

## SISTEMA DE APOIO À DECISÃO APLICADO À GESTÃO DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO

Dackson Crystian da Silva Araújo<sup>1</sup>  
Rosinete Batista dos Santos Ribeiro<sup>2</sup>

### RESUMO

A água é essencial à vida e manutenção dos ecossistemas, e diante do seu ciclo hidrológico, apesar de ser um recurso renovável, é limitado. O sistema de abastecimento faz parte do saneamento básico e é garantido pela Lei Federal 11.445 de 05 de janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e pressupõe a universalização dos serviços de saneamento para garantia da saúde dos brasileiros. Diante disso o objetivo da presente pesquisa é desenvolver um sistema de apoio à decisão (SAD) funcionando através de um programa para auxiliar a escolha de alternativas que promovam a redução de perdas em sistemas de abastecimento, em benefício da saúde pública e do saneamento ambiental, através de medidas que se adequem à realidade. Para o desenvolvimento da pesquisa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto abordado, além de fórmulas empíricas para o cálculo dos índices. De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar a eficácia do programa diante dos cálculos dos índices, que para o controle e redução dos mesmos foram associados às propostas adequadas e condizentes com cada nível de perda

**Palavras-chave:** Água, Saneamento, Perdas.

### INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial à vida, pois além de ser constituinte dos seres também se faz presente no habitat de várias espécies, sendo indispensável para manutenção dos ecossistemas do planeta (RODRIGUES, 2014). Contudo, nem todos têm acesso à água de qualidade para sua sobrevivência, sobretudo no Brasil que possui uma grande reserva hídrica, distribuída de forma desigual em relação à densidade populacional. Os principais problemas em recursos hídricos no Brasil referem-se a: escassez; desastres naturais (secas e inundações);

---

<sup>1</sup> Graduando do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, dacksoncrystian@gmail.com;

<sup>2</sup> Professora orientadora: Doutora, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, rosinetes@yahoo.com.br;

conflitos de uso da água e contaminação das águas superficiais e subterrâneas (PEIXINHO, 2012).

Sendo a água imprescindível à manutenção da vida e tendo em vista o enfrentamento destes problemas, a Política Nacional de Recursos Hídricos instituída pela Lei 9.433 em 08 de janeiro de 1997, a estabelece como um bem de domínio público, isto é, todo mundo tem direito ao acesso à água, e o dever de cuidar e preservar desse bem escasso. Já a Lei Federal 11.445 de 05 de janeiro de 2007 que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico prevê a universalização dos serviços de saneamento para garantia da saúde dos brasileiros e considera em seu Art. 3º, que o abastecimento de água potável se constitui pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição.

De acordo com a definição da Fundação Nacional de Saúde - FUNASA (2006), o sistema de abastecimento público é o conjunto de obras, instalações e serviços, destinados a produzir água a uma comunidade em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população, para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos. A implantação de um adequado sistema de abastecimento de água em uma comunidade é de suma importância, tendo em vista a sua influência direta na saúde pública, no bem-estar da população, na qualidade de vida, dentre outros fatores. E, a ineficiência do serviço de abastecimento, pode causar inúmeros problemas e impactos diretos na sociedade e no meio ambiente. Desta forma, podem ser identificados impactos sociais relativos a doenças de veiculação hídrica em virtude da qualidade da água fornecida não está dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela portaria 2941/2011 do Ministério da Saúde, como também em localidades onde o abastecimento não chega, falta de estrutura desde a captação até a rede de distribuição que compromete a qualidade de vida da população.

Tendo em vista que a erradicação de perdas no sistema de abastecimento contribui para a sua eficiência, este projeto objetiva desenvolver um sistema de apoio à decisão (SAD) que funcione através de um programa utilizando script na linguagem VisualG, propondo medidas de contenção de perdas que se adequem à realidade, com a finalidade de auxiliar na escolha de alternativas que promovam a redução de perdas em sistemas de abastecimento, para melhoria da saúde pública e do saneamento ambiental.

## METODOLOGIA

Inicialmente, foi feita uma pesquisa bibliográfica a: documentos, periódicos nacionais, projetos e relatórios que versam sobre o assunto; em seguida foram obtidos dados relativos ao gerenciamento de sistemas de abastecimento de água e dados secundários gerados em entidades com atuação na área de conhecimento estudada e realizada a caracterização das perdas. Logo após, fez-se a seleção das variáveis de entrada do programa. Por fim, foram sugeridas alternativas que visam minimizar os problemas de vazamentos.

## ESTABELECIMENTO E ESTRUTURAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

A partir dos estudos bibliográficos, foram determinadas as alternativas de eliminação de vazamentos e estabelecimento dos critérios para o desenvolvimento da base de dados, que por fim, serviram como base para escolha de tecnologias capazes de resolver os problemas de vazamentos e estruturação do Sistema de Apoio à Decisão (Figura 1).

**Figura 1 - Sistema de apoio à decisão**

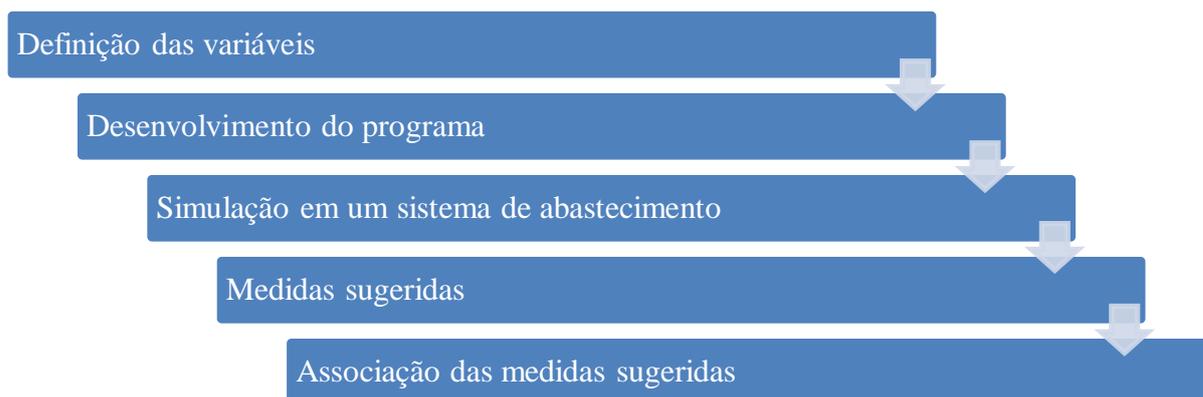


Fonte: Próprio Autor, 2019

O controle de perdas, normalmente, se refere a volumes de água que não são fornecidos ou faturados ao consumidor (“non revenue water”), seja porque se perdem em vazamentos nas caixas d’água, adutoras e rede de distribuição, seja por falhas na micromedição (hidrômetros muito lentos, fraudes), ou ainda porque são usados para as necessidades operacionais dos serviços de água (lavagem de filtros e de caixas d’água, por exemplo) e outras finalidades de caráter público (combate a incêndios, fontes ornamentais, etc.) (Brasil, 2005).

## DESENVOLVIMENTO

Para a estrutura do Sistema de Apoio à Decisão foram adotadas as seguintes etapas apresentadas no fluxograma a seguir



### a) Definição das Variáveis

Para a definição das variáveis utilizadas no programa, foram adotados índices capazes de quantificar as perdas no sistema de abastecimento, que foram calculados a partir dos dados fornecidos por empresas responsáveis pelo sistema de abastecimento de água.

O primeiro índice calculado foi o Índice de Perdas na Distribuição (IPD) que é importante, principalmente, quando se deseja determinar quantitativamente as perdas físicas. Segundo a SANASA (Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento) em Campinas/SP, este índice leva em consideração o volume de entrada no sistema e o volume utilizado, sendo este obtido pelo somatório dos volumes: micromedido (hidrômetros); recuperado marcado; operacional e especial, conforme Equação 1.

$$Vol. Utiliz = Vol Mic. + Vol rec. marc. + Vol Oper. + Vol Esp. \quad Eq. 1$$

$$IPD = \{Vol Prod. - Vol. Utiliz\} \times 100 / Vol. Prod.$$

Outro indicador utilizado, de suma importância, é o Índice de Perdas de Faturamento (IPF), pois este índice é um balanço econômico que baliza as perdas pelo seu potencial retorno em capital (Equação 2).

$$IPF = \{Vol Prod. - Vol. Fatur.\} \times 100 / Vol. Prod. \quad Eq. 2$$

A partir das equações dos índices de perdas iniciou-se a construção do programa utilizando o software VisualG 3.0.7, afim de obter dados referente a determinados sistemas de abastecimento.

### ***b) Desenvolvimento do programa***

O programa foi desenvolvido e dividido em três etapas: 1-cálculo do volume utilizado, 2-índice de perdas na distribuição e 3-índice de perdas no faturamento, com fórmulas fielmente iguais às apresentadas, anteriormente.

### ***c) Simulação em um sistema de abastecimento***

Para a presente aplicação foram selecionadas três regiões (setores) cujos sistemas de abastecimento apresentam características diversas, que serviram como variáveis de entrada para o programa, possibilitando o processamento dos dados e gerando dados de saída.

### ***d) Medidas Sugeridas***

A partir dos índices determinados pelo programa, propõem-se alternativas de mitigação das perdas e os seus respectivos limites.

#### **Medida “A” – Ações básicas de combate a perdas**

Para índices de baixa proporção sugerem-se que sejam revistas algumas ações básicas de controle de perdas como, a renovação da infraestrutura, substituindo as tubulações (redes e ramais) que estão com maior incidência de vazamentos, substituição periódica dos hidrômetros (preventiva) e imediata dos hidrômetros quebrados (corretiva), combate às fraudes, a partir de denúncias, análises de variações atípicas de consumo ou quaisquer outros indícios ou evidências e aprimoramento da gestão comercial das companhias (cadastros e sistemas comerciais).

Setorização da rede de distribuição, que seria a divisão da área de abastecimento em áreas menores, chamadas de subsetores, que podem ter delimitação natural ou por meio de fechamento de válvulas de manobra, o que facilitaria a identificação de áreas críticas (RECESA, 2009).

#### **Medida “B”- Geofone eletrônico**

Este instrumento é um detector eletrônico acústico de vazamentos, constituído de amplificador, sensores de ruídos e fones de ouvido. Tem a função de captar as vibrações provenientes do movimento da água fora do tubo, especialmente de seu impacto contra o solo e do ruído característico da circulação de água com as partículas do solo (ABENDE, 2003).

O objetivo dessa prática é captar ruídos provenientes de vazamentos no sistema, fazendo sua caracterização e correção.

#### **Medida “C” – Software Takadu e Geofone Eletrônico**

Segundo a revista OE em matéria publicada no ano de 2016, o município de Campo Grande – MS conseguiu redução de 36% de perdas de águas. O feito mostrou que um fator que

parecia imbatível foi vencido com ajuda da tecnologia, em medidas adotadas pela Águas Guariroba.

A empresa adotou um software de monitoramento e gerenciamento de rede de distribuição de água, novidade no país à época. Os dados foram registrados oficialmente no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

A concessão passou a ser administrada majoritariamente em 2005, e em 2015 comprovou redução de 55% para 19% as perdas de água da cidade. Os procedimentos seguiram com a aferição da perda real existente. Com o mapa da cidade em mãos, realizou-se um mapeamento localizando os pontos que apresentaram mais maiores perdas. Com a ajuda de Geofones Eletrônicos, foram detectados vazamentos que antes não eram aparentes.

Porém, a etapa mais relevante do processo é o software israelense Takadu, que possibilitou o controle em tempo real do que está acontecendo na rede, seja queda de pressão, pressão elevada, possíveis vazamentos, locais com desabastecimentos e outras não conformidades. A cidade possui mais de 500 sensores espalhados que enviam as informações para a companhia. O envio é efetuado por meio de telemetria.

#### *e) Associação das medidas sugeridas*

A partir dos setores e dos seus respectivos índices que foram calculados pelo programa através das equações apresentadas na definição de variáveis, foi possível associar as medidas mais indicadas para serem adotadas.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O script do programa feito na linguagem VisualG foi inicialmente formulado com a utilização de funções (Figura 6), expressando as fórmulas anteriormente definidas nas variáveis. Com isso as funções podem ser chamadas durante as próximas etapas do programa, dando seguimento.

### **Figura 6. Construção das funções do programa**

```
//Funções

funcao volutilizado (volmic,volrecmarc,voloperacional,volespecial:real):real
inicio
retorne(volmic+volrecmarc+voloperacional+volespecial)
fimfuncao

funcao ipd (volprod,volutiliz:real):real
inicio
retorne((volprod-volutiliz)*100)/volprod
fimfuncao

funcao ipf (volprod,volfaturado:real):real
inicio
retorne((volprod-volfaturado)*100)/volprod
fimfuncao
```

Fonte: Próprio Autor, 2019

Prosseguimento o script, as variáveis são chamadas pelos comandos “escreval” e “leia” nos casos apresentados (Figura 7), solicitando ao utilizador do programa que digite os dados referente as variáveis. Com isso, esses dados obtidos podem através das funções, calcular e apresentar os resultados, que por fim, sugere uma medida apropriada para o caso, dependendo do valor do resultado calculado pelo programa.

**Figura 7. Desenvolvimento do programa**

```
caso 1
escreval("Digite o valor de Volume Micromedido (Hidrômetros)")
leia(volmic)
escreval("Digite o valor de Volume Recuperado Marcado")
leia(volrecmarc)
escreval("Digite o valor de Volume Operacional")
leia(voloperacional)
escreval("Digite o valor de Volume Especial")
leia(volespecial)
resposta<- volutilizado(volmic,volrecmarc,voloperacional,volespecial)
escreva("O valor do Volume Utilizado é:",resposta)

caso 2
escreval("Digite o valor do Volume Produzido")
leia(volprod)
escreval("Digite o valor do Volume Utilizado")
leia(volutiliz)
resposta<- ipd(volprod,volutiliz)
escreva("O valor do Índice IPD:",resposta," %")

caso 3
escreval("Digite o valor do Volume Produzido")
leia(volprod)
escreval("Digite o valor do Volume Faturado")
leia(volfaturado)
resposta<- ipf(volprod,volfaturado)
escreva("O valor do Índice IPF é:",resposta," %")
outrocaso
escreva("#####-> OPÇÃO INVÁLIDA! <-#####")
fimescolha
```

Fonte: Próprio Autor, 2019

### Simulação em um sistema de abastecimento

Com a obtenção de dados reais de balanços hídricos do sistema de abastecimento, foi possível dar entrada com os valores referentes às variáveis do cálculo de índice de perdas no

abastecimento (IPD), que são apresentados (Tabela 1) e calculados com a utilização o programa.

**Tabela 1. Volumes e índices referentes ao ano de 2010**

Setor	Vol. Produzido (m <sup>3</sup> /ano)	Vol. Utilizado (m <sup>3</sup> /ano)	IPD (%)
1	31402000	27467000	<b>12,53</b>
2	5897000	2863000	<b>51,45</b>
3	19933000	12011000	<b>39,74</b>

Fonte: Vicentini, 2012

### Medidas Sugeridas

As medidas à serem sugeridas foram divididas em intervalos que expressam o grau de perda em que sistema se encontra (Tabela 2), tendo uma associação com a prática a ser adotada, condizente com a situação do sistema. Com isso, medidas mais baratas, e mais simples são associadas a níveis menores de perda e medidas mais caras e mais complexas associadas a maiores níveis de perda.

**Tabela 2. Medidas sugeridas**

Limite (%)	Medida
0 - 25	<b>Medidas A</b>
25 - 50	<b>Medidas B</b>
> 50	<b>Medidas C</b>

Fonte: Próprio Autor, 2019

### Medida “A”. Ações básicas de combate a perdas

Ações básicas de controle de perdas são facilmente implantadas pois já fazem parte da rotina dos profissionais responsáveis pela manutenção do sistema de abastecimento, sendo uma vantagem, barateando os custos da medida. Ações como, a renovação da infraestrutura, substituindo as tubulações (redes e ramais) que estão com maior incidência de vazamentos, substituição periódica dos hidrômetros (preventiva) e imediata dos hidrômetros quebrados (corretiva), combate às fraudes, acarreta uma diminuição expressiva das perdas no sistema.

### Medida “B”. Geofone eletrônico

O geofone eletrônico é uma medida que acarreta na identificação de vazamentos tão pequenos que não são possíveis identificar visualmente. É um equipamento de médio custo,

que sendo utilizado de maneira adequada pode reduzir significativamente as perdas no sistema de abastecimento. O uso do equipamento pode ser utilizado por profissionais que fazem a medição dos hidrômetros, baixando o custo de operação, e fazendo com que essa medida seja de fácil implantação.

### **Medida “C”. Software Takadu e Geofone Eletrônico**

Com o software israelense Takadu, é possível fazer o controle em tempo real do que está acontecendo na rede, seja queda de pressão, pressão elevada, possíveis vazamentos, locais com desabastecimentos, melhorando a visibilidade da situação do sistema podendo fazer um planejamento de contenção de perdas e com a ajuda de geofones eletrônicos, detectando vazamentos não aparentes.

Essa medida é mais complexa de ser adotada, pois os custos com software, geofone e profissionais é elevado, porém, expressa melhores resultados quanto a redução de perdas em um sistema de abastecimento.

### **Associação das medidas sugeridas**

Com os índices de perdas na distribuição calculados pelo programa, os níveis de perdas são determinados e associados a medidas condizentes a cada situação (Tabela 3). Essa associação acarreta numa tomada de decisão correta, considerando o nível de perda e dando ao sistema uma medida, ou um conjunto de medidas mais adequadas para o sistema.

Para cada setor o programa calculou o índice de perda e associou a medida adequada respeitando os intervalos pré-estabelecidos.

**Tabela 3. Associação dos índices de perda com medidas sugeridas**

<b>Setor</b>	<b>IPD (%)</b>	<b>Medida</b>
1	12,53	<b>Medida A</b>
2	51,45	<b>Medida C</b>
3	39,74	<b>Medida B</b>

Fonte: Próprio Autor, 2019

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Dessa forma, com a caracterização das perdas existentes no sistema foi possível relacionar suas respectivas perdas aos dados presentes em balanços hídricos apresentados por

companhias responsáveis pelo abastecimento de água. Logo, com essa definição estabeleceu-se variáveis para estruturação e construção do script do programa utilizando o VisualG.

O conjunto de ideias apresentadas, possibilitou o êxito na simulação dos sistemas de abastecimento, com o programa calculando inicialmente os volumes de água utilizados para cada balanço hídrico e posteriormente os respectivos índices de perda na distribuição e no faturamento.

A definição dos intervalos possibilitou expressar o nível de perda em que se encontram os sistemas, que o programa criteriosamente associou à medida mais adequada, cumprindo com o objetivo, que é relacionar um intervalo com o índice de perda compatível, para que com mais eficiência se possa resolver o problema de perdas no sistema.

Com isso, o programa construído associa índices de perdas com medidas combatentes, tendo uma possível contribuição para o controle das perdas em sistemas de abastecimento de água.

## REFERÊNCIAS

ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água: Diagnóstico, Potencial de Ganhos com sua Redução e Propostas de Medidas para o Efetivo Combate**, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS – ABENDE. **Detecção de vazamentos não-visíveis – Métodos Acústicos**. Apostila do curso de certificação em ensaio não-destrutivo de estanqueidade - detecção de vazamentos não-visíveis de líquidos sob pressão em tubulações enterradas. 2003. 181 p.

BRASIL. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de Saneamento**. Brasília: Funasa, 2006, 362p.

BRASIL. Lei 11.445/2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. Brasília, DF. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm)> Acesso 23 Dez. 2018.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Diário Oficial da União, Brasília, 09 jan. 1997.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, **Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional - Projeto Básico Ambiental – PBA 31**. 2005. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/web/projeto-sao-francisco/38-programas-ambientais>>. Acesso em: 22 Dez. de 2018.

CAMPOS, M. M.; AZEVEDO, F. R.. **Aproveitamento de águas pluviais para consumo humano direto**. Jornal Eletrônico das Faculdades Integradas Vianna Junior. Juiz de Fora, mai. 2013. Edição I. p. 23-42. Disponível em: <[http://portal.viannajr.edu.br/files/uploads/20130523\\_155633.pdf](http://portal.viannajr.edu.br/files/uploads/20130523_155633.pdf)> Acesso em: 22 Dez. de 2018.

CARVALHO, F. S.; PEPLAU, G. R.; CARVALHO, G.S.; PEDROSA, V. A.; **Estudos sobre perdas no sistema de abastecimento de água da cidade de Maceió. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 2004. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/professor/vap/perdassistemadeabastecimento.pdf>> Acesso 21 Dez 2018.

EMBASA – **Empresa Baiana de Água e Saneamento**, 2001.

IWA - INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. **District Metered Areas - Guidance Notes**, 2007.

NORMA BRASILEIRA-ABNT- NBR, 15.527. Acesso 22 Dez. 2018

PEIXINHO, F.C. **Sistema de Apoio à Decisão aplicado à Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos**, 2012. Dissertação - Universidade Estadual do Ceará, Mestrado Profissional em Computação Aplicada, 225p. Rio de Janeiro, 2012.

PHD 2537 – Água em Ambientes Urbanos - Reuso da água - 5.1. **Aproveitamento da água de chuva**. Pg 7 - [http://200.144.189.97/phd/LeArq.aspx?id\\_arq=2151](http://200.144.189.97/phd/LeArq.aspx?id_arq=2151) Acesso em 23 Dez. 2018

RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Volume 7 n.4 Out/Dez 2002, 75-95

RECESA. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (Org.) - Ministério das Cidades. Abastecimento de Água – **Gerenciamento de Perdas de Água e de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água – Guia do Profissional em Treinamento: Nível 1** – Brasília, 2009. 57p.

RODRIGUES, T. L. **Diagnóstico do sistema de abastecimento do município de Riachão do Bacamarte – PB**, 2014. Monografia – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

SÃO PAULO (Estado). Companhia de Saneamento Básico. **Manual de gerenciamento para controladores de consumo de água**. São Paulo, 2009. Disponível em: <[http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp\\_doctos/Manual%20do%20controlador.pdf](http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/Manual%20do%20controlador.pdf)>. Acesso em: 23 Dez. 2018.

VICENTINI, L. P. **Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água** – ed.rev. São Paulo, 2012. 196 p.

