaurantes, mas reflete principalmente as políticas para uso racional de água.

A forma mais utilizada para avaliar a eficiência deste consumo é através do índice consumo por passageiro (L/passageiro). Nota-se, ainda que este índice pode variar muito, ficando entre 10,6 para o aeroporto mais eficiente, como Atlanta (ATL), e 78,4 para o menos eficiente, como Fiumicino (FCO). A média encontrada foi de  $34,3 \pm 18,3$ .

Os dados de número de passageiros, o índice de consumo e o EP para os dez maiores aeroportos brasileiros, fornecidos pela INFRAERO (Carvalho, 2013), relativos a 2010, são apresentados na Figura I-2.



Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2013)

**Figura I-2. Passageiros, índice de consumo e EP dos 10 maiores aeroportos brasileiros**

Assim como nos aeroportos internacionais, os nacionais também apresentaram discrepâncias entre o número de passageiros e o EP. Aeroportos como o de Brasília (SBBR) e o de Galeão (SBGL), que possuem diferença de 16% no fluxo de passageiros, possuem EP contrastantes, de 2,37 mil e 16,31 mil, respectivamente.

Em geral, os valores encontrados para o índice L/passageiros dos aeroportos brasileiros foram mais baixos, com média de  $28,0 \pm 25,6$ . Contudo, entre todos, o Galeão apresentou o maior índice, chegando a 96,5 L/passageiros. Estes valores indicam que alguns aeroportos brasileiros ainda tem muito a avançar.

## **5.6. Ações para uso racional de água em aeroportos**

Diversas ações têm sido adotadas em aeroportos internacionais para uso racional de água, entre elas o monitoramento do consumo, uso de equipamentos economizadores, reuso de água cinza, aproveitamento de água pluvial, aproveitamento de água do mar, reuso de efluente doméstico e manejo de jardins. A seguir, são apresentadas as principais ações que os aeroportos têm praticado.

### **5.6.1. Sistema de monitoramento e combate a vazamentos**

A preocupação com o monitoramento do uso da água e o combate a vazamentos é presente em vários aeroportos. O Aeroporto de Toronto individualizou a hidrometração de todas as lojas de comida e bebida para monitorar e reduzir a quantidade de água potável utilizada (TPIA, 2006).

Aeroportos como o de Manchester, Londres e Sydney implantaram programas para gerenciamento do consumo e identificação de vazamentos para rápida detecção e reparo (SA, 2009a; MNA, 2007; LHA, 2010). O sistema utilizado em Sydney permite monitoramento do consumo em tempo real.

Os aeroportos de Paris gerenciam as redes de distribuição de água 24 horas por dia, 7 dias por semana. Alertas de vazamento são automaticamente enviados (AP, 2009).

### **5.6.2. Equipamentos economizadores**

Equipamentos economizadores de água são dispositivos hidrosanitários que permitem redução no consumo em relação aos equipamentos convencionais. Alguns aeroportos adotaram programas de substituição de equipamentos convencionais por economizadores e atingiram, assim, significativa redução no consumo de água. O aeroporto de Atlanta, em 2007, substituiu 630 vasos sanitários que utilizavam 6,05 L por acionamento por outros que utilizam 4,84 litros. Também foram substituídos aproximadamente 1200 mictórios que utilizavam 3,8 L por outros que utilizam 1,9 L por acionamento (HAIA, 2009).

Segundo o CDA (2010), no Aeroporto Internacional de Fort Lauderdale Hollywood (Florida, EUA) a instalação de equipamentos economizadores nos banheiros custou US\$ 234 mil e possibilitou reduzir o consumo de água em 163 mil m<sup>3</sup> anuais. Isso representou economia de US\$ 281 mil e recuperação do investimento em apenas dez meses.

No Aeroporto Internacional de Frankfurt, o uso de equipamentos limitadores de vazão em torneiras economiza milhares de metros cúbicos por ano. A instalação de mictórios sem água deixa de consumir aproximadamente 4,2 mil m<sup>3</sup> de água potável por ano. Os valores economizados chegam a aproximadamente € 33 mil por ano (Fraport AG, 2008).

Outros importantes aeroportos, como Amsterdam, Fiumicino, Sidney, Toronto, Narita, Manchester e Heathrow, instalaram equipamentos economizadores para conservação de água. Torneiras com aeradores, descargas de baixo fluxo, válvulas de fechamento automático, torneiras de fechamento automático e mictórios economizadores são comuns nos banheiros e são requisitos na concepção dos edifícios destes aeroportos (Schiphol Group, 2011; ADR, 2009; SA, 2009a; TPIA, 2006; NIAC, 2011; MAN, 2007; LHA, 2010).

No Brasil, destacam-se o Aeroporto Internacional do Recife (SBRF), Gilberto Freyre, e o Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro (SBGL), Antônio Carlos Jobim ou Galeão. No SBRF as bacias sanitárias possuem tecnologia semelhante à utilizada nas aeronaves, nas quais a descarga funciona a vácuo, reduzindo significativamente o consumo de água. O sistema a vácuo (EVAC)

gerou redução de 30% no consumo total do aeroporto. O sistema convencional utilizado gastava em média 10 litros por descarga enquanto o EVAC consome apenas 1,2 litros por acionamento (INFRAERO, 2011). O Galeão executou diversas ações de melhorias para a gestão hídrica. Foram substituídas adutoras, redes e ramais de distribuição que apresentavam altos índices de vazamentos, além de válvulas de controle de fluxo e instalação de boias de nível nos centros de reservação. Também foram revitalizados e recuperados os centros de reservação e estações elevatórias que apresentavam deficiência estrutural (Pizzato e Alves, 2010). No entanto, apesar dos esforços empregados, ainda há muito a fazer neste aeroporto, uma vez que apresenta altos índices de consumo se comparado aos aeroportos internacionais do mesmo tamanho, como discutido na seção anterior.

### **5.6.3. Reuso de água cinza**

Entre os aeroportos que utilizam águas cinzas como uma fonte alternativa de água, destacam-se os aeroportos de Hong Kong, na China, Narita, no Japão e Fiumicino, na Itália. No Aeroporto Internacional de Hong Kong o efluente das instalações que produzem alimentos para as aeronaves, das cozinhas do terminal de passageiros e da lavagem das aeronaves são coletados e tratados, sendo reutilizados na irrigação. No ano de 2010, passaram pela estação de tratamento 1,4 milhões de m<sup>3</sup> de água cinza, que atende completamente a necessidade de irrigação do aeroporto (HKIA, 2011).

Já no Aeroporto Internacional de Narita, a água cinza gerada nos restaurantes do terminal de passageiros é tratada e reutilizada nas descargas dos banheiros do próprio terminal (NIAC, 2011).

Em Roma, no aeroporto internacional Leonardo da Vinci, Fiumicino, águas cinza de restaurantes e da empresa responsável pelo preparo dos alimentos servidos nas aeronaves são coletadas e após processos físicos de separação da fração gordurosa, são tratadas juntamente com o esgoto doméstico em sistema biológico de lodos ativado para reutilização em fins não potáveis. (ADR, 2009).

#### **5.6.4. Aproveitamento de água pluvial**

Em ambientes aeroportuários, em virtude das extensas áreas impermeabilizadas, o volume de água escoado superficialmente é grande, o que favorece seu aproveitamento.

Segundo Fraport AG (2010), no aeroporto de Frankfurt todos os sanitários e equipamentos de combate a incêndio no Terminal 2 são alimentados com água pluvial e, durante os períodos de seca, com água do rio Main. Também no aeroporto de Frankfurt, na CargoCity Sul, o escoamento proveniente das pistas, telhados e pátios é recolhido. Um pequeno volume dela alimenta a adutora de água industrial, enquanto a maior parte é utilizada para recarga de água subterrânea.

Os aeroportos de Paris, Aeroporto Internacional Orly (Paris-Orly) e Aeroporto Internacional Charles de Gaulle (Paris-Charles de Gaulle), desde 1996 e 1999, respectivamente, equiparam-se com estações de tratamento de água pluvial. Estas instalações custaram, em 2005, € 740 mil para Paris-Orly e € 900 mil para Paris-Charles de Gaulle. No Aeroporto Internacional Orly a água pluvial é utilizada para alimentar o sistema de ar condicionado e as redes de aquecimento presentes no aeroporto, e uma pequena parte é usada para controle de incêndio, permitindo economizar anualmente 70 mil m<sup>3</sup> de água potável (ADP, 2009).

A Divisão de Manutenção do Departamento de Aviação (DOA), do aeroporto internacional de Atlanta, instalou três cisternas de água com capacidade de 11,37 m<sup>3</sup> cada. Elas armazenam as águas escoadas dos telhados que são utilizadas na irrigação das áreas verdes. Durante os meses mais quentes o aproveitamento é de, aproximadamente, 36,37 m<sup>3</sup> por mês (HAIA, 2009).

No Aeroporto Internacional de Narita as águas pluviais tratadas são utilizadas na refrigeração e no aquecimento central. O aeroporto também passou a utilizá-la para descarga nos banheiros dos terminais de passageiros (NIAC, 2011).

O Aeroporto Internacional de Bruxelas está equipado com seis coletores de águas pluviais com capacidade de 10 m<sup>3</sup> cada. A água é utilizada para a descarga em sanitários e para fins de limpeza (BAC, 2010).

Aeroportos de Heathrow e Zurique coletam 59 mil m<sup>3</sup> e 10 mil m<sup>3</sup>, respectivamente, de água pluvial por ano, sendo que em Zurique ela é utilizada nas instalações técnicas e na descarga de vasos sanitários (ZIA, 2010; LHA, 2010).

Água pluvial é uma das fontes alternativas de abastecimento, com a qual o SBGL também conta. Em 2009, a INFRAERO, juntamente com a empresa responsável pela gestão dos recursos hídricos do aeroporto, implantaram sua captação que atualmente é feita no telhado com área de aproximadamente 13.000 m<sup>2</sup>, localizado nas coberturas das edificações da área de apoio. O volume estimado de captação é de 1.500 m<sup>3</sup> mensais de água, que é tratado juntamente com o esgoto doméstico e utilizado em atividades de reuso, como água dos sistemas de refrigeração (Pizzato e Alves 2010).

#### **5.6.5. Reuso de efluente doméstico**

Atualmente o reuso de efluente doméstico tratado vem aumentando em todo o mundo, principalmente em países com escassez hídrica e que possuem elevada tarifa de água potável. Acompanhando a tendência mundial, os complexos aeroportuários vêm crescentemente adotando essa prática.

No Aeroporto de Roma, Fiumicino, o efluente sanitário, juntamente com efluentes de cozinhas e restaurantes, após o tratamento biológico de lodos ativados, passam por um processo de desinfecção por luz ultravioleta, para reutilização em irrigação de áreas verdes, alimentação do sistema de condicionamento de ar e água para combate a incêndio (ADR, 2009).

O aeroporto de Qingdao, na China utiliza processo de biorreator a membranas para tratar seus efluentes e reutilizar na arborização, irrigação de áreas de jardins e sistema de combate a incêndio (Liu et al., 2010).



A economia de água no Aeroporto Kingsford Smith, em Sydney, flutua de acordo com a demanda e, em 2009, a estação de tratamento permitiu economizar em média 350 m<sup>3</sup> de água potável por dia. Em 2010 e 2011, este número aumentou para uma média de 580 m<sup>3</sup> por dia. A estação de tratamento processa esgoto bruto do terminal internacional, estacionamento, escritório corporativo e alfândega. Ela produz duas linhas de água reciclada, uma delas vai para o terminal internacional para ser reutilizada nos 526 banheiros e 212 mictórios e a outra vai para o edifício central e é utilizada em torres de refrigeração (SA, 2009b).

No Brasil, segundo Pizzato e Alves (2010), o Aeroporto internacional do Rio de Janeiro, possui sistema de reúso de efluente proveniente do tratamento de esgoto. Este efluente é misturado com aproximadamente 8 m<sup>3</sup>/h de água pluvial e/ou água de poços artesianos, afim de atingir a eficiência máxima de produção do reúso, que é de 20 m<sup>3</sup>/h. Essa mistura passa por um pré-tratamento onde ocorre coagulação, filtragem em filtros de areia, filtragem em filtros de carvão ativado e, em seguida, o efluente é conduzido para o sistema de separação por membranas, osmose reversa, que resulta em água de excelente qualidade e apta a abastecer as torres de resfriamento com toda a segurança requerida.

#### **5.6.6. Outras alternativas**

Outra fonte alternativa à água potável é a água salina. Apesar de ser rica em substâncias indesejáveis para o reúso, como o cloreto de potássio, ela se torna atrativa para aeroportos que se situam próximos a ambientes abundantes em águas salinas.

O Aeroporto Internacional de Hong Kong afirma que o investimento em águas salinas economiza 50.000 MWh/ano se comparado ao sistema de microfiltração para purificação de águas residuárias. O aeroporto é abastecido diariamente por água salina tratada por dessalinização, gerando uma economia de US\$ 27 milhões/ano. Ela é utilizada em descargas nos banheiros e no

sistema de refrigeração, inclusive para as maiores edificações do complexo aeroportuário (HKIA, 2010).

O manejo adequado dos jardins também resulta em consideráveis economias. Isto porque em complexos aeroportuários geralmente existem extensas áreas de jardins que possuem papel estético, protegem o solo e minimizam o carreamento de sedimentos para os canais de drenagem. A manutenção dessas áreas necessita de água, portanto, o manejo das mesmas deve ter como premissa o uso eficiente desse recurso.

O aeroporto de Atlanta faz um rigoroso planejamento para as áreas de jardim, denominado de “Xeriscape Landscaping”. As plantas devem atender ao requisito de menor demanda hídrica, selecionando-se principalmente as xerófilas. Áreas onde a paisagem tem maior importância estética são priorizadas (HAIA, 2009). A escolha das espécies deve considerar ainda aquelas com menor taxa de crescimento, tolerância a seca e menor atração de aves ou outros animais.

### **5.7. Sistemas fotovoltaicos**

O aumento da população mundial traduz uma necessidade cada vez maior de utilização de diversas formas de energias. A busca por sistemas alternativos de energia é constante, pois existe uma dependência mundial pelo uso de energias não renováveis. Relativamente altos preços do petróleo, bem como as preocupações com o impacto ambiental da combustão de combustíveis fósseis e forte incentivos do governo fizeram das energias renováveis a fonte de energia que mais cresce de acordo com a USEIA (2011).

Energia fotovoltaica é a conversão direta da energia solar em energia elétrica, sem a necessidade de qualquer motor. Os dispositivos utilizados para conversão são geralmente robustos e de fácil manutenção. Devido a tal característica eles são usados como fonte de energia em ambientes diversos, por exemplo, o bombeamento de água, edifícios remotos, sistemas de energia

solar, comunicações, satélites e veículos espaciais e usinas de osmose reversa.

Apesar de ser uma técnica consolidada, diversos estudos tem sido desenvolvidos buscando sua otimização, modelagem, eficiência, viabilidade e dinâmica em variações climáticas (Sobhnamayan et al., 2014; Adaramola, 2014; Torres-Lobera e Valkealahti, 2013, 2014; Huang et al., 2013).

A energia solar é uma fonte alternativa que pode suprir com grandes vantagens muitas das necessidades. Ela é o segmento que mais cresce das fontes renováveis de energia, podendo ser utilizada em várias aplicações. Entre 2000 e 2012 a sua capacidade instalada aumentou mais de setenta vezes, sendo que 70% destes sistemas estão situados na Europa, seguido por China, EUA e Japão (EPIA, 2013).

A radiação solar chega a nosso planeta de forma abundante e pode ser considerada uma fonte inesgotável. Estima-se que o tempo necessário para que incida sobre a terra, uma quantidade de energia solar equivalente à demanda energética mundial anual, seja de aproximadamente 12 minutos. Em três semanas, a energia solar incidente sobre a terra equivale também a todas as reservas conhecidas de combustíveis fósseis como óleo, gás natural e carvão (Rüther, 2000).

## **5.8. Estudos de viabilidade econômica**

A análise de viabilidade econômica busca identificar quais são os benefícios esperados em dado investimento em comparação com os investimentos e custos associados ao mesmo, a fim de verificar a sua viabilidade de implementação. Ela também pode ser considerada como o conjunto de técnicas que permitem a comparação entre os resultados de tomada de decisões referentes a alternativas diferentes de forma científica (Zago et al., 2009).

Veras (2010) salientou que a análise de investimentos compreende não só as alternativas entre dois ou mais investimentos a escolher, mas também a

análise de um único investimento com a finalidade de se avaliar o interesse na implantação do mesmo.

Ao analisar um possível investimento, deve-se considerar que o mesmo já deslocou capital passível de ser aplicado em outros investimentos que possibilitariam retorno. Portanto, para tornar-se atrativo, ele deverá render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco (Taha, 1996).

Portanto esta análise deve basear-se no equilíbrio entre o custo atual do sistema, que é a soma do investimento inicial mais os custos anuais, incluindo reparação, operação e manutenção, e os benefícios da economia referentes ao tempo presente (Sidiras e Koukios, 2005).

Diversos trabalhos buscaram verificar a viabilidade econômica como subsidio para a implantação de projetos com âmbito em meio ambiente e fontes alternativas, como Ahmad e EL-Dessouky (2008), Moreira Neto et al. (2012b), Couto (2012), Sidiras e Koukios (2005), Imteaz et al. (2011), Spatari et al. (2011), entre outros. Entretanto, a maioria não considera o custo de oportunidade, tão pouco o efeito dos juros e da inflação no período.

Entre os índices utilizados neste tipo de análise está a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Período de Recuperação do Capital Investido (*Payback*) e Período de Recuperação Atualizado ou *Payback* Descontado (PD).

A TMA consiste na taxa mínima de juros que o investidor pretende conseguir como rendimento ao optar e realizar certo investimento. Na prática, corresponde à taxa oferecida pelo mercado para uma aplicação de capital como a caderneta de poupança, com risco baixíssimo e alta liquidez (Filho e Kopittke, 2010).

Segundo Fleischer (1973), a característica essencial do método do VPL é o desconto para o valor presente de todos os fluxos de caixa esperados como resultado de uma decisão de investimento. Todos os fluxos de caixa futuros são descontados, usando-se a TMA. Na prática, trata-se em trazer para o

presente, ou seja, para o tempo em que se iniciou o projeto, todas as despesas e receitas de capital esperados, a uma determinada taxa de juros que reflita os juros de mercado.

A TIR de um projeto é a taxa que torna nulo o VPL do fluxo de caixa do investimento. É aquela que torna o valor presente dos lucros futuros equivalentes aos dos gastos realizados com o projeto, caracterizando, assim, a taxa de remuneração do capital investido (Ponciano et al., 2004).

O *Payback* é o principal método não exato que mede o tempo necessário para que a somatória das parcelas anuais seja igual ao investimento inicial (Taha, 1996). Portanto ele não considera o efeito do tempo nos valores monetários.

Já o Período de Recuperação Atualizado ou *Payback* Descontado (PD) questiona qual o período necessário para o projeto ser aceito em termos de valor presente líquido, mas continua a não considerar os fluxos de caixa que ocorrem após o período (Taha, 1996).

Segundo Ponciano et al. (2004), o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback* Descontado (PD) têm como vantagem o fato de considerarem o efeito da dimensão do tempo nos valores monetários, sendo os principais índices utilizados.

Para a correção do fluxo de caixa através do VPL, utiliza-se a Equação 1, em que  $I$  é o investimento de capital na data zero (R\$),  $FC_t$  é o retorno na data  $t$  do fluxo de caixa (R\$),  $n$  é o prazo de análise do projeto (anos), e  $k$  é taxa mínima para realizar o investimento (%).

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + K)^t} \quad (\text{Eq. 1})$$

Já o PD, pode ser calculado pela Equação 2, em que  $t$  é calculado de forma iterativa até que os dois lados da equação se igualem.

$$I = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + k)^t} \quad (\text{Eq. 2})$$

Por fim, a TIR é calculada pela Equação 3, também de forma iterativa, até que os dois lados da equação se igualem.

$$I = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \quad (\text{Eq. 3})$$

## 6. Referências bibliográficas

Adaramola MS. Viability of grid-connected solar PV energy system in Jos, Nigeria. International Journal of Electrical Power & Energy Systems 2014; 61:64-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.03.015>

ADR - Aeroporti di Roma. Environmental Report 2009. 2009. Disponível em: [http://www.adr.it/c/document\\_library/get\\_file?uuid=e60b5298-f5ac-415c-80aa-62abfe6c4b46&groupId=17615](http://www.adr.it/c/document_library/get_file?uuid=e60b5298-f5ac-415c-80aa-62abfe6c4b46&groupId=17615) [acessado 10.11.12].

Ahmad J, EL-Dessouky H. Design of a modified low cost treatment system for the recycling and reuse of laundry waste water. Resources, Conservation and Recycling 2008; 52(7):973-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.03.001>

Aladenola OO, Adeboye OB. Assessing the potential for rainwater harvesting. Water Resources Management 2010; 24(10):2129-2137. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-009-9542-y>

Al-Jayyousi OR. Greywater reuse: towards sustainable water management. Desalination 2003; 156(1-3):181-192. [http://dx.doi.org/10.1016/S0011-9164\(03\)00340-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00340-0)

ANA – Agência Nacional das Águas, FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, Sinduscon/SP – Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo. Conservação e reuso da Água em Edificações. São Paulo: Prol Editora Gráfica; 2005. Disponível em: [www.ciesp.com.br/arquivo-download/?id=5626](http://www.ciesp.com.br/arquivo-download/?id=5626) [acessado 12.10.12].

ADP - Aéroports de Paris. Rapport d'activité et de développement durable 2009. Disponível em: <http://services.aeroportsdeparis.fr/ADP.DownloadManager/getFile.aspx?ideFile=47> [acessado 20.11.12].

Ayers RS, Westcot DW. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 rev 1. Rome: FAO UN; 1985. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/t0234e00.HTM> [acessado 18.10.13].

BAC - Brussels Airport Company. Environmental report; 2010. Disponível em: <http://www.brusselsairport.be/en/cf/res/pdf/env/en/envreport2010en> [acessado 20.11.12].

Beal CD, Stewart RA, Fielding K. A novel mixed method smart metering approach to reconciling differences between perceived and actual residential end use water consumption. Journal of Cleaner Production 2011; 60:116-128. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.09.007>

Bennett C, Stewart RA, Beal CD. ANN-based residential water end-use demand forecasting model. Expert Systems with Applications 2013; 40(4):1014-1023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.012>

Blokker E, Vreeburg J, van Dijk J. Simulating residential water demand with a stochastic end use model. *Journal of Water Resources Planning and Management* 2010. 136(1):19–26. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000002](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000002)

Carragher BJ, Stewart RA, Beal CD. Quantifying the influence of residential water appliance efficiency on average day diurnal demand patterns at an end use level: A precursor to optimised water service infrastructure planning. *Resources, Conservation and Recycling* 2012; 62:81-90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.02.008>

Carvalho IC, Calijuri ML, Assemany PP, Santiago AF, Silva MDFM, Moreira Neto RF, Souza MHB. Sustainable airport environments: A review of water conservation practices in airports. *Resources, Conservation and Recycling* 2013; 74:27-36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.016>

Carvalho IC. Proposição de modelos de previsão de consumo de água para ambientes aeroportuários. 2013. 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

Coates RW, Delwiche MJ, Broad A, Holler M. Wireless sensor network with irrigation valve control. *Computers and Electronics in Agriculture* 2013; 96:13-22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2013.04.013>

Couto EA, Calijuri ML, Assemany PP, Santiago AF, Carvalho IC. Greywater production in airports: Qualitative and quantitative assessment. *Resources, Conservation and Recycling* 2013; 77:44-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.05.004>

Couto EA. Avaliação do reuso de águas cinza em ambientes aeroportuários. 2012. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

Devitt DA, Carstensen K, Morris RL. Residential water savings associated with satellite-based et irrigation controllers. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 2008; 134:74-82. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2008\)134:1\(74\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:1(74))

Elmitwalli TA, Otterpohl R. Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Water Research* 2007; 41(6):1379-1387. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.12.016>

EPIA - European Photovoltaic Industry Association. Global market outlook for photovoltaics 2013-2017, 2013. Disponível em: <http://www.epia.org/news/publications/> [acessado 31.01.14].

Filho NK, Kopittke BH. Análise de investimento: matemática financeira, engenharia ergonômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 11ª Ed. São Paulo: Atlas; 2010.



Fleischer GA. Teoria da Aplicação do Capital. São Paulo: Ed. Edgard Blucher; 1973.

FRAPORT AG. Frankfurt Airport Group. Connecting Sustainably Report 2010. 2010. Disponível em: [http://www.fraport.com/content/fraport/en/misc/binaer/sustainability1/sustainability\\_report2010/jcr:content.file/sustainability\\_report\\_2010.pdf](http://www.fraport.com/content/fraport/en/misc/binaer/sustainability1/sustainability_report2010/jcr:content.file/sustainability_report_2010.pdf) [acessado 15.11.12].

FRAPORT AG. Frankfurt Airport Group. Environmental Report - Environmental statement 2008 and Environmental program to 2011 for Frankfurt Airport. 2008. Disponível em: [http://www.fraport.com/content/fraport/en/misc/binaer/sustainability1/environmental\\_statements/environmental\\_report2008/jcr:content.file/file.pdf](http://www.fraport.com/content/fraport/en/misc/binaer/sustainability1/environmental_statements/environmental_report2008/jcr:content.file/file.pdf) [acessado 15.11.12].

Friedler E. Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities. Environmental Technology 2004; 25(9):997–1008.

Ghisi E, Oliveira SM. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. Building and Environment 2007; 42(4):1731-1742. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.02.001>

Ghisi E, Tavares DF, Rocha VL. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis. Resources, Conservation and Recycling 2009; 54(2):79-85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.06.010>

Ghunmi LA, Zeeman G, Fayyad M, van Lier JB. Grey water treatment in a series anaerobic – Aerobic system for irrigation. Bioresource Technology 2010; 101(1):41-50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.056>

Gikas GD, Tsihrintzis VA. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. Journal of Hydrology 2012; 466-467:115-126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.08.020>

Gilboa Y, Friedler E. UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms. Water Research 2008; 42(4-5):1043-1050. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2007.09.027>

HAIA - Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport. Annual Environment Report 2009. 2009. Disponível em: [http://www.atlanta-airport.com/docs/Airport/Environmental/2009%20Annual%20Env%20Report\\_Revised%205-27-10.pdf](http://www.atlanta-airport.com/docs/Airport/Environmental/2009%20Annual%20Env%20Report_Revised%205-27-10.pdf) [acessado 05.12.12].

Halalsheh M, Dalahmeh S, Sayed M, Suleiman W, Shareef M, Mansour M, Safi M. Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan.

Bioresource Technology 2008; 99(14):6635-6641.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.029>

Hamzo ST, Barreto D. Avaliação da economia de água obtida pelo uso de dispositivo seletivo de descarga em bacias sanitárias com caixa acoplada. X Simpósio Nacional de Sistemas Prediais: Desenvolvimento e inovação, São Carlos-SP, anais... CD Rom, 2007.

Helmreich B, Horn H. Opportunities in rainwater harvesting. Desalination 2009; 248(1-3):118-124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.046>

HKIA. Hong Kong International Airport. Our Green Airport - Annual report 2009/10. 2010. Disponível em: [https://www.hongkongairport.com/eng/pdf/media/publication/report/09\\_10/e\\_full.pdf](https://www.hongkongairport.com/eng/pdf/media/publication/report/09_10/e_full.pdf) [acessado 05.12.12].

Huang B, Huang Y, Chen G, Hsu PC, Li K. Improving Solar PV System Efficiency Using One-Axis 3-Position Sun Tracking. Energy Procedia 2013; 33:280-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.069>

Hunt T, Lessick D, Berg J, Wiedmann J, Ash T, Pagano D, Mariam M, Bamezai A. Residential Weather-Based Irrigation Scheduling: Evidence from the Irvine "ET Controller" Study, 2001.

Huston R, Chan YC, Chapman H, Gardner T, Shaw, G. Source apportionment of heavy metals and ionic contaminants in rainwater tanks in a subtropical urban area in Australia. Water Research 2012; 46(4):1121-1132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.008>

Imteaz MA, Shanableh A, Rahman A, Ahsan A. Optimisation of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia. Resources, Conservation and Recycling 2011; 55(11):1022-1029. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.013>

INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Relatório Ambiental 2011. Disponível em: [http://www.infraero.gov.br/images/stories/imprensa/infraero\\_web\\_portugues.pdf](http://www.infraero.gov.br/images/stories/imprensa/infraero_web_portugues.pdf) . [acessado 05.12.12].

Jacobs HE. The first reported correlation between end-use estimates of residential water demand and measured use in South Africa. Water SA 2007; 33(4):549-558.

Jefferson B, Laine A, Parsons S, Stephenson T, Judd S. Technologies for domestic wastewater recycling. Urban Water 2000; 1(4):285-292. [http://dx.doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00030-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00030-3)

Jha MK, Chowdary VM, Kulkarni Y, Mal BC. Rainwater harvesting planning using geospatial techniques and multicriteria decision analysis. Resources, Conservation and Recycling 2014; 83:96-111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.12.003>

Jim CY, Chen WY. Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *Journal of Environmental Management* 2008; 88(4):665–676. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.035>

Kenna B. Water Metering and Revenue Protection. 2008. 110p. Dissertation (Bachelor of Engineering Mechanical) - University of Southern Queensland, Australia, 2008.

Lamberts R, Ghisi E, Pereira CD, Batista JO. Casa eficiente: uso racional da água. Vol. 3, 72 p. Florianópolis: UFSC/LabEEE; 2010. Disponível em: [http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/Publica%C3%A7oes\\_CasaEficiente/vol%20III-WEB.pdf](http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/Publica%C3%A7oes_CasaEficiente/vol%20III-WEB.pdf) [acessado 15.08.12].

Lamine M, Bousselmi L, Ghrabi A. Biological treatment of grey water using sequencing batch reactor. *Desalination* 2007; 215(1-3):127-132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2006.11.017>

Leal L, Temmink H, Zeeman G, Buisman CJN. Characterization and anaerobic biodegradability of grey water. *Desalination* 2011; 270(1-3):111-115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.11.029>

LHA - London Heathrow Airport. Sustainability Performance Summary. 2010. Disponível em: <http://www.heathrowairport.com/static/Heathrow/Downloads/PDF/2010-sustainability-performance-summary.pdf>. [acessado 15.10.12].

Liu S, Butler D, Memon FA, Makropoulos C, Avery L, Jefferson B. Impacts of residence time during storage on potential of water saving for grey water recycling system. *Water Research* 2010; 44(1):267-277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2009.09.023>

Lowry Jr JH, Ramsey RD, Kjellgren RK. Predicting urban forest growth and its impact on residential landscape water demand in a semiarid urban environment. *Urban Forestry & Urban Greening* 2011; 10(3):193-204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2011.05.004>

MAN - Manchester Airport. Environmental Plan - Part of the Manchester Airport Master Plan to 2030. 2007. Disponível em: [http://www.manchesterairport.co.uk/manweb.nsf/alldocs/8100FB8EF658808C80257364002D85FA/\\$File/Environment+Plan.pdf](http://www.manchesterairport.co.uk/manweb.nsf/alldocs/8100FB8EF658808C80257364002D85FA/$File/Environment+Plan.pdf) [acessado 12.10.12].

Mandal D, Labhasetwar P, Dhone S, Dubey AS, Shinde G, Wate S. Water conservation due to greywater treatment and reuse in urban setting with specific context to developing countries. *Resources, Conservation and Recycling* 2011; 55(3):356–361. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.001>

Mayer P, Deoreo W, Towler E, Martien L, Lewis D. Tampa Water Department. Residential water conservation study: the impacts of high efficiency plumbing fixture retrofits in single-family homes. USA: Aquacraft Inc. Water Engineering and Management; 2004. Disponível em:

[https://www.tampagov.net/dept\\_water/files/Efficiency/Tampa\\_Retrofit\\_Final\\_Report.pdf](https://www.tampagov.net/dept_water/files/Efficiency/Tampa_Retrofit_Final_Report.pdf) [acessado 16.10.13]

Mead N. Investigation of domestic end use. Honours thesis - University of Southern Queensland, Austrália, 2008.

Metcalf & Eddy. Wasterwater Engineering: Treatment and Reuse. 4ª Ed. New York: McGraw-Hill; 2003.

Ministério da Saúde, BRASIL. Portaria n.º 518/2004/Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005. Disponível em: <http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm> [acessado 20.01.12].

Morales-Pinzón T, Lurueña R, Gabarrell X, Gasol CM, Rieradevall J. Financial and environmental modelling of water hardness — Implications for utilising harvested rainwater in washing machines. Science of The Total Environment 2014; 470-471:1257-1271. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.101>

Moreira Neto RF, Calijuri ML, Carvalho IC, Santiago AF. Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: Efficiency and costs. Resources, Conservation and Recycling 2012a; 65:124-129. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.001>

Moreira Neto RF, Calijuri ML, Carvalho IC, Santiago AF. Rainwater use in airports: A case study in Brazil. Resources, Conservation and Recycling 2012b; 68:36-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.08.005>

Moreira Neto RF. Avaliação de aproveitamento de água pluvial em complexos aeroportuários. 2011. 78p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

Mourad KA, Berndtsson JC, Berndtsson R. Potential fresh water saving using greywater in toilet flushing in Syria. Journal of Environmental Management 2011; 92(10):2447–2453. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.004>

Muthukumaran S, Baskaran K, Sexton N. Quantification of potable water savings by residential water conservation and reuse - A case study. Resources, Conservation and Recycling 2011; 55(11):945-952. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.04.013>

Naddeo V, Scannapieco D, Belgiorno V. Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment. Journal of Hydrology 2013; 498:287-291. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.012>

Nghiem LD, Oschmann N, Schäfer AI. Fouling in grey water recycling by direct ultrafiltration. Desalination 2006; 187(1-3):283-290. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.087>

NIAC. Narita International Airport Corporation. Narita Airport Environment Report 2011. 2011. Disponível em: [http://www.naa.jp/en/environment/pdf\\_2011/kankyo\\_report2011.pdf](http://www.naa.jp/en/environment/pdf_2011/kankyo_report2011.pdf) [acessado 15.11.12].

Oschmann N, Nghiem LD, Schafer AI. Fouling mechanisms of submerged ultrafiltration membranes in greywater recycling. Desalination 2005; 179(1-3):215-223. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2004.12.023>

Pizzato M, Alves N. Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro – Galeão. Revista Meio Filtrante 2010. Ano VI, Edição nº45. Disponível em: [http://www.meiofiltrante.com.br/materias\\_ver.asp?action=detalhe&id=616&revisita=n45](http://www.meiofiltrante.com.br/materias_ver.asp?action=detalhe&id=616&revisita=n45) [acessado 10.10.12].

Ponciano NJ, Souza PM, Mata HTC, Vieira JR, Morgado IF. Análise de viabilidade econômica e de risco da fruticultura na região norte Fluminense. Revista de Economia e Sociologia Rural 2004. 42(4):615-635. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032004000400005>

Proença LC, Ghisi E. Water end-uses in Brazilian office buildings. Resources, Conservation and Recycling 2010; 54(8):489-500. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.10.005>

PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES; 2006. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Esgoto-Prosab%20-%20final.pdf> [acessado 10.10.12].

Rahman A, Keane J, Imteaz MA. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. Resources, Conservation and Recycling 2012; 61:16-21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.12.002>

Rüther R. Instalações solares fotovoltaicas integradas a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública. Florianópolis, 2000.

SA - Sydney Airport. Sydney Airport Master Plan 2009 – Sustainability, Climate Change and Environmental Management. 2009a. Disponível em: <http://www.sydneyairport.com.au/corporate/community-environment-and-planning/~media/Files/Corporate/Environment%20Plan/Master%20Plan/14SustainabilityEnviro.pdf> [acessado 10.12.12].

SA - Sydney Airport. Water Recycling Plant. 2009b. Disponível em: <http://www.sydneyairport.com.au/corporate/about-us/building-a-better-airport/water-recycling-plant.aspx> [acessado 10.12.12].

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=2&temp2=3&>

[proj=sabesp&pub=T&nome=Uso\\_Racional\\_Agua\\_Generico&db=&docid=58704763E5380E548325711B0050C88B](http://proj=sabesp&pub=T&nome=Uso_Racional_Agua_Generico&db=&docid=58704763E5380E548325711B0050C88B) [acessado em 08.10.12].

Salvador R, Bautista-Capetillo C, Playán E. Irrigation performance in private urban landscapes: A study case in Zaragoza (Spain). *Landscape and Urban Planning* 2011; 100(3):302-311. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.12.018>

Santos C, Taveira-Pinto F, Cheng CY, Leite D. Development of an experimental system for greywater reuse. *Desalination* 2011; 285:301-305. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.10.017>

Santos C, Taveira-Pinto F. Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. *Resources, Conservation and Recycling* 2013; 71:1-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.11.004>

Schiphol Group. Annual Report 2011. 2011. Disponível em: [http://2011.annualreportschiphol.com/fbcontent.ashx/downloads/Schiphol\\_Annual\\_report\\_2011\\_ENG.pdf](http://2011.annualreportschiphol.com/fbcontent.ashx/downloads/Schiphol_Annual_report_2011_ENG.pdf). Acessado em jul/2012 [acessado 10.12.12].

Sidiras, DK, Koukios EG. The effect of payback time on solar hot water systems diffusion: the case of Greece. *Energy Conversion and Management* 2005; 46(2):269-280. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2004.02.018>

Smith A, Khow J, Hills S. Water reuse at the UK's Millenium Dome. *Membrane Technology* 2000; 2000(118):5-8. [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-2118\(00\)87565-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-2118(00)87565-5)

Sobhnamayan F, Sarhaddi F, Alavi MA, Farahat S, Yazdanpanahi J. Optimization of a solar photovoltaic thermal (PV/T) water collector based on exergy concept. *Renewable Energy* 2014; (68):356-365. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.01.048>

Spatari S, Yu Z, Montalto FA. Life cycle implications of urban green infrastructure. *Environmental Pollution* 2011; 159(8-9):2174-2179. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.015>

Stewart RA, Willis R, Giurco D, Panuwatwanich K, Capati G. Web based knowledge management system: linking smart metering to the future of urban water planning. *Australian Planner* 2010; 47:66-74.

Su MD, Lin CH, Chang LF, Kang JL, Lin MC. A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. *Resources, Conservation and Recycling* 2009; 53(7):393-399. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.03.005>

Syme GJ, Shao QX, Po M, Campbell E. Predicting and understanding home garden water use. *Landscape and Urban Planning* 2004; 68:121-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.002>



Taha P. Estudo de viabilidade técnico-econômica da produção de surimi. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1996.

Takebayashi H, Moriyama M. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. Building and Environment 2007; 42(8):2971–2979. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.017>

Tamaki HO, Silva GS, Gonçalves OM. A medição setorizada como instrumento de gestão da demanda de água em sistemas prediais: estudo de caso na Universidade de São Paulo. Ambiente Construído 2006; 6(1):63-74.

Tomaz P. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Editora Navegar; 2009.

Torres-Lobera D, Valkealahti S. Dynamic thermal model of solar PV systems under varying climatic conditions. Solar Energy 2013; 93:183-194. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.03.028>

Torres-Lobera D, Valkealahti S. Inclusive dynamic thermal and electric simulation model of solar PV systems under varying atmospheric conditions. Solar Energy 2014; 105:632-647. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2014.04.018>

TPIA. Toronto Pearson International Airport. Environmental performance report 2006, 2006. Disponível em: [http://www.torontopearson.com/uploadedFiles/GTAA/Content/Publications/Other\\_Corporate\\_Documents/Sustainability%20report%2020108.pdf](http://www.torontopearson.com/uploadedFiles/GTAA/Content/Publications/Other_Corporate_Documents/Sustainability%20report%2020108.pdf) [acessado 10.12.12].

Uchida C, Oliveira LH. As bacias sanitárias com sistema de descarga dual e a redução do consumo de água em edifício residencial multifamiliar. XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído 2006, Florianópolis-SC, anais... CD Rom.

USEIA - U.S. Energy Information Administration. Annual Energy Outlook 2011. Disponível em: <http://www.eia.gov/forecasts/archive/aeo11/index.cfm> [acessado 30.11.13].

USEPA. Guidelines for Water Reuse 2004. Disponível em: <http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/Water-Reuse-Guidelines-625r04108.pdf> [acessado 05.11.12].

Vargas-Parra MV, Villalba G, Gabarrell X. Applying exergy analysis to rainwater harvesting systems to assess resource efficiency. Resources, Conservation and Recycling 2013; 72:50-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.12.008>

Veras LL. Matemática financeira: uso de calculadoras financeiras, aplicações ao mercado financeiro, introdução à engenharia econômica, 300 exercícios resolvidos e propostos com respostas. 7ª ed. São Paulo: Atlas; 2010.

Vieira, AS; Beal, CD; Ghisi, E; Stewart, RA. Energy intensity of rainwater harvesting systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014; 34:225-242. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.012>

Vimieiro GV, Pádua VL. Emprego de equipamentos especiais na economia de água em residências de famílias de baixa renda. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 18 a 23 de setembro de 2005 - Campo Grande/MS.

Vimieiro GV, Pádua VL. Emprego de equipamentos especiais na economia de água em uma escola de ensino fundamental. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 02 a 07 de setembro de 2007 - Belo Horizonte/MG.

Ward S, Memon FA, Butler D. Rainwater harvesting: model-based design evaluation. *Water Science and Technology* 2010; 61(1):85-96. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2010.783>

WHO - World Health Organization. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater; Volume 4: Excreta and greywater use in agriculture, 2006. Disponível em: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546859\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546859_eng.pdf) [acessado 20.01.14]

Wichmann LF, Otterpohl K. Evaluation of appropriate technologies for grey water treatments and reuses. *Water Science and Technology* 2009; 59(2):249-260. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2009.854>

Willis RM, Stewart RA, Giurco DP, Talebpour MR, Mousavinejad A. End use water consumption in households: impact of socio-demographic factors and efficient devices. *Journal of Cleaner Production* 2013. 60:107-115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.006>

Zago CA, Weise AD, Hornburg RA. A importância do estudo de viabilidade econômica de projetos nas organizações contemporâneas. VI CONVIBRA – Congresso Virtual Brasileiro de Administração. Disponível em: [http://www.convibra.com.br/2009/artigos/142\\_0.pdf](http://www.convibra.com.br/2009/artigos/142_0.pdf) [acessado 10.12.12].

Zeng Z, Liu J, Savenije HHG. A simple approach to assess water scarcity integrating water quantity and quality. *Ecological Indicators* 2013; 34:441-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.06.012>

ZIA. Zurich International Airport. Annual Report 2009, 2009. Disponível em: [http://www.zurich-airport.com/~media/FlughafenZH/Dokumente/Das\\_Unternehmen/Investor\\_Relations/zurich\\_airport\\_annualreport09\\_E.pdf](http://www.zurich-airport.com/~media/FlughafenZH/Dokumente/Das_Unternehmen/Investor_Relations/zurich_airport_annualreport09_E.pdf) [acessado 10.12.12].



## II - POTENCIAL DE REDUÇÃO ATUAL E FUTURA DO CONSUMO DE ÁGUA NO AEROPORTO INTERNACIONAL TANCREDO NEVES (AITN)

### Resumo

Aeroportos têm papel de destaque na busca pela redução do consumo de água potável, pois consomem o equivalente à pequenas cidades. Nestes locais existem boas oportunidades para implantação de ações para promover seu uso mais eficiente, principalmente pela grande quantidade de usos não potáveis. Todavia, apesar de se conhecer soluções para a redução no consumo de água, elas têm sido estudadas de forma separada, sem integrá-las. Além disso, existem poucos estudos que quantificam o potencial que as ações de conservação de água têm na redução do consumo em aeroportos. Por isso, este trabalho tem por objetivo quantificar os usos finais de água nos principais edifícios do terceiro maior aeroporto do Brasil, que movimenta mais de 10 milhões de passageiros por ano, a fim de se determinar o potencial de redução no consumo atual e futuro através de ações como a substituição de equipamentos hidrosanitários convencionais por economizadores, o aproveitamento de água pluvial e o reuso de água cinza. Os usos finais variaram de acordo com as características de cada edifício, sendo que o maior uso ocorreu nos sanitários, com 63,1%, seguido das torres de resfriamento e restaurantes, com 11,2% e 10,4% respectivamente, sendo que 66,9% da demanda foram em usos não potáveis. A ação conservadora que isoladamente obteve a maior economia foi o reuso de água cinza, reduzindo 39,5% do consumo total. Já as ações integradas resultaram na redução de 72,2% do consumo em 2013, que corresponde a 84.745 m<sup>3</sup>, e 69,8% em 2023, que corresponde a 147 mil m<sup>3</sup>. O desempenho econômico das ações nos edifícios analisados variou e em alguns foi inviável. Entretanto quando adotadas em todos os edifícios, elas foram viáveis com *payback* descontado inferior a 5,6 anos, TIR acima de 24% e VPL de pelo menos R\$ 791 mil. Já as ações integradas apresentaram *payback* descontado de 2,6 anos, TIR de 48,1% e VPL de R\$ 3,38 milhões. Os resultados demonstraram o potencial que as ações de conservação têm na redução de consumo de água potável em grandes consumidores como aeroportos, sendo uma alternativa tecnicamente, financeiramente e ambientalmente viável.

## 1. Introdução

Nas últimas décadas os problemas relacionados à água estiveram associados principalmente à escassez quantitativa deste recurso em algumas regiões. Entretanto, o desenvolvimento das cidades sem planejamento, não dando a devida atenção para o tratamento de seus efluentes tem gerado a escassez qualitativa, agravando ainda mais os conflitos pelo uso da água (Zeng et al., 2013). Estima-se que mais de 80% da água utilizada em todo o mundo não é coletada ou tratada (UNESCO, 2012). Estas questões estão atingindo proporções de crise, não só nos países em desenvolvimento, mas em todo o mundo (Brady, 2006). Por isso, diversos estudos têm sido realizados a fim de entender, quantificar e mitigar os efeitos da escassez (Chang e Wang, 2013; Kharraza et al., 2012; Qureshia, et al., 2013; Ward, 2014).

Dentro deste contexto, cada vez mais o tema água é discutido e novas tecnologias têm sido desenvolvidas para preservar este recurso. Em se tratando de grandes consumidores de água, aeroportos têm papel de destaque, pois possuem o consumo equivalente ao de pequenas cidades. O London Heathrow International Airport movimentou, em 2012, 69,9 milhões de passageiros e consumiu 2.221 mil m<sup>3</sup> de água (LHR, 2013), enquanto o Paris Airport - Charles de Gaulle movimentou neste mesmo ano 61,6 milhões de passageiros e consumiu 2.359 mil m<sup>3</sup> (ADP, 2013). De acordo com a WHO (2003), que indica que cada pessoa necessita de 100 litros de água por dia para atender as necessidades de consumo e higiene, estes aeroportos possuem o consumo equivalente ao de 60,8 e 64,6 mil habitantes, respectivamente.

Estes números tendem a aumentar, tendo em vista a popularização e o crescimento por esta opção de transporte. Durante 2012, 65% do crescimento no número de passageiros nos mercados internacionais estavam ligados às economias emergentes, sendo que no Brasil o crescimento foi de 8,6% (IATA, 2013a). A previsão de crescimento do número de passageiros no mundo é de 31% entre 2013 e 2017, sendo esperado que o seu total atinja 3,91 bilhões, ou seja, um aumento de 930 milhões em relação aos 2,98 bilhões transportados em 2012 (IATA, 2013b). Tal crescimento gera maior movimento nos

aeroportos, com consequente incremento no consumo de insumos básicos, como a água.

Nos aeroportos existem boas oportunidades para implantação de ações que promovam o uso eficiente da água, principalmente pela grande quantidade de usos não potáveis (Moreira Neto et al., 2012b). Nesses ambientes existem equipamentos hidrosanitários que podem ser substituídos ou complementados por dispositivos economizadores; possuem extensas áreas irrigáveis, nas quais se pode reutilizar efluente tratado; e grandes áreas de telhados que permitem a coleta de água pluvial que, após tratamento adequado, pode ser utilizada para diversos fins não potáveis, como nas torres de resfriamento, sistema de combate a incêndio, descargas de sanitários, lavagem de aeronaves, pistas e veículos. Entretanto, em geral, apenas os aeroportos que enfrentam severos problemas de escassez têm implementado fortemente esse conceito (Carvalho et al., 2013).

O uso eficiente da água através de sistemas de reutilização e aproveitamento de águas pluviais tem sido amplamente estudado (Moreira Neto et al., 2012a; Vieira et al., 2013; Imteaz et al., 2013; Mehrabadi et al., 2013; Assayed et al., 2013). Da mesma forma existem estudos para o reuso de águas cinza (Couto et al., 2013; Barker et al., 2013; Antonopoulou et al., 2013) e uso de equipamentos hidrosanitários economizadores (Barberán et al., 2013; Anand e Apul, 2011; Quitzeau, 2007; Lee e Tansel, 2013).

Apesar dessas alternativas serem promissoras, existe certa dificuldade na definição de quais ações adotar, uma vez que a economia proporcionada por cada uma pode variar. O gerenciamento do consumo e a estimativa de usos finais de água são as melhores formas de se quantificar o potencial de redução em edifícios (Proença e Ghisi, 2010). Este tipo de estudo permite identificar quais atividades ou instalações hidráulicas respondem pelo maior consumo, orientando a adoção de medidas com maior impacto e menor custo.

Todavia, essas ações precisam ser estudadas de forma integrada, pois a soma das reduções alcançadas por elas de forma isolada é diferente da redução alcançada integrando-as, induzindo a superestimativas.

Ainda que aeroportos sejam grandes consumidores de água, e possuam alguns consumos peculiares, existem poucos estudos que quantificam o potencial que ações de conservação de água têm na redução no seu consumo. Por isso, este trabalho tem por objetivo quantificar os usos finais de água nos principais edifícios do terceiro maior aeroporto do Brasil, que movimenta mais de 10 milhões de passageiros por ano, a fim de se determinar o potencial de redução no consumo, atual e futuro, através de ações conservacionistas isoladas e integradas, como eliminação de vazamentos, substituição de equipamentos hidrosanitários convencionais por economizadores, aproveitamento de água pluvial e reuso de água cinza.

Em geral, complexos aeroportuários possuem estruturas semelhantes às apresentadas neste estudo, permitindo que, com certa cautela, o potencial de economia encontrado possa ser extrapolado para outros aeroportos, orientando ações que visem à redução do consumo.

## 2. Metodologia

### 2.1. Caracterização da área de estudo

O Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN), Figura II-1, inaugurado em 1984, localiza-se na região metropolitana de Belo Horizonte, no Estado de Minas Gerais, Brasil, e possui como coordenadas centrais UTM, 608807 E, 7828825 S, zona 23 K. Está instalado em um sítio aeroportuário de 15 km<sup>2</sup> e movimentou mais de 10 milhões de passageiros em 2013, sendo o terceiro maior aeroporto do Brasil em fluxo de passageiros (INFRAERO, 2014).



**Figura II-1. Imagem do Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN)**

Projetado para atender 5 milhões de passageiros por ano, teve este limite superado em 2008. Obras de ampliação e modernização do aeroporto já foram iniciadas visando atender a demanda gerada pela Copa do Mundo de futebol em 2014 e as Olimpíadas de 2016.

Apesar das pressões para redução do consumo de água, desde a sua inauguração, o AITN passou apenas por uma pequena reforma com este objetivo, em 2005. Na ocasião, parte dos equipamentos hidrosanitários convencionais do terminal de passageiros, TPS, foram substituídos por economizadores.

Apesar de possuir extensos telhados, não é feito o aproveitamento de água pluvial e a irrigação de áreas verdes utiliza água potável. As águas cinzas, juntamente com as águas negras, são tratadas e lançadas no corpo hídrico mais próximo, não sendo reaproveitadas. Em 2013, o consumo anual total do aeroporto chegou a 253,6 mil m<sup>3</sup> de água, e o índice de consumo por passageiro foi de 25,3 L/passageiro.

## **2.2. Quantificação dos Usos finais**

A quantificação dos usos finais de água no AITN foi realizada para oito edifícios, que vários aeroportos possuem em comum, entre eles:

- Gerência de Manutenção (MAN) - edifício com escritórios dos funcionários responsáveis pela manutenção do aeroporto. Também possui oficinas para manutenção de veículos e equipamentos, além de um lavador de veículos;
- Receita Federal (RF) - edifício de escritórios dos funcionários responsáveis pela administração, arrecadação e fiscalização de tributos;
- Seção Contra Incêndio (SCI) - edifício com escritórios e alojamentos do Corpo de Bombeiros. Também possui estrutura para testes de veículos e treinamento de combate a incêndio;
- Terminal de Cargas (TECA) - edifício com escritórios para atendimento ao público exclusivo para o despacho de cargas;
- Engeforma (ENG) - estrutura com vestiários utilizados por funcionários terceirizados que prestam serviços de manutenção. Também possui carpintaria, serralheria e viveiro de mudas;
- Escritório dos Despachantes (DESP) - escritório de empresas particulares que prestam serviços relacionados à importação, exportação e transporte de cargas. Também possui um pequeno restaurante;
- Destacamento de Controle do Espaço Aéreo (DTCEA) - estrutura com escritórios, alojamentos e refeitórios dos funcionários responsáveis pelo controle do espaço aéreo com sistema de condensação próprio;

- Terminal de Passageiros (TPS) – terminal de embarque e desembarque de passageiros. Possui restaurantes, lanchonetes e sistema de condensação próprio.

A metodologia utilizada para estimar os usos finais de água nos edifícios do AITN foi baseada nas adotadas por Proença e Ghishi (2010) e Ghishi e Ferreira (2007). Segundo Proença e Ghishi (2009), a metodologia utilizada, mesmo que não conduza a resultados precisos, pode ser aplicada de forma relativamente simples, visando estimar os usos finais de água para aplicação em programas de redução do consumo de água.

A pesquisa foi realizada a partir de dados hidrometrados das edificações do aeroporto durante os anos de 2010 a 2013, entrevistas, questionários, levantamentos *in loco*, observações e avaliações dos hábitos da população fixa de cada edifício. Os questionários aplicados, apresentados no Anexo II, continham questões sobre frequência, forma e tempo de utilização dos equipamentos, a serem respondidas por ambos os sexos. Os dados foram analisados e comparados através de medições diretas.

O tamanho das amostras que participaram dos questionários foi calculado pela Equação 1 que, segundo Barbetta (2003), representa a população.

$$n \geq \frac{(1/\varepsilon^2) \times N}{(1/\varepsilon^2) + N} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que,  $N$  é o tamanho da população,  $\varepsilon$  é o erro amostral desejado e  $n$  é o tamanho da amostra. O erro amostral adotado variou para cada edifício, entretanto o maior valor aceitável foi de 15%.

Foram determinadas sete classes de uso: sanitários, irrigação, limpeza, lavagem de veículos, sistema de condensação, restaurantes e testes da seção contra incêndio (SCI).

O consumo nos equipamentos hidrosanitários ( $C_1$ ) foi determinado de acordo com a Equação 2, em que  $M_f$  é a frequência média de uso do dispositivo

(número de vezes/dia),  $M_t$  é o tempo médio de uso do dispositivo (s/vez),  $N$  é a população total do edifício e  $Q$  é a vazão no dispositivo (L/s).

$$C_1 = M_f \times M_t \times N \times Q \quad (\text{Eq. 2})$$

O volume de água consumido nas bacias sanitárias variou de acordo com seu modelo. Para vasos com caixas acopladas, utilizou-se o volume da caixa. Para as bacias sanitárias com válvula, o volume utilizado foi o resultado da multiplicação da vazão estabelecida pela norma brasileira NBR 5626 (ABNT, 1998), 1,7 L/s, pelo tempo médio em que as válvulas demoraram a fechar.

Já nos mictórios com acionamento mecânico, adotou-se o consumo de 2 L/uso (SABESP, 2012), enquanto os com acionamento hidromecânico o volume utilizado foi o resultado da multiplicação da vazão estabelecida pela norma brasileira NBR 5626 (ABNT, 1998), 0,5 L/s, pelo tempo médio em que as válvulas demoraram a fechar, calculado para cada edifício.

A vazão das torneiras foi obtida através da medição do volume coletado por um recipiente durante um tempo pré-definido de 5 segundos. A vazão adotada para o edifício correspondeu à média da vazão de suas torneiras.

O consumo ( $C_2$ ) na irrigação, limpeza e lavagem de veículos foi determinado através da Equação 3, em que,  $M_f$  é a frequência média de uso do dispositivo (número de vezes/dia),  $M_t$  é o tempo médio de uso do dispositivo (s/vez) e  $Q$  é a vazão no dispositivo (L/s). As vazões utilizadas foram as médias quantificadas para cada dispositivo.

$$C_2 = M_f \times M_t \times Q \quad (\text{Eq. 3})$$

O consumo do sistema de condensação foi determinado pela média dos dados hidrometrados, uma vez que possuem hidrometração individualizada.

Os volumes consumidos em outras atividades foram calculados de acordo com cada tipo de utilização, multiplicando-se a frequência e o tempo de realização de cada atividade (obtidos nos questionários e entrevistas) pelo volume consumido por vez.



No TPS, o consumo dos restaurantes, sistema de condensação e água quente nas duchas dos funcionários foi quantificada pelos seus hidrômetros individualizados. A estimativa do consumo nas atividades de limpeza e irrigação foi realizada através de entrevistas com os funcionários e medições diretas. O restante do consumo hidrometrado no TPS foi atribuído aos banheiros.

Não foram realizadas entrevistas com os usuários dos banheiros do TPS devido à sua grande flutuação e heterogeneidade (funcionários, visitantes e passageiros), não sendo possível traçar com precisão o seu perfil. Desta forma, considerou-se que a proporção do consumo nas torneiras, vasos sanitários e mictórios foi a média encontrada nos outros edifícios. Já o consumo de água nas duchas, que são exclusivas dos funcionários do aeroporto, foi quantificado considerando que a mistura de água quente e fria era de 50%.

Os consumos estimados nos edifícios foram ajustados proporcionalmente entre as classes através de média ponderada, uma vez que estas estimativas possuem correlação linear com o consumo real médio mensal (Ghishi e Ferreira, 2007; Proença e Ghishi, 2010). Este consumo foi denominado ajustado.

## **2.3. Potencial de redução do consumo**

A quantificação do potencial de redução do consumo foi realizada através de quatro ações que serão descritas a seguir.

### **2.3.1. Perdas visíveis nos equipamentos hidrosanitários**

Quantificou-se o potencial de redução do consumo através da detecção de vazamentos visíveis nas torneiras, chuveiros, bacias sanitárias e mictórios. Realizou-se a medição direta nos locais onde foi possível coletar a água resultante do vazamento, torneiras e chuveiros. Utilizou-se a Equação 4 para

quantificação do volume destas perdas diárias  $P$  (L/dia), em que  $V$  é o volume coletado de água (L) e  $T$  é tempo de coleta (s).

$$P = 86400 \times V/T \quad (\text{Eq. 4})$$

Nos outros locais, mictórios e vasos sanitários, realizou-se inspeção visual para classificar o fluxo de água dos vazamentos contínuos. Adotou-se como referência os valores fornecidos pela fabricante de equipamentos sanitários DECA, em que o vazamento é classificado em três faixas de acordo com o número de furos vazando, até 3 furos, de 4 a 6, e mais furos, correspondendo, respectivamente a 0,1 L/min, 0,3 L/min e 0,5 L/min (Oliveira, 2002).

### **2.3.2. Equipamentos economizadores**

A determinação do potencial de redução do consumo através do uso de equipamentos hidrosanitários economizadores foi realizada comparando a economia gerada por estes equipamentos em relação aos existentes e pela sua correta regulação.

Para isso realizou-se o inventário de todos os equipamentos hidrosanitários dos edifícios, sendo identificados os modelos e consumos das torneiras, bacias sanitárias, mictórios e chuveiros.

Para a estimativa de economia, considerou-se que estes equipamentos são utilizados pelos usuários de forma homogênea dentro de cada edifício, sem uma determinada preferência de modelo. Desta forma, a economia gerada foi calculada por equipamento, podendo variar de acordo com o modelo.

Avaliou-se a substituição das torneiras convencionais pelas com micro jatos, cuja vazão máxima é de 0,03 L/s, segundo o fabricante (DRACO, 2014). A economia variou em cada edifício, de acordo com a vazão média encontrada para suas torneiras originais.

Para os vasos sanitários, analisou-se a substituição das válvulas convencionais pelas válvulas dual, diferenciada para efluentes líquidos e sólidos, que reduzem

entre 50 e 75% o consumo em relação aos equipamentos convencionais (Proença et al., 2011). O volume economizado variou em cada edifício, de acordo com o tempo médio de funcionamento das descargas originais.

Para os mictórios, optou-se pelo uso de válvulas economizadoras automáticas, que reduzem o consumo de 2,0 L/uso para 1,0 L/uso (SABESP, 2012). A economia resultante nos equipamentos com válvulas manuais foi de 50%, enquanto nos com válvulas automáticas variou de acordo com o volume gasto no uso, calculado multiplicando a média do tempo de funcionamento pela vazão média.

Para os chuveiros, optou-se pela instalação de restritores de vazão que reduzem o consumo, limitando a vazão máxima em 0,13 L/s (SABESP, 2012). A economia variou em cada edifício, de acordo com a vazão média encontrada para os chuveiros originais.

### **2.3.3. Águas cinza**

Através dos dados de uso final da água, estimou-se o volume de água cinza gerado nos edifícios do aeroporto. Considerou-se como água cinza o efluente das torneiras dos banheiros e cozinhas, mictórios e chuveiros.

A economia de água tratada gerada com o reuso de água cinza foi determinada pela demanda dos usos não potáveis. Considerou-se como usos que não necessitam de água potável, permitindo a utilização de água cinza tratada a irrigação de jardins, lavagem de veículos, descarga de mictórios e vasos sanitários, limpeza, testes no equipamentos da SCI e nas torres de resfriamento (Couto et al., 2013).

### **2.3.4. Água pluvial**

O potencial máximo de aproveitamento da água pluvial do AITN foi quantificado considerando o volume de chuva coletável dos telhados dos edifícios

analisados e utilizando o Método da Análise de Simulação (MAS) sugerido por Tomaz (2009) e adotado por Moreira Neto et al. (2012b).

Os dados pluviométricos foram obtidos da estação localizada no próprio aeroporto, sob responsabilidade do Comando da Aeronáutica Brasileira. Foram usados os dados de precipitação entre 1991 e 2012. Utilizou-se nesse trabalho a série histórica resultante da média diária precipitada durante os vinte dois anos de dados.

As áreas de telhado foram estimadas a partir de imagem de satélite através do software *ArcGis 9.3* ©. A água armazenada acumulada no tanque foi calculada de acordo com a Equação 5, em que  $S_{(t)}$  é o volume no reservatório no tempo  $t$  ( $m^3$ );  $S_{(t-1)}$  é o volume no reservatório no tempo  $t-1$  ( $m^3$ );  $P_{(t)}$  é a precipitação no tempo  $t$  (m);  $A$  é a área de captação ( $m^2$ );  $C$  é o coeficiente de escoamento superficial (0,80);  $D_{(t)}$  é a demanda no tempo  $t$  ( $m^3$ );  $PV_{(t)}$  são as perdas por evaporação no tempo  $t$  ( $m^3$ );  $L_{(t)}$  são as outras perdas no tempo  $t$  ( $m^3$ ); e  $V$  é o volume do reservatório fixado ( $m^3$ ).

$$S_{(t)} = (P_{(t)} \cdot A \cdot C) + S_{(t-1)} - D_{(t)} - PV_{(t)} - L_{(t)} \quad (\text{Eq. 5})$$

Foram avaliados dez tamanhos de reservatórios para cada edifício, com intervalos que variaram de acordo com suas respectivas demandas não potável. Adotou-se aquele que apresentou melhor desempenho considerando tamanho, custo e capacidade de aproveitamento.

### 2.3.5. Integração das ações

Ao analisar as ações uso racional de forma separada é possível verificar qual possui maior impacto na redução do consumo. Entretanto, o uso destas ações de forma integrada não equivale à soma dos impactos de cada uma delas.

Sendo assim, realizou-se a integração das ações de redução de consumo a fim de se determinar qual o impacto na redução do consumo de água no aeroporto. Considerou-se que a primeira ação foi a instalação dos equipamentos hidrosanitários economizadores. Em seguida, quantificou-se a redução da

geração de água cinza e o novo potencial de reuso, baseado no novo consumo. Por fim, obteve-se o aproveitamento de água pluvial para o restante do consumo não potável. Desta forma, determinou-se qual a economia total que estas ações integradas têm no aeroporto.

#### **2.4. Estimativa futura de consumo e potencial de redução futura**

Para estimar o consumo de água do AITN nos próximos anos, foram levantados os dados mensais de 2004 a 2013 das principais variáveis aeroportuárias: número de aeronaves, número de passageiros, mala postal e carga transportada. Através do software *Origin 8*, foi realizada a análise de regressão linear multivariada dessas variáveis para determinação da equação que prevê o consumo no AITN.

Através dessa regressão, estimou-se o número de passageiros e o consumo de água para os próximos dez anos, até 2023, quando espera-se que o aeroporto movimentará 20 milhões de passageiros. Nesta estimativa, considerou-se que o crescimento do consumo seguiu as proporções dos usos finais atuais, antes das intervenções. Para estes anos, quantificou-se a economia alcançada pela integração das três principais ações de uso racional.

#### **2.5. Estudo da viabilidade econômica**

O estudo de viabilidade econômica levou em consideração o investimento inicial necessário para implantação de cada uma das ações, o custo de operação e a economia financeira gerada com a redução do consumo de água potável, tendo como base o consumo de 2013. Esta avaliação foi realizada individualmente para cada ação e também considerando a sua integração. Os valores das tarifas de água e energia adotados foram de R\$ 5,60/m<sup>3</sup> e de R\$ 0,34/kWh, valores pagos às companhias locais.

Optou-se pelo uso do *Payback* Descontado (PD) para determinação do tempo de retorno do investimento, pois considera fatores como custo de oportunidade,

juros e inflação durante o período de análise. Essa metodologia foi descrita por Filho e Kopittke (2010) e leva em consideração o valor líquido presente (VPL), que atualiza os pagamentos futuros para o valor atual, e a taxa mínima de atratividade (TMA), que é corresponde à taxa de juros que o mercado paga ao se investir com o menor risco possível. Caso o VPL seja negativo, o retorno do projeto será menor que o investimento inicial, sugerindo que seja reprovado. Caso seja positivo, o valor obtido no projeto pagará o investimento inicial, o que o torna viável.

Também determinou-se a taxa interna de retorno (TIR), que aplicada ao fluxo de caixa, faz com que os valores das despesas, trazidos ao valor presente, seja igual aos valores dos retornos dos investimentos, também trazidos ao valor presente. Considera-se que o investimento é viável financeiramente quando a TIR é maior que a TMA, ou seja, o retorno alcançado com o investimento é maior do que se o mesmo valor fosse aplicado na caderneta de poupança.

Este método de análise é amplamente utilizado para comparar sistemas alternativos de água (Domènech and Saurí, 2011; Moreira Neto et al., 2012a; Farreny et al., 2011; Gurung e Sharma, 2014), pois considera os custos e desempenho ao longo de períodos prolongados. O valor da TMA adotada foi de 7,14% a.a., média do rendimento da caderneta de poupança brasileira entre 2008 e 2012 (ABECIP, 2013). Utilizou-se o IGP-M para reajustar o valor dos custos operacionais e das tarifas de água e energia, que ficou em média 6,46% a.a. entre 2008 e 2012 (IBRE/FGV, 2013).

A análise econômica realizada em alguns estudos leva em consideração outros fatores, como os benefícios sociais e ambientais da tecnologia (Domènech and Saurí, 2011; Moreira Neto et al., 2012a). Entretanto, por serem subjetivos e de difícil mensuração, não foram utilizados.

### 2.5.1. Equipamentos economizadores

Os custos unitários dos equipamentos economizadores utilizados nesta análise, assim como seus respectivos custos de instalação, são apresentados na Tabela II-1.

**Tabela II-1. Custo unitário dos equipamentos economizadores**

| Equipamento                               | Valor (R\$) | Custo da Instalação (R\$) | Total (R\$) |
|-------------------------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| Válvula dual flush para caixa acoplada    | 70,00       | 30,00                     | 100,00      |
| Válvula dual flush para parede            | 90,00       | 30,00                     | 120,00      |
| Bacia sanitária de caixa com válvula dual | 350,00      | 180,00                    | 530,00      |
| Torneira automática com sensor            | 380,00      | 30,00                     | 410,00      |
| Arejador de torneira                      | 15,00       | 5,00                      | 20,00       |
| Restritor de chuveiro                     | 5,00        | 30,00                     | 35,00       |
| Válvula de mictório automática            | 140,00      | 180,00                    | 320,00      |

Considerou-se a instalação de válvulas dual flush de parede e de caixa acoplada em todas as bacias sanitárias, substituição das bacias sanitárias antigas, com consumo superior a 6 Lpf, por novas bacias com válvulas dual flush, troca das torneiras manuais por torneiras com sensor, alteração do arejador de todas as torneiras com sensor já instaladas, inserção de restritores de vazão em todos os chuveiros e inclusão de válvulas automáticas nos mictórios.

Fizeram parte dos custos de operação/manutenção a depreciação de 5% a.a. sobre os valores investidos, para substituição de peças defeituosas, e o custo de um funcionário para manter os equipamentos regulados. Os gastos mensais com esta contratação foi de R\$ 1.575, referente a salário e 75% de encargos, rateados proporcionalmente entre os edifícios.

### 2.5.2. Águas cinza

Para verificar a viabilidade do reuso de água cinza, foi considerada a implantação de unidades individuais de tratamento em cada edifício. Isto porque a criação de uma única unidade implicaria na construção de elevatória

e outras duas linhas, uma para captação da água cinza e outra para distribuição do efluente tratado, resultando em custos elevados.

Para estimar o custo da unidade, baseou-se no experimento de Couto (2012) com a adição da etapa de cloração. Cada unidade foi composta por:

- Reservatório de equalização com capacidade de armazenar 25% do volume médio diário gerado de águas cinza;
- Filtro anaeróbio de fluxo ascendente e leito fixo dimensionado a partir da norma NBR 13.969 (ABNT, 1997), com tempo de detenção hidráulica (TDH) de um dia;
- Sistema de desinfecção por radiação UV com potência dimensionada de acordo com o pico de vazão do tratamento de águas cinza;
- Clorador, para assegurar a desinfecção e manter o nível de cloro livre na tubulação;
- Reservatório de armazenamento com capacidade de acumular o volume médio de dois dias.
- Dois sistemas de bombeamento, um para enviar o efluente bruto do reservatório de equalização para o filtro anaeróbio e outro para enviar o efluente tratado ao sistema de distribuição.

Não foram considerados os custos para adaptação interna dos edifícios devido às especificidades. O custo de operação/manutenção foi calculado baseado no consumo de energia elétrica do sistema de bombeamento e do sistema de desinfecção por radiação UV, o gasto com cloro e os custos envolvidos com mão de obra. O desgaste da pastilha de cloro adotado foi de 27,3 g/m<sup>3</sup> de água tratada, encontrado por Moreira Neto (2011). Já a mão de obra envolvida foi de um técnico ambiental e um auxiliar, totalizando R\$ 5.950,00 por mês, rateados proporcionalmente entre os edifícios.

### **2.5.3. Água pluvial**

Para investigar a viabilidade do aproveitamento de água pluvial, também foi considerada a implantação de unidades individuais de tratamento em cada



edifício. Para estimar o custo da unidade, baseou-se no desempenho e características do experimento descrito no último estudo, item III-2.3. Cada unidade foi composta por:

- Reservatório de armazenamento de água pluvial bruta com capacidade de acumulação determinada no item 3.2.4 deste estudo;
- Sistema de tratamento composto por filtros de polipropileno de 5  $\mu\text{m}$ , filtros de carvão ativado, sistema de desinfecção por radiação UV e clorador, dimensionados de acordo com as vazões das bombas;
- Reservatório de água tratada suspenso para distribuição da água tratada por gravidade, com capacidade de armazenamento médio de um dia do volume demandado do edifício.
- Sistemas de bombeamento, para enviar a água bruta para o reservatório suspenso, passando pelo sistema de tratamento.

O custo de operação/manutenção foi semelhante ao calculado no reuso de água cinza, baseado no consumo de energia elétrica, gasto com cloro e custos de mão de obra. Entretanto, adicionou-se o custo referente à substituição dos elementos filtrantes de polipropileno e carvão ativado. Também não foram considerados os custos para adaptação interna dos edifícios devido às especificidades.

#### **2.5.4. Ações integradas**

Realizou-se o novo dimensionamento dos sistemas de reuso de água cinza e aproveitamento de água pluvial, baseado nas novas demandas de água após a instalação dos equipamentos economizadores. A partir dele, os custos dos investimentos, custos de operação e economias geradas foram recalculados. O custo com mão de obra também foi revisado, considerando que seriam necessários um técnico ambiental e dois auxiliares para manutenção de todos os sistemas, com custo mensal de R\$ R\$ 7.525,00, referente a salários e encargos.

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1 Quantificação dos usos finais

A Tabela II-2 apresenta o consumo estimado, o erro amostral e o desvio do consumo estimado e hidrometrado para os edifícios analisados.

**Tabela II-2. Consumo estimado e hidrometrado**

| Edifício | Consumo Estimado (m³) | Consumo Hidrometrado (m³) | Erro amostral (%) | Desvio estimado / hidrometrado (%) |
|----------|-----------------------|---------------------------|-------------------|------------------------------------|
| RF       | 135,3                 | 114,2                     | 14,6              | -18,5                              |
| MAN      | 167,1                 | 141,8                     | 12,1              | -17,9                              |
| SCI      | 563,2                 | 578,6                     | 12,7              | 2,7                                |
| DTCEA    | 559,5                 | 654,7                     | 12,2              | 14,5                               |
| DESP     | 90,3                  | 89,0                      | 13,7              | -1,4                               |
| TECA     | 188,8                 | 193,1                     | 14,8              | 2,2                                |
| ENG      | 190,8                 | 165,3                     | 14,6              | -15,4                              |
| TPS      | -                     | 7847,1                    | -                 | -                                  |

Os erros amostrais em todos os edifícios ficaram abaixo de 15%, sendo considerado aceitável em estudos de uso final. O desvio entre o consumo estimado e hidrometrado variou em cada edifício, ora superestimando, ora subestimando. Este tipo de diferença é comum, pois as respostas dos questionários e entrevistas produzem respostas imprecisas sobre frequência e tempo de uso, todavia estas estimativas possuem correlação linear com o consumo real médio mensal (Ghishi e Ferreira, 2007; Proença e Ghishi, 2010).

Desta forma, os consumos estimados nos edifícios, que foram ajustados proporcionalmente entre as classes através de média ponderada para corresponder ao consumo hidrometrado, são apresentados por tipo de uso na Tabela II-3.

**Tabela II-3. Consumo ajustado de água por uso em cada edifício (m³)**

| Edifício   | Consumo ajustado por tipo de uso (m³) |           |         |                     |                        |             |               | Total (m³) |
|------------|---------------------------------------|-----------|---------|---------------------|------------------------|-------------|---------------|------------|
|            | Sanitários                            | Irrigação | Limpeza | Lavagem de Veículos | Sistema de Condensação | Restaurante | Testes do SCI |            |
| RF         | 60,8                                  | 43,8      | 7,4     | 2,3                 | -                      | -           | -             | 114,2      |
| MAN        | 49,9                                  | 55,0      | 4,4     | 32,6                | -                      | -           | -             | 141,8      |
| SCI        | 195,5                                 | 49,2      | 14,0    | 15,0                | -                      | -           | 304,8         | 578,6      |
| DTCEA      | 420,4                                 | 48,3      | 52,0    | 22,6                | 78,7                   | 32,8        | -             | 654,7      |
| DESP       | 28,4                                  | 22,7      | 3,9     | -                   | -                      | 34,0        | -             | 89,0       |
| TECA       | 156,9                                 | 0,0       | 36,2    | -                   | -                      | -           | -             | 193,1      |
| ENG        | 37,1                                  | 118,9     | 6,0     | 3,3                 | -                      | -           | -             | 165,3      |
| TPS        | 5228,9                                | 371,5     | 275,9   | -                   | 1022,0                 | 948,8       | -             | 7847,1     |
| Total (m³) | 6177,8                                | 709,4     | 399,9   | 75,8                | 1100,7                 | 1015,6      | 304,8         | 9783,9     |
| Total (%)  | 63,1                                  | 7,3       | 4,1     | 0,8                 | 11,2                   | 10,4        | 3,1           | 100,0      |

O uso final em cada edifício variou de acordo com as suas características. O maior consumo foi dos sanitários, com 63,1%, seguido pelo sistema de condensação, com 11,2%, e pelos restaurantes, com 10,4%. Valores próximos foram encontrados por Kammers e Ghisi (2006) ao analisar os usos finais em edifícios públicos em Florianópolis, sendo que os maiores consumos também foram encontrados nos sanitários, entre 49,8% e 84,3%, enquanto o sistema de condensação foi responsável por 18,7% a 26,6%. Além disso, os principais usos destes edifícios se assemelharam aos edifícios do aeroporto. Isto evidencia um pouco das semelhanças com os edifícios públicos.

A Tabela II-4 apresenta o consumo estimado para cada equipamento hidrosanitário por edifício.

**Tabela II-4. Consumo ajustado de água por equipamento e edifício (m³)**

| Edifício | Consumo ajustado por equipamento (m³) |      |          |      |          |      |          |      | Total (m³) |
|----------|---------------------------------------|------|----------|------|----------|------|----------|------|------------|
|          | Bacia sanitária                       |      | Torneira |      | Chuveiro |      | Mictório |      |            |
|          | m³                                    | %    | m³       | %    | m³       | %    | m³       | %    |            |
| RF       | 33,7                                  | 55,5 | 12,0     | 19,8 | 12,4     | 20,5 | 2,6      | 4,3  | 60,8       |
| MAN      | 16,3                                  | 32,7 | 15,9     | 31,9 | 13,3     | 26,7 | 4,3      | 8,6  | 49,9       |
| SCI      | 51,7                                  | 26,4 | 32,3     | 16,5 | 84,2     | 43,1 | 27,3     | 14,0 | 195,5      |
| DTCEA    | 98,4                                  | 23,4 | 85,6     | 20,4 | 201,1    | 47,8 | 35,4     | 8,4  | 420,4      |
| DESP     | 18,3                                  | 64,4 | 6,1      | 21,6 | 0,0      | 0,0  | 4,0      | 14,0 | 28,4       |
| TECA     | 86,0                                  | 54,8 | 57,6     | 36,7 | 0,0      | 0,0  | 13,3     | 8,4  | 156,9      |
| ENG      | 24,2                                  | 65,3 | 7,5      | 20,3 | 5,3      | 14,4 | 0,0      | 0,0  | 37,1       |
| TPS      | 3003,7                                | 57,4 | 1557,1   | 29,8 | 130,4    | 2,5  | 537,7    | 10,3 | 5228,9     |
| Total    | 3332,2                                | 53,9 | 1774,2   | 28,7 | 446,8    | 7,2  | 624,5    | 10,1 | 6177,8     |

Considerando o consumo total dos equipamentos hidrosanitários em todos os edifícios, as bacias sanitárias e torneiras foram as que possuíram o maior valor, representando 53,9% e 28,7% respectivamente. Em geral, este padrão de consumo ocorreu em todos os edifícios estudados, exceto no MAN, SCI e DTCEA, onde ocorreu grande consumo nos chuveiros, entre 26,7% e 47,8%. O elevado número de banhos é explicado pelas características das atividades desempenhadas pelos funcionários destes edifícios, que exigem maior esforço físico ou turnos de trabalho mais longos, de 12 a 24 horas.

O consumo das torneiras, que variou entre 16,5% a 31,9%, foi elevado porque os usuários utilizam as torneiras para outros fins sem ser para lavar as mãos, como escovar os dentes, lavar o rosto e lavar alimentos.

### **3.2. Potencial de redução do consumo**

#### **3.2.1. Perdas visíveis nos equipamentos hidrosanitários**

Em todos os edifícios, com exceção do DESP, foram identificados equipamentos com vazamentos visíveis. As situações mais críticas foram encontradas nos banheiros do DTCEA, de uma forma geral, e nos banheiros de funcionários do TPS, no subsolo. No total, foram identificados 47 equipamentos

com vazamento. As estimativas das perdas visíveis, considerando apenas os vazamentos contínuos, são apresentadas na Tabela II-5.

**Tabela II-5. Volume mensal de água em perdas visíveis em vazamentos contínuos (m³)**

| Equipamento             | RF  | MAN | SCI | DTCEA | DESP | TECA | ENG | TPS  | Total |
|-------------------------|-----|-----|-----|-------|------|------|-----|------|-------|
| Torneira                | -   | 0,1 | 0,1 | 11,45 | -    | 0,3  | 3,9 | 15,4 | 31,18 |
| Mictório                | -   | -   | -   | 4,32  | -    | -    | -   | -    | 4,32  |
| Vaso Sanitário          | 0,1 | -   | -   | 34,56 | -    | -    | -   | 60,5 | 95,14 |
| Chuveiro                | -   | -   | -   | 2,16  | -    | -    | -   | 4,4  | 6,61  |
| Total de perdas (m³)    | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 52,5  | 0,0  | 0,3  | 3,9 | 80,3 | 137,2 |
| Consumo no edifício (%) | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 8,0   | 0,0  | 0,1  | 2,4 | 1,0  | 1,4   |

Não foram identificadas perdas visíveis no DESP, e as perdas no RF, MAN, SCI e TECA foram praticamente desprezíveis. No DTCEA, as perdas corresponderam a 8,0% do consumo do edifício, chegando a 52,5 m³. Já no TPS, que possui o consumo mensal elevado, apesar das perdas representarem apenas 1,0%, elas foram de 80,3 m³. Nestes dois locais, o que mais contribuiu para as perdas foram as descargas que estavam disparadas, 5 e 8 respectivamente, e as torneiras que não fechavam completamente, 4 e 19 respectivamente.

Apesar de todas as perdas visíveis representarem apenas 1,4 % do consumo total dos edifícios, este desperdício é significativo, totalizando 137,2 m³ mensais. Elas equivalem ao consumo recomendado pela WHO (2003) de 46 pessoas.

### 3.2.2. Equipamentos economizadores

A estimativa da redução mensal no consumo alcançada com a substituição dos equipamentos convencionais por equipamentos economizadores, e a correta regulação dos equipamentos existentes é apresentada na Tabela II-6.

**Tabela II-6. Consumo mensal de água com o uso de equipamentos economizadores (m³)**

| Edifício     | Consumo por equipamento (m³) |          |          |          | Economia (m³) | Economia (%) |
|--------------|------------------------------|----------|----------|----------|---------------|--------------|
|              | Bacia sanitária              | Torneira | Chuveiro | Mictório |               |              |
| RF           | 12,0                         | 3,6      | 8,5      | 1,3      | 35,3          | 30,9         |
| MAN          | 9,8                          | 4,9      | 8,9      | 1,2      | 25,2          | 17,7         |
| SCI          | 24,8                         | 8,8      | 53,4     | 7,8      | 100,7         | 17,4         |
| DTCEA        | 47,7                         | 20,1     | 127,5    | 6,0      | 219,1         | 33,5         |
| DESP         | 8,2                          | 2,4      | 0,0      | 0,8      | 17,0          | 19,0         |
| TECA         | 36,1                         | 14,5     | 0,0      | 64,9     | 41,3          | 21,4         |
| ENG          | 10,6                         | 2,7      | 3,6      | 0,0      | 20,2          | 12,2         |
| TPS          | 1453,4                       | 667,3    | 67,8     | 153,6    | 2886,7        | 36,8         |
| Total (m³)   | 1602,5                       | 724,4    | 269,8    | 235,6    | 3345,5        | -            |
| Economia (%) | 51,9                         | 59,9     | 39,6     | 62,3     | 34,2          | -            |

Os equipamentos hidrosanitários economizadores conseguiram reduzir em 54,2% o consumo, que corresponde a 34,2% do consumo dos edifícios. A redução por edifício variou entre 12,2% a 36,8%. Estas reduções foram expressivas principalmente devido às más condições de manutenção dos equipamentos instalados.

O inventário identificou 276 vasos sanitários, sendo 62,7% modelos 6 Lpf, 34,1% convencionais, e 3,3% com caixa acoplada de 10L. Apesar das válvulas dual das bacias sanitárias diminuírem significativamente o consumo, a redução de 51,9% nesses equipamentos foi potencializada pelo mau desempenho das válvulas atuais. Grande parte delas, 74,5%, encontrava-se desregulada, com ciclos de funcionamento acima de 30 segundos.

Foram identificadas 387 torneiras, sendo 48,6% com sensores, 47,3% mecânicas e 4,1% automáticas. A redução de 59,9% nesse equipamento foi possível porque a tecnologia economizadora de água das torneiras com micro jatos permite o seu funcionamento com apenas 30 mL/s, sem que haja perda na eficiência e desempenho. Os modelos convencionais possuíam vazão que variaram, na média dos edifícios, entre 70mL/s e 128 mL/s. Considerou-se a economia gerada apenas com a redução da vazão das torneiras, entretanto a

substituição das torneiras mecânicas e automáticas por sensores pode aumentar ainda mais esta economia, porém é difícil mensurá-la.

A redução de 39,6% do consumo dos chuveiros foi possível também pela redução da vazão, que através do restritor fica limitada a 130 mL/s. Os chuveiros possuíam vazão que variaram, na média dos edifícios, entre 190 mL/s e 250 mL/s.

O inventário identificou 111 mictórios, sendo 54,1% modelos com válvulas automáticas, 36,9% com sensor e 9% mecânicas. A grande economia que os equipamentos economizadores proporcionaram, de 62,3%, foi pelo mau desempenho das válvulas instaladas. Parte delas, 40,5%, encontrava-se desregulada, com ciclos de funcionamento acima de 30 segundos.

Portanto, a redução alcançada pelos equipamentos economizadores de 3.345,5 m<sup>3</sup> equivale ao consumo recomendado pela WHO (2003) de 1115 pessoas.

### 3.2.3. Água cinza

A Tabela II-7 apresenta o volume mensal de água potável e não potável consumida nos edifícios, assim como seu respectivo volume de água cinza gerada e a economia proporcionada com o reuso.

**Tabela II-7. Consumo de água potável e não potável e reuso de água cinza**

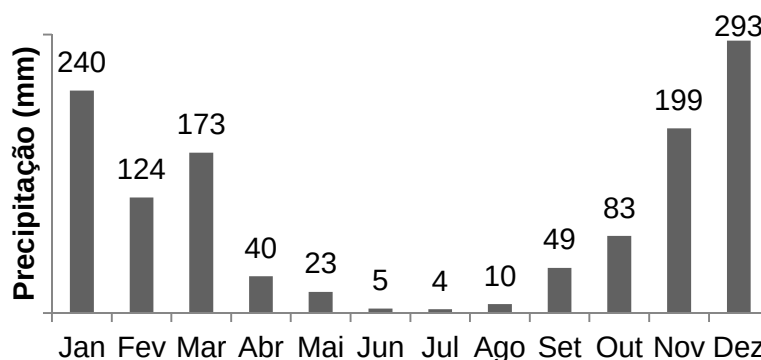
| Edifício | Consumo de Água Potável |      | Consumo de Água Não Potável |      | Reuso de Água Cinza (m <sup>3</sup> ) | Economia com o reuso (%) |
|----------|-------------------------|------|-----------------------------|------|---------------------------------------|--------------------------|
|          | m <sup>3</sup>          | %    | m <sup>3</sup>              | %    |                                       |                          |
| RF       | 24,5                    | 21,4 | 89,7                        | 78,6 | 27,1                                  | 23,7                     |
| MAN      | 29,3                    | 20,6 | 112,5                       | 79,4 | 33,6                                  | 23,7                     |
| SCI      | 116,5                   | 20,1 | 462,1                       | 79,9 | 143,9                                 | 24,9                     |
| DTCEA    | 319,4                   | 48,8 | 335,3                       | 51,2 | 354,8                                 | 54,2                     |
| DESP     | 40,1                    | 45,1 | 48,9                        | 54,9 | 44,1                                  | 49,5                     |
| TECA     | 57,6                    | 29,8 | 135,5                       | 70,2 | 70,8                                  | 36,7                     |
| ENG      | 12,9                    | 7,8  | 152,4                       | 92,2 | 12,9                                  | 7,8                      |
| TPS      | 2636,3                  | 33,6 | 5210,8                      | 66,4 | 3174,0                                | 40,4                     |
| Total    | 3236,6                  | 33,1 | 6547,3                      | 66,9 | 3861,1                                | 39,5                     |

Nos edifícios analisados, 33,1% do consumo correspondeu a usos potáveis, em restaurantes, torneiras e chuveiros, e 66,9% a usos não potáveis, como irrigação, limpeza, sistema de refrigeração, testes em lavagem de veículos e descargas de vasos e mictórios.

Apenas no DTCEA a geração de água cinza superou o consumo de água não potável, devido ao consumo das torneiras e do restaurante. No RF, MAN, ENG, o volume de água cinza foi inferior ao consumo na irrigação. Desta forma, o tratamento da água cinza nestes locais pode ser mais simples. Já nos outros locais, o reuso de água cinza tratada atendeu parcialmente os outros usos não potáveis. Considerando todos os edifícios, o reuso disponibilizou 3861,1 m<sup>3</sup> mensais, reduzindo 39,5% do consumo de água total. A redução alcançada equivale ao consumo de 1287 pessoas, recomendado pela WHO (2003).

#### 3.2.4. Água pluvial

Os dados da estação meteorológica entre os anos 1991 e 2012 indicam a precipitação média anual de 1243 mm para a região do AITN, valor considerado baixo se comparado com outras regiões próximas. A distribuição média mensal de precipitação ao longo do ano é apresentada na Figura II-2.



**Figura II-2. Distribuição mensal da precipitação no AITN**



O volume gasto com atividades não potáveis por setor, assim como o tamanho dos telhados e o volume médio mensal de aproveitamento de água pluvial são apresentados na Tabela II-8.

**Tabela II-8. Aproveitamento médio mensal de água pluvial**

| Edifício | Área do telhado (m <sup>2</sup> ) | Consumo de água não potável (m <sup>3</sup> ) | Tamanho do Reservatório (m <sup>3</sup> ) | Água pluvial aproveitada (m <sup>3</sup> ) | Economia de água potável (%) | Atendimento da demanda não potável (%) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|
| RF       | 1985                              | 89,7                                          | 30                                        | 62,1                                       | 54,4                         | 69,2                                   |
| MAN      | 2084                              | 112,5                                         | 50                                        | 76,8                                       | 54,2                         | 68,2                                   |
| SCI      | 2208                              | 462,1                                         | 80                                        | 180,1                                      | 31,1                         | 39,0                                   |
| DTCEA    | 2428                              | 335,3                                         | 70                                        | 172,6                                      | 26,4                         | 51,5                                   |
| DESP     | 790                               | 48,9                                          | 30                                        | 32,9                                       | 36,9                         | 67,3                                   |
| TECA     | 8742                              | 135,5                                         | 50                                        | 115,8                                      | 60,0                         | 85,5                                   |
| ENG      | 858                               | 152,4                                         | 60                                        | 69,7                                       | 42,2                         | 45,7                                   |
| TPS      | 45423                             | 5210,8                                        | 500                                       | 2768,5                                     | 35,3                         | 53,1                                   |
| Total    | 64518,0                           | 6547,3                                        | -                                         | 3478,5                                     | 35,6                         | 53,1                                   |

O aproveitamento de água pluvial permitiu a economia de água potável nos edifícios entre 26,4% e 60,0%. Entretanto, considerando apenas o consumo de água não potável, a água pluvial atendeu de 39,9% a 85,5% das demandas por edifício, sendo de 53,1% considerando todos.

O DTCEA, SCI e TPS, apesar de apresentarem os menores percentuais de economia, possuíram os maiores volumes de água pluvial aproveitada. Isto ocorreu porque a demanda de água não potável foi muito elevada. Todavia, o aumento do reservatório nos edifícios resulta num pequeno ganho de volume aproveitado, com baixa relação custo-benefício, pois estão limitados pelo pequeno tamanho da área de captação dos telhados, comparado com o alto consumo. Desta forma, dobrar a capacidade dos reservatórios resultaria no aumento de apenas 5% dos aproveitamentos. Contudo, se também fosse possível dobrar a área de captação, os ganhos poderiam chegar a 46%. Este mesmo efeito foi notado em estudos semelhantes de aproveitamento de água pluvial (Ghisi e Schondermark, 2013).

No RF, MAN, DESP e TECA o aproveitamento de água pluvial permitiu atender grande parte dos consumos não potáveis, entre 67,3% e 85,8%, devido às extensas áreas de captação comparados com a demanda não potável.

Portanto, considerando todos os edifícios, a água pluvial disponibilizou 3478,5 m<sup>3</sup> mensais, 35,6% do consumo total dos edifícios, correspondendo à necessidade de consumo de 1160 pessoas, segundo a WHO (2003).

### 3.2.5. Integração das ações

A integração das ações permitiu identificar o impacto que cada uma teve ao adotá-las em conjunto, conforme apresentado na Tabela II-9. Não foram consideradas as perdas visíveis nos equipamentos, uma vez que a substituição dos equipamentos economizadores as eliminou.

**Tabela II-9. Análise integrada das ações**

| Edifício                | Equipamentos Economizadores (m <sup>3</sup> ) | Reuso de Água Cinza (m <sup>3</sup> ) | Aproveitamento de Água Pluvial (m <sup>3</sup> ) | Consumo economizado (m <sup>3</sup> ) | Consumo economizado (%) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| RF                      | 35,3                                          | 13,5                                  | 41,0                                             | 89,8                                  | 78,6                    |
| MAN                     | 25,2                                          | 14,9                                  | 61,7                                             | 101,8                                 | 71,8                    |
| SCI                     | 100,7                                         | 70,0                                  | 163,6                                            | 334,3                                 | 57,8                    |
| DTCEA                   | 219,1                                         | 186,3                                 | 52,8                                             | 458,3                                 | 70,0                    |
| DESP                    | 17,0                                          | 37,3                                  | 0,0                                              | 54,2                                  | 60,9                    |
| TECA                    | 41,3                                          | 79,5                                  | 53,9                                             | 174,6                                 | 90,4                    |
| ENG                     | 20,2                                          | 6,3                                   | 65,8                                             | 92,3                                  | 55,9                    |
| TPS                     | 2886,7                                        | 1837,6                                | 1032,5                                           | 5756,8                                | 73,4                    |
| Total (m <sup>3</sup> ) | 3345,5                                        | 2245,4                                | 1471,3                                           | 7062,1                                | -                       |
| Total (%)               | 34,2                                          | 22,9                                  | 15,0                                             | 72,2                                  | -                       |

As ações integradas permitiram a redução de 55,9% a 90,4% do consumo de água nos edifícios. Os equipamentos economizadores foram responsáveis pela maior redução, 34,2%. O reuso de água cinza tratada, primeira opção de fonte alternativa, reduziu o consumo em 22,9%. Já o aproveitamento de água pluvial economizou 15,0% da água potável.

O ENG obteve o menor desempenho, 55,9% porque a geração de água cinza é muito pequena, restringindo a disponibilidade de reuso. Nele, a maior economia foi resultante do aproveitamento de água pluvial, 65,8 m<sup>3</sup> mensais. O RF e MAN apresentaram estas mesmas características.

Já no TPS, TECA e DTCEA, a geração de água cinza por ser maior, reduziu a necessidade de aproveitamento de água pluvial. No DES não foi necessário o uso de água pluvial.

Considerando todos os edifícios, as ações integradas permitiram a redução de 72,2% do consumo de água potável, que corresponde a 7062,1 m<sup>3</sup> mensais. Segundo a WHO (2003), esta economia é suficiente para atender as necessidades de 2354 pessoas.

Os resultados encontrados possuem semelhanças com os estudos reunidos por Proença et al. (2011) que analisaram o potencial de economia com o uso de vasos sanitários dual flush e reuso de água cinza em edifícios públicos e comerciais. A economia alcançada com o uso de válvulas dual flush foi de 52,3% e 39,9%, respectivamente, enquanto com o reuso de água cinza foi de 16,4% e 18,3% respectivamente. Isto evidencia mais uma vez a semelhança de complexos aeroportuários com edifícios públicos e comerciais.

### **3.3. Estimativa futura de consumo e potencial de redução futura**

A análise de regressão linear multivariada, utilizando dados mensais de 2004 a 2013 das quatro variáveis representantes do movimento aeroportuário, demonstrou que o consumo no AITN pode ser previsto pela combinação linear de duas delas, passageiros e aeronaves. As outras duas, mala postal e carga transportada, apresentaram erros padrão superiores ao valor de suas variáveis, indicando que elas não conseguem explicar a variável consumo.

Em relação ao modelo dos parâmetros, os valores da Tabela II-10 mostram que todos os coeficientes estimados passaram no teste t estatístico com P-valor significativo ao nível de significância de 5%, indicando que apesar dos erros padrão admissíveis para suas estimativas, eles são significativos e

diferentes de zero. O erro residual padrão analisado com os respectivos graus de liberdade (GL=117) apresentaram baixa discrepância nas predições.

**Tabela II-10. Resultados da análise de regressão multivariada para duas variáveis do movimento aeroportuário (N = 120)**

| $R^2 = 0,864$ $R^2\text{-Ajustado} = 0,862$ |            |             |         |                         |
|---------------------------------------------|------------|-------------|---------|-------------------------|
| Coeficiente                                 | Valor      | Erro Padrão | t-valor | Pr>t                    |
| $\beta_0$                                   | 4485,30883 | 439,75128   | 10,20   | 0                       |
| $\beta_1$                                   | 0,00587    | 0,00271     | 2,17    | 0,03236                 |
| $\beta_2$                                   | 1,23241    | 0,25803     | 4,78    | $5,22511 \cdot 10^{-6}$ |

Portanto o consumo de água mensal pôde ser encontrado pela Equação 6.

$$\text{Consumo mensal (m}^3\text{)} = \beta_0 + \beta_1 * \text{Passageiros} + \beta_2 * \text{Aeronaves} \quad (\text{Eq. 6})$$

Os consumos futuros, juntamente com as economias alcançadas através das ações integradas são apresentados na Tabela II-11.

**Tabela II-11. Consumo futuro e redução alcançada com as ações integradas**

| Ano  | Consumo anual (m <sup>3</sup> ) | Pax (x10 <sup>6</sup> ) | Consumo anual dos edifícios estudados (m <sup>3</sup> ) | Redução anual alcançada        |                              |                                |                         |           | Equiv. Pop.* |
|------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------|--------------|
|      |                                 |                         |                                                         | Equip. Econ. (m <sup>3</sup> ) | Água Cinza (m <sup>3</sup> ) | Água Pluvial (m <sup>3</sup> ) | Total (m <sup>3</sup> ) | Total (%) |              |
| 2014 | 279.900                         | 11,4                    | 131.345                                                 | 44.912                         | 30.143                       | 19.153                         | 94.208                  | 71,73     | 2.581        |
| 2015 | 298.678                         | 12,4                    | 140.157                                                 | 47.925                         | 32.166                       | 20.077                         | 100.167                 | 71,47     | 2.744        |
| 2016 | 317.456                         | 13,4                    | 148.969                                                 | 50.938                         | 34.188                       | 20.977                         | 106.103                 | 71,22     | 2.907        |
| 2017 | 336.234                         | 14,4                    | 157.780                                                 | 53.951                         | 36.210                       | 21.850                         | 112.010                 | 70,99     | 3.069        |
| 2018 | 355.012                         | 15,3                    | 166.592                                                 | 56.964                         | 38.232                       | 22.711                         | 117.907                 | 70,78     | 3.230        |
| 2019 | 373.790                         | 16,3                    | 175.404                                                 | 59.977                         | 40.255                       | 23.538                         | 123.769                 | 70,56     | 3.391        |
| 2020 | 392.567                         | 17,3                    | 184.215                                                 | 62.990                         | 42.277                       | 24.354                         | 129.621                 | 70,36     | 3.551        |
| 2021 | 411.345                         | 18,3                    | 193.027                                                 | 66.003                         | 44.299                       | 25.141                         | 135.443                 | 70,17     | 3.711        |
| 2022 | 430.123                         | 19,3                    | 201.839                                                 | 69.016                         | 46.321                       | 25.916                         | 141.254                 | 69,98     | 3.870        |
| 2023 | 448.901                         | 20,3                    | 210.650                                                 | 72.029                         | 48.344                       | 26.659                         | 147.032                 | 69,80     | 4.028        |

\* Segundo a WHO (2003) - 100L/pessoa.

O aumento do número de passageiros e aeronaves trouxe como consequência o aumento da infraestrutura para atendê-los. Por isso, o aumento do consumo pode ser considerado proporcional entre os diversos usos.

Em 2014, as ações integradas diminuíram o consumo anual de água potável em 94,2 mil m<sup>3</sup>, correspondendo à necessidade de consumo de 2.581 pessoas. Já em 2023, quando o aeroporto superar os 20 milhões de passageiros, estas mesmas ações permitiram a redução de 147,0 mil m<sup>3</sup>, que corresponde à necessidade de consumo de 4028 pessoas.

No decorrer destes anos, a porcentagem de redução do consumo através das ações de uso racional apresentaram redução de 1,9%, passando de 71,7% para 69,8%. Apesar da geração e consequente reuso de água cinza serem maiores, o consumo de água não potável também aumentou, exigindo que o aproveitamento de água pluvial também fosse maior. Todavia, o potencial de aproveitamento, frente aos grandes consumos, ficou limitado pelo tamanho da área de captação de chuva. Desta forma, apesar do aproveitamento de água pluvial aumentar ao longo dos anos, 39,2%, seu crescimento não foi o suficiente para atender o aumento da demanda não potável, que foi de 60,4%, gerando uma pequena redução no potencial de economia.

As ações propostas conseguiram reduzir, em média, 70,6% do consumo nestes dez anos, que corresponde à média de 1207 mil m<sup>3</sup> anuais. Isto mostra que as ações são efetivas a médio prazo, mesmo com o aumento do consumo.

### **3.4. Estudo de viabilidade econômica**

#### **3.4.1. Equipamentos economizadores**

Os equipamentos hidrosanitários economizadores previstos para serem instalados são apresentados na Tabela II-12.

**Tabela II-12. Equipamentos hidrosanitários economizadores previstos (unid.)**

| Equipamento (unid.)                    | SCI | MAN | RF | DESP | TECA | ENG | DTCEA | TPS | Total |
|----------------------------------------|-----|-----|----|------|------|-----|-------|-----|-------|
| Arejador de torneira                   | -   | -   | -  | -    | -    | -   | -     | 188 | 183   |
| Torneira automática com sensor         | 16  | 21  | 22 | 7    | 41   | 9   | 28    | 55  | 199   |
| Válvula dual flush para caixa acoplada | -   | -   | -  | -    | -    | 7   | 2     | -   | 9     |
| Válvula dual flush para parede         | -   | 3   | 3  | 2    | 13   | -   | 3     | 149 | 173   |
| Bacia sanitária com válvula dual flush | 13  | 10  | 25 | 2    | 17   | -   | 15    | 12  | 94    |
| Restritor de chuveiro                  | 13  | 14  | 2  | 1    | 5    | 12  | 6     | 26  | 79    |
| Válvula de mictório automática         | -   | -   | 8  | -    | 1    | -   | 1     | -   | 10    |

A instalação das torneiras com sensores foi prevista em todos os edifícios, uma vez que as torneiras existentes eram mecânicas e várias apresentavam vazamentos e vazões elevadas, sendo necessárias 199. Nas 188 torneiras com sensor já instaladas no TPS, optou-se pela substituição dos arejadores para redução da vazão. Todas as 276 bacias sanitárias dos edifícios passariam por intervenções, seja para instalação das válvulas dual, em 182 locais, ou pela completa substituição das bacias sanitárias convencionais, em 94 locais. Os 79 chuveiros receberiam restritores de vazão para redução da vazão, enquanto 10 mictórios teriam as válvulas trocadas por automáticas e os outros 101 deveriam ter sua vazão reguladas.

O custo destas intervenções, assim como a análise financeira do desempenho alcançado é apresentado na Tabela II-13.

**Tabela II-13. Viabilidade econômica da instalação de equipamentos economizadores**

| Edifício     | Volume anual economizado (m³) | Investimento inicial (R\$) | Custo de operação no 1º ano (R\$) | Economia no 1º ano (R\$) | PD (anos)  | TIR (%)      | VPL (R\$)        |
|--------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|------------|--------------|------------------|
| RF           | 424                           | 25.260                     | 1.463                             | 2.373                    | 32,8       | -1,5         | -13.059          |
| MAN          | 302                           | 14.760                     | 880                               | 1.690                    | 20,8       | 3,2          | -3.909           |
| SCI          | 1.209                         | 13.905                     | 1.264                             | 6.768                    | 2,7        | 45,7         | 59.834           |
| DTCEA        | 2.630                         | 20.520                     | 2.264                             | 14.726                   | 1,8        | 67,1         | 146.431          |
| DESP         | 203                           | 4.205                      | 306                               | 1.140                    | 5,5        | 24,4         | 6.961            |
| TECA         | 495                           | 27.875                     | 1.627                             | 2.773                    | 28,4       | -0,1         | -12.516          |
| ENG          | 242                           | 4.810                      | 355                               | 1.358                    | 5,2        | 25,6         | 8.625            |
| TPS          | 34.640                        | 51.460                     | 18.881                            | 193.987                  | 0,3        | 346,7        | 2.294.407        |
| <b>TOTAL</b> | <b>40.146</b>                 | <b>162.795</b>             | <b>27.040</b>                     | <b>224.815</b>           | <b>0,9</b> | <b>127,9</b> | <b>2.486.775</b> |

Apenas nos edifícios RF, MAN e TECA, esta ação foi inviável financeiramente. Isto ocorreu porque o investimento inicial foi elevado, se comparado aos seus respectivos potenciais de economia, demorando a ser amortizado. Nos outros locais, o PD variou entre 0,3 e 5,5 anos, enquanto a TIR variou entre 24,4% e 346,7% a.a., valores muito acima da TMA. O TPS apresentou o maior destaque, devido seu potencial de economia, uma vez que o número de usuários por equipamento é muito maior.

Contudo, apesar da inviabilidade em alguns locais, a ação aplicada como um todo é viável e rentável. Com o investimento de R\$ 162.795, é possível gerar a economia anual de 40.146 m³, com PD de 0,9 anos, TIR de 127,9%, e VPL de R\$ 2,49 milhões.

### **3.4.2. Águas cinza**

O dimensionamento dos reservatórios das unidades, assim como a potência do sistema de bombeamento e desinfecção por radiação UV e seu tempo médio diário de funcionamento são apresentados na Tabela II-14.

**Tabela II-14. Dimensionamento da unidade de tratamento de águas cinza**

| Edifício | Reservatório de equalização (m³) | Reservatório de armazenamento | Filtro anaeróbio (m³) | Potência do sistema de desinfecção e bombeamento (W) | Tempo de funcionamento do sistema por dia (h) |
|----------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| RF       | 0,2                              | 2,0                           | 0,9                   | 776                                                  | 0,30                                          |
| MAN      | 0,3                              | 3,0                           | 1,1                   | 776                                                  | 0,37                                          |
| SCI      | 1,5                              | 10,0                          | 4,8                   | 776                                                  | 1,60                                          |
| DTCEA    | 3,0                              | 24,0                          | 11,8                  | 1551                                                 | 1,97                                          |
| DESP     | 0,5                              | 3,0                           | 1,5                   | 776                                                  | 0,49                                          |
| TECA     | 0,8                              | 5,0                           | 2,4                   | 776                                                  | 0,79                                          |
| ENG      | 0,1                              | 1,0                           | 0,4                   | 776                                                  | 0,14                                          |
| TPS      | 27,0                             | 210,0                         | 105,8                 | 6144                                                 | 6,61                                          |

O volume dos filtros anaeróbios ficou entre 0,4 e 105,8 m³, de acordo com o volume médio diário gerado de água cinza. Apesar de alguns sistemas possuírem a mesma potência, o tempo de funcionamento variou em função do volume a ser bombeado, já que a vazão é constante. A partir deste dimensionamento, realizou-se o estudo de viabilidade econômica, conforme apresentado na Tabela II-15.

**Tabela II-15. Viabilidade econômica do reuso de águas cinza**

| Edifício | Volume anual economizado (m³) | Investimento inicial (R\$) | Custo de operação no 1º ano (R\$) | Economia no 1º ano (R\$) | PD (anos) | TIR (%) | VPL (R\$) |
|----------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------|---------|-----------|
| RF       | 325                           | 9.115                      | 750                               | 1.818                    | 9,4       | 14,0    | 5.193     |
| MAN      | 403                           | 10.600                     | 931                               | 2.255                    | 8,8       | 15,1    | 7.146     |
| SCI      | 1.727                         | 21.676                     | 3.990                             | 9.669                    | 4,1       | 31,6    | 54.406    |
| DTCEA    | 4.257                         | 41.326                     | 9.838                             | 23.842                   | 3,2       | 39,8    | 146.283   |
| DESP     | 529                           | 11.757                     | 1.223                             | 2.964                    | 7,4       | 18,2    | 11.566    |
| TECA     | 850                           | 14.717                     | 1.965                             | 4.761                    | 5,7       | 23,4    | 22.748    |
| ENG      | 154                           | 8.205                      | 357                               | 865                      | 18,3      | 4,7     | -1.400    |
| TPS      | 38.088                        | 260.173                    | 89.636                            | 213.293                  | 2,3       | 53,8    | 1.396.451 |
| TOTAL    | 46.333                        | 377.569                    | 108.688                           | 259.467                  | 2,7       | 46,0    | 1.642.393 |

Apenas no ENG o reuso de água cinza é inviável financeiramente, com PD de 18,3 anos, TIR de 4,7%, inferior à TMA, e VPL negativo. Nos outros locais o PD



ficou entre 2,3 e 9,4 anos, com TIR de pelo menos 14% e chegando a 53,8% no TPS. Mais uma vez o TPS se destacou, devido à grande capacidade de geração de água cinza, assim como as possibilidades para seu reuso. O custo do reuso de água cinza ficou entre R\$ 2,31 e 2,35 por m<sup>3</sup>, 41% do valor da tarifa de água potável.

Apesar da inviabilidade no ENG, a implantação desta ação em todos os edifícios é viável e rentável, com PD de 2,7 anos, TIR de 46,0% e VPL de R\$ 1,6 milhões. Comparando com o uso dos equipamentos economizadores, esta ação é financeiramente menos interessante, pois necessita de um investimento 132% maior, possui maior PD, e TIR quase três vezes menor. Contudo, do ponto de vista ambiental, o reuso de água cinza reduz mais o consumo de água potável e diminui a geração de efluentes, sendo mais vantajoso.

### 3.4.3. Água pluvial

O dimensionamento dos reservatórios das unidades, assim como a potência do sistema de bombeamento e desinfecção por radiação UV e seu tempo diário de funcionamento são apresentados na Tabela II-16.

**Tabela II-16. Dimensionamento da unidade de aproveitamento de água pluvial**

| Edifício | Reservatório de água tratada (m <sup>3</sup> ) | Reservatório de armazenamento (m <sup>3</sup> ) | Potência do sistema de desinfecção e bombeamento (W) | Tempo de funcionamento do sistema por dia (h) |
|----------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| RF       | 2,0                                            | 30,0                                            | 408                                                  | 1,04                                          |
| MAN      | 2,0                                            | 50,0                                            | 408                                                  | 1,28                                          |
| SCI      | 5,0                                            | 80,0                                            | 816                                                  | 1,50                                          |
| DTCEA    | 4,0                                            | 70,0                                            | 816                                                  | 1,44                                          |
| DESP     | 1,0                                            | 30,0                                            | 408                                                  | 0,55                                          |
| TECA     | 3,0                                            | 50,0                                            | 408                                                  | 1,93                                          |
| ENG      | 2,0                                            | 60,0                                            | 408                                                  | 1,16                                          |
| TPS      | 50,0                                           | 500,0                                           | 12008                                                | 2,31                                          |

Os reservatórios de água tratada, de onde foi feita a distribuição por gravidade, possui volumes menores, entre 1,0 e 5,0 m<sup>3</sup>, com exceção do TPS, que por

consumir volumes maiores, tem 50 m<sup>3</sup>. Já o reservatório de armazenamento, variou entre 30 e 80 m<sup>3</sup>, enquanto o do TPS foi de 500 m<sup>3</sup>. Os reservatórios de armazenamento de água pluvial são maiores que o de água cinza, pois dependem da chuva que é sazonal, enquanto a geração de efluente é praticamente constante ao longo do ano. Os resultados do estudo de viabilidade econômica para esta ação é apresentado na Tabela II-17.

**Tabela II-17. Viabilidade econômica do aproveitamento de água pluvial**

| Edifício | Volume anual economizado (m <sup>3</sup> ) | Investimento inicial (R\$) | Custo de operação no 1º ano (R\$) | Economia no 1º ano (R\$) | PD (anos) | TIR (%) | VPL (R\$) |
|----------|--------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------|---------|-----------|
| RF       | 745                                        | 19.106                     | 2.387                             | 4.173                    | 11,9      | 10,4    | 4.819     |
| MAN      | 922                                        | 27.532                     | 2.952                             | 5.161                    | 13,9      | 8,1     | 2.057     |
| SCI      | 2.161                                      | 46.578                     | 6.923                             | 12.103                   | 9,9       | 13,1    | 22.810    |
| DTCEA    | 2.071                                      | 46.960                     | 6.635                             | 11.599                   | 10,5      | 12,3    | 19.538    |
| DESP     | 395                                        | 20.100                     | 1.265                             | 2.211                    | 24,5      | 1,4     | -7.425    |
| TECA     | 1.390                                      | 29.784                     | 4.452                             | 7.782                    | 9,9       | 13,2    | 14.831    |
| ENG      | 836                                        | 30.706                     | 2.679                             | 4.684                    | 17,3      | 5,4     | -3.852    |
| TPS      | 33.222                                     | 270.036                    | 107.513                           | 186.043                  | 3,7       | 34,7    | 782.019   |
| TOTAL    | 41.742                                     | 490.802                    | 138.070                           | 233.755                  | 5,6       | 24,0    | 791.078   |

O aproveitamento de água pluvial só não foi viável financeiramente no ENG e no DESP. Neles, o volume anual economizado foi pequeno, frente aos seus respectivos investimentos iniciais, ocasionando redução da amortização. Nos outros locais, o PD ficou entre 3,7 e 13,9 anos, a TIR entre 10,4 e 13,2%. O custo da água tratada ficou entre R\$ 3,28 e R\$ 3,31/m<sup>3</sup>, 59% do preço da tarifa de água potável. O custo deste tratamento foi maior do que o da água cinza porque possui o custo adicional referente à substituição dos elementos filtrantes e o volume médio tratado também foi inferior.

Apesar da inviabilidade no ENG e DESP, a implantação desta ação em todos os edifícios é viável, com PD de 5,6 anos, TIR de 24,0% e VPL de R\$ 791 mil. Entre as três ações, esta foi a que apresentou o menor desempenho financeiro, apesar de ainda ser rentável, 3,4 vezes mais que a caderneta de poupança. O valor do investimento inicial total foi maior e o volume economizado menor,

resultando no maior período para amortização, 4,7 anos a mais que os equipamentos economizadores e 2,9 anos a mais que o reuso de água cinza. Todavia seu desempenho ambiental foi satisfatório, resultando na redução de 35,6% do consumo destes edifícios.

#### 3.4.4. Ações integradas

O uso integrado destas três ações permitiu aumentar o volume total de água economizado e reduzir o tamanho das unidades de tratamento de águas cinza e pluvial. O novo dimensionamento é apresentado na Tabela II-18.

**Tabela II-18. Dimensionamento das unidades com as ações integradas**

| Edifício | Reuso de água cinza              |                                    |                       | Aproveitamento de Água Pluvial    |                                    |
|----------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
|          | Reservatório de equalização (m³) | Reservatório de armazenamento (m³) | Filtro anaeróbio (m³) | Reservatório de água tratada (m³) | Reservatório de armazenamento (m³) |
| RF       | 0,2                              | 1,0                                | 0,4                   | 1,0                               | 20,0                               |
| MAN      | 0,2                              | 1,0                                | 0,5                   | 1,5                               | 30,0                               |
| SCI      | 0,8                              | 5,0                                | 2,3                   | 4,0                               | 50,0                               |
| DTCEA    | 1,8                              | 13,0                               | 6,2                   | 1,5                               | 30,0                               |
| DESP     | 0,3                              | 3,0                                | 1,2                   | -                                 | -                                  |
| TECA     | 0,8                              | 6,0                                | 2,6                   | 1,5                               | 20,0                               |
| ENG      | 0,1                              | 0,5                                | 0,2                   | 1,5                               | 50,0                               |
| TPS      | 16,0                             | 130,0                              | 61,3                  | 30,0                              | 100,0                              |

Os novos reservatórios de armazenamento de água cinza reduziram em média 35% do volume, enquanto os de água pluvial reduziram mais, 53%. A redução do consumo com os equipamentos economizadores diminuíram a demanda não potável e, conseqüentemente, o volume de reuso de água cinza. Desta forma o volume de água pluvial também reduziu, sendo que no DESP não foi necessário seu aproveitamento. Os resultados do estudo de viabilidade econômica para as ações integradas são apresentado na Tabela II-19.

**Tabela II-19. Viabilidade econômica das ações integradas**

| Edifício | Volume anual economizado (m³) | Investimento inicial (R\$) | Custo de operação no 1º ano (R\$) | Economia no 1º ano (R\$) | PD (anos) | TIR (%) | VPL (R\$) |
|----------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------|---------|-----------|
| RF       | 1.077                         | 51.575                     | 2.901                             | 6.032                    | 18,7      | 4,4     | -9.621    |
| MAN      | 1.221                         | 50.898                     | 2.781                             | 6.839                    | 14,0      | 8,0     | 3.462     |
| SCI      | 4.012                         | 76.702                     | 7.812                             | 22.468                   | 5,7       | 23,5    | 119.648   |
| DTCEA    | 5.499                         | 93.930                     | 12.485                            | 30.796                   | 5,6       | 24,0    | 151.388   |
| DESP     | 651                           | 13.851                     | 2.149                             | 3.643                    | 10,2      | 12,6    | 6.174     |
| TECA     | 2.096                         | 71.700                     | 6.573                             | 11.735                   | 15,6      | 6,7     | -2.539    |
| ENG      | 1.108                         | 42.894                     | 1.909                             | 6.205                    | 11,1      | 11,4    | 14.667    |
| TPS      | 69.081                        | 331.873                    | 130.567                           | 386.856                  | 1,4       | 83,7    | 3.101.592 |
| TOTAL    | 84.745                        | 733.423                    | 167.175                           | 474.575                  | 2,6       | 48,1    | 3.384.772 |

A integração permitiu a redução dos investimentos individuais das unidades de água cinza e água pluvial em 19% e 21%, respectivamente, sendo que os investimentos somado das três ações foram 29% maiores. Este mesmo efeito foi observado por Ghisi e Ferreira (2007) ao avaliarem o reuso de água cinza e aproveitamento de água simultâneo em edifícios residenciais, permitindo a redução de 21,2% dos investimentos com *payback* de 3,4 e 8,0 anos. Ghisi et al. (2014) também realizaram a integração das mesmas três ações em uma escola, com redução de 18% em relação aos investimentos separados, obtendo PD de 1,4 anos e economia de 73,7% do consumo. Isso ocorre porque com a redução da demanda, pode-se diminuir o tamanho dos reservatórios das unidades, diminuindo os custos de implantação.

Apenas na RF e no TECA as ações foram inviáveis para um período de 15 anos, todavia se considerando um período maior, de 20 anos, elas seriam viáveis. Nos outros edifícios o PD ficou entre 1,4 e 14,0 anos, enquanto a TIR foi de 8,0 a 83,7%.

Considerando as ações integradas em todos os edifícios, ela foi viável, com PD de 2,6 anos, TIR de 48,1% e VPL de R\$ 3,38 milhões. Comparando-a com a ação isolada de aproveitamento de água pluvial, foi necessário um investimento 49% maior, contudo o valor anual economizado foi 103% maior, o

que permitiu a amortização 3,0 anos mais rápida e a TIR duas vezes maior. Comparando-a com o reuso de água cinza, o investimento foi 94% maior e o valor anual economizado 83% maior, com período de amortização praticamente e TIR praticamente iguais.

A integração só teve o desempenho financeiro superado pela ação isolada dos economizadores, com PD de 1,7 anos a menos e TIR 80% maior. Contudo o desempenho ambiental das ações integradas foi maior, reduzindo 72,2% do consumo total de água e 92,7% das demandas não potáveis, praticamente o dobro das outras ações isoladas.

Todavia, estes resultados financeiros podem estar subestimados, visto que o reajuste das tarifas de água tende a ser maior que a inflação, alavancados pela escassez. Além disso, as tecnologias verdes podem trazer outros benefícios financeiros referentes à imagem que passam à sociedade e aos acionistas. Ou seja, o desempenho financeiro pode ser ainda melhor.

#### **4. Conclusões e recomendações**

Os dados de consumo, juntamente com o levantamento de campo, permitiram identificar e quantificar os usos finais. Estas informações foram importantes para planejar e identificar as ações mais efetivas para a redução do consumo de água.

Os usos nos edifícios variaram de acordo com as suas características. O maior deles ocorreu nos sanitários, com 63,1%, seguido do sistema de condensação, com 11,2%, e dos restaurantes, com 10,4%. O consumo não potável correspondeu a 66,9% da demanda total de água, o que favoreceu as ações de reuso de água cinza e aproveitamento de água pluvial.

O elevado consumo nos sanitários, apesar de ser comum em edifícios públicos e comerciais, foi influenciado pelo mau desempenho dos equipamentos hidrosanitários. Vários apresentaram vazamentos contínuos e sinais indicando estarem desregulados.

Considerando as ações de uso racional isoladas, a ação que apresentou a melhor economia foi o reuso de água cinza, com 39,5%, seguida do aproveitamento de água pluvial e uso de equipamentos economizadores, com 35,6% e 34,2%, respectivamente. A eliminação das perdas visíveis permitiu a redução de 1,4%.

Já com as ações integradas, a economia no consumo total de água foi de 72,2%, correspondendo a 7062 m<sup>3</sup> mensais, sendo suficiente para atender à necessidade de consumo e higiene de 2354 pessoas. Os equipamentos economizadores reduziram em 34,2% o consumo, enquanto o reuso de água cinza em 22,9% e o aproveitamento de água pluvial em 15,0%. Esse impacto das ações integradas é significativo e existe carência de estudos que os abordam.

Considerando o aumento do consumo dos próximos dez anos, estimada em 60,4%, estas ações integradas permitem reduzir consumo anual em pelo menos 69,8%, mostrando que as ações propostas são efetivas, apresentando bom desempenho mesmo com o aumento do consumo. Em 2023, a economia

anual gerada de 147,0 mil m<sup>3</sup> corresponderá à necessidade de consumo de 4028 pessoas.

Considerando as ações por edifício, apenas em alguns casos não houve viabilidade financeira. Contudo, considerando cada ação conservacionista aplicada a todos, a viabilidade foi generalizada. A ação isolada com menor tempo de amortização foi o uso dos equipamentos economizadores, seguido pelo reuso de água cinza e aproveitamento de água pluvial, com PD de 0,9, 2,7 e 5,6 anos, respectivamente, TIR de 127,9, 46,0 e 24,0% e VPL de R\$ 2,49 milhões, R\$ 1,64 milhões e R\$ 791 mil.

A integração das ações conseguiu reduzir em 29% o valor do investimento, comparado com os custos individuais das ações, apresentando PD de 2,6 anos, TIR de 48,1% e VPL de R\$ 3,38 milhões. Comparando-a com as outras ações isoladas, o uso dos equipamentos economizadores foi o único com rentabilidade maior, apesar de economizar 53% menos água.

Sugere-se para trabalhos futuros analisar a viabilidade econômica da construção de unidades que agrupam mais edifícios, uma vez que seu custo é inferior, mas os gastos de captação, distribuição e bombeamento são maiores.

Portanto, os dados apresentados demonstram o potencial que as ações de conservação têm na redução de consumo de água potável em grandes consumidores como aeroportos, se apresentando como alternativa tecnicamente, financeiramente e ambientalmente viável frente ao cenário de escassez.

Como complexos aeroportuários, em geral, possuem estruturas semelhantes, o potencial de economia encontrado pode servir de referência, orientando ações que visem à redução do consumo em outros aeroportos.

## 5. Referências Bibliográficas

ABECIP - Associação Brasileira das Entidades de Crédito Imobiliário e Poupança. Índices Diários de Rendimento de Poupança - Série Histórica; 2013. Disponível em: [http://www.abecip.org.br/m22.asp?submenu=sim&cod\\_pagina=648&cod\\_pai=430](http://www.abecip.org.br/m22.asp?submenu=sim&cod_pagina=648&cod_pai=430) [acessado 15.09.13].

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969/1997 - Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT; 1997.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5626 - Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: ABNT; 1998.

ADP - Aéroports de Paris. Rapport de responsabilité sociétale d'entreprise, 2013. Disponível em: <http://www.aeroportsdeparis.fr/ADP/fr-FR/Groupe/Finance/Relationsinvestisseurs/Informationfinanciere/RapportsAnnuels2012.htm>. [acessado 31.01.14].

Anand C, Apul DS. Economic and environmental analysis of standard, high efficiency, rainwater flushed, and composting toilets. *Journal of Environmental Management* 2011; 92:419-428. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.005>

Antonopoulou G, Kirkou A, Stasinakis AS. Quantitative and qualitative greywater characterization in Greek households and investigation of their treatment using physicochemical methods. *Science of The Total Environment* 2013; 454–455:426-432. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.045>

Assayed A, Hatokay Z, Al-Zoubi R, Azzam S, Qbailat M, Al-Ulayyan A, Saleem MA, Bushnaq S, Maroni R. On-site rainwater harvesting to achieve household water security among rural and peri-urban communities in Jordan. *Resources, Conservation and Recycling* 2013; 73:72-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.010>

Barberán R, Egea P, Gracia-de-Rentería P, Salvador M. Evaluation of water saving measures in hotels: A Spanish case study. *International Journal of Hospitality Management* 2013; 34:181-191. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhm.2013.02.005>

Barbetta PA. Estatística aplicada às ciências sociais. Florianópolis: UFSC; 2003.

Barker SF, O'Toole J, Sinclair MI, Leder K, Malawaraarachchi M, Hamilton AJ. A probabilistic model of norovirus disease burden associated with greywater irrigation of home-produced lettuce in Melbourne, Australia. *Water Research* 2013; 47:1421-1432. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.12.012>



- Brady P. US tackles the effects of increasing water scarcity. *Membrane Technology* 2006; 2006: 7-8. [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-2118\(06\)70813-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-2118(06)70813-8)
- Carvalho IC, Calijuri ML, Assemany PP, Santiago AF, Silva MDFM, Moreira Neto RF, Souza MHB. Sustainable airport environments: A review of water conservation practices in airports. *Resources, Conservation and Recycling* 2013; 74:27-36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.016>
- Chang F, Wang K. A systematical water allocation scheme for drought mitigation. *Journal of Hydrology* 2013; 507:124-133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.027>
- Couto EA, Calijuri ML, Assemany PP, Santiago AF, Carvalho IC. Greywater production in airports: Qualitative and quantitative assessment. *Resources, Conservation and Recycling* 2013; 77:44-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.05.004>
- Couto EA. Avaliação do reuso de águas cinza em ambientes aeroportuários. 2012. 100p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.
- Domènech L, Saurí D. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. *Journal of Cleaner Production* 2011; 19:598-608. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.010>
- DRACO - Eletrônica Indústria e Comércio Eireli 2014. Disponível em: <http://www.economizaragua.com.br/> [acessado 03.01.14].
- Farreny R, Gabarrell X, Rieradevall J. Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods. *Resources, Conservation and Recycling* 2011; 55:686-694. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.01.008>
- Filho N, Kopittke BH. *Análise de Investimentos*. 11th ed. São Paulo: ATLAS; 2010.
- Ghisi E, Ferreira DF. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. *Building and Environment* 2007; 42:2512-2522. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.019>
- Ghisi E, Rupp RF, Triska Y. Comparing indicators to rank strategies to save potable water in buildings. *Resources, Conservation and Recycling* 2014; (87):137-144. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.04.001>
- Ghisi E, Schondermark PN. Investment Feasibility Analysis of Rainwater Use in Residences. *Water Resources Management* 2013; 27:2555–2576. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-013-0303-6>

Gurung TR, Sharma A. Communal rainwater tank systems design and economies of scale. Journal of Cleaner Production 2014; 67:26-36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.020>

IATA - International Air Transport Association. Airlines Expect 31% Rise in Passenger Demand by 2017. Press Release Nº 67, 2013b. Disponível em: <http://www.iata.org/pressroom/pr/pages/2013-12-10-01.aspx>. [acessado 05.01.14].

IATA - International Air Transport Association. Annual Review, 2013a. Disponível em: <http://www.iata.org/publications/Pages/annual-review.aspx>. [acessado 05.01.14].

IBRE/FGV. Índice Geral de Preços – Mercado, 2008-2012. Disponível em: <http://portalibre.fgv.br> [acessado em 15.09.13].

Inteaz MA, Ahsan A, Shanableh A. Reliability analysis of rainwater tanks using daily water balance model: Variations within a large city. Resources, Conservation and Recycling 2013; 77:37-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.05.006>

INFRAERO. Anuário Estatístico Operacional 2013. 2014. Disponível em: <http://www.infraero.gov.br/index.php/estatistica-dos-aeroportos.html>. [acessado 25.01.14].

Kammers PC, Ghisi E. Usos finais de água em edifícios públicos localizados em Florianópolis-SC. Ambiente Construído 2006; 6(1):75–90. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3681/2047> [acessado 25.01.14].

Kharraza JE, El-Sadekb A, Ghaffourc N, Minoa E. Water scarcity and drought in WANA countries. Procedia Engineering 2012; 33:14-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1172>

Lee M, Tansel B. Water conservation quantities vs customer opinion and satisfaction with water efficient appliances in Miami, Florida. Journal of Environmental Management 2013; 128:683-689. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.044>

LHR - London Heathrow Airport. Sustainability performance summary, 2013. Disponível em: <http://www.heathrowairport.com/about-us/community-and-environment/sustainability/sustainability-reporting> [acessado 31.01.14].

Mehrabadi MHR, Saghafian B, Fashi FH. Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions. Resources, Conservation and Recycling 2013; 73:86-93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.015>

Moreira Neto RF, Calijuri ML, Carvalho IC, Santiago AF. Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: Efficiency and costs.

Resources, Conservation and Recycling 2012a; 65:124-9.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.001>

Moreira Neto RF, Calijuri ML, Carvalho IC, Santiago AF. Rainwater use in airports: A case study in Brazil. Resources, Conservation and Recycling 2012b; 68:36-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.08.005>

Moreira Neto RF. Avaliação de aproveitamento de água pluvial em complexos aeroportuários. 2011. 78p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

Oliveira LH. As bacias sanitárias e as perdas de água nos edifícios. Ambiente Construído 2002; 2(4):39-45. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3433/1850> [acessado 12.11.13].

Proença LC, Ghisi E, Tavares DF, Coelho GM. Potential for electricity savings by reducing potable water consumption in a city scale. Resources, Conservation and Recycling 2011; 55:960–965. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.003>

Proença LC, Ghisi E. Estimativa de usos finais de água em quatro edifícios de escritórios localizados em Florianópolis. Ambiente Construído 2009; 9:95-108. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/7718/6625> [acessado 15.12.13].

Proença LC, Ghisi E. Water end-uses in Brazilian office buildings. Resources, Conservation and Recycling 2010; 54:489-500. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.10.005>

Quitzeau M, Water-flushing toilets: Systemic development and path-dependent characteristics and their bearing on technological alternatives. Technology in Society 2007; 29:351-360. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techsoc.2007.04.005>

Qureshia ME, Hanjrac MA, Ward J. Impact of water scarcity in Australia on global food security in an era of climate change. Food Policy 2013; 38:136-145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.11.003>

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo 2012. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/interna/Default.aspx?secaoId=145> [acessado 15.06.12].

Tomaz P. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Editora Navegar; 2009.

Unesco. The United Nations World Water Assessment Programme (WWAP 4). Managing Water under Uncertainty and Risk, 2012. Disponível em: [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/WWAP\\_WWDR\\_4%20Facts%20and%20Figures.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/WWAP_WWDR_4%20Facts%20and%20Figures.pdf) [acessado 15.12.13].

Vieira AS, Weeber M, Ghisi E. Self-cleaning filtration: A novel concept for rainwater harvesting systems. Resources, Conservation and Recycling 2013; 78:67-73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.06.008>

Ward FA. Economic impacts on irrigated agriculture of water conservation programs in drought. Journal of Hydrology 2014; 508:114-127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.024>

WHO - World Health Organization. Domestic Water Quantity, Service Level and Health. WHO Document Production Services. Geneva: Switzerland; 2003. Disponível em: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/WSH03.02.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf) [acessado 15.01.13].

Zeng Z, Liu J, Savenije HHG. A simple approach to assess water scarcity integrating water quantity and quality. Ecological Indicators 2013; 34:441-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.06.012>

### III - INTEGRAÇÃO DE TÉCNICAS EM UNIDADES QUE UTILIZAM FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA E ENERGIA COM VISTA À SUSTENTABILIDADE

#### Resumo

Devido ao aumento do consumo de água nas últimas décadas, o abastecimento tem se tornado deficiente, causando graves problemas em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Por isso a busca por fontes alternativas vem se intensificando e os sistemas de aproveitamento de água pluvial se destacam. Além dos serviços sociais, ambientais e econômicos que proporcionam, possuem baixo custo de implantação, são fáceis de construir e necessitam de sistemas de tratamento simples. Apesar destes benefícios, elas também podem promover efeitos negativos relacionados ao aumento do consumo de energia. Portanto é um desafio resolver o problema da falta de água sem elevar o consumo de energia. Pesquisas recentes avaliaram as tecnologias alternativas de água e energia de forma isolada, existindo carência de estudos que buscam integrar seus benefícios visando à construção de unidades que aproveitam simultaneamente estes recursos. Desta forma, o objetivo deste estudo foi analisar tecnicamente e economicamente o uso de unidades compactas, de baixo custo e replicável, capazes de disponibilizar água pluvial tratada, com a qualidade requerida para usos não potáveis, utilizando energia solar como fonte alternativa. O sistema de tratamento adotado, formado por filtro de polipropileno de 5  $\mu\text{m}$ , filtro de carvão ativado, sistema de desinfecção por UV e clorador, obteve desempenho satisfatório, atendendo aos padrões de potabilidade menos restritivos para sistemas de pequeno porte e descentralizados. A unidade conceitual no ano de 2012 permitiu o aproveitamento de 283 m<sup>3</sup>, atendendo a 52% da demanda não potável do edifício. Neste mesmo ano ela gerou 849 kWh, dos quais 184 kWh foram consumidos durante seu funcionamento. A análise de viabilidade econômica mostrou que para as tarifas atuais praticadas em Viçosa, a unidade é inviável. Entretanto, se o sistema fotovoltaico utilizado fosse *grid-connected*, ligado na rede, além de permitir o uso do excedente energético, seria necessário um menor investimento, tornando a unidade viável. Outros cenários também foram investigados, apresentando a viabilidade para várias situações,

com *payback* descontado de até 2,5 anos e TIR de até 49,3% para o período de 15 anos. Portanto é possível aliar o aproveitamento de água pluvial com a eficiência energética, fatores chave para alcançar o desenvolvimento social, econômico e ambiental sustentável das cidades.

## **1. Introdução**

O consumo de água aumentou mais do que o dobro da taxa de crescimento populacional no último século (FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação), exercendo grande pressão sobre os recursos hídricos. Isto é preocupante, pois a água doce é a espinha dorsal do desenvolvimento socioeconômico de um país (Jha et al., 2014). O abastecimento deficiente vem causando graves problemas de nutrição e de saúde, limitando a expansão de muitas regiões áridas e semiáridas (Furumai, 2008). Nos países em desenvolvimento, a escassez é resultado da crescente industrialização e poluição dos corpos hídricos (Biswas et al., 2009). Já nos países desenvolvidos, ela é agravada pelo uso ineficiente, deficiências na gestão, demanda do uso e mecanismos reguladores (Angelakis e Durham, 2008).

Atualmente, diversas fontes alternativas de recursos hídricos estão sendo estudadas para reduzir a dependência de fontes tradicionais de água (Vargas-Parra et al., 2013). Entre elas, estão: águas residuárias (Diamantis et al., 2014; Vaccari et al., 2013); efluentes industriais (Götz et al., 2014; Klemeš, 2012); água cinza (Couto et al., 2013; Maimon et al., 2014); água pluvial (Mehrabadi et al., 2013; Moreira Neto et al., 2012b); e água salgada ou salobra (Sachit e Veenstra, 2014; Gleen et al., 2009; Ansari et al., 2013).

Entre estas fontes alternativas, os sistemas de aproveitamento de água pluvial (SAAP) são especialmente atraentes, pois possuem pequeno custo de implantação, necessitam de construções simples, utilizam materiais comuns e de fácil acesso, podem ter vários usos e necessitam de tratamento simples (Vargas-Parra et al., 2013). Além disso, o seu aproveitamento proporciona inúmeros serviços sociais, ambientais e econômicos. Permite atenuar as enchentes, reduzindo o pico de escoamento, disponibiliza água em regiões de escassez, reduz problemas de saúde, diminui a pressão sobre as fontes tradicionais de abastecimento, proporciona economia financeira, adia o investimento em infraestrutura de abastecimento centralizado e mitiga o aumento do preço do fornecimento centralizado de água (Bocanegra-Martínez

et al., 2014; Furumai, 2008; Sample e Liu, 2014; Walsh et al., 2014; Carragher et al., 2012; Carvalho et al., 2013; Vieira et al., 2014).

Diversos estudos relacionados ao aproveitamento deste recurso têm sido desenvolvidos. Entre eles, destacam-se: a variação do potencial de aproveitamento de acordo com o clima (Jha et al., 2014; Mehrabadi et al., 2013); avaliação de alternativas para o tratamento da água pluvial (Thomas et al., 2014; Vieira et al., 2013; Naddeo et al., 2013); necessidade do descarte das primeiras chuvas, denominado *first flush* (Gikas e Tsihrintzis, 2012; Zhang et al., 2010); influência das superfícies de captação (Mendez et al., 2011; Lee et al., 2012); caracterização da água pluvial (Mullaugh et al., 2014; Niu et al., 2014); e análise da viabilidade econômica (Moreira Neto et al., 2012a; Morales-Pinzón et al., 2012; Ghisi e Schondermark, 2013).

Apesar dos benefícios dos SAAP, eles também podem promover efeitos negativos relacionados principalmente à elevação do consumo de energia para o bombeamento da água (Vieira et al., 2014). O uso destes sistemas descentralizados em grande escala resulta no incremento da demanda energética das cidades. Em sistemas que estão operando próximos do limite, este aumento da demanda pode resultar em apagões. Portanto, deve-se ter uma atenção especial, pois o fornecimento adequado e confiável de energia elétrica é fundamental para o crescimento da economia (Woo et al., 2014; Ozturk et al., 2010) e as interrupções de energia elétrica são inconvenientes e causam prejuízos financeiros (Djavid e Jalilian, 2010).

A energia solar é uma fonte alternativa que pode suprir com vantagem muitas das necessidades, comprovadas através de estudos recentes (Pavlović et al., 2013; Hoz et al., 2014; Fantidis et al., 2013). Ela aparece, após as hidroelétricas e usinas eólicas, como a terceira mais importante fonte de energia renovável em termos globais de capacidade instalada, e espera-se que cresça 22% até 2017 (EPIA, 2013).

Portanto a água e a eficiência energética em edifícios devem ser detalhadamente pesquisados por serem são fatores chave para alcançar o desenvolvimento social, econômico e ambiental sustentável das cidades (Vieira



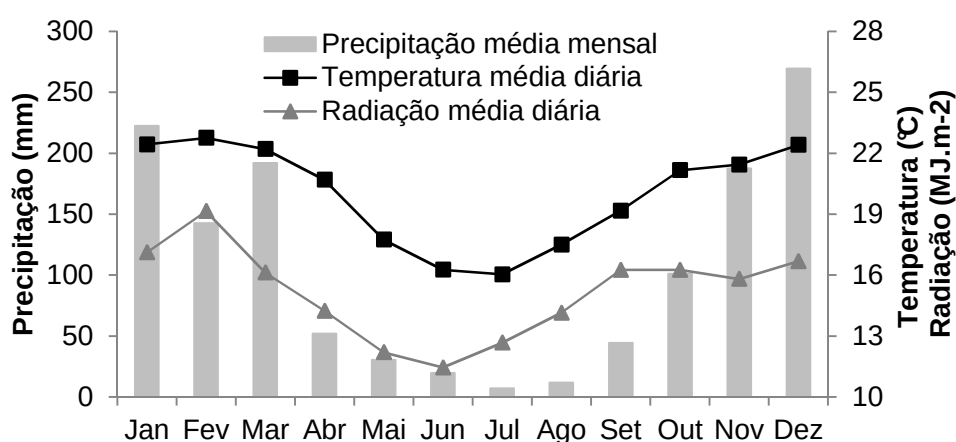
et al., 2014), devendo ser melhor investigados. Entretanto, pesquisas recentes analisaram as tecnologias alternativas de água e energia de forma isolada, existindo carência de estudos que buscam integrar seus benefícios visando à construção de unidades que aproveitam simultaneamente estes recursos.

Desta forma, este estudo teve como objetivo avaliar tecnicamente e economicamente o uso de unidades compactas, de baixo custo e replicável, capazes de disponibilizar água pluvial tratada, com a qualidade requerida para usos não potáveis, utilizando energia solar como fonte alternativa. Buscou-se o uso de tecnologias capazes de tornar o seu funcionamento automático, exigindo o mínimo de supervisão e manutenção.

## 2. Metodologia

### 2.1. Caracterização do local de estudo

A unidade conceitual foi instalada no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental – LESA, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, no estado de Minas Gerais, nas coordenadas UTM 722924 E, 7702003 S, zona 23K. A cidade de Viçosa está a uma altitude média de 670 m, com relevo variando de ondulado a montanhoso. O clima da região é do tipo Cwa, mesotérmico úmido com verões chuvosos e invernos secos, segundo a classificação de Köppen-Geiger, apresentando déficit hídrico no período de abril a setembro e excedente entre novembro e março. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2013), para os anos de 2004 a 2012, tem-se para Viçosa as seguintes médias anuais: precipitação pluvial de 1.281 mm; temperatura de 20,0°C; radiação de 15,2 MJ.m<sup>-2</sup>; e umidade relativa do ar de 80,7%. A Figura III-1 apresenta o comportamento médio de alguns destes dados para o mesmo período.



**Figura III-1. Dados meteorológicos médios de Viçosa (2004-2012)**

### 2.2. Apresentação da unidade conceitual

A unidade conceitual foi projetada para fornecer água pluvial tratada para usos não potáveis utilizando fonte alternativa de energia. Teve como premissa ser compacta, de baixo custo, replicável, de simples operação e automática. As fotos da unidade são apresentadas no Anexo I.

Ela possui dois sistemas independentes, o sistema de aproveitamento de água pluvial (SAAP) e o sistema fotovoltaico (SF) para geração de energia elétrica. Eles trabalham de forma integrada, apesar de serem independentes. Assim, a unidade pode operar quando não há água pluvial ou quando a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos não é suficiente.

Nos períodos longos de estiagem, o sensor de nível no reservatório de armazenamento identifica a falta de água pluvial e automaticamente aciona a válvula solenoide para liberar o abastecimento com água potável. Assim que a água pluvial estiver disponível novamente, a válvula solenoide fecha o fluxo de água potável.

Também existem controladores que ao identificarem que o SF não possui energia suficiente para o funcionamento da unidade, automaticamente invertem a alimentação para a fonte secundária, permitindo a utilização de energia da concessionária (rede externa). Assim que a geração de energia do SF normaliza, a alimentação novamente é invertida.

### **2.3. Sistema de aproveitamento de água pluvial**

O SAAP direciona as águas coletadas no telhado do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA), que possui 380 m<sup>2</sup>, para o reservatório de armazenamento, após passar por uma caixa removedora de sólidos grosseiros. Em seguida, é bombeada através do sistema de tratamento e direcionada para a caixa d'água exclusiva, que fica sobre o edifício.

#### **2.3.1. Tratamento da água pluvial**

Para seleção de tipo de tratamento e meio filtrante considerou-se o custo, tamanho, rendimento, operacionalidade e manutenção. Foram analisados três tipos de tratamento:

- T1 - filtros de polipropileno de 5 µm seguidos de filtro de carvão ativado;

- T2 - filtros de polipropileno de 5 µm seguidos de filtro de carvão ativado e sistema de desinfecção por UV;
- T3 - filtros de polipropileno de 5 µm seguidos de filtro de carvão ativado, sistema de desinfecção por UV e clorador.

Para avaliar o desempenho do sistema foram coletadas 120 amostras de água bruta e tratada durante seu funcionamento. A água pluvial foi armazenada durante o final da estação chuvosa e início da estação seca, entre fevereiro e junho de 2012. Os parâmetros analisados foram oxigênio dissolvido (OD), pH, condutividade elétrica (CE), demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade, cor, turbidez, sólidos totais (ST), sólidos em suspensão totais (SST), Coliformes totais e *E. coli*. Os parâmetros OD, pH, CE e turbidez foram medidos *in loco*, utilizando medidores portáteis devidamente calibrados. Os demais parâmetros foram analisados de acordo com a metodologia descrita no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 2012).

Os resultados foram comparados com as diretrizes para reuso de água, “Guidelines For Water Reuse” (USEPA 2012a), com os padrões de água potável e de alertas de saúde, “Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories” (USEPA 2012b) e com as diretrizes de qualidade de água potável “Guidelines for drinking-water quality” (WHO, 2011).

### **2.3.2. Dimensionamento do reservatório de armazenamento**

O dimensionamento do reservatório de armazenamento foi realizado segundo a mesma metodologia descrita no item II-2.3.4. Foram utilizados dados pluviométricos do período compreendido entre 2004 e 2012.

A determinação do tamanho do reservatório de armazenamento levou em consideração o melhor custo-benefício, confrontando o potencial de economia e o custo do reservatório para diferentes tamanhos.

## 2.4. Sistema fotovoltaico

Adotou-se o sistema fotovoltaico (SF) do tipo *stand-alone*, fora da rede externa, pois em Viçosa ainda não é possível que as redes de energia sejam interligadas. Para seu dimensionamento foi utilizada a metodologia das planilhas do Manual do CRESESB (1999), que foram traduzidas do Manual produzido pela Sandia National Laboratories. Ela utiliza o cálculo do consumo das cargas para determinar a corrente e o ângulo de inclinação dos painéis. Também dimensiona o banco de baterias e o arranjo fotovoltaico.

A potência dos equipamentos elétricos utilizados na unidade conceitual, assim como o tempo de funcionamento, utilizados no dimensionamento são apresentados na Tabela III-1.

**Tabela III-1. Cargas consideradas para o dimensionamento do SF**

| Cargas                    | Potência (W) | Horas diárias de funcionamento (horas/dia) | Consumo (Wh/dia)<br>Eficiência=90% |
|---------------------------|--------------|--------------------------------------------|------------------------------------|
| Bomba submersa            | 368          | 2                                          | 817                                |
| Válvulas e sensores       | 5            | 24                                         | 133                                |
| Sistema de desinfecção UV | 18           | 2                                          | 40                                 |

Após o dimensionamento do sistema, adquiriu-se os seus componentes, tais como painéis fotovoltaicos, baterias estacionárias, controlador de carga e inversor de voltagem.

## 2.5. Estudo de viabilidade econômica

Para o estudo da viabilidade econômica da unidade conceito foram consideradas as tarifas de água e energia de R\$ 4,61/m<sup>3</sup> e R\$ 0,56/kWh, valores praticados em Viçosa. Nos custos de operação foram incluídos a substituição do refil dos filtros, consumo de cloro e substituição das baterias, que possuem vida útil de cinco anos. Os custos dos sistemas, que incluem os materiais, equipamentos e mão-de-obra para suas instalações são apresentado

na Tabela III-2. Tomou-se o tratamento T3 como base para a composição dos custos unitários do SAAP.

**Tabela III-2. Custo unitário da unidade conceitual**

|                                                         |                      |
|---------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>Sistema de aproveitamento de água pluvial - SAAP</b> | <b>R\$ 11.060,00</b> |
| Removedor de sólidos grosseiros                         | R\$ 50,00            |
| Filtros de polipropileno                                | R\$ 260,00           |
| Filtros de carvão ativado                               | R\$ 320,00           |
| Aparelho de desinfecção por UV                          | R\$ 1.100,00         |
| Clorador                                                | R\$ 280,00           |
| Tubos e conexões                                        | R\$ 500,00           |
| Caixas d'água                                           | R\$ 5.000,00         |
| Bomba centrífuga                                        | R\$ 550,00           |
| Mão de obra para instalação                             | R\$ 3.000,00         |
| <b>Sistema fotovoltaico - SF</b>                        | <b>R\$ 15.775,93</b> |
| Painéis fotovoltaicos                                   | R\$ 2.488,68         |
| Baterias                                                | R\$ 3.232,68         |
| Inversor                                                | R\$ 3.500,00         |
| Controlador de carga                                    | R\$ 1.254,57         |
| Quadro                                                  | R\$ 800,00           |
| Fios e conduítes                                        | R\$ 1.500,00         |
| Mão de obra para instalação                             | R\$ 3.000,00         |

A partir do custo da unidade conceitual, custo de operação e da economia gerada para 2012, e com base no desempenho alcançado pela unidade conceito, analisou-se a viabilidade econômica. A metodologia adotada foi a mesma descrita no item II.2.5.

## **2.6. Análise de sensibilidade**

Vários fatores podem influenciar a viabilidade econômica deste tipo de unidade. Desta forma, de acordo com o desempenho da unidade conceitual, foram propostos outros cenários variando-se o tipo de SF, o valor da tarifa de água e a taxa de reajuste das tarifas de água e energia. As novas condições são apresentadas na Tabela III-3.

**Tabela III-3. Novos cenários avaliados**

| Cenário | Tipo de SF            | Tarifa de água           | Taxa de reajuste das tarifas |
|---------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|
| C1      | <i>stand-alone</i>    | R\$ 4,61/m <sup>3</sup>  | 6,46% a.a.                   |
| C2      | <i>stand-alone</i>    | R\$ 14,80/m <sup>3</sup> | 6,46% a.a.                   |
| C3      | <i>stand-alone</i>    | R\$ 4,61/m <sup>3</sup>  | 11,72% a.a.                  |
| C4      | <i>grid-connected</i> | R\$ 4,61/m <sup>3</sup>  | 6,46% a.a.                   |
| C5      | <i>grid-connected</i> | R\$ 14,80/m <sup>3</sup> | 6,46% a.a.                   |
| C6      | <i>grid-connected</i> | R\$ 4,61/m <sup>3</sup>  | 11,72% a.a.                  |

Investigou-se a influência do tipo de SF na viabilidade, já que o tipo *grid-connected* é utilizado em outros países e estados brasileiros e apesar do seu uso não está regulamentado para Viçosa, está caminhando para que seja. Este sistema, além de ser mais barato, permite que toda energia elétrica gerada seja aproveitada, ora na rede interna, ora retornando à rede da concessionária.

O valor da tarifa de água impacta diretamente na rentabilidade da unidade. Desta forma, quantificou-se seu impacto utilizando a tarifa de R\$ 14,80/m<sup>3</sup>, valor praticado no Rio de Janeiro (CEDAE, 2013). Apesar do valor ser alto, outras capitais como Belo Horizonte, São Paulo e Brasília possuem tarifas que podem chegar a R\$ 15,66, R\$ 14,48 e R\$ 18,78, respectivamente (COPASA, 2013; SABESP, 2013; CAESB, 2014).

Analisou-se, também, a influência da taxa de reajuste da tarifa de água. Estima-se que os reajustes tendem a ser maiores que a inflação, visto a escassez deste recurso. Adotou-se como referência o valor médio do reajuste anual em Brasília, que foi de 11,72% a.a. durante o período de 2001 a 2013 (ADASA, 2014).

O valor da tarifa de energia possui pequeno impacto sobre a viabilidade, pois a receita gerada com o excedente energético é pequena. Além disso, o valor desta tarifa, sem impostos, em Viçosa fica apenas 23,4% acima da média nacional e 7,4% abaixo da mais alta no Acre (ANEEL, 2014). Desta forma, o seu valor foi mantido constante nos cenários.

Variou-se também o consumo não potável, tamanho do telhado e reservatório de armazenamento, para valorar a influência do porte da unidade na sua viabilidade, considerando as características apresentadas na Tabela III-4.

**Tabela III-4. Características dos locais avaliados**

| Local | Área de telhado (m <sup>2</sup> ) | Consumo médio diário (m <sup>3</sup> ) | Reservatório de armazenamento (m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|
| L1    | 100                               | 1,0                                    | 10,0                                            |
| L2    | 380                               | 1,5                                    | 16,0                                            |
| L3    | 800                               | 10,0                                   | 30,0                                            |
| L4    | 2000                              | 50,0                                   | 100,0                                           |

O L1 possui as características de casas de luxo com quatro habitantes que, segundo a norma técnica da SABESP (2012), consomem por dia em média 300 L/habitante, adotando-se que os usos não potáveis correspondem a 80%, o mesmo encontrado na casa avaliada por Ghisi e Oliveira (2007). O L2, local onde o experimento está localizado, possui o consumo equivalente ao de edifícios de escritórios com 43 pessoas, considerando o consumo médio diário da NBR 13.969 (ABNT, 1997) de 50 L/pessoa e que 70% são demandas não potáveis, valores identificados por Proença e Ghisi (2010). Já o L3 possui as características de fábricas de pequeno porte, com 204 funcionários, enquanto L4 se assemelha a fábricas de médio porte, com 1020 funcionários, que segundo esta mesma NBR, consomem, em geral, 70L/empregado diariamente e com 70% gastos em usos não potáveis.

Portanto, seguindo metodologia apresentada anteriormente, para cada cenário e local, a unidade foi redimensionada e os custos de instalação, operação e a economia gerada foram recalculados, a fim de se verificar sua viabilidade.



### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1. Sistema de aproveitamento de água pluvial

##### 3.1.1. Tratamento de água pluvial

Os resultados alcançados pelos tratamentos são apresentados na Tabela III-5.

**Tabela III-5. Resultado do monitoramento para os diferentes tratamentos**

| Parâmetro         | Tratamento 1                                |                                             | Tratamento 2                                |                                              | Tratamento 3                                |             |
|-------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------|
|                   | Bruta                                       | Tratada                                     | Bruta                                       | Tratada                                      | Bruta                                       | Tratada     |
| OD                | 4,3 ± 0,6                                   | 3,7 ± 0,3                                   | 4,9 ± 0,5                                   | 4,5 ± 0,3                                    | 4,8 ± 0,6                                   | 4,4 ± 0,4   |
| pH                | 7,1 ± 0,2                                   | 7,1 ± 0,2                                   | 7,1 ± 0,1                                   | 7,1 ± 0,1                                    | 7,1 ± 0,1                                   | 6,9 ± 0,1   |
| Turbidez          | 2,3 ± 0,6                                   | 0,8 ± 0,1                                   | 2,7 ± 1,4                                   | 1,2 ± 0,5                                    | 3,8 ± 0,6                                   | 1,3 ± 0,2   |
| CE                | 56,1 ± 33,9                                 | 45,4 ± 5,4                                  | 57,7 ± 21,3                                 | 49,3 ± 0,9                                   | 50,3 ± 12,0                                 | 51,6 ± 2,7  |
| Alcalinidade      | 20,6 ± 0,9                                  | 21,3 ± 1,3                                  | 21,0 ± 0,3                                  | 21,0 ± 0,2                                   | 21,9 ± 0,1                                  | 20,6 ± 0,1  |
| Cor               | 11,6 ± 1,8                                  | 3,0 ± 1,7                                   | 14,7 ± 5,0                                  | 4,4 ± 2,3                                    | 22,3 ± 3,1                                  | 2,5 ± 2,3   |
| DQO               | 36,9 ± 38,6                                 | 4,4 ± 2,4                                   | 17,8 ± 6,8                                  | 5,7 ± 3,8                                    | 24,2 ± 9,9                                  | 28,6 ± 12,9 |
| ST                | 41,8 ± 30,7                                 | 31,4 ± 27,6                                 | 53,7 ± 19,5                                 | 45,3 ± 17,3                                  | 39,0 ± 11,2                                 | 44,4 ± 22,8 |
| SST               | 7,5 ± 6,0                                   | 0,0 ± 0,0                                   | 19,7 ± 13,7                                 | 2,4 ± 3,1                                    | 8,6 ± 2,9                                   | 2,0 ± 2,2   |
| <i>E. Coli</i>    | 8,2x10 <sup>1</sup><br>±5,1x10 <sup>1</sup> | 3,8x10 <sup>0</sup><br>±3,7x10 <sup>0</sup> | 1,3x10 <sup>1</sup><br>±6,0x10 <sup>0</sup> | 9,4x10 <sup>-1</sup><br>±2,1x10 <sup>0</sup> | 1,3x10 <sup>1</sup><br>±2,3x10 <sup>1</sup> | ND          |
| Coliformes Totais | 1,7x10 <sup>4</sup><br>±1,9x10 <sup>4</sup> | 4,2x10 <sup>2</sup><br>±2,7x10 <sup>2</sup> | 6,0x10 <sup>3</sup><br>±2,7x10 <sup>3</sup> | 2,4x10 <sup>2</sup><br>±4,2x10 <sup>2</sup>  | 5,7x10 <sup>4</sup><br>±7,4x10 <sup>4</sup> | ND          |

ND = não detectado.

As maiores diferenças observadas entre os tratamentos foram no aspecto microbiológico, variando de acordo com o sistema de desinfecção adotado. Os outros parâmetros químicos não apresentaram diferenças significativas, visto que o sistema de filtração foi idêntico para os três tratamentos e a água bruta apresentou homogeneidade ao longo do período monitorado.

O pH ficou dentro da faixa recomendada mais restritiva, entre 6,5 e 8,5 (USEPA, 2012a; WHO, 2011), com valores próximos à neutralidade. Isto ocorreu porque Viçosa é uma cidade pequena, com poucas indústrias e, consequentemente, possui baixas concentrações de NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> em sua atmosfera.

O OD e a DQO na água bruta indicaram pequena presença de matéria orgânica que foi carregada dos telhados, advinda de restos vegetais, fezes de

animais e insetos mortos. Entretanto, a filtração foi capaz de remover grande parte dela, apresentando redução no T1 e T2. Já no T3, apesar desta remoção também ter ocorrido, o valor da DQO permaneceu alto, devido à interferência de cloro residual (Aquino et al., 2006).

A turbidez na água bruta foi baixa, alcançando no máximo 5,3 UNT. Este mesmo efeito foi observado por Moreira Neto et al. (2012b), em que os grandes reservatórios de armazenamento serviram como decantadores. Ainda assim, a filtração a reduziu, permanecendo sempre inferior a 2 UNT. Desta forma, os tratamentos atenderam aos padrões mais restritivos da USEPA (2012b) que determina que a turbidez seja sempre menor ou igual a 2 UNT. Naddeo et al. (2013) avaliaram um sistema similar com filtração seguida de adsorção em carvão ativado que alcançou um desempenho próximo para esta variável,  $2,13 \pm 0,42$  UNT. Já o filtro de areia testado por Moreira Neto et al. (2012b) teve o desempenho pior, com maior desvio padrão e 46% das amostras com valores acima de 2 UNT.

A cor aparente não foi elevada nas amostras de água bruta, permanecendo abaixo de 27 uH. O filtro de carvão ativado permitiu sua redução de forma a atender os limites exigidos, que é inferior a 15 uH (USEPA, 2012a; WHO, 2011). O valor máximo encontrado após o tratamento foi de 8,6 uH no T2.

Para o T1 e T2, não houve variação significativa da CE após o tratamento, apesar dos valores de ST e SST reduzirem após a filtração. Já no T3, estes valores aumentaram após o tratamento, devido novamente à interferência do cloro residual. Os valores encontrados na água tratada de ST indicam que os três tratamentos ficaram dentro do limite mais restritivo para sólidos, que é de  $500 \text{ mg.L}^{-1}$  de sólidos dissolvidos totais (USEPA, 2012b).

Os valores de alcalinidade após o T1 apresentaram pequeno aumento, que pode ser efeito do filtro de carvão ativado (Valle et al., 2005). Já os valores do T2 e T3, ficaram estáveis ou tiveram ligeira redução. Para os três tratamentos, a alcalinidade permaneceu abaixo de  $26 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ .

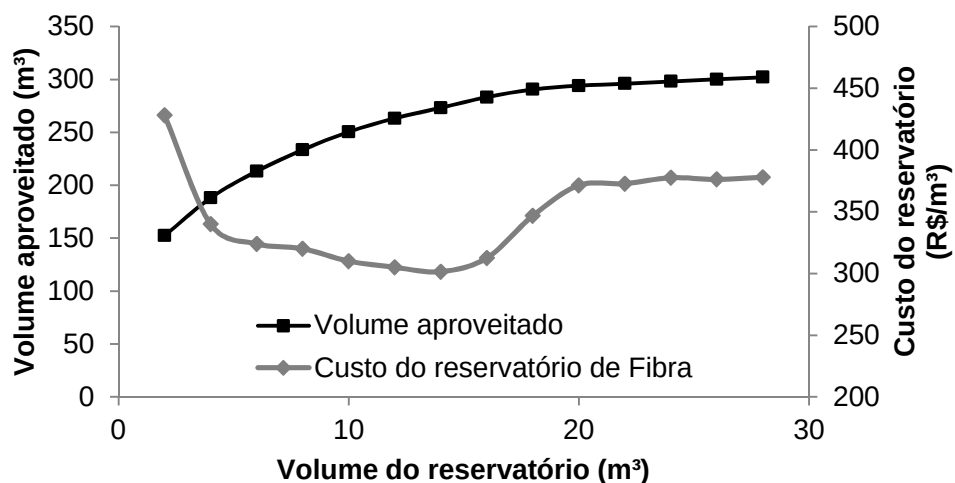
Os indicadores microbiológicos *E. coli* e Coliformes totais obtiveram valores máximos nas amostras brutas na ordem de até  $10^2$  e  $10^5$  UFC.100mL<sup>-1</sup>,

respectivamente. O T1, apesar de não possuir sistema de desinfecção, eliminou fisicamente parte dos indicadores, com valores médios respectivamente de  $3,8 \times 10^0$  e  $4,2 \times 10^2$  UFC.100mL<sup>-1</sup>. Já o T2, apresentou valores médios de  $9,4 \times 10^{-1}$  e  $2,4 \times 10^2$  UFC.100mL<sup>-1</sup>, indicando que o aparelho de UV, apesar de remover parte dos microrganismos, não foi totalmente efetivo. Apesar deste aparelho seguir as especificações do fabricante, os resultados mostram que ele foi subdimensionado ou que houve interferência dos sólidos suspensos. Para o T3, o aparelho de UV e o clorador permitiram a eliminação total dos microrganismos indicadores em todas as amostras, mostrando ser efetivos. Nestas mesmas amostras foram encontrados em média 1,42 mg.L<sup>-1</sup> de cloro livre, permanecendo sempre acima de 0,5 mg.L<sup>-1</sup>.

Portanto, o T2 atendeu a alguns usos não potáveis segundo a USEPA (2012a), sendo que o uso de lâmpadas de radiação UV mais potentes permitiria o seu uso não potável sem restrição. Já o T3 atendeu a todos os critérios para aproveitamento, inclusive alcançando os padrões de potabilidade menos restritivos, para sistemas de pequeno porte e descentralizados (USEPA, 2012b; WHO, 2011). Entretanto para que seja utilizado para fins potáveis é necessário o monitoramento contínuo do sistema e a análise de metais pesados e de outros indicadores microbiológicos como vírus e protozoários.

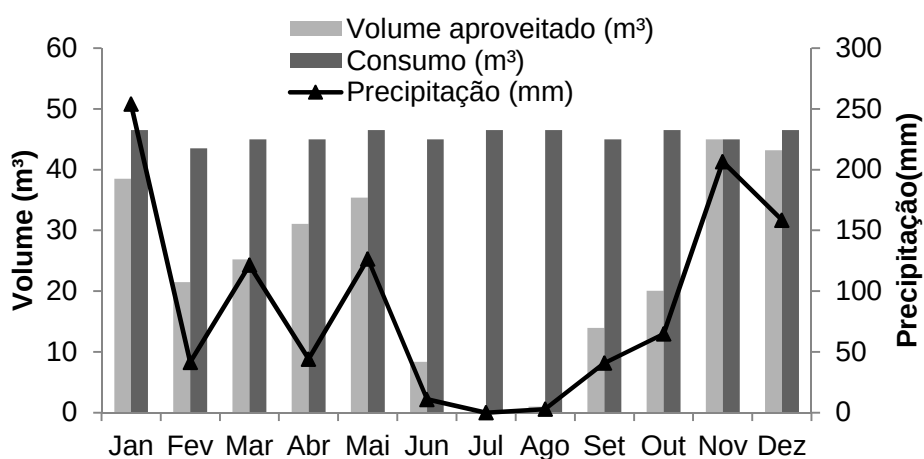
### **3.1.2. Dimensionamento do Reservatório**

Conforme apresentado na Figura III-2, o volume aproveitado de água pluvial tende a se estabilizar com o aumento do tamanho do reservatório. Os reservatórios a partir de 16 m<sup>3</sup> conseguem um pequeno incremento de volume, apesar dos seus custos aumentarem significativamente. Desta forma, o reservatório que possui melhor custo-benefício e que foi utilizado na análise financeira foi o de 16 m<sup>3</sup>.



**Figura III-2. Volume aproveitado x custo**

A Figura III-3 apresenta os dados mensais relativos ao consumo, volume aproveitado de água pluvial e a precipitação em 2012. Neste ano o volume total que precipitou sobre a área do telhado foi de 367 m³, enquanto o volume aproveitado foi de 283 m³. Para a demanda média diária de 1,5 m³, este sistema foi capaz de suprir 52% da demanda não potável. O período com maior déficit foi de junho a outubro, sendo possível aproveitar apenas 43 m³, que representa 19% da demanda. Apesar da baixa pluviosidade nos meses de fevereiro e abril, considerado atípico, o estoque de água pluvial permitiu que 59% da demanda desses meses fosse atendida.

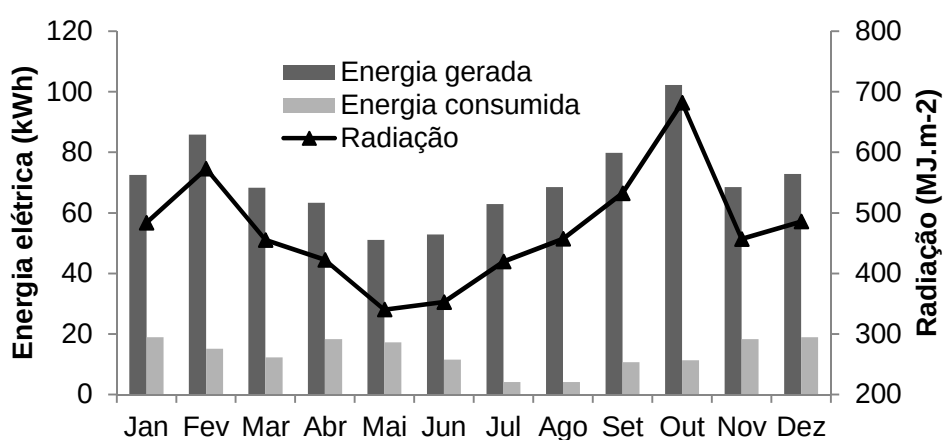


**Figura III-3. Volume aproveitado, consumo e precipitação em 2012**

### 3.2. Sistema fotovoltaico

O SF dimensionado era composto por dois painéis fotovoltaicos de 135W, duas baterias de 170 Ah, um controlador de carga de 20A/24V e um inversor de energia de 1000w/24V. Entretanto, foram necessárias pequenas modificações, pois apesar de suprir a demanda de energia da unidade conceito, o inversor não dava partida na bomba, uma vez que a corrente de partida era mais alta do que ele suportava. Este problema é comum quando se usa motores elétricos. Para solucioná-lo substituiu-se o inversor por outro mais potente, de 48V, e por isso foram adicionados mais dois painéis e duas baterias com as mesmas especificações.

Com a adição dos novos painéis, a produção de energia aumentou, gerando excedente, conforme apresentado na Figura III-4. Em 2012, os painéis geraram 849 kWh, enquanto o valor consumido pela unidade conceito foi de 184 kWh, resultando no excedente de 665 kWh. Em todos os meses, inclusive nos de baixa insolação, manteve-se a unidade conceito com o uso da energia solar.



**Figura III-4. Energia gerada pelo SF e consumido pela unidade conceito em 2012**

### 3.3. Estudo de viabilidade econômica

As avaliações de viabilidade econômica da unidade conceitual, assim como das unidades separadas, são apresentadas na Tabela III-6. Utilizou-se como

base o sistema de tratamento de água T3, que permite o aproveitamento da água em usos não potáveis sem restrição.

**Tabela III-6. Análise de viabilidade econômica da unidade conceitual**

| Item | Valor do investimento | Custo de operação anual | Valor anual economizado | PD (anos) | TIR (15 anos) | VPL (15 anos)  |
|------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|---------------|----------------|
| UC   | R\$ 26.835,93         | R\$ 819,54              | R\$ 1.305,47            | > 20      | -8,1%         | -R\$ 20.325,93 |
| SAAP | R\$ 11.660,00         | R\$ 276,08              | R\$ 1.305,47            | 12,6      | 9,5%          | R\$ 2.130,64   |
| SF   | R\$ 15.775,93         | R\$ 646,54              | R\$ 103,08              | -         | -             | -              |

UC = Unidade conceitual; SAAP = Sistema de aproveitamento de água pluvial;  
SF = Sistema fotovoltaico

Conclui-se que para a situação considerada, a unidade é inviável financeiramente, apresentando TIR e VPL negativos após um período de 15 anos. Como o valor amortizado anualmente é muito pequeno, o tempo necessário para recuperar o investimento é alto, acima de 20 anos. Considerando a vida útil dos equipamentos, este investimento não tem retorno financeiro.

Analisando as unidades de forma separada, apenas o SAAP é viável economicamente, possuindo período de retorno de 12,6 anos. O SF do tipo *stand-alone* além de ser caro, possui os custos operacionais mais altos que a economia gerada, devido à substituição das baterias a cada cinco anos. Na análise da unidade conceitual com estes sistemas, identifica-se que o SF inviabiliza a unidade, considerando as tarifas adotadas de água e energia.

O SF do tipo *grid-connected* é muito utilizado em alguns países e estados brasileiros, apesar de não estar regulamentado para Viçosa. Este sistema, além de ser mais barato (R\$ 8.460,96), permite que toda energia elétrica gerada seja aproveitada, ora na rede interna, ora retornando à rede da concessionária. Considerando este tipo de SF, em nova análise, identifica-se que o custo total da unidade conceitual e o custo anual de operação reduziram para R\$ 19.520,96 e R\$ 173,00, respectivamente, enquanto o valor anual economizado aumentou para R\$ 1.679,19. Nesta situação a unidade passa a ser viável economicamente, apresentando PD de 14,5 anos, TIR de 7,6%, valor acima da TMA, e VPL de R\$ 657,25.

### 3.4. Análise de sensibilidade

A matriz com o resultado da viabilidade econômica para os diferentes cenários e locais é apresentada na Tabela III-7. Matriz da viabilidade econômica dos cenários e locais. Verifica-se que o potencial de geração de energia do SF não sofreu alteração, sendo capaz de atender à demanda total de energia. Já o SAAP sofreu as devidas alterações para atender às demandas analisadas, sendo que para 2012 economizou 97 m³ em L1, 283 m³ em L2, 745 m³ em L3 e 2011 m³ em L4.

**Tabela III-7. Matriz da viabilidade econômica dos cenários e locais**

|    |                               | L1      | L2      | L3      | L4      |
|----|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| C1 | Investimento inicial (R\$)    | 24.836  | 26.836  | 34.486  | 68.882  |
|    | Custo de operação anual (R\$) | 759     | 820     | 1.935   | 4.125   |
|    | Economia anual (R\$)          | 448     | 1.306   | 3.433   | 9.270   |
|    | PD (anos)                     | -97,0   | 74,0    | 26,8    | 15,0    |
|    | TIR-15 anos (%)               | -       | -8,1    | 0,5     | 7,1     |
|    | VPL-15 anos (R\$)             | -29.000 | -20.323 | -14.418 | 38      |
| C2 | Investimento inicial (R\$)    | 24.836  | 26.836  | 34.486  | 68.882  |
|    | Custo de operação anual (R\$) | 759     | 820     | 1.935   | 4.125   |
|    | Economia anual (R\$)          | 1.437   | 4.192   | 11.020  | 29.759  |
|    | PD (anos)                     | 44,9    | 8,7     | 4,1     | 2,9     |
|    | TIR-15 anos (%)               | -4,3    | 15,2    | 31,7    | 43,2    |
|    | VPL-15 anos (R\$)             | -15.742 | 18.341  | 87.231  | 274.535 |
| C3 | Investimento inicial (R\$)    | 24.836  | 26.836  | 34.486  | 68.882  |
|    | Custo de operação anual (R\$) | 759     | 820     | 1.935   | 4.125   |
|    | Economia anual (R\$)          | 448     | 1.306   | 3.433   | 9.270   |
|    | PD (anos)                     | 41,9    | 21,6    | 13,6    | 9,8     |
|    | TIR-15 anos (%)               | -       | 0,3     | 8,7     | 14,5    |
|    | VPL-15 anos (R\$)             | -26.458 | -12.909 | 5.074   | 52.675  |
| C4 | Investimento inicial (R\$)    | 17.521  | 19.521  | 27.171  | 61.567  |
|    | Custo de operação anual (R\$) | 112     | 173     | 1.288   | 3.479   |
|    | Economia anual (R\$)          | 871     | 1.679   | 3.682   | 9.541   |
|    | PD (anos)                     | 26,8    | 14,5    | 12,6    | 11,3    |
|    | TIR-15 anos (%)               | 0,5     | 7,6     | 9,5     | 11,1    |
|    | VPL-15 anos (R\$)             | -7.351  | 657     | 4.905   | 19.653  |
| C5 | Investimento inicial (R\$)    | 17.521  | 19.521  | 27.171  | 61.567  |
|    | Custo de operação anual (R\$) | 112     | 173     | 1.288   | 3.479   |
|    | Economia anual (R\$)          | 1.860   | 4.564   | 11.270  | 30.032  |
|    | PD (anos)                     | 11,1    | 4,8     | 2,9     | 2,5     |
|    | TIR-15 anos (%)               | 11,3    | 27,4    | 42,7    | 49,3    |
|    | VPL-15 anos (R\$)             | 5.892   | 39.310  | 106.552 | 294.160 |
| C6 | Investimento inicial (R\$)    | 17.521  | 19.521  | 27.171  | 61.567  |
|    | Custo de operação anual (R\$) | 112     | 173     | 1.288   | 3.479   |
|    | Economia anual (R\$)          | 871     | 1.679   | 3.682   | 9.541   |
|    | PD (anos)                     | 16,5    | 10,9    | 9,0     | 8,3     |
|    | TIR-15 anos (%)               | 5,4     | 12,6    | 16,1    | 17,9    |
|    | VPL-15 anos (R\$)             | -2.403  | 10.193  | 25.815  | 73.834  |

TIR e VPL calculados para o período de 15 anos.

Para o C1, cenário real de Viçosa, apenas o L4 é viável. Ainda assim, sua TIR é praticamente igual à TMA, o que significa que investir nesta unidade ou aplicar o mesmo valor na poupança traz a mesma rentabilidade. Para os outros locais, o investimento não traz retorno financeiro, sendo a TIR e o VPL negativo ou baixo, ou seja, perde-se dinheiro. No caso do L1, a economia gerada é menor que os gastos operacionais.

Já para o C2, que considera as mesmas condições do C1, exceto pelo valor da tarifa de água que é mais elevado, somente o L1 não apresenta viabilidade. Para os outros locais, a rentabilidade é alta, com TIR de 15,2%, 31,7% e 43,2%, acima da TMA que é de 7,14%. Ou seja, em locais onde a tarifa de água é elevada, investir na unidade é financeiramente mais lucrativo do que aplicar na caderneta de poupança.

No C3, parecido com o C1, exceto pela taxa de reajuste das tarifas de água e energia que é maior que a inflação, apenas em L3 e L4 houve viabilidade, sendo a rentabilidade pouco maior que a da caderneta de poupança, com TIR de 8,7% e 14,5%, respectivamente.

Para o C4, semelhante ao C1, exceto pelo SF ser do tipo *grid-connected*, o L1 continuou inviável, apresentando TIR de 0,5%. O L2 e L3 passaram a ser viáveis, apresentando TIR de 7,6% e 9,5%, respectivamente. No L4, que já era viável no C1, a TIR passou a ser de 11,1% e o VPL aumentou para R\$ 19,7 mil.

O C5, equivalente ao C4, exceto pelo valor da tarifa de água que é mais elevado, apresentou viabilidade em todos os locais. A TIR foi a maior entre os cenários, ficando entre 11,3% e 49,3%, o PD ficou entre 2,5 e 11,1 anos e o VPL acima de R\$ 5,9 mil, chegando a R\$ 294,2 mil.

Por fim, no C6, análogo ao C4, exceto pela taxa de reajuste das tarifas de água e energia que é maior que a inflação, o L1 continuou inviável, sendo que sua TIR foi de 5,4%, próximo à TMA e PD de 16,5 anos.

Portanto, esta análise demonstra que para grandes consumidores de água (L4) mesmo nas condições mais desfavoráveis (C1) a unidade é viável. Já para



consumidores médios (L2 e L3), qualquer uma das condições favoráveis como uso do SF *grid-connected* ou o aumento das tarifas tornam a unidade viável. Já para pequenos consumidores (L1), apenas em condições muito favoráveis (C5) a unidade é viável.

#### 4. Conclusões e recomendações

O aproveitamento de água pluvial proporciona diversos serviços sociais, ambientais e econômicos. Entretanto o uso destes sistemas descentralizados em grande escala, resultam em incremento considerável da demanda energética das cidades. Buscando solucionar este problema, avaliou-se tecnicamente e economicamente o uso de unidades compactas capazes de disponibilizar água pluvial tratada utilizando energia solar como fonte alternativa.

O presente estudo mostrou que a unidade conceito projetada pode servir de referência para futuras construções, sendo possível aliar o aproveitamento de água pluvial com a eficiência energética, fatores chave para alcançar o desenvolvimento sustentável das cidades.

Os sistemas de tratamento apresentaram bons desempenhos e a qualidade físico-química da água atendeu aos padrões da USEPA e WHO. Os valores de turbidez foram inferiores a 2 UNT, a faixa de pH permaneceu próxima da neutralidade, os sólidos totais ficaram na média abaixo de 50 mg.L<sup>-1</sup> e a cor ficou na média abaixo de 5 uH. Quanto aos aspectos microbiológicos, o sistema de desinfecção do T2 não removeu totalmente os microrganismos indicadores, Coliformes totais e *E. coli*, atendendo apenas a alguns tipos de uso. O uso de lâmpadas mais potentes poderia melhorar seu desempenho, permitindo o uso da água para fins não potáveis sem restrição. Já o T3 removeu completamente estes microrganismos e a água tratada alcançou os padrões de potabilidade menos restritivos, para sistemas de pequeno porte e descentralizados. Entretanto são necessários estudos específicos para verificar a presença de outros organismos como *Cryptosporidium*, *Salmonella ssp.* e *Giardia lamblia* a fim de se garantir a segurança para usos potáveis.

O dimensionamento do reservatório de armazenamento do SAAP indicou, para o consumo não potável médio diário de 1,5 m<sup>3</sup>, que o reservatório de 16 m<sup>3</sup> apresenta o melhor custo-benefício, permitindo o aproveitamento de 283 m<sup>3</sup>. Apesar do período de seca ser crítico, a unidade conceitual se mostrou eficiente, atendendo a 52% da demanda anual. Já o SF permitiu a geração de 849 kWh, sendo utilizado apenas 184 kWh nas demandas da unidade conceito, com excedente de 665 kWh.

O estudo da viabilidade econômica mostrou que a unidade conceitual, para as tarifas atuais cobradas em Viçosa, é inviável, com TIR e VPL negativos. Este resultado é consequência do SF adotado que é muito caro e não permite o aproveitamento do excedente energético. Entretanto, se ele fosse do tipo *grid-connected*, além do investimento inicial ser menor, seria possível devolver à rede externa o excedente, gerando receita. Neste cenário a unidade passa a ser viável, apresentando PD de 14,5 anos, TIR de 7,6% e VPL de R\$ 657,25.

Investigando a viabilidade deste tipo de unidade para outros cenários e locais, identificou-se que para consumos médios de 1,0 m<sup>3</sup> por dia ela só é viável se fosse adotado o SF do tipo *grid-connected* e a tarifa de água fosse mais alta. Já para os consumos acima de 1,5 m<sup>3</sup> com disponibilidade de telhados de pelo menos 380 m<sup>2</sup>, qualquer uma das condições favoráveis como uso do SF do tipo *grid-connected* ou aumento da tarifa de água o tornam viável. Para consumos acima de 50 m<sup>3</sup> e telhados de 2000 m<sup>2</sup>, a unidade é viável até nas condições mais desfavoráveis. Nestes casos o PD variou entre 2,5 a 15,0 anos.

Além da viabilidade econômica, outros aspectos devem ser considerados para o uso destas tecnologias verdes, como os ganhos ambientais. Também deve-se atentar para os efeitos positivos que elas agregam à imagem de empreendimentos frente à sociedade e aos acionistas, impulsionando as ações de marketing. Apesar de ser difícil valorá-las, tendem a tornar o investimento mais atrativo.

As principais vantagens da unidade estudada são a diminuição significativa do consumo de água e energia, facilidade de replicação, baixa necessidade de supervisão e manutenção e, dependendo das condições, alta rentabilidade e baixo tempo de retorno. Já as desvantagens estão relacionadas aos elevados investimentos iniciais, necessidade de grandes telhados para a captação da água pluvial e ter seu desempenho afetado pelas condições meteorológicas. Trabalhos futuros devem avaliar o reuso de águas cinzas em conjunto como forma de atenuar as desvantagens relacionadas ao clima.

## 5. Referências Bibliográficas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969/1997 - Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT; 1997.

ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Histórico dos reajustes tarifários da CAESB no período 2001 – 2014. Disponível em:

[http://www.adasa.df.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=359&Itemid=298](http://www.adasa.df.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=359&Itemid=298) [acessado 10.04.14].

Angelakis AN, Durham B. Water recycling and reuse in EUREAU countries: Trends and challenges. Desalination 2008; 218(1–3):3-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2006.07.015>

ANNEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Informações Técnicas - Tarifas Residenciais Vigentes 2014. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493> [acessado 10.04.14].

Ansari O, Asbik M, Bah A, Arbaoui A, Khmou A. Desalination of the brackish water using a passive solar still with a heat energy storage system. Desalination 2013; 324:10-20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2013.05.017>

APHA Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation; 2012.

Aquino SF, Silva SQ, Chernicharo CAL. Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios (Nota Técnica). Engenharia Sanitária e Ambiental 2006; 4:295-304. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522006000400001>

Biswas AK, Tortajada C. Changing Global Water Management Landscape. In Biswas AK, Tortajada C, Izquierdo R, editors. Water Resources Development and Management. Berlin: Springer; 2009, p.1-34. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-89346-2\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-89346-2_1)

Bocanegra-Martínez A, Ponce-Ortega JM, Nápoles-Rivera F, Serna-González M, Castro-Montoya AJ, El-Halwagi MM. Optimal design of rainwater collecting systems for domestic use into a residential development. Resources, Conservation and Recycling 2014; 84:44-56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.01.001>

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Tarifas e Preços 2014. Disponível em: <http://www.caesb.df.gov.br/tarifas-e-precos.html> [acessado 10.04.14].

Carragher B, Stewart RA, Beal CB. Quantifying the influence of residential water appliance efficiency on average day diurnal demand patterns at an end use level: a precursor to optimised water service infrastructure. *Resources, Conservation and Recycling* 2012; 62:81–90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.02.008>

Carvalho IC, Calijuri ML, Assemany PP, Santiago AF, Silva MDFM, Moreira Neto RF, Souza MHB. Sustainable airport environments: A review of water conservation practices in airports. *Resources, Conservation and Recycling* 2013; 74:27-36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.016>

CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos. Estrutura tarifária 2013. Disponível em: [http://www.cedae.com.br/div/Estrutura\\_Tarifaria\\_2013.pdf](http://www.cedae.com.br/div/Estrutura_Tarifaria_2013.pdf) [acessado 10.04.14].

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Tarifas em Vigor 2013. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=2469&sid=274&tp1=section> [acessado 10.04.14].

Couto EA, Calijuri ML, Assemany PP, Santiago AF, Carvalho IC. Greywater production in airports: Qualitative and quantitative assessment. *Resources, Conservation and Recycling* 2013; 77:44-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.05.004>

CRESESB. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. 1st ed. Rio de Janeiro: Ediouro Gráfica e Editora S.A.; 1999. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2004.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf) [acessado em 10.09.11].

Diamantis V, Eftaxias A, Bundervoet B, Verstraete W. Performance of the biosorptive activated sludge (BAS) as pre-treatment to UF for decentralized wastewater reuse. *Bioresource Technology* 2014; 156:314-321. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.061>

Djavid HP, Jalilian A. Developing a new distribution test system to estimate customer outage costs using accurate and approximate procedures. *Energy* 2010; 35:1300–1311. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.11.012>

EPIA - European Photovoltaic Industry Association. Global market outlook for photovoltaics 2013-2017, 2013. Disponível em: <http://www.epia.org/news/publications/> [acessado em 31.01.14].

Fantidis JG, Bandekas DV, Potolias C, Vordos N. Cost of PV electricity – Case study of Greece. *Solar Energy* 2013; 91:120-130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.02.001>

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Water scarcity. Disponível em: [www.fao.org/nr/water/topics\\_scarcity.html](http://www.fao.org/nr/water/topics_scarcity.html) [acessado em 18.03.14].

- Furumai H. Rainwater and reclaimed wastewater for sustainable urban water use. *Physics and Chemistry of the Earth* 2008; 33(5):340-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2008.02.029>
- Ghisi E, Oliveira SM. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. *Building and Environment* 2007; 42(4):1731–1742. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.02.001>
- Ghisi E, Schondermark PN. Investment Feasibility Analysis of Rainwater Use in Residences. *Water Resources Management* 2013; 27:2555–2576. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-013-0303-6>
- Gikas GD, Tsihrintzis VA. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested Rainwater. *Journal of Hydrology* 2012; 466–467:115-126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.08.020>
- Glenn EP, Mckeen C, Gerhart V, Nagler PL, Jordan F, Artiola J. Deficit irrigation of a landscape halophyte for reuse of saline waste water in a desert city. *Landscape and Urban Planning* 2009; 89(3–4):57-64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.008>
- Götz G, Geißen S, Ahrens A, Reimann S. Adjustment of the wastewater matrix for optimization of membrane systems applied for water reuse in breweries. *Journal of Membrane Science* 2014; 465:68-77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2014.04.014>
- Hoz J, Martín H, Ballart J, Monjo L. Evaluating the approach to reduce the overrun cost of grid connected PV systems for the Spanish electricity sector: Performance analysis of the period 2010–2012. *Applied Energy* 2014; 121:159-173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.01.083>
- Imteaz MA, Rahman A, Ahsan A. Reliability analysis of rainwater tanks: a comparison between South-East and Central Melbourne. *Resources, Conservation and Recycling* 2012; 66:1–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.05.009>
- INMET - National Institute of Meteorology. Dados meteorológicos históricos, 2004-2013. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> [acessado em 15.10.13].
- Jha MK, Chowdary VM, Kulkarni Y, Mal BC. Rainwater harvesting planning using geospatial techniques and multicriteria decision analysis. *Resources, Conservation and Recycling* 2014; 83:96-111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.12.003>
- Klemeš JJ. Industrial water recycle/reuse. *Current Opinion in Chemical Engineering* 2012; 1(3):238-245. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coche.2012.03.010>

- Lee JY, Bak G, Han M. Quality of roof-harvested rainwater - comparison of different roofing materials. *Environmental Pollution* 2012; 162:422–429. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.005>
- Maimon A, Friedler E, Gross A. Parameters affecting greywater quality and its safety for reuse. *Science of The Total Environment* 2014; 487:20-5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.133>
- Mehrabadi MHR, Saghafian B, Fashi FH. Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions. *Resources, Conservation and Recycling* 2013; 73:86-93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.015>
- Mendez CB, Klenzendorf JB, Afshar BR, Simmons MT, Barrett ME, Kinney KA, Kirisits MJ. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water Research* 2011; 45(5):2049-2059. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2010.12.015>
- Morales-Pinzón T, Lurueña R, Rieradevall J, Gasol CM, Gabarrell X. Financial feasibility and environmental analysis of potential rainwater harvesting systems: A case study in Spain. *Resources, Conservation and Recycling* 2012; 69:130-140. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.09.014>
- Moreira Neto RF, Calijuri ML, Carvalho IC, Santiago AF. Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: Efficiency and costs. *Resources, Conservation and Recycling* 2012a; 65:124-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.001>
- Moreira Neto RF, Carvalho IC, Calijuri ML, Santiago AF. Rainwater use in airports: A case study in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling* 2012b; 68 :36-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.08.005>
- Mullaugh KM, Byrd JN, Avery Jr. GB, Mead RN, Willey JD, Kieber RJ. Characterization of carbohydrates in rainwater from the Southeastern North Carolina. *Chemosphere* 2014; 107: 51-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.014>
- Naddeo V, Scannapieco D, Belgiorno V. Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment. *Journal of Hydrology* 2013; 498:287-291. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.012>
- Niu H, He Y, Lu XX, Shen J, Du J, Zhang T, Pu T, Xin H, Chang L. Chemical composition of rainwater in the Yulong Snow Mountain region, Southwestern China. *Atmospheric Research* 2014; 144:195-206. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.03.010>
- Ozturk I, Aslan A, Kalyoncu H. Energy consumption and economic growth relationship: evidence from panel data for low and middle income countries. *Energy Policy* 2010; 38:4422–4428. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.071>

Pavlović T, Milosavljević D, Radonjić I, Pantić L, Radivojević A, Pavlović M. Possibility of electricity generation using PV solar plants in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013; 20:201-218. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.070>

Proença LC, Ghisi E. Water end-uses in Brazilian office buildings. *Resources, Conservation and Recycling* 2010; 54(8):489–500. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.10.005>

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Norma Técnica Sabesp – NTS 181. Dimensionamento do ramal predial de água, cavalete e hidrômetro – Primeira ligação. São Paulo: SABESP; 2012. Disponível em: <http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/NTS181.pdf> [acessado 10.04.14].

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Tarifas e serviços 2013. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=183> [acessado 10.04.14].

Sachit DE, Veenstra JN. Analysis of reverse osmosis membrane performance during desalination of simulated brackish surface Waters. *Journal of Membrane Science* 2014; 453:136-154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2013.10.051>

Sample DJ, Liu J. Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. *Journal of Cleaner Production* 2014; In Press, Corrected Proof. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.075>

Thomas RB, Kirisits MJ, Lye DJ, Kinney KA. Rainwater harvesting in the United States: a survey of common system practices. *Journal of Cleaner Production* 2014; In Press, Corrected Proof. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.073>

USEPA – US Environmental Protection Agency. Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, 2012b. Disponível em: <http://water.epa.gov/drink/standards/hascience.cfm> [acessado em 10.01.14].

USEPA – US Environmental Protection Agency. Guidelines For Water Reuse, 2012a. Disponível em: <https://www.watereuse.org/government-affairs/usepa-guidelines> [acessado em 10.01.14].

Vaccari M, Gialdini F, Collivignarelli C. Study of the reuse of treated wastewater on waste container washing vehicles. *Waste Management* 2013; 33(2):262-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.10.004>

Valle JAB, Pinheiro A, Cipriano RFP, Ferrari A. Aproveitamento de água de chuva: avaliação do seu tratamento para fins potáveis. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande/MS: ABES; 2005.



- Vargas-Parra MV, Villalba G, Gabarrell X. Applying exergy analysis to rainwater harvesting systems to assess resource efficiency. *Resources, Conservation and Recycling* 2013; 72:50-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.12.008>
- Vieira AS, Weeber M, Ghisi E. Self-cleaning filtration: A novel concept for rainwater harvesting systems. *Resources, Conservation and Recycling* 2013; 78:67-73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.06.008>
- Vieira, AS; Beal, CD; Ghisi, E; Stewart, RA. Energy intensity of rainwater harvesting systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014; 34:225-242. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.012>
- Walsh TC, Pomeroy CA, Burian, SJ. Hydrologic modeling analysis of a passive, residential rainwater harvesting program in an urbanized, semi-arid watershed. *Journal of Hydrology* 2014; 508:240–253. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.038>
- WHO – World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality, fourth edition, 2011. Disponível em: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/dwg\\_guidelines/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwg_guidelines/en/) [acessado em 10.01.14].
- Woo CK, Sreedharan P, Hargreaves J, Kahrl F, Wang J, Horowitz I. A review of electricity product differentiation. *Applied Energy* 2014; 114:262-272. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.070>
- Zhang B, Xie G, Zhang C, Zhang J. The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management* 2012; 100:65–71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.015>

#### **IV - INTEGRAÇÃO DE TÉCNICAS DIRIGIDAS À FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA E ENERGIA PARA PROMOVER A SUSTENTABILIDADE DE PAISAGENS URBANAS**

##### **Resumo**

Pesquisas recentes têm destacado o papel positivo de áreas verdes em ambientes urbanos, as quais proporcionam inúmeros serviços sociais, ambientais e econômicos, como a mitigação do efeito de ilha de calor urbana, atenuação de tempestades, aumento da infiltração de água no solo, redução da poluição do ar, redução de ruídos, entre outros. Entretanto, a manutenção das áreas verdes pode resultar no elevado consumo de água, chegando a 50% da água em alguns municípios, e também no grande consumo de energia, tornando-se motivo de preocupação. O presente estudo teve como objetivo integrar técnicas e tecnologias capazes de promover a irrigação automática e eficiente de paisagens urbanas, utilizando fontes alternativas de água e energia, buscando sua sustentabilidade. Para isso, foram projetados três sistemas independentes, sendo um responsável pela coleta, armazenamento e tratamento da água pluvial, outro pela automatização e otimização da irrigação, utilizando sensores de umidade do solo, e o último capaz de fornecer energia elétrica para unidade com o uso de painéis fotovoltaicos. A unidade conceitual conseguiu reduzir em 64% o consumo de água na irrigação, a água pluvial atendeu 69% da demanda e o sistema fotovoltaico supriu a demanda energética gerando o excedente anual de 819 kWh. A análise da viabilidade econômica mostrou que a unidade conceitual é inviável financeiramente, entretanto com algumas intervenções para aproveitamento do excedente energético e hídrico, e considerando tarifas mais elevadas, cobradas em outras cidades, o investimento se tornou atrativo, com o TIR (15 anos) de 27,35% e *payback* descontado de apenas 4,9 anos.

## 1. Introdução

Pesquisas recentes tem destacado o papel positivo de áreas verdes em ambientes urbanos, as quais proporcionam inúmeros serviços sociais, ambientais e econômicos (Zhang et al., 2012; Tratalos et al., 2007; Klok et al., 2012; Millward e Sabir, 2011; Conway e Urbani, 2007; Soares et al., 2011). Dentre estes, destaca-se a relação entre as áreas verdes e a mitigação do efeito de ilha de calor urbana, uma vez que as copas das árvores são eficazes interceptores e refletores de insolação, atuando como dissipadores de calor (Takebayashi e Moriyama, 2007; Alexandri e Jones, 2008; Gill et al., 2007). Também atenuam tempestades, pois a interceptação da precipitação pelas árvores e a retenção temporária da água dentro de sua copa, reduz o pico de escoamento (Xiao e McPherson, 2002) e aumenta a infiltração no solo, diminuindo o fluxo de superfície (Inkiläinen et al., 2013). Ainda, reduz a poluição do ar (Jim e Chen, 2008) e sequestra CO<sub>2</sub> para formar biomassa lenhosa e foliar (Nowak et al., 2006). Além disso, aumentam a atratividade das comunidades, reduz o ruído, melhora o habitat da vida selvagem e oferece oportunidades de lazer (Jim e Chen 2008; McPherson e Simpson, 2002).

Entretanto, as áreas verdes são frequentemente associadas com o uso elevado de água, particularmente durante os períodos de tempo seco. Este é o caso de alguns municípios do oeste dos EUA onde a irrigação consome até 50% da água municipal (Lowry Jr. et al., 2011), enquanto no oeste da Austrália chega a 56% do consumo doméstico (Syme et al., 2004). No Texas, este é o terceiro maior uso (Cabrera et al., 2013). Salvador et al. (2011), ao avaliarem o consumo de água na irrigação de jardins de 102 casas em Zaragoza, Espanha, constataram que em 60% das residências haviam consumos maiores que o necessário. Isto é preocupante, pois o uso de água potável nestas atividades tem se tornado cada vez mais restrito devido sua escassez (Strutt et al., 2008). Tudo isto indica a necessidade de medidas para aumentar a eficiência do uso da água em paisagens urbanas e a busca por fontes alternativas deste recurso.

A irrigação automática com o uso de sensores de umidade tem sido utilizada para tornar a irrigação mais eficiente (O'Shaughnessy et al., 2012; Romero et al., 2012; Coates et al., 2013). Estes permitem reduzir o consumo em até 75%

em comparação com a irrigação manual. Além de conservar a água de irrigação, alguns estudos relataram um aumento na qualidade visual da paisagem (Hunt et al., 2001 e Devitt et al., 2008). Entretanto, para que a irrigação seja eficiente é preciso aliar a leitura em tempo real da umidade do solo com a demanda da paisagem, identificando o momento exato em que é necessário a reposição hídrica.

A demanda de água de paisagens urbanas é bem diferente de culturas agrícolas, devido às condições específicas dos espaços verdes urbanos (Costello et al., 2000; Nouri et al., 2013). Eles apresentam em uma mesma área diversas espécies de plantas, com necessidades hídricas diferenciadas, e diferentes microclimas e densidades. Portanto, faz-se necessário a adoção de índices de stress hídrico específicos para cada paisagem (Costello et al., 2000; The Irrigation Association, 2005; Snyder et al., 2004; Snyder e Eching, 2005; Allen et al., 2007). A estimativa da necessidade de irrigação em áreas com vegetação mista é um desafio, por isso, devem ser considerado os aspectos climáticos locais e metabólicos dos vegetais (Salvador et al., 2011; Costello et al., 2000; Costello e Jones, 1994).

Outra desvantagem da manutenção das áreas verdes está relacionada ao consumo de energia elétrica para o bombeamento de água. Contudo, este problema pode ser resolvido com o uso de fontes alternativas de energia. O alto preço do petróleo, aliado às preocupações com o impacto ambiental da combustão de combustíveis fósseis e fortes incentivos do governo fizeram das energias renováveis a fonte de energia que mais cresce (USEIA, 2011). A energia solar é uma fonte alternativa que pode suprir com grandes vantagens muitas das necessidades. Ela aparece, após as hidroelétricas e usinas eólicas como a terceira mais importante fonte de energia renovável em termos globais de capacidade instalada, e é esperado que cresça 22% até 2017 (EPIA, 2013). Estima-se que o tempo necessário para que incida sobre a terra uma quantidade de energia solar equivalente à demanda energética mundial anual seja de aproximadamente 12 minutos. Em três semanas, a energia solar incidente sobre a terra equivale a todas as reservas conhecidas de combustíveis fósseis como óleo, gás natural e carvão (Rüther, 2000).

Portanto, apesar de existirem estudos que buscam a eficiência na irrigação de paisagens urbanas (Nouri et al., 2013; Johnson e Belitz, 2012; McCready et al., 2009), que avaliam o aproveitamento de água pluvial em diversas atividades (Moreira Neto et al., 2012; Liang e Dijk, 2011; Yuan et al., 2003) e que utilizam energia fotovoltaica como alternativa energética (Bouzidi, 2011; Hamidat e Benyoucef, 2009; Meah, et al. 2008), não existem estudos que os integrem, visando a irrigação autossuficiente de insumos.

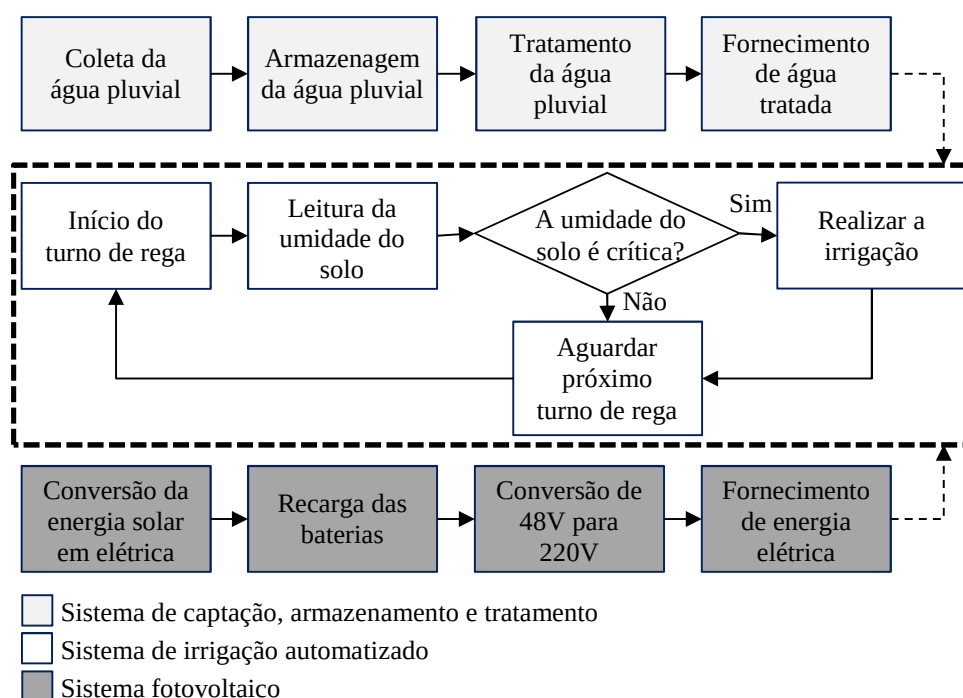
O presente estudo teve como objetivo integrar técnicas e tecnologias capazes de promover a irrigação automática de paisagens urbanas, utilizando fontes alternativas de água e energia, buscando sua sustentabilidade.

Essa integração visa a construção de uma unidade conceitual compacta e replicável, tornando a irrigação urbana eficiente e independente, capaz de gerar seus próprios insumos de forma automática e com o mínimo de supervisão e intervenção.

## 2. Metodologia

A premissa da unidade conceitual foi o uso de fontes alternativas de água e energia para tornar a paisagem urbana sustentável, utilizando a irrigação automática e otimizada, com o mínimo de intervenção e supervisão.

Para isso, foram projetados três sistemas independentes, sendo um responsável pela coleta, armazenamento e tratamento da água pluvial, outro pela automatização e otimização da irrigação e o último capaz de fornecer energia elétrica para unidade com o uso de painéis fotovoltaicos, conforme apresentado na Figura IV-1.



**Figura IV-1. Fluxograma dos sistemas integrados**

### 2.1. Caracterização da área de estudo

A unidade conceitual foi instalada no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental – LESA, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, no estado de Minas Gerais, nas coordenadas UTM 722924 E, 7702003 S, zona 23K. O edifício possui 380 m<sup>2</sup> cobertos com telhas de fibrocimento e jardins na parte frontal e lateral com 288 m<sup>2</sup> onde foi realizado o experimento. As características

da área de estudo foram apresentadas anteriormente no item III-2.1. As fotos da unidade são apresentadas no Anexo I.

## **2.2. Sistema de irrigação automatizado**

Para tornar o consumo de água menor, optou-se por um sistema capaz de ler a umidade do solo em tempo real, identificar a necessidade de irrigação e repor o menor volume de água possível para que não haja déficit hídrico. Para isso, as espécies vegetais do jardim foram agrupadas de acordo como suas respectivas demandas hídricas. Através dos dados meteorológicos e das características do solo, determinou-se as evapotranspirações das espécies mais sensíveis de cada grupo, assim como a irrigação real necessária. Após a instalação do sistema de irrigação, verificou-se a eficiência na dispersão da água e determinou-se a irrigação total necessária para cada grupo, que varia mensalmente e corresponde à lâmina de água suficiente para que a evapotranspiração não cause déficit hídrico nas plantas. Em seguida, foi feita a medição da vazão para cada grupo e determinou-se os respectivos tempos de funcionamento da bomba. Por fim, calibraram-se os sensores de cada grupo, ajustando o ponto limite de irrigação (PLI), valor limite de umidade que determina a necessidade da irrigação.

O sistema de irrigação inicia diariamente às 6 hs. Neste momento ele realiza a leitura do sensor de umidade do solo no Grupo 1, caso a umidade seja superior ao seu PLI, nenhuma ação ocorre, mas caso seja inferior ao seu PLI, então sua respectiva válvula solenoide se abre e é dada a partida na bomba. Esta irá funcionar pelo tempo calculado, que varia de acordo com o mês e a demanda hídrica do grupo. Após este tempo, ela é desligada e a válvula G1 é fechada. Em seguida inicia-se o mesmo ciclo para o Grupo 2. Este ciclo ocorre para todos os quatro grupos e ocorre duas vezes durante o dia, às 6 hs e às 18 hs.

### **2.2.1. Características do solo**

Para a determinação da lâmina a ser irrigada, determinou-se os seguintes parâmetros do solo: capacidade de campo (*CC*), ponto de murcha permanente (*PMP*), densidade aparente (*Da*) e textura. Como a área é pequena e homogênea, foram coletadas duas amostras para a *CC* e *PMP*, e três para textura e *Da*, todas com profundidade de 0 a 20 cm, pois esta é a região do solo que concentra a maior parte das raízes das espécies utilizadas. As amostras foram coletadas, armazenadas e analisadas segundo a metodologia da EMBRAPA (2011).

A capacidade de infiltração de água no solo também foi determinada, pois não é desejável que exista escoamento superficial durante a irrigação, resultando na redução de sua eficiência. Utilizou-se o teste do infiltrômetro de anel, descrita por Bernardo et al. (2008), para simular a capacidade de infiltração.

### **2.2.2. Evapotranspiração de referência**

Os valores de evapotranspiração de referência (*ET<sub>o</sub>*) são usados como principal parâmetro para o cálculo da demanda de água de paisagens e culturas agrícola. Para sua determinação utilizou-se as equações de Penman-Monteith FAO 56 (Allen et al., 1998) a partir do uso do software REF-ET (Allen, 2000). Para este método, a estimativa da *ET<sub>o</sub>* é calculada utilizando os dados de temperatura (°C), umidade relativa (%), velocidade do vento (m/s) e radiação (MJ/m<sup>2</sup>), parâmetros meteorológicos importantes que afetam a taxa de evapotranspiração.

Os dados meteorológicos foram obtidos da estação localizada na cidade de Viçosa-MG, a 830 metros da unidade experimental, e que obtém dados diários das variáveis. Para esta análise foram utilizados os dados de 2004 a 2011.



### 2.2.3. Irrigação total necessária

O jardim da unidade conceito possui 13 espécies vegetais, entre elas plantas ornamentais rasteiras, arbustivas, gramados e trepadeiras. A determinação da estimativa de necessidade hídrica ou evapotranspiração da paisagem ( $ETp$ ) para as espécies presentes no jardim seguiu a metodologia proposta por Costello et al. (2000), reportada como a melhor metodologia por Nouri et al. (2013). O autor utilizou o método WUCOLS, que é baseado na multiplicação entre  $ETo$  (mm) e coeficiente de paisagem,  $KL$  (adimensional), para assim, obter o  $ETp$  (mm), conforme a Equação 1.

$$ETp = ETo \times KL \quad (\text{Eq.1})$$

A determinação do  $KL$ , adequado para cada paisagem, incluiu considerações sobre o fator de espécies ( $Ks$ ), fator de densidade ( $Kd$ ) e fator de microclima ( $Kmc$ ), sendo calculado pelo produto de todos os fatores, conforme a Equação 2.

$$KL = Ks \times Kd \times Kmc \quad (\text{Eq.2})$$

Os valores de  $Ks$ ,  $Kd$  e  $Kmc$  foram definidos para cada espécie seguindo as recomendações de Costello e Jones (1994), que definem intervalos para os fatores analisados. Os valores de  $KL$  foram colocados em ordem crescente e as espécies com demanda hídrica semelhantes foram agrupados. Para cada um dos grupos definidos, utilizou-se o valor de  $KL$  da espécie mais sensível para a determinação da  $ETp$ .

Para estimar a lâmina líquida a ser aplicada foi necessário calcular a menor umidade do solo em que as espécies conseguem absorver água sem que haja deficiência hídrica, conhecido como umidade crítica ( $UC$ ). Para determiná-la foi utilizada a  $CC$  (% em volume),  $PMP$  (% em volume) e o fator de disponibilidade hídrica ( $f$ ). O valor de  $f$  foi retirado da tabela apresentada por The Irrigation Association (2005) e varia de acordo com textura do solo. No caso do solo franco-argiloso, este valor é de 0,40. Portanto através da Equação 3 foi possível determinar a  $UC$  (% em volume) do solo.

$$UC = CC - [(CC - PMP) \times f] \quad (\text{Eq.3})$$

Visando a aplicação mínima de água, mas sem causar déficit hídrico, adotou-se que a lâmina a ser aplicada diariamente foi a mesma durante todo mês e correspondeu à média da evapotranspiração máxima diária da paisagem encontrada na série histórica do respectivo mês. Este valor foi adotado porque representa a média mensal da maior perda de água do solo durante um único dia. Desta forma garante-se que a umidade do solo seja suficiente para evitar o déficit hídrico das plantas. Ainda, foi levada em consideração a eficiência da irrigação (*EI*), adotada em 80%, de acordo com as características da área e baseando nos estudos de Costello et al. (2000). Portanto a irrigação total necessária, *ITN* (mm), para cada grupo, definida para cada mês, pode ser calculada pela Equação 4.

$$ITN_{\text{paisagem,mês}} = \frac{ETp_{\text{média das máximas diárias}}}{EI} \quad (\text{Eq. 4})$$

#### 2.2.4. Calibração dos sensores de umidade

A calibração dos sensores capacitivos de umidade nas diferentes demandas hídricas seguiu a metodologia semelhante à de Starr e Palineanu (2002). Entretanto, conforme proposto por Topp e Ferré (2002a e 2002b), as amostras de solo foram secas utilizando forno micro-ondas, reduzindo o tempo gasto na calibração. Através de um cilindro com massa e volume conhecidos, a amostra de solo indeformado saturado foi coletada. Esta amostra foi seca em micro-ondas em baixa potência e a cada dois minutos sua massa foi novamente medida. Também nestes intervalos, foi introduzida a haste do sensor e, através de um voltímetro, foi quantificada a voltagem necessária para sensibilizar o sensor.

A umidade volumétrica do solo foi calculada de acordo com a Equação 5, em que *Uv* é a umidade volumétrica do solo (%), *MSU* é a massa do solo úmido (g), *MSS* é a massa do solo seco (g), *MR* é a massa do recipiente (g) e *d* é a densidade do solo (g/cm³).

$$Uv = \left[ \frac{(MSU + MR) - (MSS + MR)}{MSS} x dx 100 \right] \quad (\text{Eq. 5})$$

Por fim, foi realizada a regressão linear para calibração dos sensores, correlacionando as voltagens lidas nos sensores, juntamente com suas respectivas umidades volumétricas. Desta forma foi possível regular o sensor de umidade para que funcionasse no momento pretendido.

#### **2.2.5. Instalação, operação e avaliação do sistema de irrigação**

Para os grupos de demanda baixa, média e alta foram utilizados 29 aspersores com bicos ajustáveis, que permitiram o ajuste do ângulo de aspersão, reduzindo as perdas indesejáveis. O sistema de irrigação foi instalado sobre o jardim permitindo a movimentação dos aspersores buscando a melhor posição, tornando a irrigação mais homogênea, aumentando sua eficiência. No grupo de demanda muito alta, optou-se pelo uso de microgotejadores com vazão ajustável porque as flores da *Impatiens hawkeri* são sensíveis ao contato direto com a água.

Foram definidos dois turnos de rega fixos, para garantir que nos dias extremos, em que a perda por evapotranspiração foi superior ao normal, o segundo turno complementou a umidade do solo, garantindo que não houvesse estresse hídrico. Os turnos iniciaram às 6:00 hs e às 18:00 hs, horários em que as perdas por evaporação são menores.

A unidade foi monitorada no final do período de seca e início do período chuvoso a fim de validar seu funcionamento. Após a validação, foi realizada a estimativa do consumo da irrigação ao longo 2012. Este cenário da irrigação automática foi comparado com outro cenário, o da irrigação manual, para quantificação da economia.

A irrigação manual, que antes da instalação da unidade conceito era realizada por um funcionário às segundas, quartas e sextas, exceto quando amanhecia chovendo, e consumia, em média, 1,5 m<sup>3</sup> por vez.

## **2.3. Sistema de aproveitamento de água pluvial**

### **2.3.1. Sistema de tratamento**

Este sistema foi projetado com a premissa de garantir o fornecimento de água pluvial com a qualidade requerida para a irrigação, funcionando de forma automática, simples, rápida e com o mínimo de supervisão.

Para tanto, o sistema adotado direcionou as água coletadas no telhado do LESA, que possui 380 m<sup>2</sup>, para o reservatório de armazenamento, após passar por uma caixa removedora de sólidos grosseiros. Não foi utilizado reservatório de água tratada, uma vez que o tratamento da água ocorreu simultaneamente com a irrigação.

Para seleção de meio filtrante, considerando fatores como custo, tamanho, rendimento, operacionalidade e manutenção, optou-se pelo uso de filtros de polipropileno de 5 µm seguidos de filtro de carvão ativado.

Para avaliar o desempenho do sistema foram coletadas 40 amostras de água bruta e tratada durante seu funcionamento. A água pluvial foi armazenada durante o final da estação chuvosa e início da estação seca, entre fevereiro e junho de 2012. Os parâmetros analisados foram pH, condutividade elétrica (CE), demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade, cor, turbidez, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos em suspensão totais (SST), Coliformes totais e *E. coli*. Os parâmetros pH, condutividade e turbidez foram medidos *in loco*, utilizando pHmetro, condutivímetro e turbidímetro portáteis devidamente calibrados. Os demais parâmetros foram analisados de acordo com a metodologia descrita no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 2012).

Os resultados foram comparados com as recomendações de Ayers e Westcot (1985) sobre a qualidade da água para irrigação e com a USEPA (2012).

### 2.3.2. Dimensionamento do reservatório

O dimensionamento do sistema foi realizado segundo a metodologia descrita no item II-2.3.4. Foram utilizados dados pluviométricos do período compreendido entre 2004 e 2012. A determinação do tamanho do reservatório de armazenamento levou em consideração o melhor custo-benefício, confrontando o potencial de economia e o custo do reservatório para diferentes tamanhos.

Para garantir que sempre houvesse água para a irrigação do jardim, foi instalada uma boia de nível no fundo do reservatório. Desta forma, sempre que o nível do reservatório ficou abaixo do nível crítico, que é o suficiente para completar um turno de rega, ele recebeu água da concessionária local, coibindo os efeitos indesejáveis dos longos períodos de estiagem.

### 2.4. Sistema fotovoltaico

Adotou-se o sistema fotovoltaico (SF) do tipo *stand-alone*, fora da rede externa, pois em Viçosa ainda não é possível que as redes de energia sejam interligadas. Utilizou-se a metodologia das planilhas do Manual do CRESESB (1999), que foram traduzidas do Manual “*Stand-Alone Photovoltaic Systems – A Handbook of Recommended Design Practices*”, produzido pela Sandia National Laboratories. A Tabela IV-1 apresenta os valores para a potência total do sistema, horas diárias de funcionamento e consumo Wh/dia.

**Tabela IV-1. Cargas consideradas para o dimensionamento do SF**

| Cargas                                    | Potência (W) | Horas diárias de funcionamento (horas/dia) | Consumo (Wh/dia)<br>E=90% |
|-------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| Bomba 1 cv                                | 735,5        | 1,0                                        | 817,2                     |
| Válvulas solenóide, eletrobóia e sensores | 40,0         | 1,0                                        | 44,4                      |

Após o dimensionamento do sistema, foi realizada a aquisição de seus componentes tais como painéis fotovoltaicos, baterias estacionárias, controlador de carga e inversor de voltagem.

## 2.5. Estudo de viabilidade econômica

Para o estudo da viabilidade econômica da unidade conceito foram consideradas as tarifas de R\$ 4,61 referente ao custo do m<sup>3</sup> água e de R\$ 0,56 o custo do kWh, valores praticados em Viçosa. Ainda foram considerados os custos referentes aos materiais, equipamentos e mão-de-obra para instalação dos sistemas, conforme apresentado na Tabela IV-2.

**Tabela IV-2. Custo unitário da unidade conceitual**

|                                                      |                      |
|------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>Sistema de tratamento de água de chuva - SAAP</b> | <b>R\$ 7.240,00</b>  |
| Removedor de sólidos grosseiros                      | R\$ 50,00            |
| Filtros de polipropileno                             | R\$ 260,00           |
| Filtros de carvão ativado                            | R\$ 320,00           |
| Tubos e conexões                                     | R\$ 500,00           |
| Caixas d'água                                        | R\$ 2.560,00         |
| Bomba centrífuga                                     | R\$ 550,00           |
| Mão de obra para instalação                          | R\$ 3.000,00         |
| <b>Sistema fotovoltaico - SF</b>                     | <b>R\$ 15.775,93</b> |
| Painéis fotovoltaicos                                | R\$ 2.488,68         |
| Baterias                                             | R\$ 3.232,68         |
| Inversor                                             | R\$ 3.500,00         |
| Controlador de carga                                 | R\$ 1.254,57         |
| Quadro                                               | R\$ 800,00           |
| Fios e conduítes                                     | R\$ 1.500,00         |
| Mão de obra para instalação                          | R\$ 3.000,00         |
| <b>Sistema de irrigação automatizada</b>             | <b>R\$ 8.420,00</b>  |
| Componentes eletrônicos                              | R\$ 3.270,00         |
| Fios e conduítes                                     | R\$ 1.500,00         |
| Mangueiras, tubos e aspersores                       | R\$ 1.800,00         |
| Mão de obra para instalação                          | R\$ 1.850,00         |

Quanto às economias geradas pela unidade conceitual, considerou-se apenas a economia gerada com a água e energia utilizada efetivamente e não a potencial, uma vez que há grande excedente de hídrico e energético. Também foi contabilizada a economia de mão-de-obra, uma vez que a irrigação manual demanda um funcionário, três vezes por semana, durante duas horas, enquanto a automática precisa de no máximo uma hora por semana. Já os

custos de operação levaram em conta a substituição do refil dos filtros, consumo de cloro e das baterias, que possuem vida útil de cinco anos. Os demais equipamentos não foram contabilizados, pois possuem vida útil superior ao período avaliado de 15 anos.

A partir destes valores e da economia gerada simulada para 2012, com base no desempenho alcançado pela unidade conceito, realizou-se a análise da viabilidade econômica. A metodologia adotada foi a mesma descrita no item II.2.5.

## **2.6. Análise de sensibilidade**

A análise de sensibilidade procura determinar o efeito da variação de um determinado item no seu valor total, tornando-se um instrumento útil para avaliar diferentes cenários. Neste contexto, foram investigados outros cinco cenários.

- Cenário 1 - SF do tipo *grid-connected*, ou seja, não é necessário o uso de baterias, uma vez que a energia gerada vai direto para rede elétrica da concessionária;
- Cenário 2 - O reservatório de armazenamento de água pluvial com 20 m<sup>3</sup> e aproveitamento do excedente hídrico em outros usos não potáveis do LESA, após a cloração da água tratada. Previu-se o consumo de 1,0 m<sup>3</sup> por dia, baseado no consumo não-potável no edifício;
- Cenário 3 - Tarifa de água de R\$ 11,13/m<sup>3</sup>, valor praticado na cidade do Rio de Janeiro, uma cidade de grande porte e que possui uma das maiores tarifas do país (CEPAI, 2009);
- Cenário 4 - Combinação dos Cenários 2 e 3;
- Cenário 5 - Combinação dos Cenários 1, 2 e 3.

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1. Sistema de irrigação automatizada

##### 3.1.1. Características do solo

Os parâmetros físicos das amostras de solo coletadas são apresentados na Tabela IV-3. A textura do solo, classificada como franco-argilosa, apresenta quantidade superior de areia frente ao silte e argila, e reflete na maior densidade do solo. Isto indica uma redução do volume de água que o solo é capaz de armazenar.

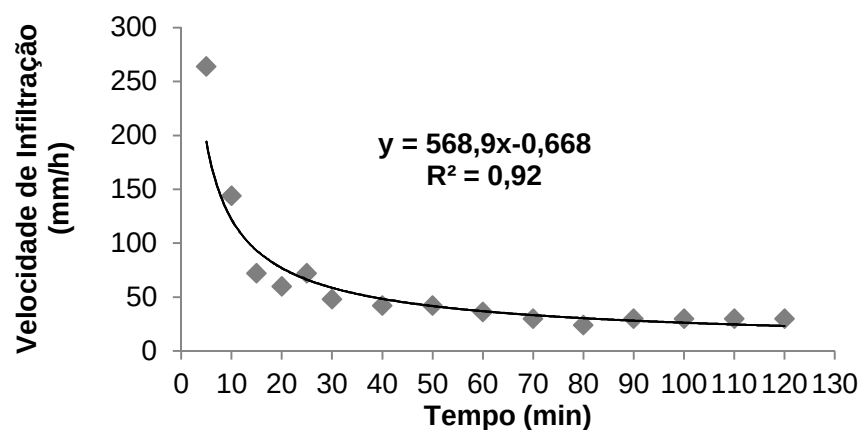
**Tabela IV-3. Parâmetros físicos do solo avaliado no jardim**

| Amostras | Parâmetro     |                     |                      |                            |                 |
|----------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------------|-----------------|
|          | Prof.<br>(cm) | CC<br>(% em volume) | PMP<br>(% em volume) | Da<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Textura         |
| 1        | 0 -20         | 39,29               | 20,44                | 1,38                       | Franco-argilosa |
| 2        | 0 -20         | 42,00               | 20,77                | 1,37                       | Franco-argilosa |
| 3        | 0 -20         | -                   | -                    | 1,47                       | Franco-argilosa |
| Média    |               | 40,64               | 20,50                | 1,41                       | -               |

Prof.=profundidade, CC= capacidade de campo, PMP= ponto de murcha permanente, Da= densidade aparente.

Devido às características do solo, já era esperado que a velocidade de infiltração, determinada pelo teste do infiltrômetro, fosse elevada nos primeiros minutos, evidenciado na Figura IV-2. Nos primeiros instantes a velocidade de infiltração ficou acima de 150 mm/h e, gradativamente, foi diminuindo até alcançar o valor constante de 30 mm/h, denominado de velocidade de infiltração básica do solo (VIB). A determinação do VIB permitiu identificar a intensidade de aplicação (Ia) a ser utilizada nos aspersores e gotejadores no sistema, pois valores de Ia maiores que VIB levam a perdas de água no solo por escoamento superficial, que não foi o caso.

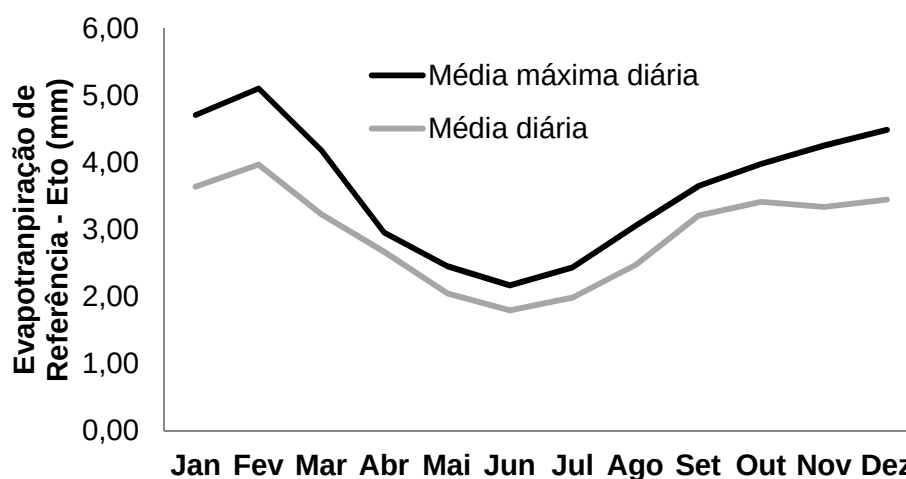




**Figura IV-2. Velocidade de infiltração da água no solo**

### 3.1.2. Evapotranspiração de referência

A partir dos dados históricos, obteve-se a evapotranspiração de referência, conforme apresentado na Figura IV-3. Os maiores valores ocorreram durante o verão, entre dezembro e fevereiro, enquanto os menores valores ficaram entre maio e julho, no inverno. A média máxima diária ficou sempre acima da média diária, pois considera os eventos extremos durante o período analisado. Ele foi utilizado como referência para evitar que houvesse déficit hídrico em dias extremos.



**Figura IV-3. Evapotranspiração de referência – Eto (2004-2011)**

### 3.1.3. Irrigação total necessária

O coeficiente de paisagem (KL) calculado, os fatores utilizados, os grupos e a área que eles abrangem são apresentados na Tabela IV-4. Foram definidos quatro grupos com demandas hídricas semelhantes, entretanto para a irrigação, a demanda alta foi dividida em duas áreas, devido sua extensão.

**Tabela IV-4. Coeficiente das paisagens e grupo de demanda**

| Espécie                                | Ks  | Kd  | Kmc | KL   | Grupo de Demanda | Área (m²) |
|----------------------------------------|-----|-----|-----|------|------------------|-----------|
| <i>Alcantarea imperialis</i>           | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,11 | G1 – Baixa       | 105,8     |
| <i>Agave attenuata</i>                 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,11 |                  |           |
| <i>Dracaena marginata</i>              | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,11 |                  |           |
| <i>Beaucarnea recurvata</i>            | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,11 |                  |           |
| <i>Senecio douglasii</i>               | 0,3 | 1,0 | 0,7 | 0,21 |                  |           |
| <i>Plumeria rubra</i>                  | 0,3 | 1,0 | 0,7 | 0,21 |                  |           |
| <i>Paspalum notatum</i><br>(Sombreado) | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,25 |                  |           |
| <i>Ixora coccinea</i>                  | 0,6 | 1,0 | 0,5 | 0,30 | G2 – Média       | 37,8      |
| <i>Bougainvillea spectabilis</i>       | 0,3 | 1,0 | 1,0 | 0,30 |                  |           |
| <i>Paspalum notatum</i> (Sol fraco)    | 0,5 | 1,0 | 0,8 | 0,40 |                  |           |
| <i>Arundina bambuseifolia</i>          | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,45 | G3 – Alta        | 125,5     |
| <i>Arachis repens</i>                  | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 0,50 |                  |           |
| <i>Paspalum notatum</i> (Sol forte)    | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 0,50 |                  |           |
| <i>Breynia disticha</i>                | 0,6 | 1,0 | 1,0 | 0,60 |                  |           |
| <i>Impatiens hawkeri</i>               | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,08 | G4 – Muito Alta  | 19,2      |

Os valores de KL inferiores a 1,0, das demandas baixa, média e alta, indicam que estas espécies estão sofrendo interferência em algum dos fatores avaliados (espécie, densidade e microclima) de forma a reduzir a evapotranspiração de referência. Apenas a demanda muito alta, da *Impatiens hawkeri*, possui a evapotranspiração maior que a de referência, que foi influenciada pelo seu microclima (altas taxas de insolação e proximidade do passeio de cimento que ajuda a absorver calor).

A umidade crítica do solo calculada foi de 32,6%, ou seja, para que não haja déficit hídrico, é necessário que a umidade do solo fique sempre acima deste

valor. Já o valor da irrigação total necessária, que varia para cada demanda e mês, é apresentado na Tabela IV-5.

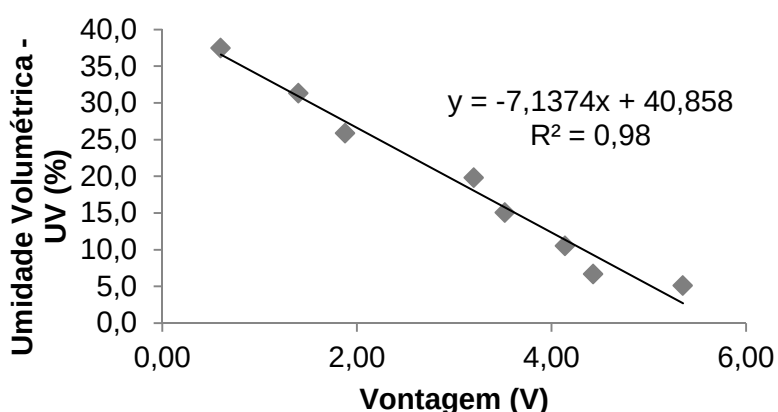
**Tabela IV-5. Irrigação total necessária – IRT (mm)**

| Demanda         | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| G1 - Baixa      | 1,47 | 1,59 | 1,31 | 0,92 | 0,77 | 0,68 | 0,76 | 0,95 | 1,14 | 1,24 | 1,33 | 1,40 |
| G2 - Média      | 2,35 | 2,55 | 2,37 | 1,48 | 1,23 | 1,08 | 1,22 | 1,53 | 1,82 | 1,99 | 2,13 | 2,24 |
| G3 - Alta       | 3,53 | 3,83 | 3,14 | 2,22 | 1,84 | 1,62 | 1,83 | 2,29 | 2,73 | 2,98 | 3,19 | 3,37 |
| G4 - Muito Alta | 6,36 | 6,89 | 5,64 | 3,99 | 3,31 | 2,92 | 3,29 | 4,12 | 4,92 | 5,37 | 5,74 | 6,06 |

A irrigação total necessária das demandas baixa, média e alta, foram em média, 23%, 37% e 57%, respectivamente, da demanda altíssima. Isto demonstra como o volume de água gasto na irrigação é afetado pelas espécies, densidade e microclima.

### 3.1.4. Calibração dos sensores de umidade

As voltagens lidas nos sensores, suas respectivas umidades volumétricas, e a equação de regressão da calibragem do sensor, são apresentadas na Figura IV-4.

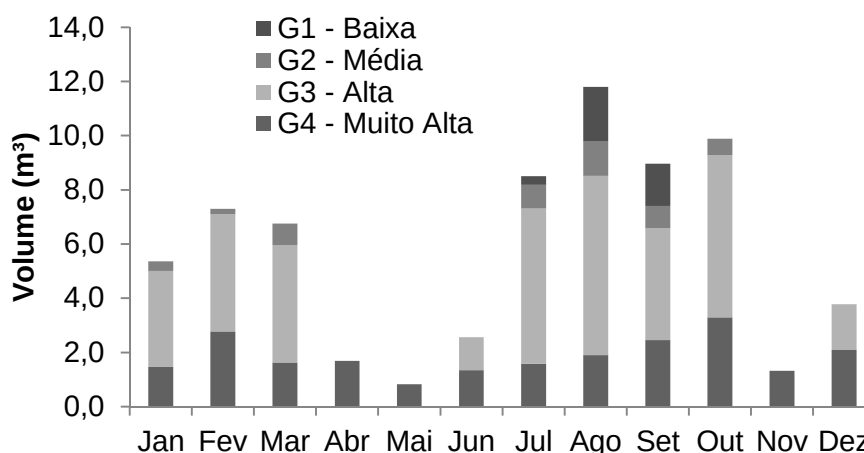


**Figura IV-4. Calibração do sensor de umidade**

Através desta equação foi possível regular o sensor de umidade para que o sistema de irrigação fosse acionado no momento ideal.

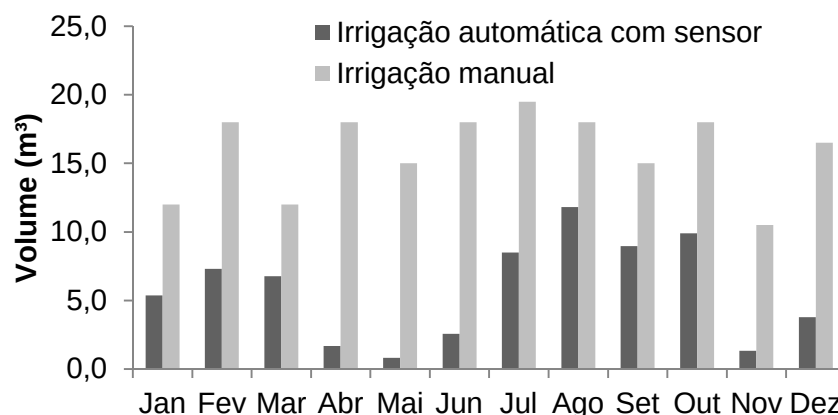
### 3.1.5. Avaliação do sistema de irrigação

A irrigação automática da unidade conceito, conforme descrito anteriormente, é realizada apenas quando a umidade do solo é inferior ao ponto limite de irrigação (PLI) e o volume irrigado é o suficiente para repor a evapotranspiração máxima diária da paisagem. O volume de água consumido na irrigação com o uso de sensores no ano de 2012 para cada demanda é apresentado na Figura IV-5. Os grupos, em ordem decrescente de demanda, consumiram ao longo do ano 22,4, 37,6, 4,9 e 3,9 m<sup>3</sup>, totalizando 68,8 m<sup>3</sup>. O volume consumido pela demanda alta foi maior porque sua área também era maior. Entretanto, considerando o consumo de água por área, tem-se que, em ordem decrescente de demanda foi de 1165, 299, 130 e 37 L/m<sup>2</sup>.



**Figura IV-5. Volume de água gasto na irrigação com o uso dos sensores em 2012**

Já a irrigação manual, simulada para 2012, consumiu 190,5 m<sup>3</sup>. Os volumes mensais consumidos nestes dois tipos de irrigação são apresentados na Figura IV-6.



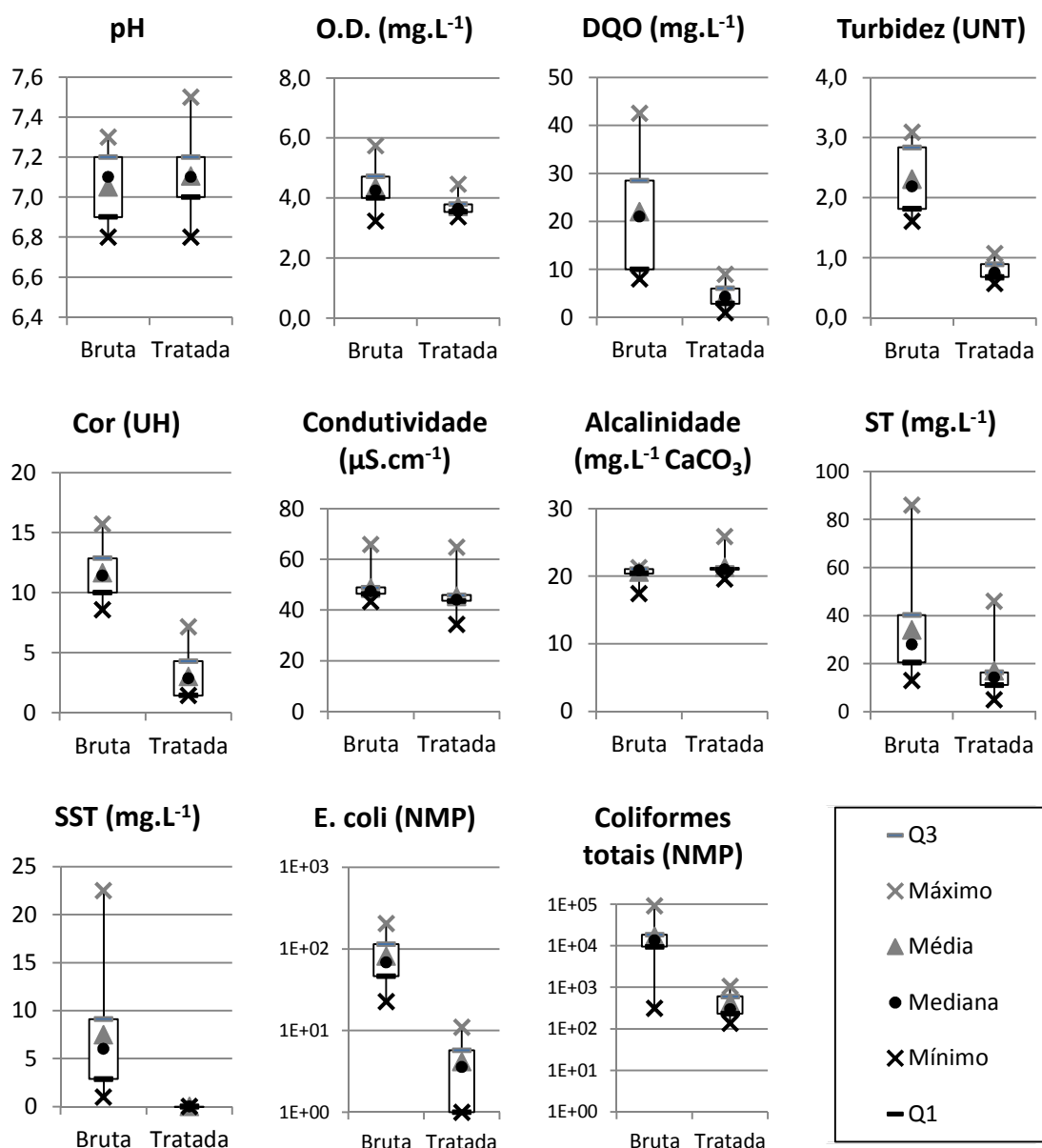
**Figura IV-6. Volume consumido na irrigação**

A irrigação automática da unidade conceito, para o ano de 2012, foi capaz de reduzir em 64% o volume de água gasto na irrigação manual, valor próximo aos trabalhos levantados por Salvador et al. (2011). Destacam-se os meses de abril, maio e junho em que o volume gasto com a irrigação manual foi muito elevado, 51 m³, enquanto o da unidade conceitual seria de apenas 5 m³. Além disso, durante o período de seca em 2012, de junho a setembro, a unidade conceitual permitiu a redução de 55% do consumo. Isto ocorre porque geralmente os funcionários que irrigam não possuem conhecimento técnico, realizando esta atividade sistematicamente, sem verificar a umidade do solo ou o estado da planta, sendo seu objetivo manter o jardim exuberante, sem se preocupar com o volume de água consumido.

### **3.2. Sistema de aproveitamento de água pluvial**

#### **3.2.1. Sistema de tratamento**

Os dados referentes ao monitoramento do SAAP estão apresentados na Figura IV-7.



**Figura IV-7. Resultados do monitoramento da água pluvial bruta e tratada**

O valores de pH ficaram dentro da faixa recomendada, permanecendo entre 6,8 e 7,5. Os valores próximos à neutralidade ocorreram porque Viçosa é uma cidade pequena, com poucas indústrias e, conseqüentemente, possui baixas concentrações de NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> em sua atmosfera. Estes valores entre 6,5 a 8,4 são ideais para a irrigação e é recomendável que sejam inferiores a 7,0 para que o risco de entupimento seja baixo (Ayers e Westcot, 1985).

Os valores de OD e DQO na água bruta indicaram uma pequena presença de matéria orgânica que foi carregada dos telhados, que pode ser fezes de animais, entretanto a filtração foi capaz de remover grande parte dela.

Os valores de turbidez na água bruta não foram elevados, pois os reservatórios de armazenamento serviram como decantadores e a sucção da água ocorreu a 10 cm do fundo. Ainda assim, a filtração reduziu os valores de turbidez, permanecendo sempre inferiores a 1,1 UNT.

A cor aparente também ficou baixa nas amostras de água bruta, abaixo de 16 uH, e inferior a 7 uH nas amostras de água tratada devido sua remoção pelo filtro de carvão ativado. Estes valores indicam que para o uso pretendido este equipamento é dispensável.

Não houve variação significativa da CE após o tratamento, apesar dos valores de ST e SST reduzirem após a filtração. Como os valores de CE ficaram abaixo de  $65 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ , não há restrição ao uso na irrigação.

Já os valores de alcalinidade sofreram um pequeno aumento, assim como os de pH, após o tratamento, que pode ser efeito do filtro de carvão ativado (Valle et al., 2005). Entretanto todos permaneceram dentro do limite para aproveitamento.

A filtração também diminuiu a contaminação biológica, sendo que os Coliformes totais ficaram abaixo de  $1 \times 10^1 \text{ NMP}.100\text{mL}^{-1}$  e a *E. coli* de  $1 \times 10^3 \text{ NMP}.100\text{mL}^{-1}$ . Estes valores são considerados aceitáveis para irrigação de culturas não alimentares em diversos países (USEPA, 2012).

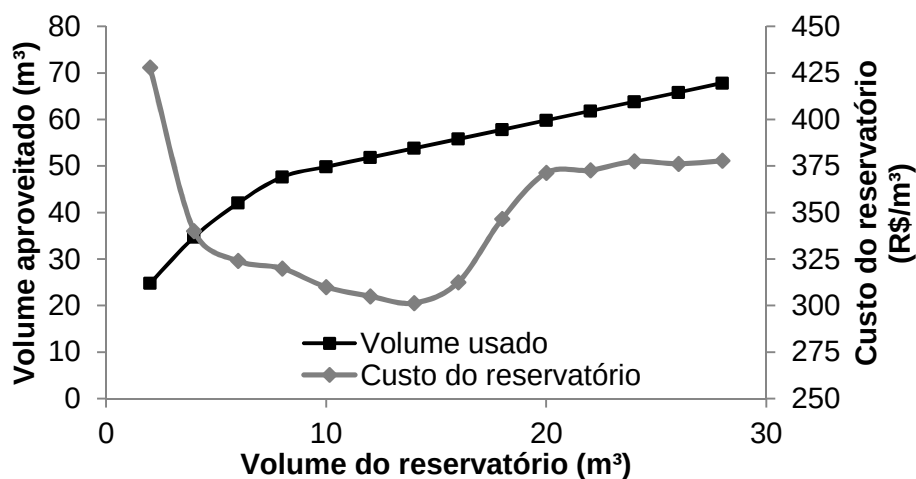
Em geral, a água bruta apresentou boa qualidade e fácil tratabilidade. Isto pode ser explicado pela limpeza periódica do telhado e pelos grandes reservatórios de armazenamento, garantindo a prolongada decantação dos sólidos.

A faixa de valores para os parâmetros analisados da água bruta permitem inferir que não há necessidade da utilização do *first flush*, o descarte das primeiras chuvas que limpam o telhado. Ele reduziria a disponibilidade da água pluvial sem alterar significativamente a qualidade da água.

Portanto o tratamento proposto atendeu à qualidade necessária para seu aproveitamento na irrigação de áreas verdes (Ayers e Westcot, 1985; USEPA, 2012) e poderia atender outros usos mais nobres caso fosse realizada a cloração.

### 3.2.2. Dimensionamento do reservatório

O dimensionamento do reservatório considerou o melhor custo benefício. Conforme apresentado na Figura IV-8, o volume aproveitado tem um ponto de inflexão próximo a 8 m<sup>3</sup>, tamanho adotado, indicando que a partir deste ponto o o crescimento do volume aproveitado reduz com o aumento do tamanho do reservatório. Além disso, para este volume o custo da fibra está próximo do limite inferior, resultando no melhor custo-benefício.

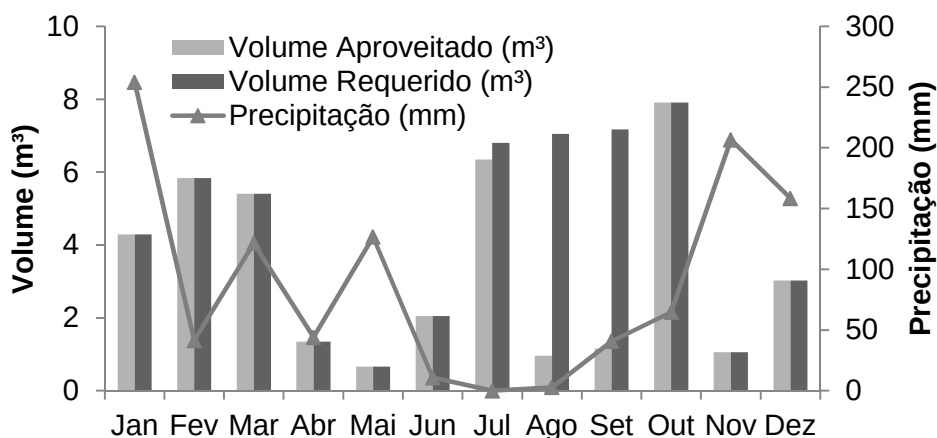


**Figura IV-8. Volume aproveitado x Custo**

A Figura IV-9 apresenta o volume precipitado, aproveitado e a precipitação em 2012. Neste ano o volume total que precipitou sobre a área do telhado foi de 367 m<sup>3</sup>, entretanto como a demanda da irrigação foi pequena, 68,8 m<sup>3</sup>, foi possível aproveitar 47,6 m<sup>3</sup>. Apenas em julho, agosto e setembro a demanda não foi suprida totalmente.



Considerando o período de seca deste ano, a água pluvial atendeu 34% da demanda. Entretanto, para que toda demanda da irrigação fosse atendida por ela, seria necessário utilizar um reservatório de 30 m<sup>3</sup>.



**Figura IV-9. Volumes precipitados e aproveitados na irrigação**

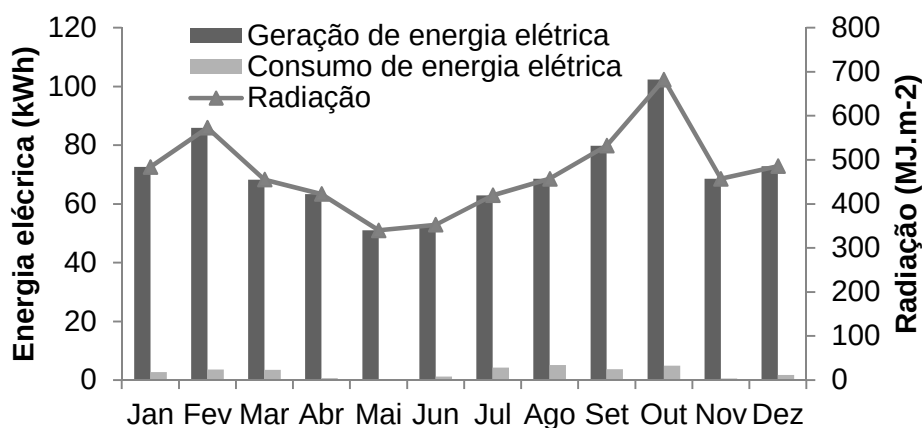
O volume de água pluvial aproveitado está diretamente relacionado à necessidade hídrica da unidade, sendo possível aproveitar maiores volumes, caso haja outras necessidades, conforme será apresentado na análise de sensibilidade.

### 3.3. Sistema fotovoltaico

O SF dimensionado era composto por dois painéis fotovoltaicos de 135W, duas baterias de 170 Ah, um controlador de carga de 20A/24V e um inversor de energia de 1000w/24V. Entretanto, ele precisou sofrer pequenas modificações, pois apesar de suprir a demanda de energia da unidade conceito, o inversor não conseguia dar partida na bomba, uma vez que a corrente de partida era mais alta do que ele suportava. Este tipo de problema é comum quando se usa motores elétricos. Para solucioná-lo foi necessário substituir o inversor por um mais potente, contudo este exige uma voltagem maior, 48V, e por isso foram adicionados mais dois painéis e duas baterias com as mesmas especificações.

Com a adição dos novos painéis, a geração de energia ficou ainda maior, gerando excedente, conforme apresentado na Figura IV-10. Em 2012, os

painéis geraram 849 kWh, enquanto o valor consumido pela unidade conceito foi de apenas 30,4 kWh.



**Figura IV-10. Energia gerada pelo SF e consumido pela unidade conceito**

### 3.4. Estudo de viabilidade econômica

O sistema mais caro foi o fotovoltaico, custando sozinho praticamente o mesmo valor do sistema de irrigação junto com o SAAP. Apesar da tecnologia para aproveitamento da energia solar ter decrescido consideravelmente na última década, ainda possui elevado custo. A Tabela IV-6 apresenta a análise da viabilidade econômica da unidade conceitual.

**Tabela IV-6. Análise da viabilidade econômica da unidade conceito**

| Custo da unidade (R\$) | Custo de operação no primeiro ano (R\$) | Valor economizado no primeiro ano (R\$) | PD (anos) | TIR (15 anos) | VPL (15 anos) |
|------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------|---------------|---------------|
| 31.435,93              | 1.189,54                                | 3.318,89                                | 16,6      | 5,8%          | -2.909,17     |

Apesar do custo da unidade não ser elevado, a não utilização do excedente hídrico e energético limitou o valor anual economizado. Para as condições adotadas, do ponto de vista econômico, o investimento necessário para implantar a unidade conceitual foi considerado inviável. Isto porque o PD é longo e a TIR após 15 anos é inferior à TMA, que corresponde ao valor pago pela caderneta de poupança, ou seja, a aplicação do dinheiro na caderneta de

poupança é mais rentável. Além disso, o VPL ficou negativo, confirmando que o investimento não possui retorno durante o período avaliado.

### 3.5. Análise de sensibilidade

A análise de viabilidade econômica para os cenários propostos é apresentada na Tabela IV-7.

**Tabela IV-7. Análise da viabilidade econômica dos cenários**

| Cenário | Custo da unidade (R\$) | Custo de operação no primeiro ano (R\$) | Valor economizado no primeiro ano (R\$) | PD (anos) | TIR (15 anos) | VPL (15 anos) |
|---------|------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------|---------------|---------------|
| C1      | 24.120,96              | 543,00                                  | 3.993,22                                | 7,6       | 17,5%         | 22.101,27     |
| C2      | 36.801,93              | 1.239,54                                | 4.765,84                                | 11,4      | 10,7%         | 10.439,59     |
| C3      | 31.435,93              | 1.189,54                                | 4.423,34                                | 11,0      | 11,8%         | 11.886,99     |
| C4      | 36.801,93              | 1.239,54                                | 6.726,37                                | 7,3       | 18,3%         | 36.704,53     |
| C5      | 29.486,96              | 593,00                                  | 7.178,75                                | 4,9       | 27,3%         | 58.741,51     |

O C1, que considerou o uso do sistema fotovoltaico *grid-connected*, conseguiu a maior redução do custo inicial da unidade, 23%, assim como no custo de operação, 54%. Já o uso do excedente energético em outras atividades conseguiu gerar o aumento da economia em 20%. Estes três fatores combinados resultaram num baixo PD, 7,6 anos, e elevados TIR e VPL. Neste cenário foi possível a economia de 849 kWh de energia, 819 kWh a mais.

O C2, ao considerar o uso do excedente hídrico em outras atividades, precisou de um reservatório maior e da cloração da água, refletindo no aumento do investimento inicial em 17%, e num pequeno aumento do custo de operação devido ao cloro. Apesar da economia anual ser 44% maior, devido ao maior aproveitamento da água pluvial, o PD foi de 11,4 anos e a TIR de 10,7%. Neste cenário foi possível a economia de 255 m<sup>3</sup> de água potável, 207 m<sup>3</sup> a mais.

O C3, em que o valor da água potável é maior, teve os custos da unidade e da operação sem alteração. Já a economia anual aumentou 33%, refletindo na redução do PD para 11,0 anos, melhora da TIR e aumento do VPL.

O C4, que combinou o C2 e o C3, apesar de elevar o custo da unidade e da operação, permitiu uma economia anual 103% maior, devido ao maior aproveitamento da água pluvial e maior custo da água potável. O PD reduziu para 7,3 anos, a TIR aumentou para 18,3% e o VPL ficou acima de 36 mil. Neste cenário também foi possível a economia de 255 m<sup>3</sup> de água potável.

O C5 apresentou-se a mais rentável. Ao combinar o C1, C2 e C3, foi possível reduzir o investimento inicial em 6%, reduzir o custo de operação em 50% e aumentar a economia anual em 116%. O PD é de apenas 4,9 anos e a TIR aumentou para 27,3%. Neste cenário foi possível a economia de 849 kWh de energia e 255 m<sup>3</sup> de água potável.

Todos os cenários propostos apresentaram-se viáveis economicamente, pois possuíam PD baixos, TIR superiores à TMA e VPL positivos. As variáveis, em ordem crescente, que mais influenciaram na atratividade foram o uso do excedente hídrico, aumento do custo da água potável e o uso do sistema fotovoltaico *grid-connected* com aproveitamento do excedente energético.

Um ponto a se considerar é que a taxa de inflação aplicada para o reajuste da tarifa de água potável foi conservadora. A tendência é que ela seja reajustada acima da inflação devido aos problemas de escassez, tornando o investimento mais rentável.

Outro ponto a se considerar é que as tecnologias verdes têm ganhado destaque nos últimos anos. Existe um público específico que as adotam levando em consideração seus impactos ambientais e não seu retorno financeiro. Também devem ser considerados os efeitos positivos que elas agregam à imagem de empreendimentos frente à sociedade e aos acionistas, impulsionando as ações de marketing.

#### **4. Conclusões e recomendações**

As paisagens urbanas proporcionam inúmeros serviços sociais, ambientais e econômicos, entretanto consomem grandes volumes de água e energia para sua manutenção. Desta forma buscaram-se soluções para tornar a irrigação sustentável.

Diferente dos estudos anteriores que analisam tecnologias isoladas, o presente estudo as integrou a fim de verificar se seria possível tornar a irrigação de paisagens urbanas autossuficientes.

A unidade conceitual possuiu como premissa a irrigação automática e eficiente de paisagens urbanas, utilizando fontes alternativas de água e energia. Para isso, foi construído o SAAP, capaz de disponibilizar água com a qualidade requerida. Também foi construído um SF capaz de transformar a energia solar em energia elétrica para suprir as demandas da unidade conceitual. Por fim, foi desenvolvido o sistema de irrigação automática que utiliza sensores de umidade para leitura em tempo real do solo e, através dos cálculos de demanda hídrica da paisagem, avalia a necessidade de irrigação.

Comparando com a irrigação manual, foi possível reduzir 64% do consumo de água na irrigação. A água pluvial foi tratada de forma satisfatória, ficando dentro dos limites estabelecidos para a irrigação. Ela atendeu 69% da demanda, sendo que em apenas quatro meses houve necessidade do uso de água potável. O SF supriu a demanda energética da unidade conceitual durante todo período avaliado, gerando o excedente energético anual de 819 kWh.

Apesar do período de seca ser um momento crítico, a unidade conceitual se mostrou eficiente. Entre os meses de junho a setembro de 2012 o cálculo da demanda através da leitura em tempo real da umidade do solo permitiu a redução de 55% da demanda, comparada com a irrigação manual. Além disso, o estoque de água pluvial atendeu 34% da demanda no período. Utilizado um reservatório maior, de 30 m<sup>3</sup>, é possível suprir toda demanda da irrigação.

Os excedentes hídricos e energéticos demonstram o potencial desta tecnologia para ser usada na irrigação de áreas maiores. Utilizando estruturas semelhantes, ou seja, com o investimento muito próximo do inicial, é possível atender áreas maiores.

A análise da viabilidade econômica mostrou que para as condições iniciais a unidade conceitual é inviável, pois a TIR após 15 anos foi de 5,8%, o VPL ficou negativo e o PD, ficou alto, 16,6 anos. Entretanto, a análise de sensibilidade mostrou que dependendo do valor das tarifas de água e energia, do tipo de SF e do uso dos excedentes hídricos e energéticos, a unidade se torna viável economicamente. Considerando estes aspectos, como no Cenário 5, a TIR foi de 27,3%, muito superior à TMA, a VPL foi de R\$ 58.741,51 e o PD de apenas 4,9 anos, se apresentando como um investimento muito atrativo.

As desvantagens identificadas foram: elevados investimentos iniciais; necessidade de mão de obra especializada para projetar o sistema; seu desempenho é influenciado pelas condições da área onde é instalado; e dificuldade de encontrar valores de referência para determinar a demanda hídrica da paisagem. Já as vantagens são: diminuição significativa do consumo de água e energia; facilidade de replicação; possibilidade de aproveitamento do excedente hídrico e energético em outras atividades; tempo de retorno pequeno; e baixa necessidade de supervisão e manutenção.

O sistema pode apresentar algumas limitações que são relativas à área onde é instalado. Em regiões onde o período de seca é prolongado, pode haver necessidade de grande complementação com água potável. Além disso, quanto maior a área a ser irrigada, maior a necessidade de áreas para captação da água pluvial e maior a capacidade dos reservatórios de armazenamento.

Entretanto, uma solução para este problema é o reuso de efluentes domésticos tratados, por serem gerados sem grandes sazonalidades. Sugere-se para os trabalhos futuros investigar a praticidade dos sistemas de tratamentos compactos de água-cinza, identificando as melhores tecnologias para serem integradas à unidade.

O presente estudo mostrou que para algumas condições a irrigação de paisagens urbanas pode ser sustentável tecnicamente e economicamente, suprimindo totalmente suas demandas hídricas e energéticas com fontes alternativas.

## 5. Referências Bibliográficas

Alexandri E, Jones P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment* 2008; 43:480–493. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO UN; 1998. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm> [acessado 18.10.13].

Allen RG, Wright JL, Pruitt WO, Pereira LS, Jensen ME. Water Requirements. In: Jensen ME editor. *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*, 2nd ed, ASABE, St. Joseph, MI; 2007, p. 208-288. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.23691>

Allen RG. REF-ET: Reference evapotranspiration calculator, Version 2.1. Idaho: Idaho University, 2000. Disponível em: <http://extension.uidaho.edu/kimberly/files/2013/03/Ref-ET-V3.1-Users-Manual.pdf> [acessado 18.10.13]

APHA Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation; 2012.

Ayers RS, Westcot DW. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 rev 1. Rome: FAO UN; 1985. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/t0234e00.HTM> [acessado 18.10.13].

Bernardo S, Soares AA, Mantovani EC. Manual de irrigação. 8th ed. Viçosa: UFV; 2008.

Bouzidi B. Viability of solar or wind for water pumping systems in the Algerian Sahara regions – case study Adrar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011; 15:4436–4442. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.108>

Cabrera RI, Wagner KL, Wherley B. An evaluation of urban landscape water use in Texas. *Texas Water J* 2013;4:14-27.

CEPAI - Centro de Pesquisa e Análise da Informação. Análise das Tarifas e Progressividade da conta de água em 13 Estados brasileiros. 2009. Disponível em: <http://www.secovirio.com.br/media/Analise%20sobre%20as%20tarifas%20de%20agua%20no%20Brasil%20-%20agosto-09.pdf> [acessado em 12.12.13]

Coates RW, Delwiche MJ, Broad A, Holler M. Wireless sensor network with irrigation valve control. *Computers and Electronics in Agriculture* 2013 ; 96 :13-22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2013.04.013>



Conway TM, Urbani L. Variations in municipal urban forestry policies: A case study of Toronto, Canada. *Urban Forestry & Urban Greening* 2007; 6:181-192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2007.07.003>

Costello LR, Jones KS. WUCOLS, Water Use Classification of Landscape Species: A Guide to the Water Needs of Landscape Plants. Sacramento: California Department of Water Resources; 1994.

Costello LR, Matheny NP, Clark JR, Jones KS. A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings: The Landscape Coefficient Method and Water Use Classifications of Landscape Species (WUCOLS) III, University of California Cooperative Extension, California Department of Water Resources, 2000. Disponível em: <http://www.water.ca.gov/wateruseefficiency/docs/wucols00.pdf> [acessado 25.10.13].

CRESESB. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. 1st ed. Rio de Janeiro: Ediouro Gráfica e Editora S.A.; 1999. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2004.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf) [acessado 10.09.11].

Devitt DA, Carstensen K, Morris RL. Residential water savings associated with satellite-based et irrigation controllers. *J of Irrig and Drain Eng* 2008 ; 134 :74-82. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2008\)134:1\(74\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:1(74))

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise do solo. 2nd ed rev. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solo; 2011. Disponível em: [http://www.cnps.embrapa.br/download/manual\\_metodos\\_analise\\_solo.zip](http://www.cnps.embrapa.br/download/manual_metodos_analise_solo.zip) [acessado 15.10.13].

EPIA - European Photovoltaic Industry Association. Global market outlook for photovoltaics 2013-2017, 2013. Disponível em: <http://www.epia.org/news/publications/> [acessado 31.01.14].

Gill SE, Handley JF, Ennos AR, Pauleit S. Adapting cities for climate change: the role of green infrastructure. *Built Environment* 2007; 33(1):115-133.

Hamidat A, Benyoucef B. Systematic procedures for sizing photovoltaic pumping system, using water tank storage. *Energy Policy* 2009; 37:1489-1501. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.014>

Hunt T, Lessick D, Berg J, Wiedmann J, Ash T, Pagano D, Mariam M, Bamezai A. Residential Weather-Based Irrigation Scheduling: Evidence from the Irvine "ET Controller" Study, 2001.

Imteaz MA, Rahman A, Ahsan A. Reliability analysis of rainwater tanks: a comparison between South-East and Central Melbourne. *Resources, Conservation and Recycling* 2012; 66:1-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.05.009>

- Inkiläinen ENM, McHale MR, Blank GB, James AL, Nikinmaa E. The role of the residential urban forest in regulating throughfall: A case study in Raleigh, North Carolina, USA. *Landscape and Urban Planning* 2013; 119:91-103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.07.002>
- Jim CY, Chen WY. Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *Journal of Environmental Management* 2008; 88:665–676. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.035>
- Johnson TD, Belitz K. A remote sensing approach for estimating the location and rate of urban irrigation in semi-arid climates. *Journal of Hydrology* 2012; 414–415:86-98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.016>
- Klok L, Zwart S, Verhagen H, Mauri E. The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics. *Resources, Conservation and Recycling* 2012; 64:23-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.01.009>
- Liang X, van Dijk MP. Economic and financial analysis on rainwater harvesting for agricultural irrigation in the rural areas of Beijing. *Resources, Conservation and Recycling* 2011; 55:1100-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.009>
- Lowry Jr JH, Ramsey RD, Kjølgren RK. Predicting urban forest growth and its impact on residential landscape water demand in a semiarid urban environment. *Urban Forestry & Urban Greening* 2011; 10:193-204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2011.05.004>
- McCready MS, Dukes MD, Miller GL. Water conservation potential of smart irrigation controllers on St. Augustinegrass. *Agricultural Water Management* 2009 ; 96 :1623-1632. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2009.06.007>
- McPherson EG, Simpson JR. A comparison of municipal forest benefits and costs in Modesto and Santa Monica, California, USA. *Urban Forestry & Urban Greening* 2002; 1:61–74. <http://dx.doi.org/10.1078/1618-8667-00007>
- Meah K, Fletcher S, Ula S. Solar photovoltaic water pumping for remote locations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2008; 12:472-487. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.008>
- Millward AA, Sabir S. Benefits of a forested urban park: What is the value of Allan Gardens to the city of Toronto, Canada? *Landscape and Urban Planning* 2011; 100:177-188. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.11.013>
- Moreira Neto RF, Carvalho IC, Calijuri ML, Santiago AF. Rainwater use in airports: A case study in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling* 2012; 68 :36-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.08.005>
- Nouri H, Beecham S, Hassanli AM, Kazemi F. Water requirements of urban landscape plants: A comparison of three factor-based approaches. *Ecological Engineering* 2013 ; 57 :276-284. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.025>

- Nowak DJ, Crane DE, Stevens JC. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening* 2006; 4:115-123. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>
- O'Shaughnessy SA, Evett SR, Colaizzi PD, Howell TA. A crop water stress index and time threshold for automatic irrigation scheduling of grain sorghum. *Agricultural Water Management* 2012; 107:122-132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.01.018>
- Romero R, Muriel JL, García I, Muñoz de la Peña D. Research on automatic irrigation control: State of the art and recent results. *Agricultural Water Management* 2012; 114:59-66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.026>
- Rüther R. Instalações solares fotovoltaicas integradas a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública. Florianópolis, 2000.
- Salvador R, Bautista-Capetillo C, Playán E. Irrigation performance in private urban landscapes: A study case in Zaragoza (Spain). *Landscape and Urban Planning* 2011; 100:302-311. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.12.018>
- Snyder RL, Eching S. PMhrXLS: Penman-Monteith hourly ETref for short and tall canopies. University of California, Davis; 2004. Disponível em: <http://biomet.ucdavis.edu/evapotranspiration.html> [acessado 18.10.13]
- Snyder RL, Eching S. Urban Landscape Evapotranspiration. California State Water Plan, 2005; 4:691-693. Disponível em: [www.waterplan.water.ca.gov/reference/index.cfm#infrastructure](http://www.waterplan.water.ca.gov/reference/index.cfm#infrastructure) [acessado 25.08.13].
- Soares AL, Rego FC, McPherson EG, Simpson JR, Peper PJ, Xiao Q. Benefits and costs of street trees in Lisbon, Portugal. *Urban Forestry & Urban Greening* 2011; 10:69-78. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2010.12.001>
- Starr JL, Paltineanu IC. Methods for Measurement of Soil Water Content: Capacitance Devices. In Dane JH, Topp GC editors. *Methods of Soil Analysis: Part 4 -Physical Methods*. Soil Science Society of America, Inc.; 2002, p. 463-474.
- Strutt J, Wilson S, Shorney-Darby H, Shaw A, Byers A. Assessing the carbon footprint of water production. *Am Water Work Assoc J* 2008; 100:80-91.
- Syme GJ, Shao QX, Po M, Campbell E. Predicting and understanding home garden water use. *Landscape and Urban Planning* 2004; 68:121-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.002>
- Takebayashi H, Moriyama M. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment* 2007; 42:2971-2979. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.017>

The Irrigation Association - Water Management Committee. Landscape Irrigation Scheduling and Water Management, 2005. Disponível em: <http://www.asla.org/uploadedFiles/PPN/Water%20Conservation/Documents/LISWM%20Draft.pdf> [acessado 18.10.13]

Topp GC, Ferré PA. Methods for Measurement of Soil Water Content: Thermogravimetric Using Convective Oven-Drying. In Dane JH, Topp GC editors. Methods of Soil Analysis: Part 4 -Physical Methods. Soil Science Society of America, Inc.; 2002a, p. 422-424.

Topp GC, Ferré PA. Methods for Measurement of Soil Water Content: Gravimetric Using Microwave Oven-Drying. In Dane JH, Topp GC editors. Methods of Soil Analysis: Part 4 -Physical Methods. Soil Science Society of America, Inc.; 2002b, p. 425-428.

Tratalos J, Fuller RA, Warren PH, Davies RG, Gaston KJ. Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. Landscape and Urban Planning 2007; 83:308–317. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.05.003>

USEIA - U.S. Energy Information Administration. Annual Energy Outlook 2011. Disponível em: <http://www.eia.gov/forecasts/archive/aeo11/index.cfm> [acessado 30.11.13].

USEPA - United States Environmental Protection Agency. Guidelines for water reuse; 2012. Disponível em: <http://www.epa.gov/nrmrl/publications.html> [acessado 15.09.13].

Valle JAB, Pinheiro A, Cipriano RFP, Ferrari A. Aproveitamento de água de chuva: avaliação do seu tratamento para fins potáveis. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande/MS: ABES; 2005.

Xiao Q, McPherson EG. Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. Urban Ecosystems 2002; 6:291–302. <http://dx.doi.org/10.1023/B:UECO.0000004828.05143.67>

Yuan T, Fengmin L, Puhai L. Economic analysis of rainwater harvesting and irrigation methods, with an example from China. Agricultural Water Management 2003; 60:217-226. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00171-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00171-3)

Zhang B, Xie G, Zhang C, Zhang J. The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China. Journal of Environmental Management 2012; 100:65–71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.015>

## V - CONCLUSÕES GERAIS

Este trabalho teve como objetivo integrar tecnologias e metodologias para identificar o potencial de economia do consumo de água e desenvolver o estudo de viabilidade técnico-econômica como subsidio para futuras intervenções. Através dos três estudos apresentados, pode-se verificar que existem alternativas para redução dos gastos de água potável.

Ela ocorreu de duas formas, direta com o uso de equipamentos economizadores e irrigação otimizada, e pelo uso de fontes alternativas como a água pluvial e cinza. Também, mostrou-se que é possível aliar a eficiência hídrica com o uso de fonte renovável de energia pelos sistemas fotovoltaicos, mitigando o efeito colateral do aumento da demanda de energia elétrica.

As unidades conceituais instaladas comprovaram a viabilidade técnica dessas alternativas. Elas operaram de forma regular, sem apresentar problemas e de maneira satisfatória, em que a água tratada atendeu aos padrões internacionais e a geração de energia elétrica supriu todas as necessidades. O potencial de economia de água foi grande, variando de acordo com os locais e cenários de cada estudo.

No primeiro estudo, que avaliou as ações na redução do consumo de edifícios do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, os equipamentos economizadores reduziram 72,2% do consumo, que corresponde a quase 85 mil m<sup>3</sup> por ano. A estimativa é que em dez anos, com o crescimento do número de passageiros, estas mesmas ações diminuam o uso em 147 mil m<sup>3</sup> por ano. As ações individuais ou integradas foram inviáveis em poucos edifícios, entretanto, considerando a sua aplicação coletivamente em todos os edifícios, houve viabilidade em todos os casos. A integração permitiu minimizar os investimentos iniciais em 29%, comparado com a soma dos investimentos das ações individuais. Isto ocorreu porque com a diminuição do consumo, pode-se reduzir o tamanho das unidades e, conseqüentemente, seus custos. Portanto, a hipótese de que o uso integrado de medidas conservacionistas permite potencializar a economia de água, com redução do investimento, em grandes consumidores, como ambientes aeroportuários, foi aceita.

Já no segundo estudo, o aproveitamento de água pluvial possibilitou atender até 52% da demanda não potável, dependendo da área de captação de chuva, tamanho do reservatório e consumo, e o sistema fotovoltaico gerou excedente energético. Em relação à viabilidade econômica, a variação também foi grande. Nos locais com grande demanda, para as condições atuais, há viabilidade, com *Payback* Descontado que pode ser de 2,5 a 15,0 anos. Entretanto, quando os consumos são menores, a viabilidade pode não existir, dependendo de algumas condições como valor da tarifa de água, taxa de juros do reajuste das tarifas e uso do sistema fotovoltaico *grid-connected*. Desta forma, a hipótese de que o aproveitamento de água pluvial aliado ao uso da energia solar em edifícios apresenta viabilidade técnica e econômica foi parcialmente aceito.

Por fim, no terceiro, a irrigação otimizada minimizou 64% do consumo na irrigação e atendeu 69% da demanda. Todavia, com o uso de um reservatório um pouco maior, seria possível atender toda a necessidade hídrica das áreas verdes. Já o sistema fotovoltaico abasteceu a unidade e ainda gerou excedente energético. Dessa forma, comprovou-se a hipótese de que as paisagens urbanas podem ser tornar autossuficientes por meio da irrigação otimizada e com o uso de fontes alternativas de água e energia. Entretanto, estas unidades não são viáveis para as características da cidade de Viçosa. Contudo, dependendo do valor da tarifa de água, da demanda de água não potável e tipo de sistema fotovoltaico, elas são viáveis, com *Payback* Descontado entre 4,9 e 11,4 anos.

Portanto, conclui-se que existem grandes oportunidades de tornar o uso da água mais eficiente, com comprovada viabilidade técnica, econômica e ambiental, permitindo que as cidades possam continuar se desenvolvendo com menor pressão sobre os recursos hídricos.



## ANEXO I – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO



**Figura 1 – Unidade de aproveitamento de água pluvial**



**Figura 2 – Sistema de tratamento de água pluvial**



**Figura 3 – Sistema Fotovoltáico**



**Figura 4 – Sistema de reuso de água cinza**



**Figura 5 – Válvulas solenoides do sistema de irrigação**



**Figura 6 – Painel de controle do sistema de irrigação**





**Figura 7 – Jardim experimental**



**Figura 8 – Jardim experimental**



**Figura 9 – Jardim experimental**



**Figura 10 – Jardim experimental**

## ANEXO II – QUESTIONÁRIOS APLICADOS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA<br>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| <b>QUESTIONARIO PARTICIPATIVO</b><br><b>ASSUNTO: IRRIGAÇÃO DE CANTEIROS DECORATIVOS E ÁREAS VERDES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| <p>1) Quais áreas são irrigadas no aeroporto?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">i) _____</div> <div style="width: 30%;">iii) _____</div> <div style="width: 30%;">v) _____</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">ii) _____</div> <div style="width: 30%;">iv) _____</div> <div style="width: 30%;">vi) _____</div> </div> <p>2) Qual tipo de irrigação utilizada em cada loc (por aspersores ou manualmente)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">i) _____</div> <div style="width: 30%;">iii) _____</div> <div style="width: 30%;">v) _____</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">ii) _____</div> <div style="width: 30%;">iv) _____</div> <div style="width: 30%;">vi) _____</div> </div> <p>3) Como é acionado cada sistema de irrigação?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">i) _____</div> <div style="width: 30%;">iii) _____</div> <div style="width: 30%;">v) _____</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">ii) _____</div> <div style="width: 30%;">iv) _____</div> <div style="width: 30%;">vi) _____</div> </div> <p>4) Qual tempo de irrigação nas áreas?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">i) _____</div> <div style="width: 30%;">iii) _____</div> <div style="width: 30%;">v) _____</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">ii) _____</div> <div style="width: 30%;">iv) _____</div> <div style="width: 30%;">vi) _____</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                              |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| <p>5) Determinação da vazão média</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>i) _____</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> </table> </div> <div style="width: 45%;"> <p>ii) _____</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> </table> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>iii) _____</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> </table> </div> <div style="width: 45%;"> <p>iv) _____</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> </table> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>v) _____</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> </table> </div> <div style="width: 45%;"> <p>vi) _____</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> </table> </div> </div> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; margin-top: 10px; padding: 5px;">                 Obs:             </div> | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tempo (s) _____   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |

**Figura 11 – Questionário sobre a irrigação de áreas verdes**



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |          |
| DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |          |
| QUESTIONÁRIO PARTICIPATIVO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |          |
| DATA:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | HORARIO: |
| ASSUNTO: LAVAGEM DO BANHEIRO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |
| QUESTÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |          |
| <p>1) Qual é a frequência de limpeza de cada banheiro por dia da semana?</p> <p> <input type="checkbox"/> Banhe 1 <input type="checkbox"/> Banhe 2 <input type="checkbox"/> Banhe 3 <input type="checkbox"/> Banhe 4 <input type="checkbox"/> Banhe 5 <input type="checkbox"/> Banhe 6 <input type="checkbox"/> Banhe 7 <input type="checkbox"/> Banhe 8 </p> <p>2) Qual é a frequência de limpeza de cada banheiro por dia no fim de semana?</p> <p> <input type="checkbox"/> Banhe 1 <input type="checkbox"/> Banhe 2 <input type="checkbox"/> Banhe 3 <input type="checkbox"/> Banhe 4 <input type="checkbox"/> Banhe 5 <input type="checkbox"/> Banhe 6 <input type="checkbox"/> Banhe 7 <input type="checkbox"/> Banhe 8 </p> <p>3) Quantas descargas de vaso sanitário são dadas na limpeza?</p> <p> <input type="checkbox"/> Banhe 1 <input type="checkbox"/> Banhe 2 <input type="checkbox"/> Banhe 3 <input type="checkbox"/> Banhe 4 <input type="checkbox"/> Banhe 5 <input type="checkbox"/> Banhe 6 <input type="checkbox"/> Banhe 7 <input type="checkbox"/> Banhe 8 </p> <p>4) Quantas descargas de mictórios são dadas na limpeza?</p> <p> <input type="checkbox"/> Banhe 1 <input type="checkbox"/> Banhe 2 <input type="checkbox"/> Banhe 3 <input type="checkbox"/> Banhe 4 <input type="checkbox"/> Banhe 5 <input type="checkbox"/> Banhe 6 <input type="checkbox"/> Banhe 7 <input type="checkbox"/> Banhe 8 </p> <p>5) Quantos acionamentos de torneira são realizados na limpeza?</p> <p> <input type="checkbox"/> Banhe 1 <input type="checkbox"/> Banhe 2 <input type="checkbox"/> Banhe 3 <input type="checkbox"/> Banhe 4 <input type="checkbox"/> Banhe 5 <input type="checkbox"/> Banhe 6 <input type="checkbox"/> Banhe 7 <input type="checkbox"/> Banhe 8 </p> <p>6) Quantos baldes, em média, são gastos por limpeza?</p> <p> <input type="checkbox"/> Banhe 1 <input type="checkbox"/> Banhe 2 <input type="checkbox"/> Banhe 3 <input type="checkbox"/> Banhe 4 <input type="checkbox"/> Banhe 5 <input type="checkbox"/> Banhe 6 <input type="checkbox"/> Banhe 7 <input type="checkbox"/> Banhe 8 </p> <p>7) Qual o volume do balde?</p> <p> <input style="width: 150px;" type="text"/> </p> <p>8) Observações:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 150px; margin-top: 10px;"></div> |          |

**Figura 12 – Questionário sobre a limpeza de banheiros**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA<br>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| QUESTIONARIO PARTICIPATIVO<br>ASSUNTO: LAVAGEM DA PISTA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <div style="border: 1px solid black; height: 50px; margin-bottom: 10px;"></div> <p>1) Como é realizada a lavagem da pista?</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p>2) Qual a frequência anual deste procedimento?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <input style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/> 1         <input style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/> 2         <input style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/> 3         <input style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/> 4         <input style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/> 5         <input style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/> 6         <input style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/> 7       </div> |
| <div style="border: 1px solid black; height: 40px; margin-bottom: 10px;"></div> <p>3) Qual a duração média da operação?</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <div style="border: 1px solid black; height: 40px; margin-bottom: 10px;"></div> <p>4) Quantos metros de pista são limpos por dia de operação?</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <div style="border: 1px solid black; height: 40px; margin-bottom: 10px;"></div> <p>5) Como é feito o abastecimento de água para a operação?</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <div style="border: 1px solid black; height: 40px; margin-bottom: 10px;"></div> <p>6) Qual volume de água gasto diariamente por operação?</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p>Observações:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 250px; margin-top: 10px;"></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

**Figura 13 – Questionário sobre a lavagem de pista**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                            |                                     |                                             |                                            |                                  |                                      |                                        |                                     |                          |                         |               |                   |                     |                  |                          |                         |               |                   |                     |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|-------------------|---------------------|------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|-------------------|---------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA<br>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                            |                                     |                                             |                                            |                                  |                                      |                                        |                                     |                          |                         |               |                   |                     |                  |                          |                         |               |                   |                     |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| QUESTIONARIO PARTICIPATIVO<br>ASSUNTO: LAVA-JATO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                            |                                     |                                             |                                            |                                  |                                      |                                        |                                     |                          |                         |               |                   |                     |                  |                          |                         |               |                   |                     |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| <p>1) Quais tipos de veículos são lavados?</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%;"><input type="checkbox"/> i) Carros pequenos</td> <td style="width: 33%;"><input type="checkbox"/> iii) Caminhonetes</td> <td style="width: 33%;"><input type="checkbox"/> v) Vans</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ii) Pick-up</td> <td><input type="checkbox"/> iv) Caminhões</td> <td><input type="checkbox"/> vi) Ônibus</td> </tr> </table> <p>2) Quantos veículos são lavados semanalmente?</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%;">i) Carros pequenos _____</td> <td style="width: 33%;">iii) Caminhonetes _____</td> <td style="width: 33%;">v) Vans _____</td> </tr> <tr> <td>ii) Pick-up _____</td> <td>iv) Caminhões _____</td> <td>vi) Ônibus _____</td> </tr> </table> <p>3) Qual tempo médio da lavagem de cada carro?</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%;">i) Carros pequenos _____</td> <td style="width: 33%;">iii) Caminhonetes _____</td> <td style="width: 33%;">v) Vans _____</td> </tr> <tr> <td>ii) Pick-up _____</td> <td>iv) Caminhões _____</td> <td>vi) Ônibus _____</td> </tr> </table> <p>5) Qual a vazão média da torneira utilizada na lavagem de veículos?</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%;">Volume (ml) _____</td> <td style="width: 33%;">Tempo (s) _____</td> </tr> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> <tr> <td>Volume (ml) _____</td> <td>Tempo (s) _____</td> </tr> </table> <p>Observações:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 300px; width: 100%; margin-top: 10px;"></div> |                                            |                                     | <input type="checkbox"/> i) Carros pequenos | <input type="checkbox"/> iii) Caminhonetes | <input type="checkbox"/> v) Vans | <input type="checkbox"/> ii) Pick-up | <input type="checkbox"/> iv) Caminhões | <input type="checkbox"/> vi) Ônibus | i) Carros pequenos _____ | iii) Caminhonetes _____ | v) Vans _____ | ii) Pick-up _____ | iv) Caminhões _____ | vi) Ônibus _____ | i) Carros pequenos _____ | iii) Caminhonetes _____ | v) Vans _____ | ii) Pick-up _____ | iv) Caminhões _____ | vi) Ônibus _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ | Volume (ml) _____ | Tempo (s) _____ |
| <input type="checkbox"/> i) Carros pequenos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/> iii) Caminhonetes | <input type="checkbox"/> v) Vans    |                                             |                                            |                                  |                                      |                                        |                                     |                          |                         |               |                   |                     |                  |                          |                         |               |                   |                     |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| <input type="checkbox"/> ii) Pick-up                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <input type="checkbox"/> iv) Caminhões     | <input type="checkbox"/> vi) Ônibus |                                             |                                            |                                  |                                      |                                        |                                     |                          |                         |               |                   |                     |                  |                          |                         |               |                   |                     |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| i) Carros pequenos _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | iii) Caminhonetes _____                    | v) Vans _____                       |                                             |                                            |                                  |                                      |                                        |                                     |                          |                         |               |                   |                     |                  |                          |                         |               |                   |                     |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| ii) Pick-up _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | iv) Caminhões _____                        | vi) Ônibus _____                    |                                             |                                            |                                  |                                      |                                        |                                     |                          |                         |               |                   |                     |                  |                          |                         |               |                   |                     |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| i) Carros pequenos _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | iii) Caminhonetes _____                    | v) Vans _____                       |                                             |                                            |                                  |                                      |                                        |                                     |                          |                         |               |                   |                     |                  |                          |                         |               |                   |                     |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| ii) Pick-up _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | iv) Caminhões _____                        | vi) Ônibus _____                    |                                             |                                            |                                  |                                      |                                        |                                     |                          |                         |               |                   |                     |                  |                          |                         |               |                   |                     |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Tempo (s) _____                            |                                     |                                             |                                            |                                  |                                      |                                        |                                     |                          |                         |               |                   |                     |                  |                          |                         |               |                   |                     |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Tempo (s) _____                            |                                     |                                             |                                            |                                  |                                      |                                        |                                     |                          |                         |               |                   |                     |                  |                          |                         |               |                   |                     |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                 |
| Volume (ml) _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Tempo (s) _____                            |                                     |                                             |                                            |                                  |                                      |                                        |                                     |                          |                         |               |                   |                     |                  |                          |                         |               |                   |                     |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                 |

**Figura 14 – Questionário sobre a limpeza de veículos**

|                                                                                                                            |                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA<br>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL                                                         |                                                                                                           |
| Prédio _____<br>Sexo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/><br>Masculino    Feminino                            |                                                                                                           |
| <b>Questões</b>                                                                                                            |                                                                                                           |
| Você utiliza os banheiros desse prédio?                                                                                    | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/><br>Sim    Não                                           |
| Quantas vezes por dia utiliza o vaso sanitário?                                                                            | <input style="width: 50px;" type="text"/><br>Número de vezes                                              |
| Você costuma dar descarga antes de usá-lo?                                                                                 | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/><br>Sempre    Nunca    Às vezes |
| Você costuma dar descarga após usá-lo?                                                                                     | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/><br>Sempre    Nunca    Às vezes |
| Quantas vezes por dia utiliza a pia para lavar as mãos?<br>(considere todas as vezes, incluindo após a utilização do vaso) | <input style="width: 50px;" type="text"/><br>Número de vezes                                              |
| Quantas vezes por dia utiliza a pia para escovar os dentes?                                                                | <input style="width: 50px;" type="text"/><br>Número de vezes                                              |
| Você utiliza a pia para um uso diferente dos citados acima?                                                                | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/><br>Sim    Não                                           |
| Qual?<br>_____                                                                                                             | <input style="width: 50px;" type="text"/><br>Uso                                                          |
| Quantas vezes por dia?<br>_____                                                                                            | <input style="width: 50px;" type="text"/><br>Número de vezes                                              |
| Quantas vezes por dia utiliza o chuveiro?                                                                                  | <input style="width: 50px;" type="text"/><br>Número de vezes                                              |
| Por quanto tempo utiliza o chuveiro, normalmente?                                                                          | <input style="width: 50px;" type="text"/><br>Tempo (minutos)                                              |
| <b>Apenas para o sexo masculino</b>                                                                                        |                                                                                                           |
| Quantas vezes por dia utiliza o mictório?                                                                                  | <input style="width: 50px;" type="text"/><br>Número de vezes                                              |
| Você costuma dar descarga ao utilizá-lo?                                                                                   | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/><br>Sempre    Nunca    Às vezes |

**Figura 15 – Questionário sobre os usuários dos banheiros**