

CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA INTERFACE ENTRE AS ÁREAS DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO¹

SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION IN THE INTERFACE DOMAINS OF WATER RESOURCES AND ENVIRONMENTAL SANITATION

NILO DE OLIVEIRA NASCIMENTO

Departamento de Engenharia Hidráulica e de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais

LÉO HELLER

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais

Recebido: 19/04/04 Aceito: 20/09/04

RESUMO

O presente texto avalia oportunidades de pesquisa, desenvolvimento e inovação, científicos e tecnológicos, nas áreas de interface entre recursos hídricos e saneamento ambiental. O esforço realizado fez-se no sentido de identificar temas que representem potencial de inovação, de uma forma geral, como também de solução de problemas atuais típicos do contexto brasileiro que se expliquem por gargalos de conhecimento básico, de desenvolvimento tecnológico e de desenvolvimento institucional.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento ambiental, recursos hídricos, pesquisa e desenvolvimento.

ABSTRACT

The paper presents an evaluation of emerging subjects in research, development and innovation in interface domains of environmental sanitation and water resources. The evaluation focus on the identification of research subjects with a high potential for innovation, in general terms, as well as those subjects more oriented to the solution of typical problems of the Brazilian context in the areas of environmental sanitation and water resources, for what fundamental knowledge as well as technological development are still required.

KEYWORDS: Environmental sanitation, water resources, research and development.

INTRODUÇÃO

Entre os diversos setores usuários da água, o setor de saneamento é provavelmente o que apresenta maior interação e interfaces com o de recursos hídricos. Embora definições tradicionais do saneamento, como a da Organização Mundial de Saúde reforcem uma visão antropocêntrica de seus propósitos – “Controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeitos deletérios sobre seu bem-estar físico, mental ou social” – os reflexos das ações de saneamento ou de sua carência são notórios sobre o meio ambiente, e em particular os recursos hídricos. A questão das interfaces entre saneamento e recursos hídricos coloca-se exatamente na dualidade do saneamento como usuário de água e como instrumento de controle de poluição, em consequência, de preservação dos recursos hídricos.

O presente texto tem o propósito de buscar identificar interfaces bem como

linhas integradas prioritárias de pesquisa, desenvolvimento e inovação, científicos e tecnológicos, entre as áreas de recursos hídricos, saneamento, meio ambiente e saúde pública. Trata-se, em uma primeira leitura, de um problema de demarcação cujo principal interesse é o de orientar esforços de CT&I que possibilitem atingir-se objetivos em comum entre essas áreas. Os aspectos multidisciplinares, interdisciplinares e transdisciplinares da questão farão emergir temas e problemas de CT&I que só adquirem sentido justamente nesse contexto de interfaces.

AS MÚLTIPLAS DIMENSÕES DO TEMA

Recursos hídricos

Um dos conceitos de desenvolvimento sustentável fundamentado na racionalidade econômica de tradição neoclássica afirma que a sustentabilidade é assegurada desde que não haja, entre

sucessivas gerações, a redução no estoque total de capital, natural ou artificial. Isso significa que a perda de capital natural pode ser compensada ou substituída pela geração de capital artificial. Por capital artificial entende-se o conjunto de bens e fatores de produção desenvolvidos pelo homem. O capital natural é composto pelos recursos naturais renováveis e não renováveis encontrados no Planeta, entre eles a água.

A água, enquanto recurso natural, realiza três funções ambientais básicas (Pearce & Warford, 1993):

- fornece insumo ao sistema produtivo;
- assimila resíduos gerados por diferentes atividades de origem antrópica;
- provê utilidades estéticas e de lazer.

Ademais, a água é recurso essencial à vida humana, desempenha um papel fundamental de substrato à vida em diferentes ecossistemas e, por meio do ciclo hidrológico e da circulação atmosférica global, é elemento essencial para a regulação climática do Planeta.

¹ O presente texto corresponde a uma síntese de documento elaborado por solicitação do CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, concluído em dezembro/2003, visando subsidiar prospecção de temas de pesquisa em recursos hídricos coordenada por aquela entidade, por encomenda do CTHIDRO - Fundo Setorial de Recursos Hídricos.

As funções da água como recurso natural e como substrato à vida tornam impossível a sua substituição por qualquer capital artificial, resultando igualmente impossível a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável de inspiração neoclássica, como enunciado, ao caso dos recursos hídricos (Nascimento, Baptista e Cordeiro Netto, 1996).

A preservação dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, enquanto patrimônio natural e cultural da humanidade torna-se, portanto, imperativa. As ações de gestão dos recursos hídricos devem ainda assegurar:

- sua adequada alocação segundo critérios diversos – econômicos que resultem no uso otimizado do recurso, de equidade entre usuários presentes e as futuras gerações, de proteção do recurso e do meio ambiente como um todo;

- a redução de riscos decorrentes da aleatoriedade dos processos naturais como os riscos de inundação, de escassez prolongada de água ou de poluição acidental, bem como riscos à saúde, freqüentemente agravados por impactos de atividades antrópicas ou de falhas em sistemas de uso e controle de recursos hídricos.

Trata-se de um problema complexo quando se têm em conta suas particularidades, tais como a não uniformidade da distribuição espacial da água no Planeta, a sazonalidade de sua distribuição temporal e sua aleatoriedade. Se os recursos hídricos são, em grande parte, renováveis, tal característica pressupõe a estabilidade física, química e biológica do meio e a estacionariedade climática. Os recursos hídricos são vulneráveis às formas pelas quais outros recursos naturais são explorados, em particular o solo, e apresentam elevada sensibilidade a flutuações climáticas, podendo vir a ser bastante impactados por diversas ações antrópicas e por mudanças climáticas. A gestão de recursos hídricos faz-se em um ambiente de múltiplos usuários e de conflitos de uso, requerendo complexos sistemas tecnológicos e gerenciais de regulação e uma base legal adequada a lhe dar suporte.

Saneamento

É de se esperar que surjam, na interface entre saneamento e recursos hídricos, problemas de CT&I sobre aspectos como o controle de perdas, a gestão da demanda, a melhoria da eficiência de coleta e de tratamento de esgotos domésticos, o debate sobre o uso de soluções estáti-

cas para a disposição de esgotos, a implementação de sistemas de reúso de água, a minimização do lançamento de resíduos sólidos em cursos d'água, o controle da contaminação da água subterrânea, o controle da poluição difusa de origem pluvial, o aprimoramento da gestão de resíduos sólidos. Estes temas reforçam o imperativo da integração das dimensões de quantidade e de qualidade de água na gestão de recursos hídricos tanto quanto nas ações de saneamento, no Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), tanto quanto no Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA).

O saneamento é também um serviço de caráter público com responsabilidade por responder a objetivos de atendimento e cobertura como os discutidos por Heller & Nascimento (2004). Um dos principais desafios para o setor é de atendimento a populações pobres concentradas em favelas ou dispersas em meio rural. Esses desafios são de natureza econômico-financeira como também tecnológica e gerencial, a serem encarados no conjunto de políticas integrativas destinadas a combater a exclusão social. Devem ser políticas coordenadas que também contemplem a habitação, a saúde, a educação, a geração de emprego e a melhoria da qualidade ambiental (Heller, Nascimento & Paiva, 2002).

Também enquanto serviço, colocam-se para o setor de saneamento problemas de financiamento para fazer face às necessidades de expansão, de recuperação e renovação de sistemas e de modernização da infra-estrutura e da gestão, de forma a atender aos objetivos de cobertura enumerados, a requisitos de qualidade dos serviços e de conformidade com normas ambientais progressivamente mais exigentes. Os serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, em particular, têm operado segundo uma lógica de auto-sustentação financeira que incorpora tanto a amortização de valores financiados para investimentos quanto o ressarcimento de custos de operação e manutenção de sistemas. Os serviços de drenagem urbana e de limpeza pública, no mais das vezes, têm sido financiados com recursos do tesouro municipal, eventualmente complementados, particularmente os investimentos em infra-estrutura, por aportes de linhas de crédito nacionais e, algumas vezes, internacionais.

O desenvolvimento de políticas integrativas entre setores como os de recursos hídricos, saneamento, meio ambiente, saúde, desenvolvimento urbano,

habitação e transportes apresenta desafios de natureza institucional, gerencial e técnico não negligenciáveis. Por outro lado, notam-se ainda, no Brasil, carências significativas de infra-estrutura de saneamento e de adequada gestão dos sistemas existentes. São muitos os fatores que possibilitam compreender as razões desses fatos, entre eles podendo-se enumerar:

- as elevadas taxas de crescimento populacional urbano criaram um descompasso entre a expansão urbana e a implantação de infra-estrutura;

- o agravamento de desigualdades sociais de distribuição de renda e de oportunidades;

- a fragmentação de políticas públicas de prestação de serviços de saneamento, com múltiplos agentes e baixo nível de integração de ações;

- problemas relacionados com a concessão e a regulação de serviços de saneamento, envolvendo o poder concedente e o concessionário;

- a baixa capacidade de investimento de vários municípios;

- a falta de atualização tecnológica e a carência de recursos humanos;

- a falta de atualização gerencial, a carência de instrumentos de regulamentação e de regulação, a precária base de informações e a falta de recursos de suporte à decisão;

- a ausência de continuidade administrativa e de mecanismos que assegurem a implantação de ações e regulamentos oriundos de planejamento, quando existente, de procedimentos de avaliação da efetividade de ações empreendidas e de dinâmicas de correção dessas ações quando isso se mostra necessário.

A despeito dos progressos realizados em abastecimento de água e, em menor monta, em implantação de sistemas coletores de esgotos sanitários, são notórias as carências de atendimento e cobertura dos serviços de saneamento. Ao se buscar qualificar essas carências, notam-se nítidas distinções entre níveis de cobertura por tipos de serviço, entre territórios e em função do nível de renda das populações atendidas. A fragmentação territorial e por tipos de serviço com respeito à disponibilidade de serviços de saneamento nos distritos brasileiros é ilustrada por meio da Figura 1. Trata-se de uma estatística simples sobre a disponibilidade do serviço no distrito, não incorporando dados sobre cobertura e indicadores de qualidade de atendimento, porém, suficiente para indicar as discrepâncias mencionadas. A relação entre nível de renda e cobertura é

mostrada por intermédio da Figura 2 para o abastecimento de água por rede de distribuição e para o esgotamento sanitário por rede coletora.

Cumprir entender as razões dessas discrepâncias e refletir sobre as formas de superar tais limites em termos de desenvolvimento científico, tecnológico e institucional, ampliação da capacidade de financiamento e criação e implementação de instrumentos de regulação do setor, um esforço que tem sido feito pela comunidade técnica e responsáveis políticos, porém que necessita ser intensificado.

A discussão que se segue procura enfatizar a questão das interfaces em CT&I entre os setores em foco, tendo em conta suas dimensões próprias e alguns recortes auxiliares. Tais recortes procuram evidenciar questões de conhecimento e de tecnologia com especificidades regionais, de escala espacial, de tipo e de intensidade do uso do solo.

GRANDES CIDADES E REGIÕES METROPOLITANAS

O contexto

Grandes áreas urbanas exercem fortes pressões sobre os recursos naturais. No Brasil, um fator que agravou os impactos ambientais desse tipo foi a rápida transição de uma sociedade predominantemente rural para uma sociedade essencialmente urbana. A Figura 3 mostra a evolução das taxas médias anuais de crescimento da população total e da população urbana, no Brasil, calculadas a partir de dados censitários de 1940 a 2000. Em 1940, a população total do país era de 41,2 milhões de habitantes, vivendo no campo 28,4 milhões de pessoas. O censo de 2000 revela 169,6 milhões de habitantes, sendo de 137,8 milhões a população urbana e de 31,8 milhões a população rural. Ou seja, em 60 anos, a população total do país quadruplicou, porém, a população rural permaneceu praticamente igual à de 1940.

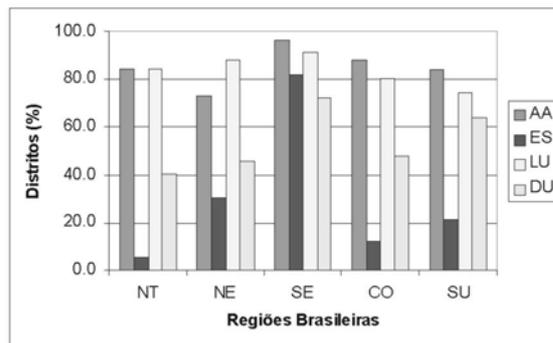
Tão elevadas taxas de crescimento da urbanização, agravadas pelos bem conhecidos problemas de distribuição de riqueza no país, resultaram em graves carências de infra-estrutura urbana. A falta de habitação conduziu ao aumento da população favelada, que passou a ocupar áreas menos valorizadas ou mais desprotegidas contra invasão, como as zonas de risco de inundação ou geologicamente instáveis, as áreas de preservação

ambiental e as áreas públicas. Da mesma forma, notaram-se problemas graves de saneamento, que, em zonas faveladas ainda perduram, a despeito dos progressos já realizados. O acelerado crescimento da urbanização tornou obsoletos projetos urbanos e planos setoriais, onde existiam. A insuficiência de meios técnicos e de recursos humanos e financeiros dos municípios, em face do rápido crescimento em complexidade dos problemas a gerir, fez com que instrumentos de ordenação do desenvolvimento urbano, como diretrizes de uso do solo, sua implementação e fiscalização, se distanciassem muito da realidade.

Além do crescimento populacional e da urbanização, dois outros aspectos demográficos brasileiros são relevantes. O primeiro deles faz alusão ao expressivo número de municípios com população inferior a 50 mil habitantes, 90% do total de municípios (Figura 4). São 70%

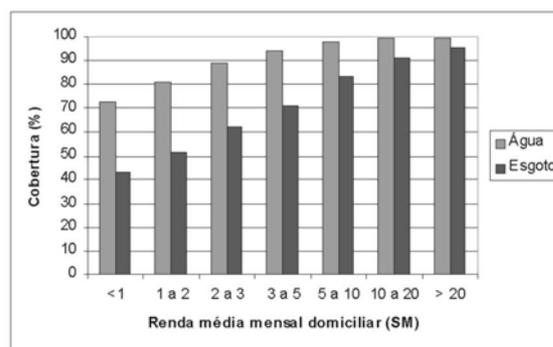
do total os municípios que, por possuem população inferior a 20 mil habitantes, não são legalmente obrigados a elaborar planos diretores. Porém, a maior parte da população urbana brasileira vive nas grandes cidades. O segundo aspecto refere-se à diminuição do peso populacional dos municípios de algumas capitais brasileiras, como São Paulo e Belo Horizonte, mas também Porto Alegre, Rio de Janeiro, Recife e Belém, em relação à população de seus respectivos estados, ao mesmo tempo em que se observa o crescimento do número de municípios com população superior a 500 mil habitantes (Figuras 5 e 6).

Há em curso um conjunto de mudanças complexas que sugerem, por um lado, a saturação populacional nas grandes cidades, porém não nos municípios menores que compõem suas regiões metropolitanas e, por outro lado, o aumento do número de municípios populosos também



AA: rede geral de distribuição de água; ES: rede coletora de esgoto; LU: limpeza urbana e coleta de lixo; DU: drenagem urbana. NT: Norte; NE: Nordeste; SE: Sudeste; CO: Centro-Oeste; SU: Sul. (Fonte: PNSB, 2000)

Figura 1 - Percentual de distritos, por regiões brasileiras, com algum serviço de saneamento, por tipo de serviço



SM: salário mínimo (Fonte: COSTA, 2003)

Figura 2 - Cobertura de serviços de abastecimento de água por rede geral e esgotamento sanitário, por rede coletora, em percentual de população atendida, por faixa de renda

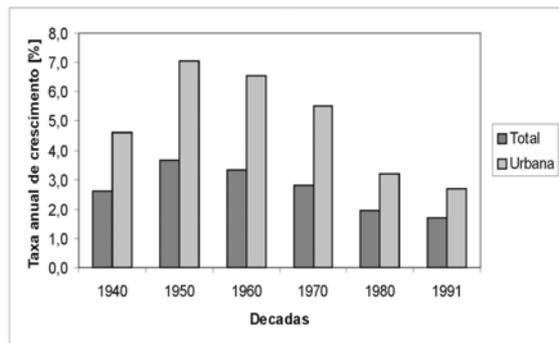


Figura 3 - Taxa anual de crescimento da população total e da população urbana no Brasil (Fonte: dados censitários IBGE: www.ibge.gov.br)



Figura 4 - Distribuição percentual do número de municípios por faixa de população (Fonte: dados censitários IBGE: www.ibge.gov.br)

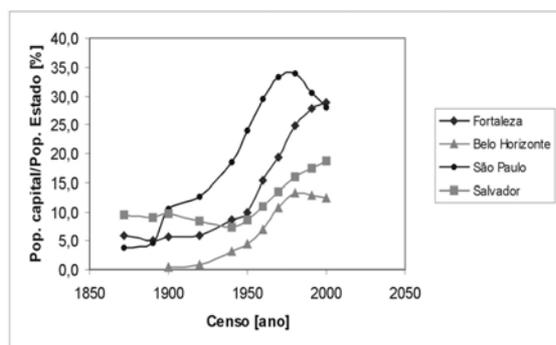


Figura 5 - Percentual da população residente na capital versus população residente no estado (Fonte: dados censitários IBGE: www.ibge.gov.br)

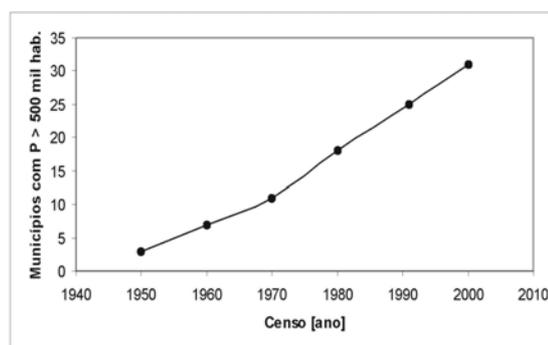


Figura 6 - Crescimento do número de municípios com mais de 500 mil habitantes (Fonte: dados censitários IBGE: www.ibge.gov.br)

no interior dos estados. Esses fenômenos combinados de expansão territorial urbana sugerem que as necessidades em equipamentos urbanos e aprimoramento dos meios de planejamento e gestão permanecem atuais. Ao mesmo tempo, há o risco de perda de eficiência econômica de algumas áreas urbanas quando essas sofrem redução de população ou modificam-se suas funções no contexto urbano, como já acontece em áreas centrais de algumas das grandes cidades brasileiras. As exceções ficam para algumas capitais que ainda mostram tendências de crescimento populacional em relação a seus estados respectivos, como Fortaleza, Salvador, Curitiba, Florianópolis, São Luiz e Natal.

As pressões exercidas por grandes conglomerados urbanos sobre o meio são, entre outras, pressões de demanda por água, solo e fontes de energia bem como aquelas relacionadas à absorção de resíduos e à alteração física de processos naturais.

A questão da demanda

O problema

A demanda por água de abastecimento é gênese de conflitos pelo uso de recursos naturais. Com o crescimento populacional e a industrialização, mananciais de abastecimento de água mais próximos à zona urbana tornam-se insuficientes ou têm a qualidade das águas deterioradas pela própria expansão urbana. É necessário buscar água em maior volume, mais distante da zona urbana, por vezes com transferência de água entre bacias. Surgem, em consequência, conflitos pelo uso da água e restrições de uso do solo e de outros recursos naturais em áreas externas e relativamente distantes da área urbana. Os conflitos muitas vezes são gerados pela própria influência econômica da cidade em sua região, como no caso de desenvolvimento de áreas de agricultura intensiva para a produção de frutas e hortaliças ou a implantação de eixos rodoviários em áreas de mananciais. Nas regiões

metropolitanas, a expansão urbana, freqüentemente não planejada, muitas vezes ilegal, encontra-se na origem de sérios comprometimentos de qualidade de água de mananciais de abastecimento urbano.

Uma das perspectivas de CT&I em saneamento com nítida interface com a área de recursos hídricos decorre de um propósito geral de redução da demanda por água de abastecimento. Algumas das alternativas tecnológicas são o controle de perdas físicas nos sistemas de abastecimento de água, o reúso intensivo de água, técnicas de coleta de água de chuva e a adoção de procedimentos para a economia do consumo de água, podendo envolver a utilização de peças sanitárias econômicas em uso de água, ações de caráter educativo e o uso de instrumentos econômicos de incitação à redução de consumo.

O SINGREH dispõe do instrumento de cobrança pelo uso da água que, uma vez implantado, deverá conduzir a mudanças de comportamento de operadores de sistema de abastecimento de água, no tocante ao controle de perdas

nos sistemas, e de usuários industriais e domésticos. Estas mudanças de comportamento dependem, por um lado, dos valores estabelecidos pela cobrança por volumes captados e, por outro lado, da elasticidade da demanda dos diferentes usuários. A implantação da regulação do setor de saneamento deverá contribuir para que se obtenham ganhos de efetividade em programas como o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA – www.pncda.gov.br). Deve-se, ainda, ressaltar que benefícios marginais de adoção de certas alternativas tecnológicas de redução da demanda poderão ser auferidos em termos de redução de lançamentos².

Uma outra questão relevante relacionada com a demanda por água de abastecimento é a de proteção de mananciais. Essa questão possui forte base institucional por envolver a harmonização de políticas setoriais em contexto urbano, como políticas de saneamento, de habitação, de transportes e sistema viário, de legalização da propriedade, de urbanização de zonas faveladas, entre outras. Ela envolve, igualmente, a harmonização de políticas em diferentes escalas espaciais, da bacia urbana à grande bacia hidrográfica.

Oportunidades de inovação: a questão da demanda

• Controle de perdas físicas nos sistemas de abastecimento de água

As perdas físicas nos sistemas de abastecimento de água são estimadas, para o contexto brasileiro, em cerca de 18% dos volumes captados (Costa, 2003). As perdas de faturamento global, incluindo-se aí as perdas físicas, as perdas por conexões clandestinas e aquelas decorrentes de falta ou de erros de medição, variam entre 25 e 65% dos volumes captados. A convivência com perdas físicas elevadas explica-se, entre outros fatores, pela falta de regulação do serviço que, se existente, poderia levar os operadores de sistemas a uma maior ênfase em seu controle. Na atualidade, é possível que análises estritamente econômico-financeiras e disponibilidade de linhas de crédito sinalizem aos operadores ser mais vantajoso o investimento na expansão ou implantação de sistemas do que em controle de perdas.

Desenvolvimentos tecnológicos são necessários em temas como recuperação de

redes envelhecidas e a micro e a macromedição. Há, em recuperação de redes, oportunidades de inovação em desenvolvimento de materiais e de métodos de recuperação que podem apresentar vantagens econômicas e operacionais significativas. Desenvolvimentos em micro e em macromedição para fins de controle de perdas envolvem o aprimoramento da instrumentação, da certificação bem como esforços em modernização, como o emprego de telemetria em macromedição. A micromedição tem efeitos mais diretos sobre as perdas de faturamento, podendo levar o usuário a uma redução do consumo de água pelas economias, o que contribui para a racionalização do uso da água.

Um outro campo de investimento em CT&I com potencial para contribuir para a operação de sistemas de abastecimento com vistas à redução de perdas físicas é o desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão que orientem as práticas de manutenção de sistemas e controle de perdas com base em uma ampla variedade de critérios relacionados à idade dos sistemas de distribuição e a variáveis hidráulicas ligadas à operação dos sistemas. O benefício é o de contribuir para o aprimoramento da gestão dos sistemas de abastecimento, um dos fatores importantes para assegurar a efetividade de ações de controle de perdas.

• Ações de economia em uso da água

Ações de economia em uso da água operam em duas vertentes principais. A primeira delas é de caráter predominantemente tecnológico e envolve a substituição ou a adoção, no caso de novas construções, de equipamentos de instalações hidráulicas prediais de baixo consumo de água. A tecnologia desse tipo de equipamento encontra-se bastante desenvolvida, em parte por iniciativa dos próprios fabricantes. Ações de aprimoramento tecnológico situam-se, por exemplo, em avaliação e em certificação de desempenho e em aprimoramento de normas técnicas. Nota-se o maior uso de equipamentos em estabelecimentos comerciais e de serviços e em instalações industriais. A generalização de seu emprego, incluindo-se o uso doméstico, depende de fatores de natureza cultural e econômico-financeira. É possível que um programa de substituição de peças sanitárias só se viabilize a partir da adoção de mecanis-

mos incitativos como subsídios e programas de financiamento de baixo custo.

A segunda vertente é a da educação para a economia de água, conduzindo a mudanças de comportamento no uso cotidiano da água. A combinação de medidas desse tipo com mecanismos incitativos como o que poderá se manifestar com a cobrança pelo uso da água ou com a ampliação de ações de micromedição, têm potencial para reduzir padrões de consumo.

Ações de CT&I que poderão contribuir para a economia do uso da água estão relacionadas a avaliações prospectivas sobre a identificação das possibilidades, estratégias, dificuldades e meios para a ampliação do emprego de instalações hidráulicas prediais de baixo consumo de água, bem como para a difusão de práticas de economia de uso de água em contexto doméstico como também nos setores comercial, de serviços e industrial.

• Reúso da água

O reúso da água tem sido empregado com maior intensidade em regiões áridas e semi-áridas, onde o problema de escassez revelou-se há mais tempo, com a ocupação humana e a ampliação de práticas de agricultura irrigada. Porém, problemas de escassez de água têm se manifestado, igualmente, em regiões de maior abundância de recursos hídricos tendo por origem a concentração urbana em regiões metropolitanas, combinada ou não com outros usos intensivos, como a agricultura irrigada ou usos industriais. Na indústria, o custo da água de abastecimento já tem sido fator de implantação de iniciativas de controle de perdas e de reúso.

Há diversas formas potenciais de reúso da água segundo a origem industrial ou doméstica do esgoto. Os esgotos domésticos, após tratamento, podem ser reutilizados em contexto urbano, para fins potáveis ou não potáveis. Há fortes restrições para o uso potável, relacionadas com riscos sanitários e epidemiológicos, restrições culturais e custos de tratamento que raramente justificam a iniciativa. Usos não potáveis, em contexto urbano, incluem a irrigação de parques e jardins públicos ou privados, alimentação de fontes e espelhos d'água, reserva de proteção contra incêndio, descargas sanitárias, lavagem de veículos. Na indústria, os usos concernem processos industriais diversos, torres de

² A ressalva é válida, por exemplo, no caso do controle de perdas no sistema de abastecimento, o que não reduz lançamentos. Por outro lado, a adoção de instalações hidráulicas econômicas em uso de água (e.g.: vasos de descarga reduzida - VDR) não reduz a carga de poluição gerada, mas pode contribuir para a efetividade do tratamento de esgotos pela maior concentração de cargas.

resfriamento, produção de vapor, construção civil, entre outros. Em meio rural, o reúso é empregado em irrigação e aquíicultura. Esgotos industriais podem ser reutilizados, após tratamento, na agricultura e na própria indústria (Hespanhol, 2002).

No Brasil, o reúso é solução ainda pouco utilizada e sistematizada, não havendo políticas públicas nesse sentido, mesmo em caráter regional. As questões de CT&I que se colocam como requisito a um maior emprego do reúso no Brasil relacionam-se, inicialmente, com uma avaliação sistematizada de seu potencial, na forma de um trabalho de avaliação prospectiva, com base em cenários estruturados segundo as distintas realidades regionais caracterizadas por diferenças climáticas, de disponibilidade de recursos hídricos, de desenvolvimento econômico e de características sócio-culturais. Um estudo dessa natureza deverá englobar fatores como:

- a caracterização das demandas por água de abastecimento em meio urbano, em meio rural e para a indústria, especificando-se os requisitos de qualidade e confrontando-se com as características de esgotos disponíveis;
- análises de riscos à saúde e de riscos ambientais tendo em conta as características de esgotos e as alternativas de reúso;
- identificação e sistematização de requisitos operacionais e de manutenção de sistemas segundo distintas formas de reúso;
- identificação e sistematização de requisitos de monitoramento e de prevenção de riscos à saúde para distintas formas de reúso;
- análises econômico-financeiras que evidenciem os custos e benefícios de ações de reúso para distintas formas de reúso;
- identificação de necessidades de desenvolvimento institucional e regulamentar para a implementação de políticas de reúso.

Há necessidades de desenvolvimento de tecnologia de reúso em vários domínios, como:

- concepção e projeto de redes distintas de abastecimento de água, diferenciando o uso potável de usos não potáveis, atendendo a requisitos de segurança para os usuários;
- alternativas de tratamento de esgotos que atendam aos requisitos de qualidade de diferentes tipos de reúso da água, de proteção ambiental e de redução de riscos à saúde de usuários – a título

de exemplo, usos industriais requerem águas com baixo potencial de corrosão, desenvolvimento de microrganismos ou formação de deposições; em usos agrícolas a presença de nutrientes pode proporcionar racionalização em uso de fertilizantes.

• Coleta de água de chuva

A coleta de águas de chuva para fins de abastecimento de água, inclusive consumo humano, é técnica conhecida em regiões áridas e semi-áridas. Em áreas com maior disponibilidade de recursos hídricos, a coleta de águas de chuva pode significar economia para o usuário e diminuição da pressão de demanda sobre recursos hídricos locais e regionais. Os usos potenciais incluem a irrigação de jardins, a alimentação de descargas sanitárias e a lavagem de veículos. Em áreas urbanas, um benefício marginal da captação de águas pluviais para abastecimento é a redução de escoamentos superficiais decorrentes da impermeabilização do solo. Deve-se ressaltar que há uma certa incompatibilidade de objetivos entre sistemas de armazenamento de águas pluviais para abastecimento (reservar água) e para controle de escoamentos (manter volumes de espera). Esta incompatibilidade pode ser tecnicamente resolvida, mas isso implica em custos de investimento mais elevados.

A coleta de águas de chuva para usos que tolerem águas de qualidade inferior, em contexto urbano, tem sido considerada em pesquisas, por meio de simulações que avaliam o balanço disponibilidade-demanda, aspectos técnicos de dimensionamento e concepção de instalações, e estimativas de custos (e.g.: Ferreira, 2003). Aspectos relacionados com a avaliação de riscos sanitários, com a definição de padrões e o estabelecimento de normas técnicas, com requisitos de operação e manutenção e com a apropriação de soluções dessa natureza pelos usuários devem ser objeto de investigação.

O problema dos impactos da urbanização sobre os meios receptores

O problema

A urbanização produz impactos distintos de natureza física, química e biológica sobre os meios receptores, no contexto da própria área urbana e a jusante dela. Os impactos físicos são, por exemplo, alterações locais de microclima causadas por mudanças no balanço de ener-

gia e na circulação atmosférica com reflexos sobre processos de evaporação e precipitação. A emissão de gases de efeito estufa em áreas urbanas pode resultar em impactos sobre o clima em escala global. Os impactos físicos de maior monta estão relacionados com aumentos em volumes e velocidades de escoamento e com reduções de recarga de aquíferos decorrentes da impermeabilização de superfícies, implantação de canais artificiais (redes de microdrenagem), canalizações de cursos d'água, entre outras ações. Os impactos de natureza física têm resultado em aumentos de frequência e gravidade de inundações, intensificação de processos erosivos com aumento da produção, transporte e deposição de sedimentos, mudanças de morfologia fluvial e impactos sobre os ecossistemas aquáticos causados por alterações em variáveis hidráulicas que caracterizam os escoamentos (velocidades, profundidades, vazões) e da própria morfologia fluvial.

Os impactos de natureza química e biológica têm origem em poluição difusa mobilizada por eventos de precipitação e poluição pontual causada, sobretudo, por lançamentos indevidos de esgotos sanitários e, em alguns casos, esgotos industriais, sem tratamento ou com tratamento insuficiente, nos sistemas de drenagem pluvial ou diretamente nos meios receptores. Na atualidade, esses impactos são bem conhecidos: poluição visual por corpos flutuantes, poluição microbiológica de praias e lagos urbanos, efeitos crônicos e acumulativos como a eutrofização dos meios receptores ou sua contaminação por metais pesados, efeitos de choque de poluição, como os resultantes de depleção de oxigênio na água. Esses impactos repercutem sobre os usos da água, impondo restrições e riscos ou majorando custos ao abastecimento de água potável, à piscicultura, ao turismo e ao lazer, entre outros.

Esforços de monitoramento da qualidade de água de origem pluvial em meio urbano têm sido desenvolvidos com maior intensidade nos últimos 20 anos, tendo-se gerado uma rica base de dados, embora com significativa concentração de pesquisas em países desenvolvidos. Um exemplo de caráter ilustrativo é o estudo de Cottet (Cottet, 1980, *apud* Valiron e Tabuchi, 1992), no qual compara cargas de poluição de origem pluvial (DP) com cargas de poluição de esgotos sanitários (ES) em duas bacias urbanas da região metropolitana parisiense, Ullis e Maurepas (Tabela 1). Esses resultados, corroborados por experimentos similares em dife-

rentes bacias urbanas, sugerem que as cargas médias anuais do esgoto sanitário são superiores às do esgoto pluvial nos casos dos parâmetros sólidos totais, DBO_5 , DQO e NTK. Porém, em base de tempo horária, essas cargas são superiores às do esgoto sanitário, particularmente nos casos de sólidos totais e metais pesados.

Encontra-se bem estabelecido na literatura o conceito de que a poluição de origem pluvial é rapidamente mobilizada em superfícies impermeáveis, particularmente por eventos de precipitação intensos e de pequena duração, resultando em efeitos de choque de poluição nos meios receptores (Nascimento et al., 1999). Grande parte dessa poluição encontra-se fixada em sedimentos, com exceção dos nitratos, fosfatos e alguns metais solúveis como o Zn e o Cd, que são encontrados na forma solúvel (STU, 1994).

Resultados de medições de qualidade de água realizadas no período de 1985 a 1991 no córrego Mandaqui, na cidade de São Paulo, cuja bacia, com área de drenagem de $15,7 \text{ km}^2$, encontra-se urbanizada em 96% (Martins et al, 1991, *apud* Porto, 1995) revelam, por um lado, a grande variabilidade das concentrações de poluentes mobilizados pelos eventos chuva-vazão em meio urbano e, por outro lado, a presença de contagens elevadas de coliformes termotolerantes nas águas de escoamento no curso d'água. Os níveis atingidos de coliformes termotolerantes sugerem a contaminação de águas pluviais por esgotos sanitários.

Esse tipo de contaminação tem por origem tanto as ligações clandestinas entre os sistemas de drenagem pluvial e de esgotamento sanitário, quanto carências em infra-estrutura para a coleta e o tratamento do esgoto sanitário. A Tabela 2 traz estatísticas sobre a infra-estrutura de esgotamento sanitário no Brasil com respeito à rede coletora e outras formas de destino final. Do esgoto que é coletado, uma parcela muito pequena sofre tratamento, a maior parte sendo lançada, diretamente, nos meios receptores.

Segundo dados do IBGE para a década passada (www.ibge.gov.br), cerca de 18% dos domicílios brasileiros não são atendidos por serviços de coleta de resíduos sólidos. A média referente às 10 principais regiões metropolitanas do país é de 13% dos domicílios não atendidos, com limites entre 2% e 23% dos domicílios sem esse tipo de serviço. Parte dos resíduos que não é coletada é lançada diretamente em talvegues e outros pontos ina-

Tabela 1 - Comparação de cargas de poluentes de origem pluvial e sanitária em sistemas separadores absolutos

Parâmetros	DP/ES ^a [ano]	DP/ES [dia]	DP/ES [hora]
Sólidos totais	0,50	0,50	50,00
DBO_5	0,04	0,17	4,00
DQO	0,11	0,50	12,00
NTK	0,04	0,14	3,50
Pb	27,00	80,00	2.000,00
Zn	1,00	4,00	100,00
Hg	1,00	7,00	-
Cd	1,00	5,00	-

a. DP/ES: relação entre carga de origem pluvial (DP) e carga de origem no esgoto sanitário (ES)

Tabela 2 - Estatísticas de volumes de esgoto sanitário coletado e tratado em relação ao volume de água de abastecimento distribuída para algumas regiões metropolitanas brasileiras

RM	VAAD (m^3/dia)	VESC/VAAD (%)	VEST/VAAD (%)	VEST/VESC (%)
Rio de Janeiro	7.048.882	25,4	10,7	42,1
São Paulo	5.489.270	33,6	17,1	51,0
Porto Alegre	1.120.019	17,2	2,0	11,9
Belo Horizonte	1.056.354	49,4	5,1	10,3
Distrito Federal	733.787	51,7	23,8	60,3

VAAD: volume de água de abastecimento distribuída, por dia; VESC: volume de esgoto sanitário coletado, por dia; VEST: volume de esgoto sanitário tratado, por dia. - Fonte: PNSB (2000)

dequados para disposição dos mesmos, facilitando sua mobilização e transporte por escoamentos de origem pluvial, quando não se faz lançamento direto nos fundos de vale e leitos fluviais.

Os sedimentos constituem poluição estreitamente associada aos processos de urbanização. A despeito da carência de dados sobre o tema, a literatura técnica concorda quanto à correlação positiva entre a fase de urbanização e o aumento da produção de sedimentos de uma área (e.g. Leopold, 1968; Tucci e Collischonn, 2000). A título de exemplo, em um estudo recente realizado na bacia hidrográfica do ribeirão Pampulha, em Belo Horizonte, Oliveira e Baptista (1997) estimaram aumentos de produção de sedimentos entre 50 e 100%, para sub-bacias em fase de urbanização, considerando-se eventos de precipitação com tempo de retorno de dois anos.

Oportunidades de inovação: controle de escoamentos e redução da poluição difusa de origem pluvial

A partir dos anos 1970 tem-se observado em países da Europa e da América do Norte a construção de novos modelos e concepções para tratar os problemas de gestão das águas na cidade. No que se refere ao controle de escoamentos e de poluição difusa de origem pluvial, bem como à valorização das águas em meio urbano, esses modelos têm se distinguido de modelos de inspiração higienista por nítido antagonismo. Também no Brasil mudanças importantes de concepção, planejamento e gestão das águas em contexto urbano têm sido observadas nos últimos anos. A Tabela 3 sintetiza o contraponto entre as concepções de base higienista e concepções inovadoras nesse contexto. Essas mudanças conceituais refletiram-se em vias de inovação, como as técnicas compensatórias de drenagem

Tabela 3 - Síntese das mudanças conceituais entre conceitos higienistas e conceitos inovadores de gestão de águas em meio urbano (Nascimento, Baptista e von Sperling, 1999)

Higienismo	Conceitos inovadores
Drenagem rápida das águas pluviais; transferência para jusante.	Favorecimento à infiltração, ao armazenamento e ao aumento do tempo de percurso do escoamento.
Redes subterrâneas, canalização de cursos d'água naturais.	Valorização da presença da água na cidade, busca de menor interferência sobre o sistema natural de drenagem.
Associação do sistema de drenagem ao sistema viário.	Soluções técnicas multifuncionais: sistema de drenagem associado a áreas verdes, terrenos de esporte, parques lineares, ...
Sistema de drenagem gravitacional, não controlado, configuração fixa da rede.	Sistema de drenagem controlado, possibilidade de alteração na configuração da rede de drenagem em tempo real.
Concepção e dimensionamento do sistema segundo um nível único de risco de inundação.	Concepção e dimensionamento segundo diferentes níveis de risco de inundação, para atender a objetivos diferenciados.
Não analisa o sistema no contexto de eventos de tempos de retorno superiores aos de projeto	Avaliação da operação do sistema para eventos de tempos de retorno superiores aos de projeto, gestão do risco de inundação
Objetivos de saúde pública e de conforto no meio urbano; despreocupação com impactos da urbanização sobre meios receptores	Preocupação com a garantia de condições adequadas de saúde pública e conforto no meio urbano e de redução dos impactos da urbanização sobre os meios receptores

pluvial, a integração de requisitos de gestão das águas no zoneamento urbano e a gestão do risco de inundação.

Os objetivos fundamentais das chamadas soluções alternativas de drenagem pluvial são a redução ou controle de excedentes de água gerados pela impermeabilização e da poluição de origem pluvial, em diferentes escalas espaciais e, sempre que possível, próximo às fontes geradoras (e.g.: CERTU, 1998; Schueller, 1987; Urbonas e Stahre, 1993; Azzout *et al.*, 1994; Ellis, 1999; Herson-Jones, Heraty e Jordan, 1995). Experimentos controlados de técnicas alternativas em laboratório ou em sistemas de drenagem, algumas em funcionamento há vários anos, têm demonstrado sua eficiência (e.g.: Balades e Petitnicolas, 2001; Baptista, Barraud e Alfakih, 2001; Cruz, Tucci e Silveira, 2000; Nascimento *et al.*, 1999; Araújo, Tucci e Goldenfum, 2000; Goldenfum e Souza, 2001, entre outros).

Soluções alternativas de tratamento de fundos de vale e de recuperação de cursos d'água também têm sido adotadas (e.g.: Riley, 1998; Waal, Large e Wade, 2000; Jefferies, Govier e Bradshaw, 1999). No Brasil, um exemplo recente é

o do Programa DRENURBS em execução pela SUDECAP, autarquia da Prefeitura de Belo Horizonte, que visa elaborar projetos de recuperação e tratamento de fundos de vale de todos os cursos d'água perenes não canalizados do município (SUDECAP, 2001).

Naturalmente, tais objetivos dependem de um diagnóstico adequado dos principais problemas de ocupação do vale relacionados com o controle de cheias e da poluição hídrica, com o patrimônio ambiental, paisagístico e cultural a ser preservado ou recuperado, bem como com os próprios padrões locais de uso do solo.

• Processos hidrológicos em meio urbano

O tema que emerge como pesquisa básica ou aplicada nesse domínio é o da melhoria dos conhecimentos sobre processos hidrológicos em meio urbano. Deve incluir como enfoques principais, os seguintes aspectos:

- relação chuva-vazão com respeito a diferentes padrões de uso do solo;
- poluição difusa de origem pluvial e seus impactos sobre os meios receptores;

- poluição de meios receptores em tempo seco (poluição por esgoto sanitário);

- presença de resíduos sólidos nos sistemas de drenagem pluvial e meios receptores; caracterização do fenômeno e identificação e quantificação de seus impactos físicos, químicos e biológicos.

Como justificativa, trata-se de um dos principais requisitos para:

- aprimorar a qualidade da modelagem matemática em hidrologia urbana, contribuindo para a redução de incertezas em estudos de diagnóstico de funcionamento de sistemas existentes, de concepção e de dimensionamento de soluções de controle de escoamentos e de redução da poluição de origem pluvial;

- permitir a construção de relações entre diferentes padrões de ocupação urbana e alterações de processos hidrológicos (relação chuva-vazão, poluição difusa de origem pluvial), possibilitando o estabelecimento de indicadores que orientem decisões sobre o uso do solo urbano em função da suscetibilidade do meio a impactos potenciais.

Vários temas, na modalidade de desenvolvimento tecnológico, encontram-se associados ao domínio, nas áreas de

monitoramento, modelagem e de estabelecimento de indicadores e critérios para a gestão das águas em meio urbano. O monitoramento hidrológico e de qualidade de água em contexto urbano apresenta especificidades e dificuldades não desprezíveis que justificam esforços de desenvolvimento tecnológico sobre temas tais como:

- o desenvolvimento de tecnologia associada a equipamentos de medição e de transmissão de dados;
- o aprimoramento de procedimentos de concepção, projeto e operação de redes de monitoramento;
- o desenvolvimento de técnicas para o processamento de dados: tratamento de dados e análise de incertezas, base de dados, interfaces com modelos hidrológicos e hidráulicos e com sistemas de informação geográfica, políticas, procedimentos e meios de difusão de dados.

Em modelagem matemática hidrológica e hidráulica em meio urbano, um dos temas emergentes é o da interface entre os modelos, bases de dados de monitoramento e sistemas de informação geográfica. Nesse aspecto, desenvolvimentos com elevado potencial de inovação encontram-se relacionados às interfaces entre modelos hidrológicos e técnicas modernas de monitoramento, como o uso de radar para a medição de campos de precipitação e a teletransmissão de dados. A modelagem dos escoamentos em áreas urbanas é complexa em razão da diversidade da ocupação urbana, de interfaces entre o escoamento à superfície e escoamentos em redes de canais subterrâneos de drenagem, de mudanças sucessivas de regimes de escoamento, da presença de resíduos sólidos e de sedimentos no escoamento. A modelagem matemática de qualidade de água permanece um tema que requer esforços significativos de desenvolvimento. O aprimoramento de técnicas de modelagem e esforços para a quantificação e a redução de incertezas nesse campo constituem-se, portanto, em objetos relevantes de desenvolvimento tecnológico.

Finalmente, dentro do domínio em foco, a construção de indicadores que permitam avaliar a efetividade de medidas de controle de inundação e de poluição de origem pluvial ou que orientem a decisão sobre o uso do solo, com base nos impactos potenciais sobre os processos hidrológicos, são temas com potencial para contribuir para o aprimoramento da gestão urbana, em geral, e da gestão de águas urbanas, em particular.

• Desenvolvimento de tecnologias compensatórias em drenagem pluvial

Tecnologias compensatórias em drenagem pluvial mudam paradigmas de gestão de águas em meio urbano estabelecidos e empregados há mais de um século (ver Tabela 3). Essas soluções têm impacto positivo sobre os escoamentos e a poluição difusa de origem pluvial, porém, ao mesmo tempo colocam problemas de conhecimentos fundamentais e de desenvolvimento de tecnologia como requisitos para sua difusão e adequado emprego. O aprofundamento dos conhecimentos sobre os riscos sanitários e epidemiológicos relacionados com o emprego de técnicas de infiltração e armazenamento de águas originárias de escoamento pluvial é um dos temas de pesquisa aplicada nesse domínio. Outra questão relevante em pesquisa básica é a avaliação dos riscos de poluição do solo e de aquíferos que podem decorrer do emprego dessas técnicas.

Aqui, deve-se enfatizar o controle de escoamentos como o principal propósito de emprego de soluções compensatórias. A redução da poluição difusa é um benefício complementar desejável. Ações visando a redução de poluição difusa na bacia hidrográfica, são necessárias, entre outros benefícios, para assegurar o adequado funcionamento dos sistemas de drenagem pluvial, incluem eles soluções compensatórias ou não.

Um amplo campo abre-se, na atualidade, para o desenvolvimento de tecnologias compensatórias de drenagem pluvial, podendo-se enumerar, entre outros, os seguintes tópicos:

- materiais construtivos: escolha de materiais, avaliação de desempenho e durabilidade em face de características físicas, químicas e biológicas das águas afluentes;
- concepção e projeto: desenvolvimento de critérios, indicadores e métodos de suporte à decisão sobre a escolha de soluções compensatórias, estabelecimento de critérios hidrológicos, hidráulicos e operacionais de projeto desse tipo de solução;
- operação: avaliação de eficiência das soluções compensatórias em termos de controle de escoamentos e de redução da poluição difusa de origem pluvial; avaliação de impactos sobre o funcionamento dessas soluções de poluição por esgotos sanitários e por resíduos sólidos; requisitos de manutenção segundo a tecnologia empregada;

• identificação de áreas de interesse para a implantação de soluções compensatórias, com base em estudos geotécnicos, ambientais, modelagem hidrológica e hidráulica e emprego de sistemas de informação geográfica;

• avaliação de custos de implantação, operação e manutenção.

• Tratamentos de fundo de vale – renaturalização de cursos d'água

Como no caso das tecnologias compensatórias em drenagem pluvial, tratamentos de fundo de vale alternativos às soluções estruturais mudam paradigmas correntes. Essas soluções podem, igualmente, apresentar impactos positivos sobre o risco de inundação, além de criarem oportunidades para a valorização da presença da água, permitirem a criação de espaços de lazer associados a medidas de redução de impactos de inundações e contribuir para a proteção ou a recuperação de ecossistemas aquáticos em meio urbano.

De forma similar ao caso do emprego de soluções compensatórias, o aprofundamento dos conhecimentos sobre os riscos sanitários e epidemiológicos relacionados com alternativas de tratamento de fundos de vale é um tema relevante de pesquisa aplicada nesse domínio. Questões de pesquisa básica estão relacionadas com o conhecimento sobre o funcionamento de ecossistemas ribeirinhos e fluviais, em meio urbano, bem como sobre os impactos de mudanças de regime hidrológico e de poluição difusa e concentrada sobre os mesmos. Tratamentos alternativos de fundos de vale requerem desenvolvimento tecnológico sobre:

- materiais de revestimento e estabilização de leito e margens: escolha de materiais, avaliação de desempenho e durabilidade em face de características físicas, químicas e biológicas das águas afluentes;
- concepção e projeto: desenvolvimento de critérios, indicadores e métodos de suporte à decisão sobre a escolha de alternativas de tratamento de fundos de vale, tendo em vista objetivos múltiplos de redução de riscos de inundação, proteção de ecossistemas e integração no projeto urbano; critérios hidrológicos, hidráulicos e operacionais;
- identificação de áreas de restrição de ocupação para fins de proteção de fundos de vale com base em estudos geotécnicos, ambientais, modelagem hidrológica e hidráulica e emprego de sis-

temas de informação geográfica para a delimitação de zonas inundáveis segundo riscos distintos de inundação;

- operação: avaliação de requisitos de manutenção;
- avaliação de custos de implantação, operação e manutenção.

• Desenvolvimento legal, institucional e de gestão

O Estatuto da Cidade – Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001 – define e estabelece instrumentos importantes e inovadores com elevado potencial para o aprimoramento da gestão urbana, para a preservação ambiental e a redução de riscos naturais em contexto urbano, aí incluídas a preservação de áreas de mananciais, a redução de impactos da urbanização sobre meios receptores e o controle da ocupação de áreas de risco geotécnico e de inundação. São exemplos os instrumentos que promovem o aumento da densidade de ocupação de áreas com adequada infra-estrutura urbana e menos susceptíveis a danos ambientais ou a riscos naturais, procurando controlar a excessiva expansão urbana e a pressão sobre áreas de proteção ambiental. Os instrumentos de regularização fundiária, previstos na lei, contribuem para a urbanização de favelas, podendo melhorar as condições sanitárias dessas ocupações de baixa renda, reduzir riscos naturais e impactos sobre o meio ambiente. Outros instrumentos, como o direito de preempção, as operações urbanas consorciadas e a transferência do direito de construir podem ser empregados pela administração pública municipal com base em objetivos de proteção e valorização ambientais. O Plano Diretor é o instrumento básico de política urbana, de orientação do desenvolvimento urbano e da expansão urbana, valendo-se de instrumentos como os acima mencionados.

São alguns exemplos de temas a tratar, em termos do desenvolvimento de mecanismos e instrumentos de planejamento e gestão:

- Desenvolvimento de metodologias de planejamento urbano integrado e de planejamento setorial de saneamento e de recursos hídricos;

- Desenvolvimento de base de dados, informações e indicadores de uso do solo, de vulnerabilidade de espaços construídos a riscos sanitários e naturais, de nível de degradação ambiental, de vetores de desenvolvimento urbano, entre outros;

- Desenvolvimento de base legal e regulamentar para adoção de soluções compensatórias de drenagem pluvial e para o tratamento de fundos de vale, como a adoção de vazões de restrição, o zoneamento urbano para fins de drenagem pluvial, com restrição de ocupação de áreas destinadas à implantação de equipamentos como bacias de detenção, plano de infiltração e outros, ou sujeitas a riscos de inundação;

- Inserção, em documentos de urbanismo, como o zoneamento urbano e a lei de uso e ocupação de solo, da delimitação e do controle de ocupação de zonas de risco de inundação e de risco geotécnico;

- Desenvolvimento de instruções normativas e regulamentares para a realização de estudos e de projetos.

O emprego de instrumentos econômicos como a cobrança pela alteração de regime hídrico e pela geração de poluição difusa associada à urbanização, na forma, por exemplo, de uma taxa de drenagem pluvial, apresenta aspectos técnicos, operacionais e legais que requerem aprofundamento por meio da realização de pesquisa aplicada.

A gestão do risco de inundação e o emprego de metodologias como a análise custo-benefício para a avaliação de medidas de redução deste tipo de risco requerem desenvolvimento metodológico em avaliação de prejuízos diretos e indiretos causados por inundações, em análise de vulnerabilidade de espaços construídos a inundações e em estimativa de custos de diferentes alternativas de controle, particularmente aquelas que envolvem a participação ativa das comunidades concernidas. Avaliações de percepção de risco de inundação e de formas de organização social para fazer face à crise durante eventos de inundação são temas de pesquisa importantes para a subsidiar a escolha de alternativas de controle de inundação, etapa na qual a participação social é indispensável. São também relevantes para a concepção e implementação de planos de contingência.

A cooperação intermunicipal é indispensável em regiões metropolitanas, por razões intrinsecamente técnicas dos sistemas hidráulicos de infra-estrutura urbana, e em decorrência da necessidade de harmonização de políticas de desenvolvimento urbano, de habitação, ambiental e de recursos hídricos na escala espacial de grandes conglomerados urbanos. A definição da bacia hidrográfica como unidade territorial de gerenciamento de re-

ursos hídricos no contexto do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sua repercussão sobre o uso dos recursos hídricos e sobre a própria ocupação do território, estabelece uma nova base territorial que incita à cooperação intermunicipal.

Do ponto de vista institucional e de gerenciamento, é necessário o desenvolvimento de procedimentos, métodos e indicadores que dêem suporte à decisão sobre os usos de recursos hídricos e de outros recursos naturais, que promovam a cooperação, a solução de conflitos e facilitem a harmonização de políticas a serem desenvolvidas em diferentes escalas territoriais e dependentes da ação de diferentes atores, com interesses diversos.

O emprego de instrumentos tecnológicos, gerenciais e regulamentares inovadores requer uma evolução significativa das estruturas de gestão urbana, em geral, e da gestão das águas em espaço urbano, em particular. Um esforço de treinamento e atualização tecnológica e gerencial de recursos humanos para atuação em níveis diversos da administração pública municipal deve ser, portanto, empreendido.

Oportunidades de inovação: esgotamento sanitário

Do ponto de vista dos sistemas hídricos, as carências em infra-estrutura de esgotamento sanitário representam fontes de poluição concentrada que podem resultar em redução da disponibilidade hídrica por deterioração de qualidade de água dos meios receptores. Nesse sentido, as ações de CT&I na interface entre saneamento e recursos hídricos devem se orientar segundo objetivos de redução de impactos de lançamentos de efluentes de sistemas de coleta e tratamento de esgotos sobre os meios receptores ao nível que assegure a disponibilidade do recurso hídrico segundo metas de qualidade estabelecidas, por exemplo, através do instrumento de enquadramento de corpos d'água.

Supondo que se mantenham os atuais conceitos tecnológicos de esgotamento sanitário, ou seja, o uso de sistema separador absoluto com estações de tratamento de esgotos localizadas nas extremidades de redes coletoras, os esforços de redução da poluição pontual de meios receptores devem concentrar-se em fazer os sistemas reais de infra-estrutura de coleta aproximarem-se do sistema conceitual. Isso significa desenvolver ações no sentido de:

- reduzir as interconexões indevidas entre as redes pluvial e de esgotos sanitários;
- implantar, onde inexistentes ou insuficientes, sistemas de coleta de esgotos e assegurar-se da adequada conexão entre as redes coletoras e os interceptores;
- implantar, onde inexistentes ou insuficientes, estações de tratamento de esgotos;
- garantir a adequada operação e manutenção dos sistemas.

Mudanças de paradigma de sistemas de esgotamento sanitário, por exemplo, tendo por referência conceitos de tratamento dos esgotos o mais próximo possível das fontes geradoras³ requerem investimentos consideráveis em pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico e institucional. Entre essas alternativas encontra-se a opção pela implantação de ETE's por micro-bacia de coleta, dispersando-se a infra-estrutura de tratamento pela área urbana.

Ainda no campo de inovações encontram-se opções de redes coletoras, tratamento e disposição diferenciados para águas servidas e esgoto fecal, potencializando, para determinados usos da água, a adoção do reúso. Alternativas inovadoras como essas certamente requerem investimentos em pesquisa aplicada, como a relacionada com a avaliação de riscos sanitários, epidemiológicos e ambientais. Colocam-se, igualmente, questões afeitas à operação e manutenção de sistemas dispersos, em seus aspectos organizacionais, de recursos humanos e de custos.

Avanços significativos em CT&I com potencial efetivo de contribuir para a implementação de ações como as listadas, porém mais afeitas a sistemas do tipo "end of pipe", foram realizados nos últimos anos, notadamente por intermédio de programas de pesquisa de longa duração desenvolvidos por redes de instituições de pesquisa. Esses avanços deram-se, por exemplo, em processos de tratamento de esgotos como também em avaliação de condições operacionais de sistemas existentes e em desenvolvimento de instrumentos de suporte à decisão para a escolha de técnicas de tratamento segundo diferentes critérios.

Restam questões de pesquisa tecnológica e de desenvolvimento institucional nesse domínio que ainda requerem esforços em CT&I, tais como:

- critérios para a escolha de modalidades de tratamento de esgotos e seu

dimensionamento segundo requisitos de lançamento compatíveis com padrões de qualidade de água definidos pelo enquadramento de corpos receptores (e.g: eficiência de modalidades de tratamento em remoção de DBO, SS, organismos patogênicos, nutrientes, compostos tóxicos ...);

- metodologias de suporte à decisão para a priorização de investimentos em sistemas de coleta e tratamento de esgotos, compatíveis com requisitos de qualidade dos meios receptores definidos pelo instrumento de enquadramento e com a disponibilidade de recursos financeiros;

- metodologias para a avaliação de efetividade e atendimento a padrões de qualidade nos meios receptores de implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos;

- modelagem matemática de qualidade de água em corpos receptores, uma ferramenta importante para avaliar a efetividade de diferentes estratégias de tratamento de esgotos bem como para permitir priorizar investimentos em sistemas de coleta e tratamento de esgotos com base no atendimento a padrões de enquadramento de corpos d'água;

- técnicas para a detecção e correção de interconexões indevidas entre redes pluvial e de esgotamento sanitário;

- padrões de monitoramento de estações de tratamento de esgotos segundo as diferentes modalidades de tratamento e dimensões dos sistemas;

- formação e o treinamento de profissionais técnicos para a operação e manutenção de sistemas de esgotamento sanitário.

Gestão de resíduos sólidos

Em grandes áreas urbanas, os principais problemas de interface entre saneamento e recursos hídricos relacionados com a gestão de resíduos sólidos são os seguintes:

- resíduos sólidos não coletados que permanecem depositados em encostas, talvegues e áreas úmidas; esses resíduos oferecem riscos de poluição física, química e microbiológica, e produzem distúrbios ao funcionamento hidráulico de estruturas de drenagem quando mobilizados e transportados por águas de escoamento pluvial;

- a presença de lixões e aterros não controlados que representam risco de con-

taminação de recursos hídricos, em particular, de águas subterrâneas.

As principais iniciativas em CT&I nesse domínio são:

- a avaliação de requisitos técnicos, organizacionais, operacionais e econômico-financeiros para a intensificação da reciclagem de resíduos sólidos;

- o desenvolvimento de técnicas de coleta de resíduos sólidos em regiões faveladas, vilas e outras ocupações urbanas com precária infra-estrutura viária, o que torna inviável a utilização de veículos motorizados;

- o desenvolvimento de técnicas para a retirada parcial ou totalmente automatizada de resíduos sólidos de sistemas de drenagem pluvial.

OUTROS CONTEXTOS DE OCUPAÇÃO DO TERRITÓRIO

Uma parte significativa dos problemas e questões de CT&I na interface entre saneamento e recursos hídricos, discutidos no contexto de grandes cidades, reproduzem-se em cidades de porte médio, com população entre 50.000 e 500.000 habitantes e, mesmo, para cidades de pequeno porte. Entretanto, há mudanças de escala dos problemas, sendo fatores relevantes para a proteção dos recursos hídricos a dispersão das áreas urbanas na bacia hidrográfica e o nível de desenvolvimento regional. Essas variáveis podem determinar pressões de demanda ou efeitos combinados de poluição da água em corpos receptores decorrentes de lançamentos em pontos distintos da bacia hidrográfica que não são evidentes quando se toma por base cada área urbana de forma individualizada.

Soluções tecnológicas aplicadas com sucesso em grandes cidades tendem a se repercutir para áreas urbanas de menor porte. Problemas surgem, entretanto, quando essas transferências são feitas de forma incompleta, com simplificações indevidas em concepção, projeto e operação, bem como quando são adotadas na ausência de uma avaliação crítica de pertinência e adequação. Especificidades devem ser reconhecidas, como por exemplo, o maior potencial para o emprego de soluções estáticas de esgotamento sanitário em cidades de pequeno porte. Portanto, há nesse domínio esforços consideráveis a desenvolver nos campos de transfe-

³Geralmente referenciadas na literatura em língua inglesa como mudança de conceitos de "end of pipe" para "source control".

rência de tecnologia, formação e treinamento de recursos humanos. Nesse aspecto, a cooperação intermunicipal pode ser um meio de se obter economia de escala para constituírem-se equipes de profissionais competentes a atender a demanda de serviços tais como a formulação de políticas, a análise de concepção de sistemas e de projetos, o controle operacional de sistemas, a gestão de contratos, a atualização tecnológica e outros que, em uma palavra, definem a expertise em planejamento e gestão de ações de saneamento. Baptista e Nascimento (2002) discutem diferentes arranjos institucionais visando a constituição de uma organização intermunicipal de expertise em saneamento.

Conforme já mencionado para áreas metropolitanas, a definição da bacia hidrográfica como unidade territorial de gerenciamento de recursos hídricos no contexto do SINGREH, sua repercussão sobre o uso dos recursos hídricos e sobre a própria ocupação do território, estabelece uma nova base territorial que incita à cooperação intermunicipal mesmo entre cidades que não se encontram associadas a regiões metropolitanas.

Para as ações de saneamento, as zonas rurais apresentam problemas específicos de dispersão e de baixa densidade populacional. Existem soluções tecnológicas bem conhecidas para tratar esse tipo de problema, como os sistemas estáticos para o tratamento de esgotos. Os maiores problemas de saneamento, nesse contexto, estão relacionados com a apropriação das soluções de saneamento pela população e com a prestação de serviços técnicos de operação e manutenção de sistemas.

A prestação de serviços técnicos de operação e manutenção de sistemas representa dificuldades organizacionais e de custos justamente em razão da dispersão de um grande número de pequenos sistemas por áreas extensas. Deve-se ressaltar que a frequência necessária para as atividades de operação e manutenção é pequena e que essas tarefas não são de elevada complexidade, portanto, os custos operacionais são relativamente baixos. Um dos limitadores da prestação dos serviços é o baixo nível de renda da maioria da população de zonas rurais. Assim, um dos problemas que se colocam para a CT&I é o de conceber e avaliar alternativas de prestação de serviços de apoio técnico à concepção, projeto, instalação e operação de sistemas de abastecimento de água, de esgotamento sanitário e de disposição de resíduos sólidos para usuários individuais e pequenas comunidades, em meio rural.

Além dos aspectos organizacionais e gerenciais desse tipo de serviço, alguns aspectos de desenvolvimento de tecnologia requerem ações de CT&I, tais como:

- avaliação das técnicas de coleta de águas pluviais para fins de abastecimento de água: materiais, processos construtivos, apropriação pelos usuários, qualidade da água estocada e sua evolução durante longos períodos de estocagem, riscos de contaminação, riscos à saúde, custos de implantação e operação;

- avaliação de técnicas estáticas de esgotamento sanitário – há uma vasta literatura brasileira e internacional sobre o tema, porém cabem ainda questões relacionadas com: materiais, processos construtivos, apropriação pelos usuários, requisitos de manutenção, riscos à saúde e riscos ambientais, custos de implantação e operação.

CONCLUSÕES

O presente texto procurou avaliar oportunidades de pesquisa aplicada e de desenvolvimento de tecnologia nas áreas de interface entre recursos hídricos e saneamento. O esforço realizado fez-se no sentido de identificar temas que representem potencial de inovação, de uma forma geral, como também de solução de problemas atuais típicos do contexto brasileiro que se expliquem por gargalos de conhecimento básico, de desenvolvimento tecnológico e de desenvolvimento institucional.

Embora aqui não se proponha um exercício de priorização de ações a partir dos temas enumerados, procurou-se apresentar, para cada tema sugerido, uma argumentação justificativa que evidencie sua pertinência e sua relevância, no contexto atual de conhecimento científico e de estágio tecnológico, no Brasil, na área foco do trabalho.

Finalizando, recomenda-se a realização de um plano diretor de pesquisas em saneamento com a participação de diferentes segmentos relacionados à pesquisa nessa área (Heller e Nascimento, 2004). O plano diretor de pesquisas teria por objetivo central fornecer bases e respaldo a uma futura política de pesquisas na área de saneamento para o que a presente reflexão sobre temas de interface com a área de recursos hídricos poderá fornecer subsídios preliminares de discussão e avaliação.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, PR., TUCCI, C.E.M., GOLDENFUM, J.A. *Análise da eficiência dos pavimentos permeáveis*

na redução do escoamento superficial, In: Tucci, C. e Marques, D. Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade, pp. 351-362. 2000.

AZZOUT, Y., et al. *Techniques alternatives en assainissement pluvial*. Paris: Lavoisier, 371 p. 1994.

BALADES, J.D., PETITNICOLAS, F. *Les stratégies de réduction des flux polluants par temps de pluie à la source: approche technico-économique*, In: 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN URBAN DRAINAGE, NOVATECH, Lyon, p.299-306. 2001.

BAPTISTA, M., BARRAUD, S., ALFAKIH, E. *Analyse de données pour l'élaboration d'indicateurs technico-économique de systèmes alternatifs en assainissement pluvial*, In: 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN URBAN DRAINAGE, NOVATECH, Lyon, p. 299-306. 2001.

BAPTISTA, M. B., NASCIMENTO, N. O. *Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana*, Rev. Bras. de Rec. Hídricos, vol. 7, n.1, p. 29-49, 2002.

CERTU: Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. *Techniques alternatives: aux réseaux d'assainissement pluvial*. Lyon: CERTU, 155 p. 1998.

COSTA, F.J.L. *Estratégias de Gerenciamento dos Recursos Hídricos no Brasil*, série Água Brasil, vol. 1, Brasília: Banco Mundial, 177 p. 2003.

CRUZ, M.A.S., TUCCI, C.E.M., SILVEIRA, A.L.L. *Controle de escoamentos em lotes urbanos com retenção*, In: Tucci, C.E.M. e Marques, D.M.L.M. Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, pp. 363-382. 2000.

ELLIS, J.B. *Design consideration for the use of vegetative controls for the treatment of highway discharges*, In: Ellis, B. Impacts of Urban Growth on Surface Water and Groundwater Proceedings of the IAHS at IUGC XXII General Assembly, Birmingham: IAHS, pp. 349-356. 1999.

FERREIRA, M. *Análise técnica e econômica do reúso de águas pluviais: estudo de caso na RMBH*, Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, Belo Horizonte, 278 p. 2003.

GOLDENFUM, J.A., SOUZA, V.C.B. *Infiltration trenches in urban runoff control: an experimental study*, In: 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN URBAN DRAINAGE, NOVATECH, Lyon, p. 1039-1046. 2001.

HELLER, L., NASCIMENTO, N.O., PAIVA, J.E.M. *Saneamento*, In: MINAS GERAIS DO SÉCULO XXI. V. 3 – Infra-estrutura: sustentando o desenvolvimento. Belo Horizonte: Roma, 2002.

HELLER, L., NASCIMENTO, N.O. *Pesquisa e desenvolvimento na área de saneamento no Brasil: necessidades e tendências*, artigo submetido à Revista Engenharia Sanitária, em 2004.

HESPANHOL, I., *Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos*, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 7, n.4, p. 75-95. 2002.

HERSON-JONES, L.; HERALTY, M.; JORDAN, B. *Riparian buffer strategies for urban watersheds*. Washington: Water Resources Publications, LLC, 127 p.

JEFFERIES, C., GOVIER, A., BRADSHAW, K. *Improving degraded urban water courses in eastern Scotland: a case study*. In: Ellis, B. Impacts of Urban Growth on Surface Water and Groundwater Proceedings of the IAHS at IUGC XXII General Assembly, Birmingham: IAHS, pp. 373-379. 1999.

LEOPOLD, L. B. *Hydrology for urban land planning - a guidebook on the hydrologic effects of urban land use*. Washington: Geological Survey Circular 554, 19 p. 1968.

NASCIMENTO, N.O., BAPTISTA, M.B. CORDEIRO NETTO, O. *Sustainable Development of Water Resources in the Context of a Developing Country - the case of Brazil*. Anais da International Conference on Water Resources & Environmental Research, Kyoto, Vol. II, p. 627 a 634. 1996.

NASCIMENTO, N.O., BAPTISTA, M.B., VON SPERLING, E. *Problemas de Inserção Ambiental de Bacias de Detenção em Meio Urbano*. In: 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Rio de Janeiro, - anais eletrônicos. 1999.

NASCIMENTO, N.O., et al. *Using detention basins: operational experience and lessons*, Urban Water, n. 1, v.1, p. 113-124. 1999.

OLIVEIRA, M. G. B., BAPTISTA, M. B. *Avaliação da produção de sedimentos por evento na bacia hidrográfica da Pampulha*, em Belo

Horizonte, In: III SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, APRH, ABRH e AMCT, Maputo, Moçambique, v. 3, pp. 224-233. 1997.

PEARCE, D.W., WARFORD, J.J. *World Without End: economics, environment, and Sustainable development*, Oxford: Oxford University Press, 440 p. 1993.

PNSB: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: Rio de Janeiro: IBGE, 2000, 431 p. 2000.

PORTO, M. F. A. *Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas*. In: Tucci, C. E. M., Porto, R. L. e Barros, M. T. (Ed.), *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH - Editora da Universidade, p. 387-428, 1995.

RILEY, A.L. *Restoring streams in cities: a guide for planners, policymakers and citizens*. Washington: Island Press, 423 p. 1998.

SCHUELLER, T. R., *Controlling urban runoff*. Washington: Washington Metropolitan Water Resources Planning Board, 275 p. 1987.

STU. *Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales*. Paris: Technique et Documentation-Lavoisier, 276 p. 1994.

SUDECAP. DRENURBS-BH: *Programa de recuperação ambiental e saneamento dos fundos de vale e dos córregos em leito natural de Belo Horizonte* - Termo de Referência, Belo Horizonte, 39 p. 2001.

TUCCI, C.E.M., COLLISHONN, W. *Drenagem urbana e controle de erosão*. In: Tucci, C.E.M. e Marques, D.M.L.M. *Avaliação e con-*

trole da drenagem urbana - Porto Alegre: Ed. Universidade, pp. 119 - 127. 2000.

URBONAS, B.; STAHRE P. *Stormwater: best management, practices and detention for water quality, drainage, and CSO management*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993.

VALIRON F, TABUCHI J.-P. *Maitrise de la pollution urbaine par temps de pluie*. Paris: Technique et Documentation-Lavoisier, 564 p. 1992.

WAAL, L. C.; LARGE, A.R.G.; WADE, P.M. (ed.). *Rehabilitation of rivers. Principles and implementation*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 331 p. 2000.

Endereço para correspondência:

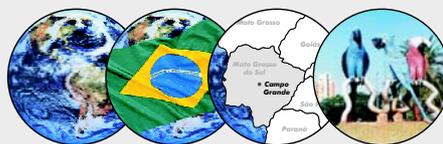
**Nilo de Oliveira Nascimento
EHR**

**Universidade Federal de Minas Gerais
Av. do Contorno, 842/8º Andar
30110-060 Belo Horizonte - MG -
Brasil**

Tel.: (31) 3238-1872

Fax: (31) 3238-1001

E-mail: niloon@ehr.ufmg.br



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

Saneamento Ambiental no Brasil: Utopia ou Realidade?

Data: 18 a 23 de setembro de 2005

**Local: Centro de Exposições Albano Franco
Campo Grande - MS**

**Envio do trabalho completo: 30 de abril de 2005
Instruções para envio: www.abes-dn.org.br**