

APLICAÇÃO DO PROGRAMA DE GESTÃO DA ÁGUA EM EDIFICAÇÕES PARA PROMOVER A CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Daniel Costa dos Santos¹, Marllon Boamorte Lobato²

Resumo – Este trabalho é baseado em um estudo de caso desenvolvido em um edifício padrão em Curitiba, Paraná, Brasil. Inicialmente desenvolveu-se uma avaliação quanto à aplicabilidade das ações de conservação da água nas edificações. Depois dessa avaliação inicial, foi estabelecida uma hierarquização de ações de conservação de água na edificação, sob o ponto de vista de benefícios e riscos da aplicação. Nesse sentido, foi utilizado um sistema de apoio à decisão multicritério, especificamente o método ELECTRE III. A hierarquização encontrada foi 1º Medição Individualizada, 2º Utilização de Água Cinza Tratada em Bacias Sanitárias, 3º Detecção e Correção de Vazamentos, 4º Substituição de Bacias Sanitárias Convencionais e 5º Utilização de Água de Chuva na Irrigação de Área Verde, Limpeza de Calçadas e Garagem, hierarquização essa estabelecida considerando-se critérios como Redução do Per Capita de Água, Risco Microbiológico, Economia de Água e Expansão do Alcance do Sistema de Abastecimento Público de Curitiba e Região Metropolitana. Cabe destacar que o estabelecimento da hierarquização entre as ações de conservação é muito importante enquanto ferramenta auxiliar para o planejamento de ações de conservação de água em edifícios e, conseqüentemente, nos sistemas de abastecimento e mananciais hídricos.

Abstract – Among possible water conservation actions in a building, it is important to point out rational use of water which includes the use of saver devices, individual measure, make users aware and alternative water sources like reuse of rain water and graywater. This work, based on this scenario presents a case study developed in a standard building in Curitiba, Paraná, Brazil, initially discuss the evaluation of actions applicability. After the evaluation this works introduce the priority of the water conservation actions from the point of view of economic viability, beneficial and risks to building appliance to promote the sustainability of water sources. The establishment of this priority is very important like an auxiliary tool for the planning of buildings water conservation actions. In such case, the aim this work is presents a application of the Decision Support System (DSS) to establishing priority of water conservation actions on a building to save water. The DSS used is Multicriteria Analysis, specifically ELECTRE III Method.

Palavras-chave: Análise multicritério, edificações residenciais, ELECTRE III, habitat humano e sistemas de apoio à decisão.

Keywords: Multicriteria analysis, decision support systems, ELECTRE III, human habitat and residential buildings.

¹ Engenheiro Civil pela UFRGS, Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo, Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Paraná. E-mail: dcsantos.dhs@ufpr.br

² Engenheiro Civil pela PUCPR, Mestre em Construção Civil (PPGCC) da UFPR, professor do Departamento de Engenharia Ambiental da PUCPR. E-mail: marllon.lobato@pucpr.br

INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A observação atenta do processo histórico demonstra inequivocamente a crescente preocupação, em nível mundial, com a escassez crescente dos recursos naturais, em especial a água. Tem havido uma conscientização constante e difusa sobre o fato que a água é um recurso finito e que sua disponibilidade, qualitativa e quantitativa, está sujeita às condições do meio antrópico. Tais condições dizem respeito às atitudes humanas em relação aos corpos hídricos as quais, inevitavelmente, provocam sua degradação e conseqüentemente acabam por comprometer o atendimento das demandas para os consumos urbano, industrial e agrícola. As formas de promover o uso sustentável da água e, em decorrência, conservá-la nos aspectos quantitativos e qualitativos, podem ser por meio de ações de economia, as quais envolvem o uso racional da água e o uso de fontes alternativas, e por meio das ações de preservação dos mananciais hídricos. Cumpre salientar que a aplicação de ações de conservação pode conduzir à economia de água em nível de bacia hidrográfica, dos sistemas públicos de abastecimento e dos sistemas prediais, enquanto a proteção dos mananciais implica na adoção de medidas viáveis de tratamento de esgoto, entre outras. Assim, este trabalho consta de uma aplicação prática do Programa de Gestão do Uso da Água em Edificações no intuito de apresentar estratégias de conservação de água nas edificações e, por conseguinte, nos sistemas de abastecimento e nos mananciais hídricos. Tais estratégias são embasadas na definição de uma hierarquização entre ações de economia de água nas edificações onde, para o estabelecimento de tal hierarquização, são consideradas questões como o volume de água economizado na própria edificação e o aumento do alcance temporal do sistema de abastecimento de água, entre outras.

CONSERVAÇÃO DA ÁGUA

Conservação da Água é aqui admitida como um conjunto de ações que propiciam a economia e preservação de água, seja nos mananciais, seja no sistema público de abastecimento de água, seja ainda nas edificações. As ações de economia podem ser de uso racional de água e de utilização de fontes alternativas. As ações de uso racional são basicamente ações de combate ao desperdício quantitativo, enquanto a utilização de fontes alternativas consta de utilizar outras fontes àquelas normalmente utilizadas como mananciais, ou seja, águas superficiais e subterrâneas. Destacam-se, portanto a água de reúso e a água da chuva. As ações de preservação englobam aquelas de proteção à qualidade das águas no manancial, o que inclui tratamento de resíduos líquidos, entre outras. No âmbito público do Habitat Humano, ações como a redução de perdas físicas de água nos sistemas públicos de abastecimento, redução de volumes de água consumidos na operação das estações de tratamento de água e economia de água em função de medidas pertinentes de reúso, entre outras ações, tem sido desenvolvidas em nível nacional e internacional com significativo êxito. Restringindo ao cenário das habitações, é oportuno destacar que, com relação a tipologia das ações de economia, as mesmas podem ser de uso racional de água e de utilização de fontes alternativas. As ações de uso racional são basicamente ações de combate ao desperdício quantitativo, como a priorização do uso de aparelhos sanitários economizadores de água, o incentivo da adoção da medição individualizada, a conscientização do usuário para não desperdiçar água no ato do seu uso, a detecção e controle de perdas de água no sistema predial de água fria, o estabelecimento de tarifas inibidoras do desperdício, entre outras.

Já a Utilização de Fontes Alternativas consta de utilizar fontes alternativas àquelas normalmente disponibilizadas às habitações. Destacam-se a água cinza, a água da chuva, a água subterrânea, a água mineral envasada e a água distribuída em caminhões pipa. Convém salientar

que a consideração destas fontes como alternativas partiu da premissa que a fonte principal refere-se ao sistema público de abastecimento de água. Especificamente quanto as águas cinza e pluviais, cabe destacar os resultados de caracterização física, química e microbiológica obtidos nas pesquisas realizadas no projeto de pesquisa Programa de Gestão do Uso da Água em Edificações (SANTOS, 2004). A caracterização da água cinza, realizada com base em material coletado em 26 edificações residenciais em Curitiba, é apresentada na Tabela 01.

TABELA - 01 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA CINZA

Parâmetros	Concentrações		
	Mínimo	Médio	Máximo
Temperatura (°C)	21,5	24,0	27,0
Cor (Hz)	9,0	52,3	300,0
Turbidez (NTU)	1,97	37,35	189,0
pH	6,7	7,2	8,5
OD (mg/L)	2,67	4,63	5,92
Cloro Livre (mg/L)	0,0	0,0	0,8
Cloro Total (mg/L)	0,0	0,0	1,0
Fósforo Total (mg/L)	1,72	6,24	38,49
DBO (mg/L)	16,67	96,54	286,93
Coli. Total (NMP/100 mL)	5,10	$9,42 \cdot 10^5$	$1,60 \cdot 10^8$
Coli. Fecal (NMP/100 mL)	2,00	$4,00 \cdot 10^2$	$1,60 \cdot 10^7$

Fonte: ZABROCKI, 2003

É importante destacar, na observação da Tabela 01, que tal caracterização apresenta, em seus valores médios, consideráveis concentrações de matéria orgânica (DBO), de coliformes totais e de coliformes fecais. Portanto, entende-se que a água cinza consta de uma água residuária que pode requerer significativo tratamento dependendo do uso previsto. Quanto a caracterização da água da chuva, desenvolvida em 07 edificações residenciais, os resultados são apresentados na Tabela 02. Observar que, para a caracterização em questão, a água da chuva foi coletada após aproximadamente dez minutos do início da mesma, tempo esse considerado suficiente para eliminar a "primeira água" que contacta com a cobertura. Novamente é importante destacar as concentrações significativas de coliformes totais e termotolerantes. A DBO não é expressiva, porém os parâmetros cor e turbidez o são. Semelhantemente a água cinza, dependendo do uso, a água da chuva pode requerer um tratamento para ser utilizada.

TABELA 02 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA

Parâmetros	1	2	3	4	5	6	7	Média
	Cerâmica		Amianto	Amianto	Terraço	Cerâmica	Terraço	
pH	7,22	7,16	6,54	5,79	6,54	6,63	6,62	6,64
T (°C)	19,2	18,6	17,9	17,9	18,3	18,0	17,0	18,13
Condutividade (MS/cm)	10,0	-	40,2	32,5	43,5	9,6	47,4	30,53
Cor (Hz)	-	-	50	44	196	31	< 2	80,25
Turbidez (NTU)	-	-	4,69	3,25	6,00	3,21	< 1,00	4,29
DBO (mg/L)	-	-	4,69	9,53	16,86	4,09	3,11	7,66
CT (NMP/100 mL) (*)	-	-	$2,1 \times 10^3$	28×10^3	240×10^3	$3,0 \times 10$	$4,1 \times 10$	$1,73 \times 10^3$
CTML (NMP/100 mL) (*)	-	-	$7,4 \times 10^2$	$28,0 \times 10^3$	$160,0 \times 10^3$	2,0	< 2,0	$4,21 \times 10^2$

Nota: Média Geométrica

PROGRAMAS DE CONSERVAÇÃO DA ÁGUA

No Brasil, algumas iniciativas foram criadas pelo poder público e pela sociedade no intuito de aplicarem ações de conservação da água como, por exemplo, Programa de Uso Racional da Água (PURA), fruto da parceria Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), Universidade de São Paulo (USP) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), o qual voltado para os sistemas prediais hidráulicos sanitários, com o intuito de promover o uso racional da água nestes sistemas. Outro programa importante é o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA). Esse é administrado pelo Executivo e estabelece ações de combate ao desperdício da água nos três níveis de atuação, ou seja, ao nível das bacias hidrográficas, ao nível dos sistemas de abastecimento público de água e finalmente ao nível dos sistemas prediais hidráulicos sanitários. Em nível nacional, cita-se também o Programa de Gestão do Uso da Água em Edificações - PGUAE (SANTOS, 2001), o qual já citado e que será apresentado detalhadamente na sequência. Em nível internacional, citam-se alguns exemplos de ações tomadas por diversos países, como são os casos da África do Sul, do Japão, do México e dos Estados Unidos (BARRETO, 1998). Na África do Sul o “National Building Research Institute” (NBRI), realizou pesquisas em nível de macro-abrangência, cabendo aqui destaque àquela que caracterizou vários tipos de aparelhos sanitários em função de parâmetros como vazão específica, volumes de descarga, entre outros. No Japão várias concepções e técnicas são constantemente discutidas e desenvolvidas, sendo que os principais aspectos avaliados são a economia, o desenvolvimento de novos aparelhos economizadores de água e o esclarecimento à população sobre a necessidade conservar água. No México o enfoque é atuar sobre o setor público de abastecimento, sobre a racionalização do uso da água e sobre a modificação dos critérios de abastecimento, distribuição uso e consumo de água.

APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA DE GESTÃO DO USO DA ÁGUA EM EDIFICAÇÕES (PGUAE)

Contexto do PGUAE

O PGUAE integra o Programa de Conservação da Água no Meio Urbano (PCAU). O PCAU contém duas linhas de atuação, quais sejam a conservação da água nas edificações e a conservação da água na infra-estrutura sanitária. A linha de atuação respectiva às edificações é o próprio Programa de Gestão do Uso da Água nas Edificações (PGUAE), enquanto aquela referente a infra-estrutura é o programa denominado Programa de Conservação da Água na Infra-estrutura Sanitária (PCAI). O PGUAE objetiva o planejamento e gestão das ações de conservação da água nas edificações por meio de uma hierarquização das mesmas sob aspectos da viabilidade econômica, do benefício gerado e do risco sanitário associado. O PCAI, por sua vez, apresenta estrutura similar ao PGUAE, cuja diferença básica é que o enfoque é sobre a infra-estrutura sanitária.

Estrutura do PGUAE

A seguir serão apresentadas as respectivas metas metodológicas do PGUAE.

Sistema de Caracterização do Consumo de Água

Tal metodologia foi concebida considerando-se três ações fundamentais, a seguir apresentadas.

1º) Descrição do Cenário (Edifício)

As variáveis de interesse neste método são o levantamento do ambiente construído e do histórico de consumo de água no mesmo, além da averiguação do comportamento do usuário da água. Para o levantamento do ambiente construído e do histórico do consumo foi desenvolvida uma Planilha Descritiva, onde suas características e realidade de uso e operação são registradas. Para a averiguação do comportamento do usuário da água foi confeccionado um questionário-teste, seguindo preceitos da Pesquisa Qualitativa, no qual procura-se basicamente observar qual a percepção do residente no uso da água e qual sua aceitabilidade na utilização de fontes alternativas de água para fins não potáveis. Este questionário-teste foi denominado Teste AQUA, cuja sigla significa Avaliação Quantitativa do Uso da Água.

2º) Prospecção de Relações entre o Consumo de Água e Variáveis Diversas

Análise estatística desenvolvida no intuito de avaliar a influência sobre o consumo de água de variáveis diversas como a sazonalidade, a temperatura ambiente, os dias do mês, etc. São utilizadas a Correlação e a Análise de Regressão para tanto.

3º) Parametrização do Consumo

Neste caso é utilizado o Teste AQUA, o qual possibilita uma parametrização expedita do consumo da água nas edificações. Cumpre destacar a utilidade deste levantamento expedito em função dos custos elevados da parametrização baseada em hidrômetros instalados por pontos de consumo.

Sistema de Caracterização das Ações de Conservação de Água

O referido sistema prevê duas etapas:

1º) Pré-seleção e definição das ações de Conservação de Água, especificamente aquelas relativas ao uso racional e ao aproveitamento das fontes alternativas de água, conforme comentado no item 4.2. A pré-seleção e definição baseiam-se na Planilha Descritiva e no Teste AQUA, onde na primeira faz-se uma avaliação técnica preliminar para verificar a aplicabilidade de ações de conservação, enquanto na segunda avalia-se a aceitabilidade das ações por parte do usuário. As ações a serem selecionadas nesta etapa serão aquelas consideradas aplicáveis e aceitáveis no cenário sob estudo.

2º) Caracterizar cada uma das ações em questão, a qual refere-se a sua própria tipologia, além de seus aspectos quantitativos e qualitativos. Neste sentido, os tipos de ações de conservação que são abordados são o uso racional de água e o uso de fontes alternativas. A caracterização das ações de uso racional inclui intervenções de combate ao desperdício via detecção de vazamentos, conscientização do usuário, substituição dos aparelhos sanitários convencionais por aparelhos sanitários economizadores, entre outras. Com relação a caracterização das ações relacionadas ao uso de fontes alternativas, a ação metodológica fundamental é a caracterização qualitativa das respectivas águas, onde são levantados parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos. Já a caracterização quantitativa não se apresenta como um grande problema, pois a mesma poderá ser viabilizada através da parametrização do consumo. Para desenvolver estes processos de caracterização das ações, foi organizada a Planilha de Caracterização que permite organizar o conjunto de informações necessário junto a edificação sob análise.

Sistema de Avaliação da Aplicabilidade e Hierarquização das Ações de Conservação de Água

O referido sistema prevê duas etapas:

1º) Avaliação da Aplicabilidade das Ações de Conservação de Água

Considerando as ações de conservação de água já caracterizadas, faz-se necessário um sistema que avalie a aplicabilidade destas em função dos requisitos qualitativos e quantitativos impostos pelos usos previstos e da análise da relação custo-benefício-risco sobre tais ações. Esta, portanto é a proposta deste sistema, aqui denominado Sistema de Avaliação de Aplicabilidade, onde a relação custo-benefício é trabalhada via análise de viabilidade econômica enquanto o risco é avaliado em função do potencial de exposição do usuário, em especial, no caso da utilização das águas das fontes alternativas.

2º) Sistema de Decisão para Hierarquização das Ações de Conservação de Água

Avaliadas as aplicabilidades das ações de conservação de água, para aquelas efetivamente aplicáveis faz-se necessário hierarquizá-las quanto à preferência de aplicação ao longo do tempo. Para tanto, consta importante a utilização de Sistemas de Decisão pois serão fundamentais para a posterior confecção do Plano de Gestão do Uso da Água nas Edificações. Isto posto, este trabalho define a Análise Multicritério como o Sistema de Decisão referencial para a condução do processo de hierarquização. Tal definição fundamenta-se no fato deste tipo de análise ser usado em estudos de otimização de sistemas relacionados à água. Não obstante, entre os diversos métodos que integram a família Multicritério, optou-se pelo método Electre III, pelo mesmo motivo acima exposto.

Plano de Gestão de Uso da Água em Edifícios

Este Plano de Gestão apresenta diretrizes para o gerenciamento do uso da água em edifícios, as quais definidas a partir da hierarquização constatada na aplicação do Sistema de Decisão. Neste sentido, é possível organizar um cronograma de aplicação das ações de conservação da água ao longo do tempo, além de um programa de monitoramento das ações e de seus efeitos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este item apresenta uma aplicação do Programa de gestão do Uso da Água em Edificações, conforme sua base metodológica apresentada. Para tanto, é conduzido um estudo de caso onde em um edifício residencial são concebidas, avaliadas e hierarquizadas ações de conservação da água sob o enfoque de micro e macro-abrangência.

Aplicação do Sistema de Caracterização do Consumo de Água

Descrição do Cenário

A edificação avaliada está localizada na área urbana da cidade de Curitiba e é do tipo residencial. A mesma possui oito pavimentos, com quatro apartamentos por pavimento, contendo em média cinco pessoas por apartamento, perfazendo assim um total de 160 habitantes. As áreas verdes, área de calçada e garagem, computam um total de 1.308 m². A área de cobertura é de 283 m².

Prospecção de Relações entre o Consumo de Água e Variáveis Diversas

Desenvolvida em função da análise do comportamento do consumo da água ao longo do último ano. Para tal análise, construiu-se uma curva anual de consumo de água, na qual mostrou-se claro o impacto da sazonalidade sobre o consumo pois, ao longo do ano estudado, observou-se picos de consumo em julho e em dezembro. Sobre o pico de consumo ocorrido em julho, algumas hipóteses foram trabalhadas como a influência das férias escolares implicando em um tempo maior de permanência das pessoas nos apartamentos, assim como o fato das pessoas permanecerem mais tempo utilizando o chuveiro em função das reduzidas temperaturas características desse mês. Não obstante, hipoteticamente, o pico de consumo de água ocorrido em dezembro é mais condizente com fatores como a época em si, a qual natalina, assim como o fato do verão. Salienta-se que são hipóteses verossímeis porém necessitam de maiores investigações para validá-las.

Parametrização do Consumo

Conforme dados da aplicação do AQUA, os usos de maior consumo de água são a bacia sanitária e o chuveiro, conforme já esperado. A economia de água no uso da bacia sanitária pode ser obtida por sua substituição por bacias de volume reduzido de descarga ou pela utilização de fontes alternativas de água para a descarga, como a água cinza e a água da chuva. Já para a economia de água no uso do chuveiro entende-se ser mais viável revisão da postura do usuário no intuito de reduzir, ou até eliminar, o desperdício de água.

Aplicação do Sistema de Caracterização das Ações de Conservação de Água

Conforme anteriormente apresentado, a aplicação desse sistema de caracterização acompanha a seqüência a seguir.

Pré-seleção e Definição das Ações de Conservação de Água,

Várias ações foram inicialmente avaliadas, quais sejam:

- Adoção de aparelho redutor de pressão em cada pavimento;
- Utilização de água subterrânea;
- Utilização de água cinza em torneiras de jardim;
- Substituição de bacias sanitárias convencionais de 12 L por bacias sanitárias de volume reduzido de 6 L;
- Utilização de água cinza em bacias sanitárias;
- Utilização de água de chuva em irrigação de área verde, limpeza de calçadas e garagem;
- Detecção e correção de vazamentos;
- Medição individualizada.

As três primeiras ações foram descartadas por motivos técnicos e de aceitabilidade, onde:

- A utilização de redutor de pressão em cada pavimento poderia ocasionar excessiva manutenção;
- A profundidade do lençol subterrâneo inviabiliza tecnicamente a implantação do sistema de recalque;
- A utilização de água cinza em torneiras de jardim foi recusada pelos moradores, conforme teste AQUA, devido ao grande risco avaliado pelos mesmos.

Desta maneira foram definidas as seguintes ações, ou medidas:

- **Medida 01:** Substituição de bacias sanitárias

Nesse caso é prevista a substituição de bacias sanitárias convencionais de 12 L por bacias sanitárias de volume reduzido de 6 L;

- **Medida 02:** Utilização de água cinza tratada em bacias sanitárias.

Nesse trabalho se admite como características aquelas apresentadas na Tabela 01. O nível de tratamento previsto é primário e secundário para remoção de matéria orgânica e terciário para remoção de patógenos.

- **Medida 03:** Utilização de água de chuva em irrigação de área verde, limpeza de calçadas e garagem.

Nesse trabalho admitem-se como características aquelas apresentadas na Tabela 02. O nível de tratamento previsto é preliminar para exclusão da “primeira água”, primário para remoção de sólidos sedimentáveis, secundário para remoção de suspensos e terciário para remoção de patógenos.

- **Medida 04:** Detecção e correção de vazamentos.

Admitem-se como ações de detecção de vazamentos, aquelas referentes a detecção de vazamentos visíveis e não visíveis, sendo o segundo determinado, por exemplo, através de indícios como o aumento do consumo de água injustificado, surgimento de manchas de umidade nas paredes, lajes e pisos, acionamento contínuo do sistema de recalque e crescimento de vegetação em juntas de pavimentação (GONÇALVES, IASHIMOTO, OLIVEIRA, 1999). Quanto as ações devem ser tomadas medidas corretivas, como substituição de aparelhos de utilização e tubulações danificadas, substituição de válvulas bóias de reservatórios, danificadas, entre outras.

- **Medida 05:** Medição individualizada.

A ação de medição individualizada é tomada pela instalação de medidores de vazão (hidrômetros) individuais, para cada economia. A medida de se adotar medição individualizada por economia, gera uma responsabilidade maior, dos moradores, por aquilo que consomem, com isso elimina-se a cobrança por “rateio”, onde a medição é realizada por um único medidor de vazão e a cobrança é dividida entre os moradores. Esta ação é reforçada pelo fato de que a tarifação é um agente de grande eficiência, pois a ocorrência de tarifas elevadas o desperdício é coibido (SANTOS, 2002).

Caracterização das Ações Pré-Selecionadas

A caracterização das ações pré-selecionadas compreende caracterizar os aspectos qualitativos e quantitativos, de cada ação pré-selecionada. Quanto ao aspecto qualitativo, optou-se pela análise de risco de contaminação microbiológica baseado no Modelo de Poisson, onde o indicador é a bactéria *Escherichia coli*. Assume-se também nessa análise que todos os coliformes fecais detectados são *Escherichia coli* e que todos eles são potencialmente patogênicos (WATER CASA, 2004). Analisando as medidas pré-selecionadas, fica claro que, apenas as medidas de utilização da água cinza (medida 02) e da água da chuva (medida 03) devem ser analisadas quanto ao risco, pois as outras não tratam da utilização fontes alternativas à potável. O parâmetro referencial de limite de risco adotado foi da EPA (Environmental Protection Agency - USA) para a água potável, o qual estabelece que nenhum indivíduo pode sofrer uma exposição a um risco de infecção maior que 1 em 10000 no ano, ou seja 1×10^{-4} (WATER CASA, 2004). Observar que a adoção desse limite de risco justifica-se no fato que, apesar das águas a serem utilizadas nas medidas 02 e 03 sejam para fins não potáveis, admite-se a possibilidade de algum imprevisto de ingestão das mesmas por parte, por exemplo, de crianças. O Gráfico 01 ilustra a análise de risco

em questão para as medidas 02 e 03, considerando as duas medidas sem tratamento e com tratamento físico, químico e microbiológico para atenderem suas respectivas finalidades.

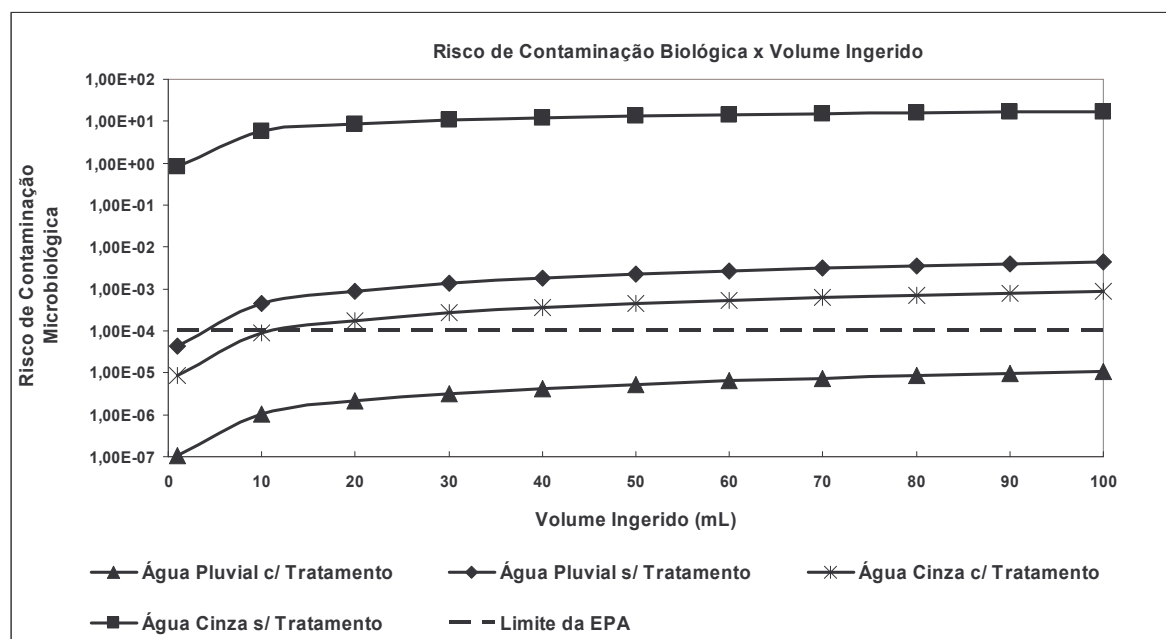


GRÁFICO 1 – ANÁLISE RISCO DAS MEDIDAS 2 E 3.

Fonte: Traduzido de MAYSTRE, PICTET e SIMOS, 1994

Quanto ao aspecto quantitativo, a Tabela 03 apresenta a redução do consumo per capita observado supondo-se a adoção de cada medida de conservação de água por parte da população de Curitiba e RMC de 2004. A determinação de cada per capita foi realizada subtraindo-se os valores de economia, gerados, pela adoção da medida, do per capita de consumo de 200 L/hab.dia, por exemplo, para a substituição de bacia sanitária convencional por bacia sanitária de volume reduzido de 6L, temos uma redução de 18 L/hab.dia, considerando uma média de uso de 3 vezes ao dia, segundo estimativa do teste AQUA.

TABELA 03 – CONSUMO PER CAPITA DE CURITIBA E RMC COM A ADOÇÃO DAS MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO

	Medida 01	Medida 02	Medida 03	Medida 04	Medida 05
per capita (L/hab.dia)	182,00	164,00	198,65	177,10	155,00

Para ressaltar o aspecto quantitativo é importante observar também a Tabela 04, onde são apresentados valores de economia de água no sistema de abastecimento público de abastecimento de água de Curitiba e RMC.

TABELA 04 – ECONOMIA DE ÁGUA NO SAA DE CURITIBA E RMC COM A ADOÇÃO DAS MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO

	Medida 01	Medida 02	Medida 03	Medida 04	Medida 05
Economia (L/s)	620	1.240	47	789	1.550

Os Gráficos 02 e 03 apresentam respectivamente, para toda a população assim como apenas para o incremento de população futura (a partir de 2004), o impacto gerado no respectivo sistema de abastecimento admitindo-se a adoção de todas as medidas. Foi utilizado uma taxa de crescimento populacional de 3% ao ano, segundo dados do IBGE. Primeiramente foi determinado o consumo, sem a adoção das medidas, para toda a população projetada e desta foi subtraída os consumos encontrados com a adoção de cada medida de conservação e com a adoção de todas as medidas. Para a determinação da economia só para o incremento da população, foi realizado o mesmo procedimento.

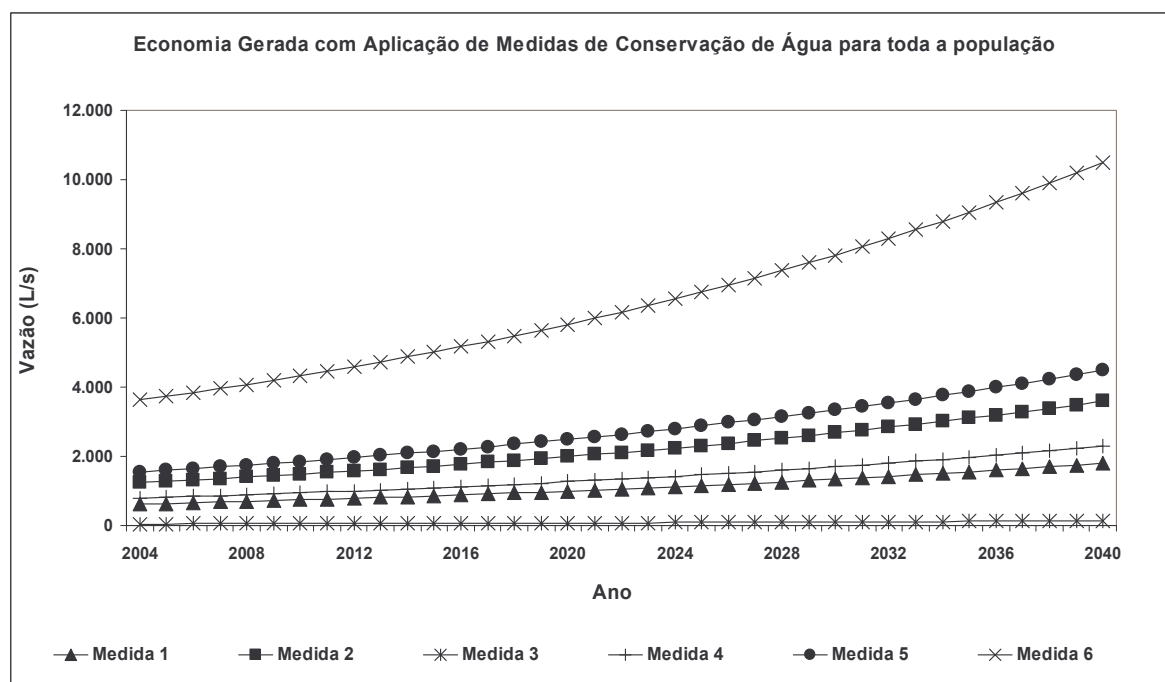


GRÁFICO 2 – ECONOMIA GERADA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA RMC PARA POPULAÇÃO FUTURA TOTAL.

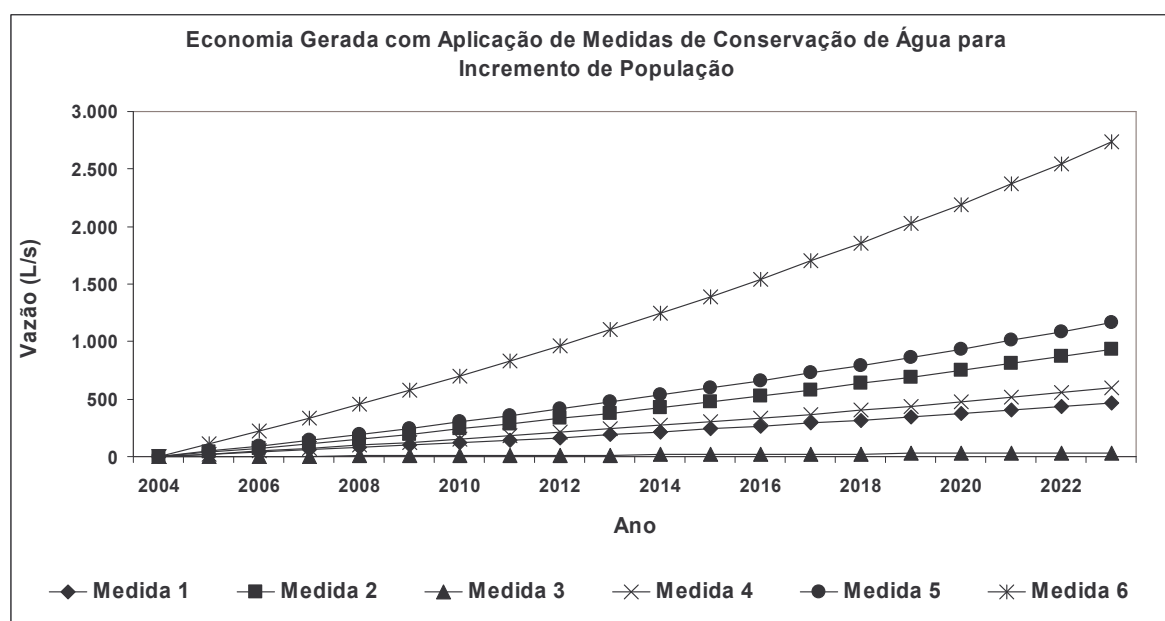


GRÁFICO 3 – ECONOMIA GERADA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA RMC PARA INCREMENTO DA POPULAÇÃO FUTURA.

Também foi realizada uma análise para a determinação do alcance do atual sistema de abastecimento de água (SAA) de Curitiba e RMC supondo-se a adoção imediata das medidas de conservação de água para o incremento da população. Tal sistema de abastecimento possui atualmente capacidade de produção de água potável na ordem de 9.300 L/s, dado este atualizado a partir de SANTOS, SAUNITTI e BUSATO (2001). Observar Tabela 05.

TABELA 05 – ESTIMATIVA DO ALCANCE DO SAA DE CURITIBA E RMC COM A ADOÇÃO DAS MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO

	Medida 01	Medida 02	Medida 03	Medida 04	Medida 05
Ano	2017	2020	2014	2018	2022

Aplicação do Sistema de Avaliação da Aplicabilidade e Hierarquização das Ações de Conservação de Água

Avaliação da Aplicabilidade das Ações de Conservação de Água

A aplicabilidade nesse estudo foi avaliada à luz de critérios como a redução do per capita de água, da economia de água nos mananciais e do alcance do sistema de abastecimento de água. Para cada medida avaliada se observou significativas redução do consumo per capita de água e economia de água no manancial, assim como expressivos alcances do sistema de abastecimento de água a partir de 2004. Portanto, tais medidas são consideradas aplicáveis ao cenário sob estudo.

Hierarquização das Ações de Conservação de Água

Base Conceitual de Sistemas de Apoio a Decisão

Neste trabalho aplicou-se o método multicriterial ELECTRE III, o qual é apresentado na sequência. Esse método integra a família ELECTRE, a qual apresenta uma filosofia de apoio à decisão. MAYSTRE, PICTET e SIMOS (1994) relacionam as diversas áreas de aplicação dos métodos ELECTRE, sendo elas as seguintes: área de implantação, na locação de usinas, traçados rodoviários, estações ferroviárias, entre outras; área de desenvolvimento nacional e regional, no planejamento agrícola, gerenciamento hidráulico, entre outras; área de publicidade, no planejamento de mídia; área de pesquisa e desenvolvimento, em projetos, desenvolvimento industrial; área de admissão, como empresas, instituições de ensino; e finalmente área de fabricação, em produtos e organização. Quanto às problemáticas atendidas pelos métodos da família ELECTRE, MAYSTRE, PICTET e SIMOS (1994) citam as seguintes: a problemática α de apoio na escolha da(s) melhor(es) ações, onde encontram-se as aplicações dos métodos ELECTRE I e IS; a problemática β que apóia a triagem das ações segundo normas pré-estabelecidas, através do ELECTRE TRI e finalmente a problemática γ , a qual tem como objetivo o ordenamento das ações segundo uma ordem de preferência decrescente, utilizando os métodos ELECTRE II, III e IV. Como apresentado na introdução do presente trabalho, a pesquisa visa estabelecer um plano de gestão de águas em edificações, ou seja, analisar as possibilidades existentes de ações de economia e uso da água, e hierarquizar tais ações, segundo alguns critérios, por tal motivo optou-se pela utilização do método de análise multicritério ELECTRE III, pois o problema se enquadra no tipo de problemática γ , anteriormente descrita.

Definição de Critérios, Pesos e Limites

1o Definição dos critérios

A apresentação e descrição dos critérios de hierarquização são apresentadas na sequência.

- Redução do per capita de água (RPC)

Conforme aplicação do teste AQUA, a caracterização do consumo da edificação foi realizada através de medições de consumo e observação dos hábitos da população em questão. Determinou-se um valor de 196,5 L/hab.dia para a edificação, valor este bem próximo aos 200 L/hab.dia fornecido pela SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná). Portanto, para essa avaliação adotou-se o valor fornecido pela SANEPAR pois o mesmo reflete o consumo médio medido da população da Região Metropolitana de Curitiba (RMC). Não obstante, o percentual de redução obtido para cada medida foi considerando a referência de 200 L/hab.dia e os valores reduzidos de consumo de água per capita apresentados na Tabela 03. Tais percentuais de redução constam na Tabela 06.

- Risco microbiológico (RM)

Conforme anteriormente comentado, o padrão de risco de contaminação adotado será o padrão estabelecido pela EPA (Environmental Protection Agency), para a água potável, a qual estabelece que nenhuma pessoa pode ser exposta a um risco de infecção maior que 1 em 10000 no ano, ou seja 1×10^{-4} . Também já foi comentado que o risco microbiológico será avaliado apenas para as medidas 02 e 03, dada a natureza das mesmas.

- Economia de água no sistema de abastecimento público de Curitiba e RMC

Neste critério baseia-se na quantificação apresentada na Tabela 04, onde procurou-se avaliar qual seria o volume de água economizado no sistema de abastecimento em questão pela adoção de cada medida para toda a população de 2004. Ou seja, qual o volume de água que deixaria de ser captado no manancial para abastecimento. Observar Tabela 06.

- Alcance de abastecimento de água da RMC com a adoção da medida (Alcance)

Para este critério consideraram-se as estimativas apresentadas na Tabela 05, onde realizou-se uma projeção da população com a taxa de crescimento de 3,0 % ao ano (IBGE) e verificou-se qual seria o alcance de atendimento dos atuais mananciais abastecedores a partir de 2004, isto é, se somente o incremento da população adotasse as medidas de conservação propostas. Essas estimativas encontram-se reproduzidas na Tabela 06.

TABELA 06 – VALORES DAS AÇÕES DE CONSERVAÇÃO PARA CADA CRITÉRIO

	Objetivo	Medida 01	Medida 02	Medida 03	Medida 04	Medida 05
RPC (%)	Maximizar	9,00	18,00	0,68	11,45	22,50
RM (ano⁻¹)	Minimizar	0	$8,84 \times 10^{-5}$	$1,06 \times 10^{-6}$	0	0
Economia (L/s)	Maximizar	620	1.240	47	789	1.550
Alcance (ano)	Maximizar	2017	2020	2014	2018	2022

Ao tabular os valores encontrados para as medidas adotadas, se observa que a medida 5 (medição individualizada), supera as outras medidas em todos os critérios. Esta conclusão faz

com que a ação não entre na análise multicriterial proposta, pois a mesma exerce o domínio sobre as outras, sob todos os critérios, restando apenas a aplicação da análise multicriterial sobre as quatro medidas restantes.

2º Definição dos pesos dos critérios

A definição dos pesos dos critérios foi realizada por meio do método "Jogo de Cartas", de Simons, conforme FIGUEIRA e ROY, (2001), e foi aplicado pelos autores e por dois pesquisadores convidados da área de saneamento ambiental. A Tabela 07 apresenta os pesos definidos para cada critério.

TABELA 7 – PESOS DEFINIDOS PARA CADA CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO

	RPC	RM	Economia	Alcance
Peso	23	48	23	6

3º Definição dos limites de indiferença (q), preferência (p) e veto (v)

A Tabela 08 apresenta os valores definidos, pelos autores, dos limites q, p e v, para cada critério de avaliação. A definição destes limites é de caráter subjetivo, ficando a cargo do decisor a determinação deles. ROGERS e BRUEN (1998), citando o trabalho de Roy (1986), apresentam que, geralmente p e v são múltiplos de q, portanto, para o presente trabalho, foi adotado este critério na determinação destes limites, observando sempre, a relação $q < p < v$.

TABELA 08 – LIMITES q, p e v PARA CADA CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO

	RPC (%)	RM	Economia (L/s)	Alcance
q	10	1×10^{-1}	295	1
p	20	1×10^{-4}	590	5
v	30	2×10^{-4}	885	10

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicando-se o método ELECTRE III, através da rotina apresentada pelo Fluxograma 01 e pelas regras de classificação final do método, tem-se o Gráfico 04 com a classificação final, respectivamente.

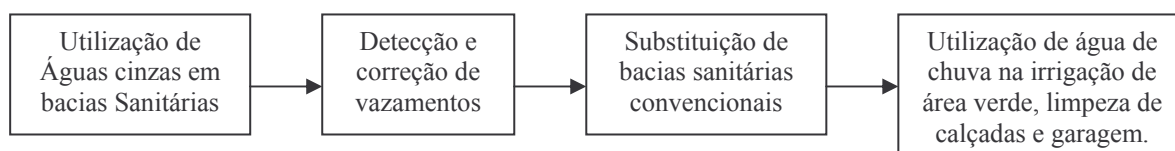


GRÁFICO 04 –classificação final

Os Gráficos 04 e 05, apresentam a classificação das medidas propostas em ordem decrescente de preferência. Assim sendo, o resultado final da hierarquização das cinco medidas propostas é o seguinte:

1º Medição Individualizada (medida 05); 2º Utilização de águas cinzas tratada em bacias sanitárias (medida 02); 3º Detecção e correção de vazamentos (medida 04); 4º Substituição de bacias sanitárias convencionais (medida 01); 5º Utilização de água de chuva na irrigação de área verde, limpeza de calçadas e garagem (medida 03).

Como abordado anteriormente, observa-se que a medida de medição individualizada (medida 05) domina todas as demais, em todos os critérios, ou seja, ela é a melhor alternativa. Por tal motivo esta medida não fez parte da análise multicritério, restando apenas a avaliação multicriterial das demais alternativas. Não obstante, o fato da utilização da água cinza tratada (medida 02) apresentar-se como a segunda melhor alternativa causa uma certa surpresa uma vez que é uma medida que apresenta o maior risco sanitário dentre as medidas, conforme a Tabela 06. No entanto, ao comparar essa medida 02 com as medidas 01, 03 e 04, observa-se que a mesma apresenta maior redução do consumo per capita de água, maior economia de água no sistema de abastecimento e maior alcance do mesmo. São superações significativas que elegem a medida 02 a tal posto, mesmo havendo o maior risco biológico e mesmo sendo o risco o critério que apresenta o maior peso, conforme tabela 07. A terceira posição da medida 04 (detecção e correção de vazamentos) também transparece na observação da Tabela 06. Tal medida supera as medidas 01 e 03 em todos os critérios, com exceção do risco microbiológico quando comparado com a medida 01, onde ambos são nulos. É importante também destacar uma comparação entre a detecção e correção de vazamentos (medida 04) e a utilização de bacias sanitárias de volume reduzido (medida 01). As duas pré-classificações das destilações ascendente e descendente, Gráficos 04 e 05 respectivamente, demonstram que na ascendente a detecção e correção de vazamentos são melhor que a utilização de bacias sanitárias de volume reduzido, enquanto na descendente as duas medidas se igualam. Com isto, segundo as regras de classificação já apresentadas, a detecção e correção de vazamentos superam a substituição de bacias sanitárias convencionais por bacias sanitárias de volume reduzido, finalizando a análise multicriterial das alternativas previamente solucionadas.

No entanto, a classificação da medida 04 deve ser abordada com atenção. Em realidade, de maneira a atender o princípio "primeiro combater o desperdício de água para depois adotar demais medidas de economia", o interessante é que a detecção e correção de vazamento sejam consideradas uma ação imperativa, ou seja, não deve sequer participar do processo de hierarquização. Caso tal princípio fosse considerado nesse exemplo, a primeira ação recomendada seria a medida 04. Após isso, é que se iniciaria o processo de hierarquização. Já as medidas 01 e 03 constam na quarta e quinta posição, respectivamente, cabendo destacar o fato que a utilização da água da chuva, apesar de apresentar um risco microbiológico menor que o da água cinza, propicia um volume economizado de água é muito reduzido. No entanto isso não é necessariamente função da natureza da medida, mas sim onde a mesma está sendo aplicada. Ou seja, no exemplo apresentado, os usos previstos para a água da chuva foram irrigação de áreas verdes, limpeza de calçadas e garagem, os quais apresentam demandas comparativamente menores por água. Caso o sistema de água da chuva fosse concebido para atender demandas maiores, tal ação seria mais competitiva e poderia alcançar postos superiores na hierarquização.

CONCLUSÃO

Deve ser observado que a aplicação da análise multicritério para hierarquização de medidas de conservação de água na edificação e no entorno requer cautela e precisão por parte do agente que toma decisões. Estabelecimento de pesos não adequados aos critérios, a utilização de critérios redundantes ou, ainda, a utilização de um conjunto de critérios que não reflita a complexidade do problema pode distorcer os resultados a serem obtidos. Por exemplo, nesse

trabalho foram analisados apenas o benefício da economia do insumo água potável, o impacto gerado no sistema de abastecimento em termos de economia deste insumo e os riscos microbiológicos proporcionados pelas medidas à saúde humana. Porém é necessário acréscimo do critério custo, o qual deverá influenciar de maneira significativa na classificação encontrada. A definição do critério custo, por parte dos autores, está em curso e será apresentada em publicações futuras.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao CNPq pelo apoio dado ao projeto de pesquisa PGUAE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUCHANAN J., SHEPPARD P. *Project Ranking Using Electre III*, apresentado na 33rd Annual Conference ORSNZ, acessado de www.esc.auckland.ac.nz/Organisations/ORSNZ/conf33/papers/p58.pdf em 6 Março 2004.
- LOBATO, M. B., 2005. *Sistema de hierarquização de ações de conservação da água em edificações com aplicação do método ELECTRE III*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Construção Civil. UFPR. Curitiba.
- MAYSTRE, L. Y.; PICTET, J.; SIMOS, J. *Méthodes multicritères ELECTRE*. 1. ed. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 1994.
- ROY, B. *Methodologie multicritère d'aide à la décision*. Paris: Economica, 1985.
- SANTOS, D. C. dos. *Programa de Gestão do Uso das Águas nas Edificações*. Curitiba: UFPR, 2001. Projeto de Pesquisa encaminhado ao CNPq.
- SANTOS, D. C. dos. *Os Sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental*. In: Ambiente Construído, Porto Alegre: 2002, v. 2, n. 4, p. 07 – 18.
- SANTOS, D. C. dos. *2004 Relatório do Programa de Gestão do Uso da Água em Edificações*. UFPR/CNPq. Curitiba.
- ZABROCKI, 2003. *Caracterização das Águas Cinzas em Edifícios Residenciais*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. UFPR. Curitiba.
- WATERCASA. *Water quality/soil quality risk assessment*, acessado de <http://www.watercasa.org/research/residential/assessment.htm> em 01, Novembro, 2004

