

SOLUÇÕES ALTERNATIVAS PARA SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA INTEGRANDO ÁREAS DE FAVELAS COM A CIDADE FORMAL

Raphael Barbosa dos Santos¹; Marcelo Gomes Miguez;^{2} Aline Pires Veról³;
Flávio Cesar Borba Mascarenhas⁴ & Marcos Cotrim Serpa⁵*

Resumo – O objetivo principal deste trabalho é propor uma alternativa para a gestão das águas pluviais em comunidades de baixa renda, estabelecidas em favelas verticais, localizadas em áreas com infraestrutura insatisfatória e ambiente degradado. Um estudo de caso no Rio de Janeiro é apresentado. As grandes declividades da área de estudo são aproveitadas para o escoamento superficial, gerando alternativas às tradicionais galerias coletoras de vazão a montante. Um pequeno reservatório de lote é proposto para cada casa, reduzindo os volumes de escoamento ao captar a água da chuva, e um reservatório de retenção de maior porte é introduzido como forma de conectar a contribuição da encosta com a rede urbana de microdrenagem formal. Os diferentes cenários foram simulados com o auxílio do modelo matemático MODCEL, e os resultados mostraram ser possível aplicar uma solução de drenagem efetiva em áreas informais, sem afetar a rede de drenagem formal já implementada a jusante. O reservatório de retenção proposto ainda permite agir no controle de qualidade da água, embora este aspecto não seja desenvolvido neste estudo.

Palavras-Chave – favela, sistemas de drenagem urbana, MODCEL.

ALTERNATIVE SOLUTIONS FOR URBAN DRAINAGE SYSTEMS INTEGRATING AREAS OF IRREGULAR URBAN GROWTH WITH THE FORMAL CITY

Abstract – The main objective of this paper is to propose an alternative for the stormwater management in low-income communities, settled in urban vertical slums, located in areas with insufficient infrastructure and degraded environment. A case study located in Rio de Janeiro City, Brazil, is presented. The high slopes of the studied area are used to favour the superficial flows, generating alternatives for the traditional stormdrains used to collect the runoff of the upstream reaches. A small reservoir is proposed for each house, reducing flood volumes by allowing rainwater harvesting, and a greater retention reservoir is introduced as a storage measure for connecting the the microdrainage coming from the informal city to the formal city. The different scenarios were simulated with the aid of a mathematical model called MODCEL and the results showed that it is possible to apply an effective drainage system solution in informal areas, without affecting the already implemented downstream formal drainage network. The retention reservoir proposed also introduces the possibility to act in improving the water quality to downstream areas, although this complementary aspect is not developed in this study.

Keywords – informal city, urban drainage systems, MODCEL.

INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado do processo de urbanização aliado à falta de controle e planejamento adequado do uso do solo urbano resulta em uma baixa eficiência da infraestrutura urbana e,

¹ Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, raphaelsantos@poli.ufrj.br.

² COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, marcelomiguez@poli.ufrj.br.

³ COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, alineverol@coc.ufrj.br.

⁴ COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, flavio@coc.ufrj.br.

⁵ Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, mcserparj@gmail.com.

* Autor Correspondente.

consequentemente, degrada os ambientes natural e construído, resultando em graves problemas de saneamento para as cidades. Uma das maiores consequências do crescimento descontrolado das cidades, sem padrões adequados e pré-definidos, é o aumento dos danos causados pelas cheias. Os sistemas de drenagem existentes perdem suas capacidades de projeto ao longo do tempo. A vazão excedente gerada pela remoção da vegetação e pelo aumento das áreas impermeáveis tende a agravar o problema das enchentes, alagando grandes áreas urbanas. Nos países em desenvolvimento, as condições mais severas associadas a este processo afetam, principalmente, a população de baixa renda, estabelecida em áreas degradadas e de risco, muitas vezes, em favelas. Estas áreas carecem de saneamento básico, entre outros serviços de infraestrutura, devido à sua situação irregular e acessibilidade precária (Maksimović e Tejada-Guibert, 2001; Paterson *et al.*, 2007). Alguns dos principais desafios para as favelas são relacionados a questões de sustentabilidade.

O Brasil sofre com a existência de uma grande quantidade de favelas em áreas urbanas. Além dos vários problemas intrínsecos, incluindo graves aspectos sociais, estas regiões também colaboram com o aumento da vazão de pico e dos volumes de escoamento, do mesmo modo que a urbanização formal, porém também contribuindo com uma grande quantidade de sedimentos e resíduos sólidos, sem qualquer tipo de controle, o que diminui a capacidade de transporte das galerias. Considerando a quantidade de favelas na região metropolitana do Rio de Janeiro, muitas áreas sofrem com consequências mais graves das enchentes.

A maioria das favelas brasileiras já está consolidada, porém os problemas relativos ao seu rápido crescimento permanecem. Vários programas municipais no Brasil vêm tentando urbanizar estas áreas, com o objetivo de reintegrá-las à cidade. No entanto, há muita dificuldade para encontrar soluções adequadas, levando-se em conta que são áreas informais, mal planejadas, com pouco espaço, pouca ordem urbana e grande falta de infraestrutura. A busca por soluções requer o planejamento integrado da cidade, partindo da compreensão das diferentes abordagens de saneamento ao longo da história, a fim de prospectar tendências futuras, tentando conjugar diferentes experiências para, finalmente, compor uma solução combinada para a reabilitação das favelas, considerando aspectos práticos e técnicos dos sistemas de drenagem e esgoto, com baixo custo e possibilidades de manutenção adequadas, também considerando a participação da comunidade para fins sustentáveis. Considerando esta discussão, este trabalho vem apresentar uma solução conceitual para a gestão de águas pluviais em comunidades de baixa renda, localizadas em favelas verticais, como:

- ✓ uso de canais abertos como opção principal de drenagem, tirando vantagem das grandes declividades – esta alternativa diminui os custos de implementação e simplificam a manutenção;
- ✓ captação e aproveitamento da água da chuva para reduzir os volumes lançados no sistema de drenagem formal e otimizar a disponibilidade de água, contribuindo para complementar o sistema de abastecimento;
- ✓ adoção de reservatórios de detenção/retenção para amortecer o excesso de escoamento superficial gerado pelas encostas, antes de conectar esta área ao sistema formal.

O estudo de caso desenvolvido se refere a uma favela localizada nos morros Pau da Bandeira e Parque Vila Isabel, no bairro de Vila Isabel, Zona Norte do Rio de Janeiro.

CRESCIMENTO URBANO E COMUNIDADES DE BAIXA RENDA

O intenso crescimento urbano ocorreu de formas diferentes, dependendo do momento histórico de cada cidade. Nos países desenvolvidos, onde a Revolução Industrial aconteceu mais cedo, o processo de urbanização foi gradual. No entanto, quando o processo de urbanização começa

sem controle e planejamento, é muito mais difícil encontrar soluções adequadas para o ambiente construído. Esta situação é frequente em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, que tiveram um processo de urbanização mais tardio.

O crescimento de uma cidade irregular juntamente com uma regular torna quase impossível um planejamento adequado para desenvolvimentos futuros, porque este processo sem controle tende a ocupar áreas inicialmente não apropriadas para a urbanização. Encostas e planícies de inundação são os principais exemplos. A remoção da vegetação das encostas agrava os riscos de deslizamento e contribui para o aumento da geração de escoamento para a jusante. A ocupação de planícies inundáveis limita o espaço para extravasamento, e áreas anteriormente seguras começam a alagar com mais frequência. A conjugação de maiores taxas de impermeabilidade, permitindo menos infiltração e maiores escoamentos superficiais, associada a uma maior produção de sedimentos e lixo, ambos sendo conduzidos ao sistema formal de drenagem, tende a produzir uma situação crítica.

Nos últimos anos, o problema de cheias urbanas vem sendo discutido de forma integrada, convergindo para o conceito de drenagem urbana sustentável (Miguez et al., 2012; Barbosa et al., 2012; O'Sullivan et al., 2012; Chocat et al., 2001; Pompêo, 2000). Este conceito afirma que sistemas de drenagem podem ser desenvolvidos para aprimorar o desenho urbano, tratando os riscos ambientais e melhorando o ambiente construído. No entanto, é geralmente pensado para aplicações em ambientes urbanos formais e frequentemente aparece como uma oportunidade de valorizar os espaços urbanos ao redor. As paisagens multifuncionais (Miguez et al., 2007) são exemplos desta situação. Todavia, em cidades onde as favelas se proliferam, a questão das cheias urbanas pode se tornar ainda pior. Em áreas irregulares, geralmente há muitos problemas relacionados à falta de infraestrutura mínima e à ausência de padrões técnicos recomendados. O crescimento espontâneo torna cada favela única, com diferentes restrições socioeconômicas, técnicas e topográficas. A falta de espaço disponível para intervenções de engenharia também é um problema frequente. Este cenário dificulta as intervenções, porém é o desafio envolvido na recuperação e integração destas áreas para a cidade formal.

ESTUDO DE CASO

Vila Isabel é um importante bairro do Rio de Janeiro, habitado por pessoas de classe média e média-baixa, com menores classes habitando nos morros. Três favelas localizam-se neste bairro: Parque Vila Isabel, Pau da Bandeira e Macacos que, em conjunto, são conhecidos como Complexo dos Macacos. Em pesquisa recente, realizada pelo Governo Federal (IBGE, 2010), foi divulgado que mais de 11 milhões de pessoas, no Brasil, vivem em favelas. Este número corresponde a 6% da população total brasileira e pode ser comparado à população total de países como Portugal, por exemplo. Deste total, o Rio de Janeiro é a cidade onde a maior parte da população vive em favelas: 1,3 milhões de pessoas, correspondendo a 20% de sua população total. Estes números aumentam 2,4% a cada ano, enquanto a população morando em áreas formais aumenta a uma taxa de apenas 0,38% no resto da cidade.

O estudo de caso deste trabalho foca na comunidade de baixa renda do Complexo dos Macacos, mais especificamente nos morros Parque Vila Isabel e Pau da Bandeira, que ocupam uma área de aproximadamente 150.000 m². A Figura 1 mostra uma imagem geral da área de estudo e a Figura 2, um mapa da comunidade.



Figura 1: Área de estudo - Morro do Pau da Bandeira, na Zona Norte do Rio de Janeiro (Google Earth, 2012)

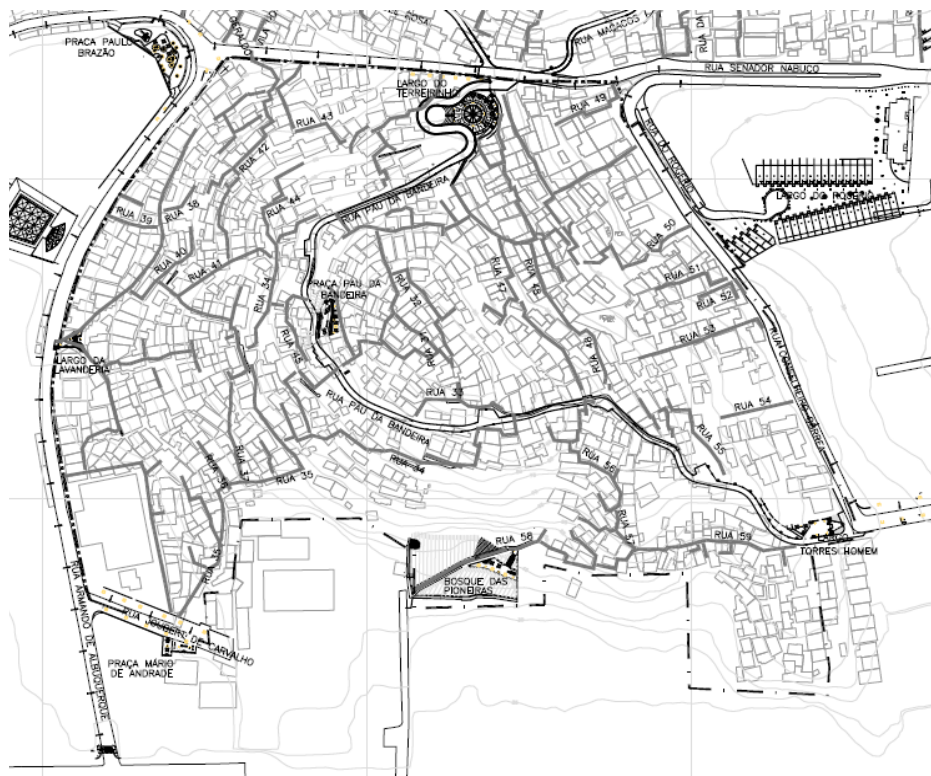


Figura 2: Comunidade do Pau da Bandeira (Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, 2006)

Mais de 11 mil pessoas moram no Complexo dos Macacos. A ocupação do Complexo dos Macacos começou na década de 1920, induzida pelo processo de expropriação de trabalhadores e motivada pelo fato de que naquela área, longe da Zona Sul e do Centro, o risco de deportação era menor. Os morros Parque Vila Isabel e Pau da Bandeira foram ocupados apenas na década de 1950. A população que ocupou estas encostas, formando as favelas, veio de outra área pobre da cidade, onde a Universidade Estadual do Rio de Janeiro foi construída. Próximo ao pé do morro do Pau da Bandeira há uma área verde, onde um parque foi instalado. O Recanto do Trovador, que foi um zoológico no passado, é agora um parque público, com opções de lazer para a população. A área de aproximadamente 35 km² sofreu intervenções e foi reaberta em 2011. Ele também conta com uma Vila Olímpica, área para prática de esportes.

PROPOSTA DE INTERVENÇÕES

A fim de solucionar os problemas de drenagem em comunidades de baixa renda, localizadas em favelas verticais, algumas intervenções foram propostas e analisadas, com o auxílio de modelagem matemática. Elas são detalhadas nos itens a seguir.

Canais abertos para coleta inicial de microdrenagem

A primeira proposta considera o uso de canais abertos, de pequenas dimensões, para coleta do escoamento superficial, tomando vantagem das grandes declividades desta área. A vazão será conduzida para valas centrais, direcionando esta contribuição pelas pequenas ruas da favela, sem requerer galerias, exceto na rua (ou ruas) principal(is). Esta galeria será encaminhada para um reservatório de retenção, antes de descarregar na rede formal de drenagem.

Coleta de águas pluviais

Para reduzir o volume inicial de escoamento, o conceito de coleta de águas pluviais também é introduzido no projeto. Alguns estudos sobre a análise do uso de água nos lares urbanos mostraram que até 30% da água nas casas é usada para descarga de bacias sanitárias (Butler et al., 1995; Lazarova et al., 2003; Campisano e Modica, 2010). Campisano e Modica (2011) afirmam que os principais requisitos para este uso são pequenos tanques de armazenamento, sendo a demanda de água diária nos banheiros relativamente constante durante o ano. Considerando isto, pequenos tanques de armazenamento de cerca de 1m³ são propostos para cada casa, removendo parte do volume de chuva coletado nos telhados. Estes reservatórios serão completamente separados do sistema formal de abastecimento. Sua utilização será apenas para descarga de vasos sanitários, que, por sua vez, também poderão trabalhar com a água do sistema de abastecimento formal. A operação destes reservatórios utiliza apenas a ação gravitacional, sendo posicionado acima do nível do terreno, porém abaixo do nível do telhado. A Figura 3 apresenta esquemas de uma adaptação de um banheiro, considerando um tanque de armazenamento para coleta de águas pluviais.

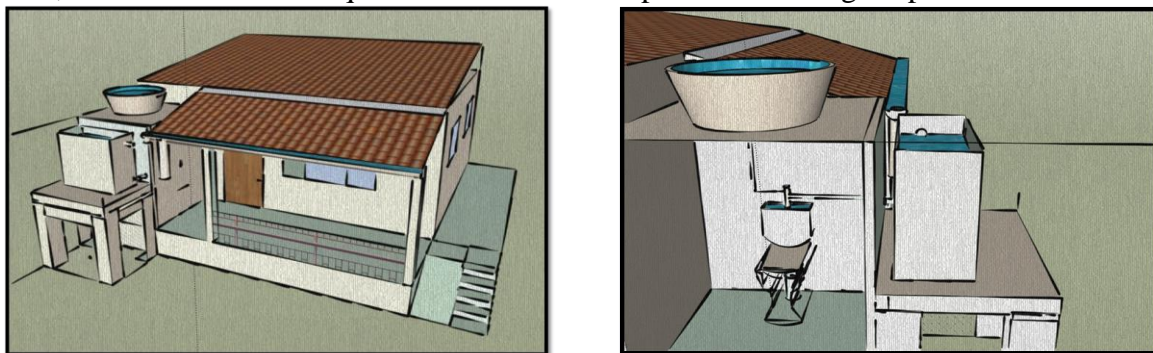


Figura 3: Exemplo de banheiro adaptado

Reservatório de retenção

Finalmente, um reservatório de retenção de maior porte foi proposto para redistribuir as contribuições das áreas de encostas no tempo, a fim de controlar o escoamento para o sistema de drenagem formal, ajustando estas vazões para a capacidade do sistema. O reservatório seria localizado em uma área de 35.000 m², dentro do Parque Recanto do Trovador (Figura 4). Hoje, já há um lago permanente no parque.



Figura 4: Área reservada para o reservatório de retenção, no Parque Recanto do Trovador (Google Earth, 2012).

METODOLOGIA

No contexto do presente trabalho, foi utilizado o modelo computacional hidrodinâmico MODCEL (Mascarenhas & Miguez, 2002; Miguez, 2001) para analisar o comportamento do sistema durante a ocorrência de enchentes e para projetar futuros cenários, onde as medidas de controle de cheias foram introduzidas. Os resultados obtidos para os cenários simulados permitem uma evolução comparativa, verificando os efeitos obtidos com as medidas propostas. O tempo de recorrência adotado para o cálculo da chuva de projeto foi de 10 anos e a duração da chuva coincide com o tempo de concentração da bacia do Rio Joana, que é de 3 horas. A área em estudo se localiza no curso superior da bacia do Rio Joana e o evento de chuva crítica para esta bacia foi tomada como referência. Sendo assim, os resultados obtidos mostrarão como a área de estudo contribui para o sistema de drenagem a jusante.

Os cenários propostos e simulados são descritos a seguir:

- ✓ Cenário Atual – situação real da bacia;
- ✓ Cenário Natural – situação hipotética, na qual as encostas não foram ocupadas, preservando a situação original, porém considerando as áreas urbanizadas formais;
- ✓ 1º Cenário de Projeto – utilização dos tanques de armazenamento sem a implementação do reservatório de retenção no parque, para analisar o efeito isolado destes reservatórios menores;
- ✓ 2º Cenário de Projeto – simulação dos tanques de armazenamento juntamente com o reservatório do Parque Recanto do Trovador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos diferentes cenários mostram que é possível aplicar uma solução de sistema de drenagem efetiva em áreas informais, recuperando a capacidade operacional da rede formal de drenagem já implementada a jusante. Além disso, é possível diminuir os picos de cheia na região. Os hidrogramas de todos os cenários simulados são ilustrados na Figura 5.

Ao comparar os Cenários Atual e Natural, é possível verificar que, se não houvesse as favelas, a vazão seria aproximadamente 20% menor. Os resultados obtidos para o Cenário Atual e o 1º Cenário de Projeto, se comparados entre si, não apresentam muita diferença, em termos de redução da vazão de pico. Já o 2º Cenário de Projeto, se comparado com o Cenário Atual, leva à percepção de que houve uma redução de quase 30% da vazão máxima, no último trecho da galeria considerada como referência. A Figura 6 apresenta o balanço de vazões no reservatório do Parque Recanto do Trovador. Verifica-se que este reservatório apresenta uma grande eficiência na redução de picos de vazão.

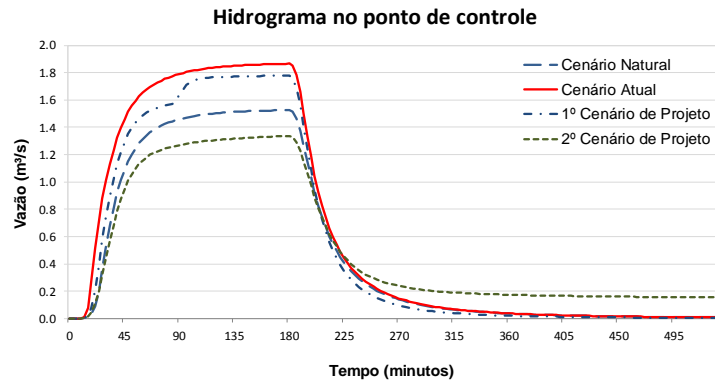


Figura 5: Hidrograma – Todos os cenários simulados.

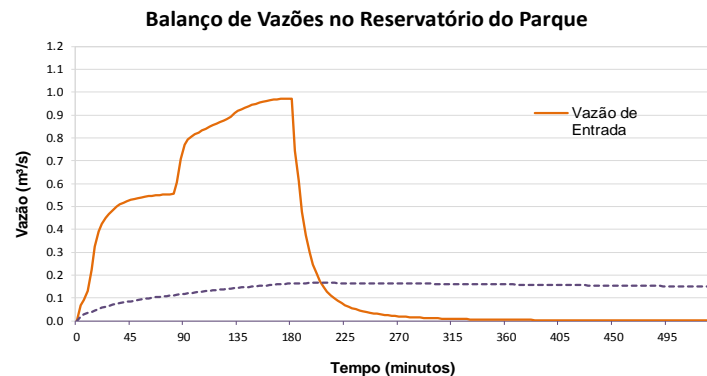


Figura 6: Balço de vazões no Reservatório do Parque – Entrada e Saída

CONCLUSÃO

A simulação mostrou que resultados relevantes podem ser obtidos, através do tratamento das áreas de encosta para adequar suas contribuições para a rede formal de drenagem. A adoção de tanques de armazenamento na escala do lote contribui, ainda que ligeiramente, para se aproximar do hidrograma de Cenário Natural hipotético, no qual as encostas teriam sido preservadas. É importante salientar que esta pequena contribuição é relacionada ao evento de chuva de projeto, de tempo de recorrência 10 anos. Para eventos mais frequentes com menores intensidades, os quais estão presentes no cotidiano da cidade, estes reservatórios são mais eficientes. O reservatório de retenção no Parque Recanto do Trovador provou ser extremamente eficaz e ainda mais benéfico para a rede à jusante que a simples preservação da encosta, em termos de resultados puramente hidráulicos. Certamente, onde possível, a principal ação seria não ocupar estas áreas de encosta e manter suas coberturas vegetais naturais, porém os resultados mostraram ser possível reorganizar os já alterados padrões de escoamento urbanos.

Em termos gerais, os resultados indicam que é possível executar uma drenagem efetiva das regiões informais, sem afetar negativamente a rede de drenagem à jusante. O escoamento pode ser controlado por pequenos tanques de armazenamento e/ou por maiores reservatórios em áreas de transição, localizados na interface entre a favela e a urbanização formal. Este tipo de ação auxilia no processo de integração destas áreas marginais com a cidade formal.

Este trabalho tem como finalidade ser um passo inicial de um problema complexo. As próximas etapas deveriam considerar a avaliação de possíveis melhorias na qualidade da água e estimar a necessidade de manutenção para o reservatório proposto, considerando os sedimentos e a carga de lixo que deverá ser gerenciada. Outro ponto importante se refere à articulação entre Engenharia, Arquitetura e Paisagismo, a fim de prover soluções viáveis para as casas e um ambiente final construído otimizado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, pelo fornecimento de bolsas de estudo.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, A. E., Fernandes, J. N. and David, L. M. (2012). Key issues for sustainable urban stormwater management. In: *Water Research*. In Press, Corrected Proof, Disponível online 25 Maio 2012.
- Batista, M.; Nascimento, N. & Barraud, S. (2005). *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. ABRH: Porto Alegre, Brasil.
- Butler D., Friedler E. and Gatt K. (1995). Characterising the quantity and quality of domestic wastewater inflows. In: *Water Science and Technology*, 31(7), 13-24, Pergamon.
- Campisano A. and Modica C. (2011). *Regional evaluation of the performance of rooftop rain water harvesting systems for domestic use*. Proceedings of the 12nd International Conference on Urban Drainage. Porto Alegre, Brazil, September 2011.
- Campisano A. and Modica C. (2010). Experimental investigation on water saving by the reuse of washbasin grey water for toilet flushing. In: *Urban Water Journal*, 7(1), 17–24
- Chocat, B., Krebs, P., Marsalek, J., Rauch, W. & Schilling W. (2001). Urban Drainage Redefined: from Stormwater Removal to Integrated Management. In: *Water Science and Technology*, Vol. 43, No. 5, (2001), pp. (61–68).
- CIRIA (2007). *The SUDS Manual*, by Woods-Ballard, B.; Kellagher, R.; Martin, P.; Bray, R.; Shaffer, P. CIRIA C697.
- IBGE. *Censo 2010*. [online]. Disponível em: www.ibge.gov [Acessado em 30 Setembro, 2012].
- Lazarova V., Hills S. and Birks R. (2003). Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. In: *Wat. Sci. & Tech.: Water Supply*, 3(4), 69-77, IWA Publishing.
- Maksimović C, Tejada-Guibert JA. (2001). *Frontiers in urban water management*. First ed. London: IWA-publishing.
- Mascarenhas, F.C.B.; Miguez, M.G. (2002). *Urban Flood Control through a Mathematical Cell*. Water International, 27; pp. 208-218.
- Miguez, M.G.; Verol, A. P. Carneiro, P. R. F. (2012). Sustainable Drainage Systems: An Integrated Approach, Combining Hydraulic Engineering Design, Urban Land Control and River Revitalisation Aspects. In: *M. S. Javaid, ed. Drainage Systems*. Vukovar, Croatia: Intech, 21-54.
- Miguez, M.G. (2001). *Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas*. Thesis (D.Sc.). COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.
- Miguez, M.G.; Mascarenhas, F.C.B. and Magalhães, L.P.C. (2007). Multifunctional landscapes for urban flood control in developing countries. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2 (2), 153-166.
- O’Sullivan, J. J.; Bruen, M.; Purcell, P. J.; Gebre, F. (2012). Urban drainage in Ireland – embracing sustainable systems. In: *Water and Environment Journal*, 26 (2012) 241–251.
- Paterson C, Mara D, Curtis T. *Pro-poor sanitation technologies*. *Geoforum* 2007;38(5): 901–7.
- Pompêo, C.A. (2000). Drenagem Urbana Sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 5, Nº 1, pp. 15-23.
- Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro. (2006). *Morro Pau da Bandeira PROAP II/AP. 2.2*. SMH-2000.