

IX-072 - AVALIAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO DE TERCEIRA GERAÇÃO (3G) EM ESCALA DE LOTE URBANO EM SÃO CARLOS-SP

Ivie Emi Sakuma Kawatoko⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela FCT UNESP. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutoranda em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Rio de Janeiro, 1914 - Andradina -SP CEP 16900-413- Brasil - Tel (18) 8128-6376 - e-mail: ivie_iesk@hotmail.com

RESUMO

Questões de planejamento aliadas ao aumento da impermeabilização contribuem para a redução do amortecimento das águas, o que possibilita a ocorrência das enchentes urbanas. Assim, é imprescindível a adoção de instrumentos e ferramentas que permitam um adequado gerenciamento dos recursos hídricos, bem como de sua drenagem. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo aplicar os cálculos do Balanço Hídrico de Terceira Geração, com base em variáveis hidráulicas e hidrológicas, de forma a possibilitar a criação de diferentes cenários prospectivos (2010, 2025, 2050, 2075 e 2100) para tal medida não-estrutural, em escala de lote urbano no município de São Carlos-SP. A metodologia consistiu no dimensionamento e análises de custos das medidas estruturais (tanque de água e trincheira de infiltração) para um lote de 200m², a serem incorporadas ou não na medida não-estrutural (Balanço Hídrico de Terceira Geração); que por sua vez, foi calculada em função das componentes das águas urbanas, variáveis hidráulicas e hidrológicas. Ao final, foram formados 4 cenários em escala prospectiva atual (2010), 2025, 2050, 2075 e 2100: *Global Orchestration*, *Order from Strength*, *Adapting Mosaic*, *TechnoGarden*. Por fim, foram extraídas justificativas pertinentes a tal medida, com base em elementos técnicos, econômicos, sociais e ambientais de Águas Urbanas sob o contexto da Lei Federal de Saneamento Básico nº 11.445/07.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem Urbana, Medidas Não-Estruturais, Estabelecimento de Cenários, Gerenciamento de Recursos Hídricos, Balanço Hídrico de Terceira Geração (3G).

INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado da população urbana sempre vem atrelado às questões de planejamento, como verificado no caso dos sistemas de drenagem, inadequações referentes ao saneamento, ocupação de áreas de risco. Tais questões, aliadas ao aumento da impermeabilização e, conseqüente, acréscimo do escoamento superficial, contribuem para a redução do amortecimento das águas, o que possibilita a ocorrência de grandes desastres, como as enchentes urbanas. Diante desse contexto, torna-se imprescindível a adoção cada vez mais freqüente de instrumentos de adaptação e ferramentas que permitam um adequado gerenciamento dos recursos hídricos.

Quanto aos parâmetros legais, de acordo com Mendiondo (2010), a Lei 11445/07 - Lei Federal de Saneamento Básico - estabelece um marco regulador para o Plano Diretor Urbano e define o termo “águas urbanas” como aquelas componentes da drenagem de águas pluviais (*Pe*), abastecimento de água (*Aabas*), esgotamento sanitário (*Esan*) e resíduos sólidos (*Rsol*). No entanto, nota-se que embora haja um incentivo à gestão descentralizada e integral das águas urbanas - em especial das medidas compensatórias - existe ainda um vazio metodológico, quando se trata de indicadores que subsidiem os Códigos de Obras e Planos Diretores dos Municípios.

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo aplicar os cálculos do Balanço Hídrico de Terceira Geração, com base em variáveis hidráulicas e hidrológicas, de forma a possibilitar a criação de diferentes cenários prospectivos (2010, 2025, 2050, 2075 e 2100) para tal medida não-estrutural, em escala de lote urbano no município de São Carlos-SP.

De forma sintética, o Balanço Hídrico de Terceira Geração é uma nova equação de continuidade geral, que aceita o balanço hídrico de componentes reais e virtuais, considerando como indicador o grau de neutralidade

de impactos ou a sustentabilidade das águas urbanas em escala de lote domiciliar (ΔX) e se destaca pelo acréscimo do cálculo de pegada hídrica em sua metodologia.

A partir da aplicação de medida não-estrutural de drenagem urbana como instrumentos de gestão, pôde-se, finalmente, elaborar diferentes cenários prospectivos, de modo a obter um diagnóstico da influência de aplicação de medidas estruturais sobre os impactos das águas urbanas no lote.

Assim, ressalta-se que a proposição de novas metodologias tanto de medidas estruturais quanto não-estruturais de drenagem urbana permite a incorporação de indicadores de vulnerabilidade e seus respectivos impactos ambientais na criação de instrumentos de adaptação e gestão das águas urbanas, o que auxilia as políticas públicas e tomadas de decisão nos Planos Diretores e Códigos de Obras Municipais.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área em estudo adotada foi um lote urbano de 200m², localizado a montante da sub-bacia do Monjolinho com área (5,7 Km²), pertencente a bacia do Tietê Jacaré, cuja área é de 78 Km² (Figura 1).

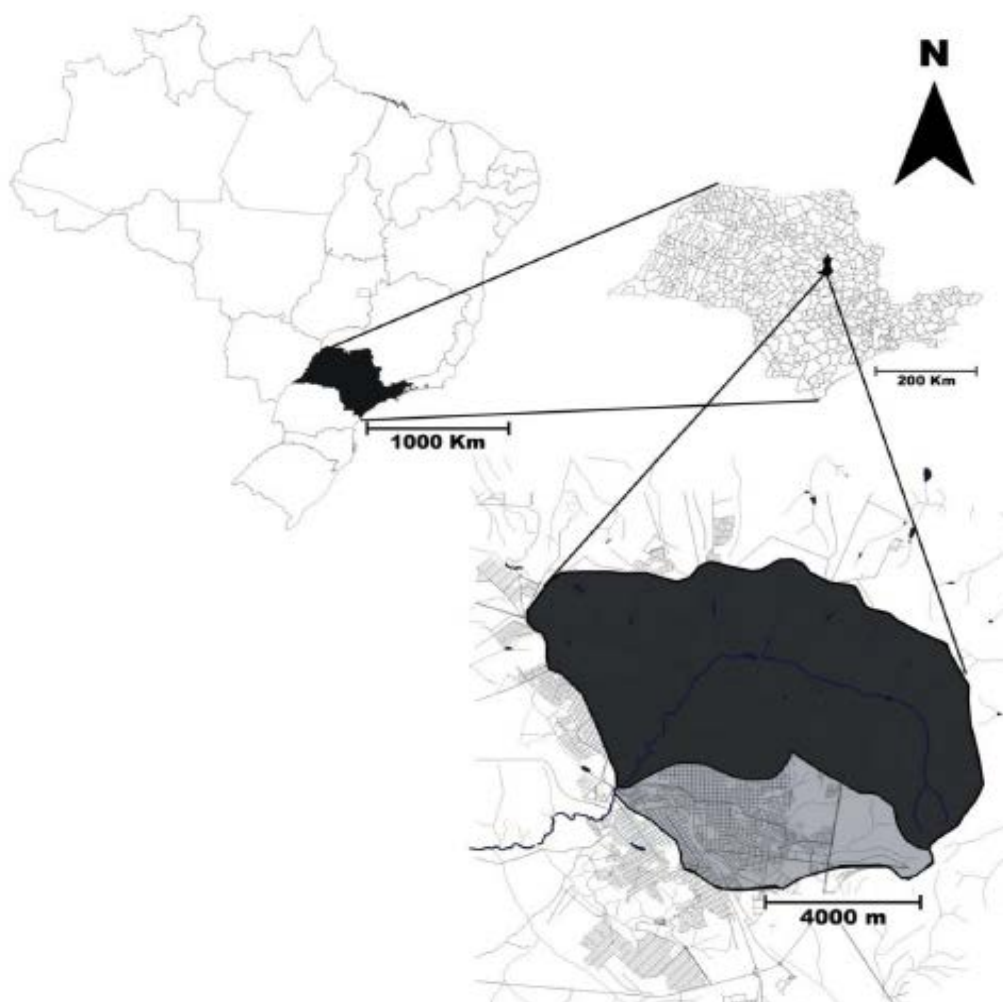


Figura 1: Localização do lote urbano - subbacia do Monjolinho (Alvarez, 2010)

Foram desenvolvidos quatro cenários globais prospectivos (Figura 2), que exploraram duas linhas de desenvolvimento global: globalizado e regionalizado; e duas abordagens diferentes de gestão dos ecossistemas: uma com ação reativas, e outra em que a gestão dos ecossistemas é pró-ativa com políticas de longo prazo (MA- SCENARIO WORKING GROUP, 2005).

Nos cenários com políticas pró-ativas, por se tratar de situações em que há uma preocupação com as questões ambientais, foram adotadas medidas compensatórias estruturais da drenagem urbana, em que (equações 1 e 2):

$$\Delta Pe = Pe_{\text{futura}} - Pe_{\text{atual}} \quad \text{equação [1]}$$

$$\Delta Pe \leq \Phi \cdot Vol_{\text{med estr}} + (Ia+F) \cdot A_{\text{med estr}} \quad \text{equação [2]}$$

Na qual, ΔPe é a variação de escoamento, Vol e A representam, respectivamente, o volume e área perimetral permeável da medida estrutural adotada no lote e Φ é o índice de vazios, no intervalo de 0 (mínimo) e 1 (máximo) do volume.

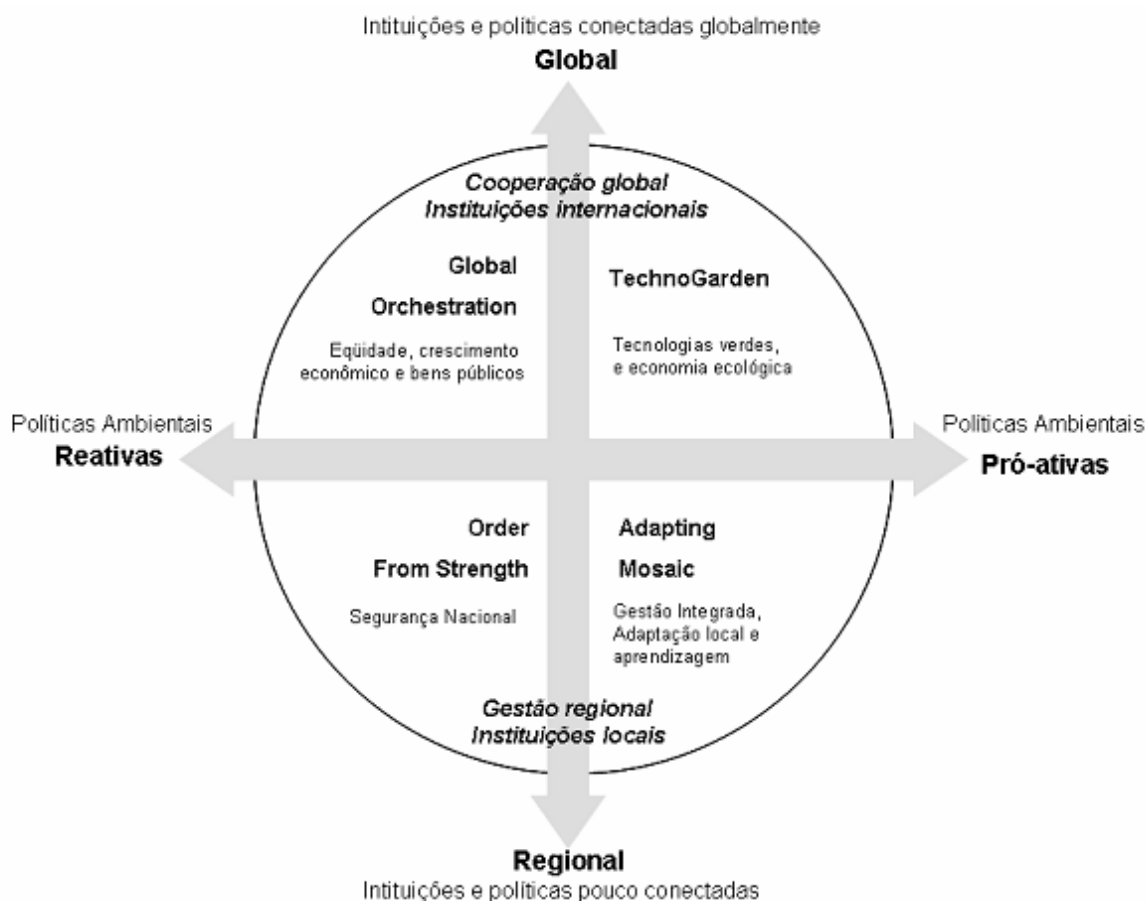


Figura 2: Estrutura dos cenários (MA, 2005)

Segundo Mendiondo (2010), uma nova equação de continuidade geral do Balanço Hídrico de 3ª Geração, de forma a computar entradas e saídas de água do lote urbano - reais e virtuais - pode ser calculada de acordo com a equação 3, bem como na Figura 3 é apresentado um Esquema do Balanço.

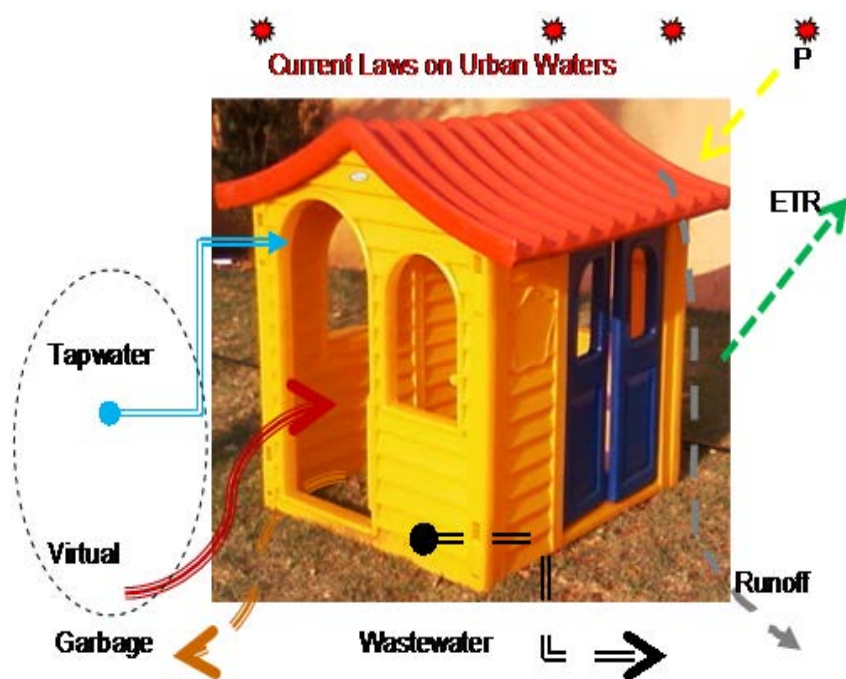


Figura 3– Esquema do Balanço Hídrico de Terceira Geração no lote urbano

FONTE: MENDIONDO, 2010

$$\langle \Delta X \rangle_{\text{lote}} = \underbrace{P}_{\text{verde}} + \underbrace{A_{\text{abas}}}_{\text{azul}} + \underbrace{A_{\text{ve}}}_{\text{verde azul cinza}} + \underbrace{\sum \text{Diluição}}_{\text{cinza}} \left(\underbrace{\hat{P}e}_{\text{verde}}, \underbrace{Esan}_{\text{cinza}}, \underbrace{AVs(Rsol)}_{\text{cinza}} \right) - \underbrace{ETR}_{\text{verde}} - \underbrace{\hat{P}e}_{\text{verde}} - \underbrace{Esan}_{\text{cinza}} - \underbrace{AVs(Rsol)}_{\text{cinza}} \quad \text{equação [3]}$$

ΔX : Influência dos impactos das águas urbanas sobre o lote

P: Precipitação Média Anual medida

Aag: Abastecimento de água

Ave: Água Virtual de Bens e Serviços

\sum Diluição: As diluições de esgoto, resíduos sólidos e escoamento são os coeficientes de diluição a serem adotados;

ETR: Evapotranspiração Média Anual

Pe: Lâmina de Escoamento

Esan: esgoto sanitário

Avs(Rsol): água virtual dos resíduos sólidos

Os dados climáticos, de precipitação e evapotranspiração real foram medidos através das Estações Meteorológicas do CRHEA (pertencentes à USP), próximas ao lote urbano, enquanto os valores de abastecimento público e esgoto sanitário foram consultados junto à prestadora de serviço local (SAAE, 2010).

Os dados de escoamento foram obtidos a partir de equações de continuidade do Método SCS. A metodologia de quantificação da água virtual de entrada e saída foi extraída do manual de pegada hídrica (HOEKSTRA *et al.*, 2009). Já o fator de diluição de esgoto, escoamento e lixiviado dos resíduos sólidos foi estipulado através do princípio de diluição para o lançamento do efluente de maneira a comportá-lo na classe 2 proposta pela CONAMA 357/2005, ou seja, que a DBO esteja abaixo de 5 mg/l.

.

RESULTADOS

DIMENSIONAMENTO DAS MEDIDAS ESTRUTURAIS DE DRENAGEM URBANA

O volume do reservatório de água necessário para armazenar o aumento de vazão máxima dentro do lote urbano de 200m², foi de 2,946 m³. Ou como alternativa, podem ser adotadas 02 trincheiras de infiltração com as seguintes dimensões (Tabela 01).

Tabela 01 - Dimensionamento da trincheira de infiltração (lote 200m²)

Parâmetros de dimensionamento	
Imáx (mm)	125,996
Volume projeto (m ³)	4,199
I (m ³ /m ²)	0,198
C(m ³ /s.m ²)	0,00571
Comprimento da trincheira (m)	5,000
Altura da trincheira (m)	1,000
Área de infiltração (m ²)	5,000
Volume infiltrado (m ³)	0,989
Volume efetivamente armazenado (m ³)	3,211
Porosidade da brita 3 (%)	40,000
Volume da trincheira (m ³)	8,027
Largura da trincheira (m)	1,610

DIMENSIONAMENTO DO BALANÇO HÍDRICO DE TERCEIRA GERAÇÃO

O Balanço Hídrico de Terceira Geração do lote urbano de 200m², localizado em São Carlos-SP, pode ser visualizado na Tabela 02. Quando considerado o indicador de grau de sustentabilidade do lote urbano (ΔX), nota-se que para todos os cenários propostos pela *Millennium Ecosystem Assessment* (2005) houve um aumento do volume de água que entra no lote. Ressalta-se ainda que esse valor tende a aumentar mais ainda ao longo dos anos: 2025, 2050, 2075, 2100.

No caso, dos cenários em que são adicionadas as medidas compensatórias estruturais de drenagem urbana (reservatório de água e trincheiras de infiltração), há uma suavização no aumento de volume de entrada de água no lote, no entanto tal compensação de detenção/retenção não é suficiente para conter o impacto decorrente das demais componentes consideradas no Balanço 3G.

Como já abordado anteriormente o Balanço Hídrico de Terceira Geração é intrinsecamente ligado aos valores de pegada hídrica, ou seja, os valores de água virtual que entram e saem do lote, bem como os fatores de diluição para as componentes das águas urbanas, o que pode ser visualizado na Tabela 1. Essa forte influência resulta em valores elevados no indicador de sustentabilidade (ΔX).

E, justamente, por estarem extremamente correlacionados, torna-se interessante que dados de pegada hídrica sejam inclusos nas metodologias, uma vez que podem servir como ferramentas de gestão e manejo dos recursos hídricos, além de auxiliar nas tomadas de decisão, estabelecendo prioridades, para os Códigos de Obras e Planos Diretores Municipais.

Tabela 02 – Balanço Hídrico de Terceira Geração (lote 200m²)

	Precipitação	Consumo	AVE	Dil. Escoamento	Dil. Esgoto	Dil. Resíduos	ETR	Escoamento	Esgoto	AVS	ΔX
2010	301,014	408,800	5200,708	612,959	2753,031	27211,200	178,606	294,692	178,768	2,721	35832,924
GO (2025)	301,014	607,798	7982,500	614,893	4093,167	30612,490	178,606	295,622	265,790	3,061	43468,783
GO (2050)	301,014	880,023	11308,080	617,002	5926,450	34013,880	178,606	296,636	384,834	3,401	52182,974
GO (2075)	301,014	1145,414	14579,100	6138,429	7713,698	37415,270	178,606	2951,168	500,889	3,741	63658,515
GO (2100)	301,014	1413,319	17969,800	605,679	9517,887	40816,650	178,606	291,192	618,044	4,081	69532,433
OS (2025)	301,014	674,111	7088,767	617,027	4539,748	34013,880	178,606	296,648	294,788	3,401	46461,101
OS (2050)	301,014	1056,027	9401,373	620,501	7111,728	37415,270	178,606	298,318	461,800	3,741	54963,441
OS (2075)	301,014	1462,599	11686,750	621,291	9849,755	40816,650	178,606	298,698	639,594	4,081	63617,086
OS (2100)	301,014	1897,883	14074,340	621,171	12781,140	44218,040	178,606	298,640	829,944	4,421	72581,979
AM (2025)	301,014	627,143	6903,075	600,113	4223,444	25510,410	178,606	288,516	274,249	2,551	37421,275
AM (2050)	301,014	931,363	8892,124	598,083	6272,191	23809,710	178,606	287,540	407,285	2,380	39928,677
AM (2075)	301,014	1237,919	10797,910	596,789	8336,669	22109,020	178,606	286,918	541,342	2,210	42370,242
AM (2100)	301,014	1554,652	12717,360	595,911	10469,680	20408,330	178,606	286,496	679,849	2,040	44899,953
TG (2025)	301,014	589,574	6739,518	600,321	3970,441	23809,710	178,606	288,616	257,820	2,380	35283,158
TG (2050)	301,014	833,090	8471,681	600,138	5610,382	22109,020	178,606	288,528	364,310	2,210	37091,671
TG (2075)	301,014	1060,832	10045,780	596,078	7144,086	20408,330	178,606	286,576	463,901	2,040	38624,991
TG (2100)	301,014	1284,099	11569,590	594,742	8647,663	18707,630	178,606	285,934	561,536	1,870	40076,796

* Valores em m³

CONCLUSÕES

O “Balanço Hídrico de Terceira Geração” serve como um indicador de sustentabilidade ao contabilizar entradas e saídas de água (tanto reais quanto virtuais) dentro do lote urbano. Tal ferramenta sofreu grande influência ao serem adotadas medidas estruturais e principalmente, ao ser inclusa a componente pegada hídrica.

A partir de tal estudo, evidenciou-se a importância do estabelecimento de novas metodologias a fim de se criar ferramentas para um adequado gerenciamento e manejo dos recursos hídricos; visto que foram notadas grandes influências sobre as medidas não-estruturais propostas, a incorporação de diferentes situações, dispositivos de retenção/retenção e componentes das águas urbanas.

Em linhas gerais, a identificação desses fatores e influências servem como base aos tomadores de decisão para o estabelecimento de novas políticas públicas, auxiliando o Código de Obras das cidades e o Plano Diretor Municipal, de acordo com as características e necessidades hidráulicas e hidrológicas da localidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ALVAREZ, R.P.P. **Estudo Experimental e Teórico da Qualidade de Água da Drenagem Urbana com base Ecohidrológica**. 2010. Originalmente apresentada como Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.
- 2 HOEKSTRA, A, CHAPAGNAIN, ZARATE, E., M ALDANA. **Water footprint manual**. 2009. Univ Twente/UNESCO-IHE, Report Nr 41, Enschede/Deflt, Holanda, 301p.
- 3 MENDIONDO, E M. **What stormwater runoff P.E.T. do we know towards a 3rdG water balance?**. 2010. Virtual Water Problem #3, SHS5890, Recursos Hídricos: Aspectos Quantitativos, PPG-SHS EESC/USP, Apostila, 15p.
4. MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MA), **Scenario Working Group (2005) Four Scenarios**, In S. R. Carpenter, P.L. Pingali, E.M. BENNETT, M.B. ZUREK (editors). *Ecosystems and Human Well-being: Scenarios*, Island Press: Washington, v.2., Chapter 8, p. 223-294.
- 5 SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto São Carlos. 2010. Acesso em 14 de maio de 2011. Disponível em: <http://saae.saocarlos.sp.gov.br/>