

AVALIAÇÃO DE MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO DA ÁGUA UTILIZANDO O MODELO *URBAN WATER USE* (UWU)

Marcella Silvestro^{1*} & *Robinson Ploszai*² & *Daniel Costa dos Santos*³

Resumo – Apresenta-se neste artigo a infraestrutura sanitária do município fictício Delta, o qual possui uma população de aproximadamente 6 mil habitantes. Os projetos dos sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana foram concebidos para um crescimento populacional de 1% ao ano e projeção de 25 anos. Visando uma gestão integrada de recursos hídricos foram implantadas quatro medidas de conservação da água no município, para cenários de crescimento populacional de 3%, 5% e 10% ao ano. Através do modelo UWU, obteve-se o índice de eficiência para os grupos de medidas propostos, bem como a análise sistêmica da situação futura. O objetivo deste trabalho é analisar as medidas de conservação da água adequadas para cada tipo de cenário futuro estimado.

Palavras-Chave – planejamento estratégico, gestão integrada de recursos hídricos, análise sistêmica.

EVALUATION OF WATER CONSERVATION MEASURES USING THE *URBAN WATER USE* (UWU) MODEL

Abstract – This paper presents the sanitary infrastructure of the fictitious Delta municipality, which has a population of around 6 thousand inhabitants. The projects of the water supply systems, sanitary sewage treatment and urban drainage for a population growth of 1% a year and 25 years of projection, were planned. Looking at an integrated management of water resources, were applied four water conservation measures in the municipality, for a population growth of 3%, 5% and 10% a year. The authors obtained the efficiency index applying the UWU model for all measures groups proposed, as well as the systemic analysis of the future situation. The aim of this study is to analyze the appropriate water conservation measures for each type of estimated future scenario.

Keywords – Strategic planning, integrated management of water resources, systemic analysis.

INTRODUÇÃO

Durante séculos a água foi considerada um bem público, de quantidade infinita e autossustentável pela sua capacidade de autodepuração. Porém com o crescimento das cidades, conseqüentemente houve um aumento do consumo de água per capita, da impermeabilização dos solos e também da quantidade de esgotos lançada, portanto a capacidade de autodepuração foi superada pela carga poluidora lançada nos corpos hídricos (Philippi, 2010).

O ciclo hidrológico se torna mais complexo nas áreas urbanas, por conta das intervenções humanas. O processo de urbanização altera a paisagem, bem como os fluxos de materiais e energia

¹ Estudante de mestrado da Universidade Federal do Paraná (UFPR), marsilvestro@gmail.com

² Estudante de doutorado da Universidade Federal do Paraná (UFPR), ploszai@ufpr.br

³ Professor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), dcsantos.dhs@ufpr.br

* Autor Correspondente: Marcella Silvestro

nas áreas urbanas. Alterações na paisagem urbana são tecnicamente importantes no que diz respeito ao escoamento superficial e suas características (GWP, 2012).

A lei nº 9.433 de janeiro de 1997 institui os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, tais quais: assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável; a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais. De acordo com o relatório do WCED (1987), as necessidades do presente são atendidas através do desenvolvimento sustentável, não comprometendo as necessidades das futuras gerações.

Philippi (2010) enfatiza que o objetivo da Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH) consiste na adoção de medidas corretivas e preventivas relacionadas a impactos prejudiciais ao meio ambiente. Neste contexto, Santos e Steen (2011) idealizaram o modelo *Urban Water Use* (UWU) para que ocorra uma GIRH, considerando abordagens alternativas para os problemas ambientais urbanos. O UWU utiliza como base o planejamento estratégico para seleção e avaliação de medidas para a melhoria da infraestrutura sanitária de determinada região.

A interação entre os sistemas de infraestrutura sanitária é abordada pela GIRH, enquanto que planejamento estratégico torna possível a previsão de situações a serem alcançadas em cenários futuros. Tal previsão ocorre por meio da implantação de medidas com base na gestão da demanda de água (redução de perdas, reuso, fontes alternativas), sistemas descentralizados para tratamento de esgoto, *ecological sanitation* (EcoSan) e sistemas de drenagem urbana sustentável.

O objetivo desse artigo é analisar as medidas de conservação da água adequadas para cada tipo de cenário futuro estimado, através do cálculo do índice de eficiência.

MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas para aplicação do modelo são: caracterização da área de estudo; definição dos cenários com base nos fatores externos; definição dos grupos de medidas a serem adotados; definição de indicadores e *vision* (meta futura a ser alcançada); definição dos pesos dos indicadores e simulações; e a avaliação do Índice de Efetividade (IE). O IE é calculado pela Equação (1).

$$IE = \sum (W_i \times N_j) \quad (1)$$

onde W_i representa o peso do indicador i e N_j representa o número de cenários j em que o indicador i alcançou a *vision* estabelecida. Quanto maior o número de cenários em que um indicador atingiu sua meta (*vision*) e maior o peso do indicador, mais eficaz é o grupo de medidas. Uma descrição detalhada da estrutura do modelo UWU encontra-se nos trabalhos de Santos e Benetti (2014) e de Destro *et al.* (2015).

Foi realizado o estudo considerando quatro cenários, um de projeto e três futuros, levando em consideração dois fatores externos, o crescimento populacional (λ_i) e o coeficiente de escoamento superficial (C_i). Para a concepção dos projetos dos sistemas sanitários foi utilizado o cenário de projeto: Cenário 1 ($\lambda_1 = 1\%/ano$; $C_1 = 0,67$) e os cenários futuros: Cenário 2 ($\lambda_2 = 3\%/ano$; $C_2 = 0,80$), Cenário 3 ($\lambda_3 = 5\%/ano$; $C_3 = 0,85$) e Cenário 4 ($\lambda_4 = 10\%/ano$; $C_4 = 0,93$).

Os Sistemas de Infraestrutura Sanitária, Abastecimento de Água (SAA), Esgotamento Sanitário (SES) e Drenagem Urbana (SDU) projetados no Cenário 1, foram mantidos para os Cenários 2, 3 e 4. Foi aplicado um estudo de melhoria da infraestrutura existente, através da

implantação de quatro medidas de conservação da água, combinados em quinze grupos de medidas (GM) e analisando o índice de eficiência (IE). Para os quatro cenários, as faixas de classificação do IE são: de 0 a 0,8 (ruim); de 0,9 a 1,6 (insuficiente); de 1,7 a 2,4 (razoável); de 2,9 a 3,6 (bom); de 3,7 a 4 (excelente).

ÁREA DE ESTUDO

Neste estudo analisa-se o município fictício Delta, com área total de 11,4ha, e pluviosidade em torno de 1.500mm/ano. As características do manancial utilizado para captação da água para abastecimento da cidade são: vazão média de 450L/s, vazão mínima de 220L/s e vazão de outorga para captação com fins de abastecimento de água para o município de 23L/s. Trata-se de um rio de Classe 2, segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

No município estão instalados além das residências, uma escola, um posto de saúde, um shopping center e uma indústria de laticínios. Atualmente a população é de 5.993 habitantes, divididas entre população fixa (residente) e flutuante (trabalhadores e visitantes). Para estimativa da população futura, utiliza-se progressão geométrica, considerando que a população flutuante (5.457 habitantes) se mantém constante até o final do plano. Como base de cálculo, utiliza-se apenas a população fixa.

Os projetos dos SAA, SES e SDU foram concebidos para um crescimento populacional de 1% ao ano e projeção de 25 anos (Cenário 1).

Infraestrutura sanitária de projeto (Cenário 1)

O SAA é composto por captação, estação elevatória, Estação de Tratamento de Água (ETA), reservatório elevado e rede de abastecimento de água. As vazões de projeto foram calculadas para o Cenário 1, com consumos per capita efetivos (q_e) diários de 180L/hab para a população residente e 50L/hab para a população flutuante. Para o consumo de água potável na indústria adotou-se a vazão de projeto de 2,8L/s. Os coeficientes adotados para o dia de maior consumo (k_1) e a hora de maior consumo (k_2) são 1,2 e 1,6, respectivamente. Foi adotado como 70% o valor para o índice de perdas na rede de distribuição (I_{REDE}) e de 5% para o índice de perdas na ETA (I_{ETA}).

No SES, a extensão da rede coletora para o setor urbano é 2.270m. Considerando o Coeficiente de Retorno (CR) de 80%, a vazão final do esgoto bruto que será tratada na estação de tratamento de esgoto (ETE) é de 6,14L/s. A capacidade máxima de vazão de esgoto bruto para tratamento é de 7,5L/s.

Foram calculados a carga orgânica do efluente e a estimativa de carga no lançamento do esgoto bruto no ponto de mistura com o manancial. Para simplificação, a análise do lançamento é realizada apenas no ponto de mistura da saída do efluente da ETE com o manancial. Considerando a eficiência esperada da ETE para cada parâmetro, a vazão mínima do manancial e a vazão do efluente, foram obtidas as variáveis das cargas orgânicas no ponto de mistura para os cenários futuros, conforme a Tabela 1.

As vazões de drenagem para o SDU foram calculadas pelo Método Racional e para dois emissários: A e B. Nos Cenários 2, 3 e 4, houve aumento na área impermeabilizada do município, devido às construções irregulares nos lotes, assim como um aumento das construções nas áreas onde anteriormente seriam áreas públicas. Devido a estes aumentos, conseqüentemente aumentou o

coeficiente de escoamento superficial. As vazões drenadas (Q_d) para cada cenário, bem como a vazão crítica de projeto (Q_{cr}) constam na Tabela 2.

Tabela 1 – Cargas orgânicas no ponto de mistura, considerando vazão mínima do manancial.

Variáveis	Eficiência no Tratamento ETE	Ponto de Mistura				Padrões CONAMA 357/2005
		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	
DBO (mg/l)	90,0%	4,82	4,99	5,10	5,66	até 5
P (mg/l)	82,0%	0,048	0,054	0,063	0,112	até 0,05
N (mg/l)	50,0%	3,30	3,35	3,42	3,82	até 3,7
CTT (NMP/100 ml)	99,9%	$5,87 \times 10^2$	$5,86 \times 10^2$	$5,83 \times 10^2$	$5,69 \times 10^2$	até 1×10^3

Tabela 2 – Cargas orgânicas diárias do SDU e vazões de drenagem.

Carga Orgânica	Projeto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
$C_{DBO} (kg \times DBO/dia)$	3,53	2,96	3,54	3,74	4,12
$C_N (kg \times N/dia)$	0,71	0,59	0,71	0,75	0,82
$C_P (kg \times P/dia)$	0,15	0,12	0,15	0,16	0,17
$C_{CTT} (kg \times CTT / 100 mldia)$	$3,53 \times 10^3$	$2,96 \times 10^3$	$3,54 \times 10^3$	$3,74 \times 10^3$	$4,12 \times 10^3$
Vazão de drenagem	4,09 m³/s	3,43 m³/s	4,10 m³/s	4,33 m³/s	4,77 m³/s

No SAA, para o Cenário 1, a vazão de demanda é menor que a vazão de outorga. Para os Cenários 2, 3 e 4, as vazões necessárias para abastecimento de água do município são superiores à vazão de outorga, sendo necessário realizar um represamento do manancial para a captação da água em quantidade suficiente para atender as necessidades do município Delta.

Analisando a Tabela 1, capacidade máxima de vazão de esgoto bruto para tratamento é atendida nos Cenários 1 e 2, sendo necessária ampliação do SES para os Cenários 3 e 4. Para o Cenário 1 todos os critérios de lançamento são atendidos, o que não ocorre para a maior parte destes parâmetros nos cenários futuros. No SDU (Tabela 2) as vazões de drenagem (Q_d) nos emissários A e B, calculadas para os cenários futuros são superiores às vazões máximas de projeto, acarretando em riscos de inundações para o município Delta.

Para que se possa utilizar a infraestrutura sanitária projetada, sob o crescimento populacional considerado, será implantada uma medida de conservação de água para cada sistema sanitário, bem como nas edificações.

Medidas de conservação da água

A medida de conservação no SAA consiste na redução do índice de perdas na rede de abastecimento. A meta para o horizonte de 25 anos é reduzir o índice de perdas de 70% para 20%, através de um trabalho contínuo de pesquisa, detecção e reparos de vazamentos nas redes de abastecimento.

A medida de conservação no SES é o reuso de água na indústria de laticínios. A previsão futura é que 35% desta água seja tratada e reutilizada no processo industrial e nas instalações

sanitárias da empresa (descarga da bacia sanitária). Portanto, o consumo de água potável da indústria reduz, conseqüentemente diminuindo a vazão de esgoto a ser tratada pela ETE.

Para o SDU são construídos reservatórios de detenção que diminuem a vazão crítica nos emissários A e B, minimizando os riscos de inundações. Os reservatórios são subterrâneos, a entrada e a saída dos mesmos ocorrem pela gravidade. O volume total foi calculado de maneira que possa ser retida uma quantidade de água suficiente para reduzir a vazão de drenagem em 600L/s.

Para o horizonte de 25 anos, considera-se que todas as edificações residenciais e comerciais têm sistema de aproveitamento água de chuva como medida de conservação da mesma. A água de chuva depois de tratada pode ser utilizada em bacias sanitárias e torneiras de jardim, correspondendo a uma diminuição do consumo per capita diário de 180L para 148L nas residências e de 50L para 27L nos estabelecimentos comerciais. Esta ação deve reduzir as vazões de drenagem dos emissários em até 20%.

Na Tabela 3, verifica-se o quadro resumo com as medidas implantadas e uma análise do seu impacto principal em cada sistema sanitário.

Tabela 3 – Quadro resumo das medidas de conservação e seus impactos nos sistemas sanitários.

Medidas	SAA	SES	SDU
M1: Redução de perdas	Reduz volume de água captado e tratado pela concessionária. Melhora pressões no sistema.	NÃO IMPACTA	NÃO IMPACTA
M2: Reuso na indústria	Reduz volume de água potável consumida	Reduz volume de esgoto lançado na rede pública	NÃO IMPACTA
M3: Bacias de detenção	NÃO IMPACTA	NÃO IMPACTA	Reduz o pico da vazão drenada
M4: Uso de água da chuva	Reduz volume de água potável consumida	NÃO IMPACTA	Reduz pico da vazão drenada

Os Grupos de Medidas (GM) adotados para a análise do IE constam na Tabela 4. O GM0 contempla os parâmetros de projeto (sem considerar as medidas de conservação de água), os grupos GM1 à GM5 contemplam medidas de conservação a serem tomadas pela concessionária de saneamento e prefeitura. Os grupos GM6 à GM10 incluem participação da indústria e GM11 à GM16 incluem a participação a nível de usuário e dependem de políticas públicas.

Tabela 4 – Quadro resumo dos Grupo de Medidas.

Arranjos de medidas	Índice de Perdas na Rede (IPR)				
	60%	50%	40%	30%	20%
M1 + M3	GM1	GM2	GM3	GM4	GM5
M1 + M2 + M3	GM6	GM7	GM8	GM9	GM10
M1 + M2 + M3 + M4	GM11	GM12	GM13	GM14	GM15

Definição e estimativa de indicadores de infraestrutura sanitária

Os indicadores utilizados para a análise da melhoria da infraestrutura sanitária são: cobertura do SAS (C_{SAA}), cobertura do SES (C_{SES}), relação entre a vazão drenada e vazão crítica do SDU (Q_d/Q_{CR}), capacidade de captação de água em função da vazão de outorga (CAP_{SAA}), capacidade de

tratamento de esgoto (CAP_{SES}), cargas de drenagem para (CD) para DBO, N, P e CTT e variáveis da mistura na saída da ETE (V_m) para DBO, N, P e CTT. As metas (*vision*) a serem atingidos no futuro constam na Tabela .

Na Tabela 6, tem-se o cálculo do IE para os 4 Cenários do estudo, sem implantações de medidas de conservação da água, ou seja, para o GM0.

Tabela 5 - Indicadores e *vision*.

Indicadores	C_{SAA}	C_{SES}	Q_d/Q_{CR}	CAP_{SAA}	CAP_{SES}	CD	V_m
<i>Vision</i>	> 100 %	> 100 %	< 0,90	> 100 %	> 100 %	< 0,8 $C_{PROJETO}$	< Legislação

Tabela 6 – Definição do IE para GM0.

INDICADORES	UNIDADE	CENÁRIOS				VISION	Resultados		
		1	2	3	4		Peso Vision (W_i)	Núm de cenários (N_i)	$W_i \times N_i$
C_{SAA}	%	100	93,4	84,5	54,5	> 100	22%	1	0,22
C_{SES}	%	100	93,4	84,5	54,5	> 100	18%	1	0,18
CAP_{SAS}	%	100,6	86,2	70,2	34	> 100	8%	1	0,08
CAP_{SES}	%	122,2	109,9	93,5	51,1	> 100	8%	2	0,16
Q_d/Q_{cr}	adimensional	0,84	1	1,06	1,17	< 0,9	12%	1	0,12
C_{DBO}	kg DBO/dia	2,96	3,54	3,74	3,74	< 2,83	3%	0	0,00
C_P	kg P/dia	0,59	0,71	0,75	0,82	< 0,57	3%	0	0,00
C_N	kg N/dia	0,12	0,15	0,16	0,17	< 0,12	3%	0	0,00
C_{CTT}	kg CTT/dia	2.960	3.540	3.740	4.120	< 2.827	3%	0	0,00
DBO_M	mg/l	4,82	4,88	5,1	5,66	< 5,0	5%	2	0,10
P_M	mg/l	0,048	0,054	0,063	0,112	< 0,05	5%	1	0,05
N_M	mg/l	3,3	3,35	3,42	3,82	< 3,7	5%	3	0,15
CTT_M	NMP/100 ml dia	587	586	583	569	< 1000	5%	4	0,20
Total							100 %		1,260
Classificação							INSUFICIENTE		

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para estruturação do índice de efetividade (IE), foram realizadas cinco simulações (S1 ao S5) variando os pesos de *vision*, conforme a Tabela 4. As simulações foram propostas com pesos diferentes para cada sistema sanitário. Na S3 foi previsto maior peso para SES e SDU e nas S2 e S4, pesos iguais para SAS, SES e SDU. Na S5 foi previsto um peso maior para os SAS e SDU. Na Figura 1, constam os resultados das simulações e a classificação do IE.

Através da avaliação do IE, pode-se concluir que no GM0 (projeto), todas as análises são insuficientes, pois os cenários futuros não são atendidos com a infraestrutura existente. Os grupos de medidas GM1 ao GM5 ficam na faixa razoável, sendo necessária implantação do reuso na indústria (M3) para que atinjam a classificação “Bom”, o que se verifica nos GM6 a GM10. Após a implementação da utilização da água de chuva (M4), a partir do GM11, a classificação do IE atinge uma faixa superior, chegando a “Excelente” em 4 das simulações no GM15.

As medidas propostas para o SAA foram suficientes para atingir as metas propostas (*vision*). Em todas as simulações, o sistema torna-se razoável no GM1, a partir da redução de perdas para 60%. Minimizando os indicadores de perdas, além da conservação de um recurso indispensável, também melhora as pressões no sistema e reduz investimentos em novos mananciais e infraestrutura, bem como custos de tratamento e operação.

Tabela 4 – Peso Vision (W) em cada simulação para cada indicador.

	C_{SAA}	C_{SES}	CAP_{SAS}	CAP_{SES}	Q_d/Q_{CR}	CD_{DBO}	C_P	C_N	C_{CTT}	DBO_M	P_M	N_M	CTT_M	Total
S1	22%	18%	8%	8%	12%	3%	3%	3%	3%	5%	5%	5%	5%	100%
S2	30%	15%	6%	5%	18%	2%	2%	2%	2%	5%	4%	4%	5%	100%
S3	5%	40%	5%	10%	20%	2%	2%	2%	2%	3%	3%	3%	3%	100%
S4	20%	20%	8%	8%	20%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	100%
S5	40%	5%	10%	5%	20%	3%	3%	3%	3%	2%	2%	2%	2%	100%

Para o SDU será necessário a implantação de outras medidas de conservação, principalmente com relação às cargas de drenagem lançadas no manancial. Uma fiscalização eficiente em relação à utilização e ocupação do solo, bem como a implantação de pisos impermeáveis e de *wetlands*, diminuiria o coeficiente de escoamento superficial. Reduziria também a vazão drenada e a carga orgânica, além de melhorar o sistema de limpeza pública, o qual também reduziria a carga orgânica lançada pelos emissários.

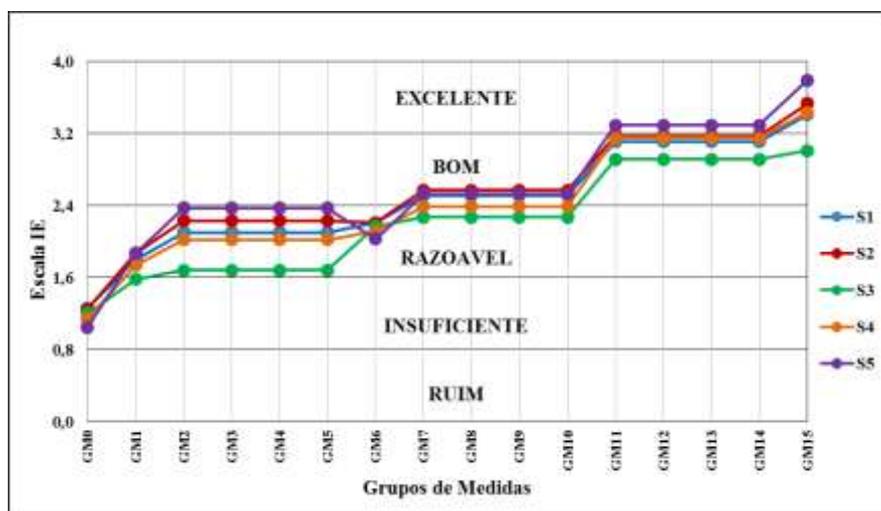


Figura 1 – Classificação do IE para cada simulação.

Analisando o SES e o lançamento de efluentes no ponto de mistura, percebe-se que para os cenários futuros, as cargas orgânicas lançadas estão superiores aos limites previstos na legislação. O reúso de água na indústria melhorou tais índices, sendo ideal a implantação de um tratamento de efluentes na planta da fábrica de laticínios para desafogar a ETE do município.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contribuição das águas pluviais pode melhorar o ciclo hidrológico local, porém prejudicar sob o ponto de vista regional. Desta forma, aumentando o raio de observação do ciclo hidrológico, a contribuição da M4 (águas pluviais) pode ser nociva. Quando há alteração no ciclo hidrológico de um local, significa que a água acaba não contribuindo nos outros sistemas hidrológicos. A água que deveria ser escoada superficialmente passa a ser utilizada pelos habitantes do município Delta, em forma de reaproveitamento. A mesma pode contribuir para o acréscimo de água na região do município não concluindo o ciclo hidrológico, tal qual fazia anteriormente a criação do município.

Pode-se concluir que a uma taxa de crescimento populacional de 10% ao ano, a infraestrutura sanitária prevista em projeto atende as necessidades da população com a implantação de medidas de conservação de água. Dentre as simulações realizadas, o melhor desempenho ocorreu em S2 e S5, que contemplam os maiores pesos na cobertura do SAS. Para melhorar o IE, outras medidas de conservação podem ser aplicadas, até que sejam atendidos todos os indicadores da legislação.

REFERÊNCIAS

- BRASIL (1997). Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília.
- BRASIL (2005). Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. *Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional*. Publicado no D.O.U.
- DESTRO, C. A. M.; GERSONIUS, B; SANTOS, D. C. (2015). Avaliação de medidas de drenagem urbana sustentável utilizando o urban water use (UWU) model. In *Anais do XXI SBRH*, Brasília.
- GWP (2012). Global Water Partnership. *Integrated Urban Water Management*. Sweden.
- PHILIPPI, A. J. *Saneamento, Saúde e Ambiente*. 2ª reimpressão. Barueri/SP. Editora Manole, 2010.
- SANTOS, D. C.; BENETTI, A. (2014). Application of the urban water use model for urban water use management purposes. *Water Science & Technology*. v. 70, n. 3, p. 407-413.
- SANTOS, D. C.; van der STEEN, P. (2011). *Understanding the IUWM principles: An activity based on Role Play approach (for facilitator and specialists)*. Delft, Netherlands, 66 p.
- WCED (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. General Assembly of the United Nations, Oslo, March.