



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

MODELOS PARA A DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES EM SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA: ESTADO DA ARTE¹

FERREIRA, Tiago de Vasconcelos Gonçalves (1); GONÇALVES, Orestes Marraccini (2)

(1) USP, e-mail: tiagovasconcelos@usp.br; (2) USP, e-mail: orestes.goncalves@usp.br

RESUMO

As rotinas para a determinação da vazão máxima provável, propostas na metade do século passado, precisam ser revisadas e readequadas para a realidade atual. Diversos estudos comprovam que esses modelos conduzem a valores de vazões superdimensionados quando comparados a situações reais. Assim, os procedimentos tradicionais para determinação das vazões de projeto de edificações, que foram desenvolvidos para situações experimentais particulares dos propositores, precisam ser substituídos por modelos mais adequados e flexíveis. O objetivo deste trabalho é a apresentação dos modelos para a determinação das vazões em sistemas prediais de água. Assim, a partir de uma revisão bibliográfica, foram estudados todos os modelos propostos desde a última revisão do estado da arte sobre o tema, apresentada no "20th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings", em 1993, organizado pelo CIB W062. Com a difusão dos computadores, algumas abordagens ao problema foram propostas, como a aplicação da lógica nebulosa, simulações utilizando os processos estocásticos, teoria dos grafos e aproximações de curvas de densidade de probabilidade. Com isso, novas possibilidades podem ser incorporadas na rotina dos projetistas de sistemas prediais.

Palavras-chave: Modelos probabilísticos, Vazões de projeto, Sistemas prediais de água.

ABSTRACT

Routines for determining the maximum flow rate proposals in the past half century, need to be reviewed and readapted to the current reality. Several studies show that these models lead to values oversized flows compared to real situations. Thus, the traditional procedures for determining building design flows, which were developed for particular experimental situations of proposers need to be replaced by more appropriate and flexible models. The objective of this work is the study of models for determining the flow rate in buildings systems. Thus, from a literature review, we studied all the proposed models since the last revision of the state of the art on the subject, presented in the "20th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings" in 1993, organized by the CIB W062. With the spread of computers, some approaches to the problem have been proposed, such as the application of fuzzy logic, simulations using the stochastic processes, graph theory and approximation the normal curve. Thus, new possibilities can be incorporated into routine designers building systems.

Keywords: ENTAC2016. Paper. Publication.

¹ FERREIRA, Tiago de Vasconcelos Gonçalves; GONÇALVES, Orestes Marraccini. Modelos para a determinação das vazões em sistemas prediais de água: estado da arte. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

As rotinas propostas na metade do século passado para determinação de vazões nos sistemas prediais de água precisam ser revisadas e readequadas para a nova realidade de projeto, considerando o uso eficiente da água. Diversos estudos comprovam que esses modelos conduzem a valores de vazões superdimensionados quando comparados a situações reais. Assim, os diferentes procedimentos tradicionais para determinação das vazões de projeto de edificações, que foram desenvolvidos para situações experimentais particulares dos propositores, precisam ser substituídos por modelos mais adequados e adaptáveis.

Diversos autores (GALOWIN, 2008; INGLE, KING, SOUTHERTON, 2014; TINDALL E PENDLE, 2015) questionam os métodos atuais para determinação de vazão de projeto e enfatizam a necessidade de um modelo para atender aos padrões de conservação de água e energia existentes atualmente. Wu et al. (2014) avalia que, diante do esforço empreendido nos últimos anos para a redução da demanda de água, os métodos convencionais para a obtenção de vazão geram valores superestimados no sistema de distribuição de água, e enfatiza a necessidade de modelos mais completos e eficientes. Para Ingle, King, Southerton (2014), vazões superestimadas geram desperdício de materiais e não atendem aos os princípios do desenvolvimento sustentável.

Este trabalho apresenta estudo dos modelos para determinação das vazões em sistemas prediais de água. Para isso, foi feita uma revisão bibliográfica acerca do tema, onde levantou-se os modelos propostos desde a última revisão do estado da arte sobre o tema, apresentada no “20th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings”, em 1993, organizado pelo CIB W062.

2 REVISÃO SOBRE OS MODELOS

Alguns dos principais aspectos relativos ao procedimento de determinação das vazões de projeto foram comentados por Konen e Gonçalves (1993), como o nível de desempenho do sistema, o custo e o tempo envolvidos na implementação desse sistema e a flexibilidade de ajuste de um modelo de projeto que possa ser aplicado em diferentes contextos, da forma mais abrangente possível. Autores de todo o mundo propuseram o enfoque desse problema com o uso da teoria da probabilidade.

O modelo probabilístico clássico para determinação de vazão de projeto foi desenvolvido por Roy B. Hunter. O modelo de Hunter (1940), como é conhecido, é até hoje amplamente utilizado em países como Estados Unidos e Inglaterra. O modelo considera que a probabilidade de que r aparelhos estejam em uso simultâneo em um grupo de n aparelhos instalados de um mesmo tipo, de forma que $(n \geq r)$, com a utilização da função de probabilidade binomial.

A partir do modelo de Hunter, outros modelos mais evoluídos foram

propostos, que podem ser citados de forma resumida – a formulação completa, inclusive comentada, pode ser encontrada em Konen e Gonçalves (1993): Webster, em 1972, utilizou a distribuição binomial generalizada; Courtney, em 1976, utilizou a distribuição de probabilidade multinomial; Kiya, em 1974, apresentou um modelo de simulação através do método de Monte Carlo; Konen, em 1980 e 1984, sugeriu novos valores de pesos para o modelo de Hunter; Murakawa, em 1985, utilizou a distribuição de Poisson e teoria das filas para determinação das vazões.

No Brasil, houve a proposição de um modelo probabilístico idealizado por Gonçalves (1986), caracterizado como “aberto”, devido a sua ampla adaptabilidade às condições adversas que podem existir para determinação de vazão de projeto. O propositor abordou as variáveis intervenientes de forma aleatória, com a obtenção da esperança matemática e variância. Nesse modelo, a probabilidade de que um determinado aparelho esteja em funcionamento pode ser obtida através de uma função de probabilidade do tipo Beta-Binomial. Em seguida, as vazões de um determinado trecho são aproximadas da função de densidade do tipo Gama, e com a aplicação do nível de desempenho estabelecido pelo projetista, o valor da vazão de projeto é obtido.

3 ESTUDO DE MODELOS DESENVOLVIDOS ENTRE 1994 E 2015

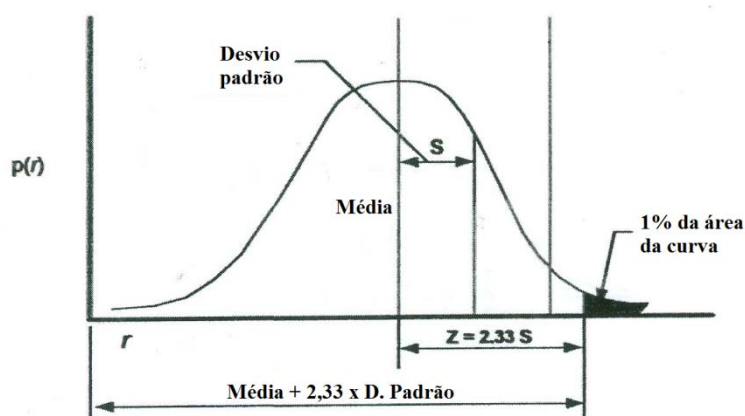
Diversas abordagens probabilísticas foram dadas ao problema ao longo dos últimos 20 anos, entretanto, com pouco impacto nas aplicações práticas – houve uma preferência de “adequação” dos primeiros modelos empíricos para situações e tipologias mais específicas. Com a difusão dos computadores, algumas abordagens ao problema foram propostas: aplicação da lógica nebulosa, simulações utilizando os processos estocásticos, teoria dos grafos e aproximações de curvas de densidade de probabilidade. Apresenta-se a seguir modelos desenvolvidos entre 1994 e 2015, com diferentes enfoques.

3.1 Modelo de Wistort (1994)

O autor propôs o uso de um modelo probabilístico baseado na aplicação analítica do modelo de Hunter, de forma revisada. Uma vez que o modelo de Hunter emprega o uso da distribuição binomial para a obtenção do número de aparelhos em uso simultâneo, Wistort (1994) concluiu que essa aplicação exige bastante esforço computacional. Vale ressaltar que o trabalho foi publicado no ano de 1994; atualmente, é simples a aplicação computacional do modelo de Hunter.

Para facilitar a aplicação do modelo, o autor aproximou a distribuição binomial com a distribuição normal, devido a excelente correlação que existe entre as duas curvas – com o formato de “sino” (Figura 1). O mesmo critério de desempenho de Hunter foi estimado por Wistort, com o cálculo da vazão que representa a probabilidade acumulada de 99% de ocorrência.

Figura 1 – Exemplo de figura



Fonte: Wistort (1994)

A Dessa forma, pode-se estimar a vazão de pico utilizando Equação 1.

$$Q_{99\%} = \sum_{k=1}^k q_k n_k p_k + (z_{99\%}) \sqrt{\sum_{k=1}^k q_k^2 n_k (p_k - p_k^2)} \quad (1)$$

Onde,

k é o número de aparelhos sanitários a ser considerado no trecho;

q_k é a característica do aparelho sanitário do tipo k ;

n_k é o número total de cada aparelho sanitário do tipo k ;

p_k é a probabilidade de que o aparelho k esteja em funcionamento (Equação 2).

$$p_k = \frac{t_k}{T_k} \quad (2)$$

$z_{99\%}$ é um parâmetro característico da distribuição normal. No caso da abordagem relativa à vazão de probabilidade acumulada de 99%, Z sempre terá o valor de 2.33. Para casos de aplicação em pequenas residências, o autor recomenda o uso de $Z = 3$.

As considerações sobre o valor Z feitas pelo autor são motivadas pela baixa correlação existente entre as curvas de distribuição de probabilidade da binomial e normal, quando o número de aparelhos sanitários é pequeno e, assim, o resultado tende a ser subestimado.

3.2 Modelo de Alitchkov (1998)

Os métodos empíricos e os modelos probabilísticos propostos para o estudo das vazões fornecem apenas os valores de vazão máxima provável em um determinado instante de tempo. Alitchkov (1998) considera que a informação necessária ao projetista para a adequada configuração do sistema de distribuição de água deve possuir um nível de precisão e de detalhe além das fornecidas pelos modelos citados. Dentre essas informações, algumas necessitam de investigações mais precisas:

- como determinar o nível de desempenho do sistema;
- qual intervalo de tempo ao qual se aplica uma função de densidade adequada;
- a determinação do período de pico.
- diferentes elementos do sistema podem ser dimensionamentos para intervalos de período de picos diferentes.

Com foco nessa abordagem, o autor propôs um modelo de simulação estocástica para o cálculo das vazões de sistemas de distribuição de água. Esse modelo é baseado a partir do conhecimento do número de aparelhos sanitários e o consumo médio anual de cada aparelho sanitário. Um aprofundamento do modelo desenvolvido pelo autor pode ser consultado em Alitchkov (1998) e Alitchkov (2000).

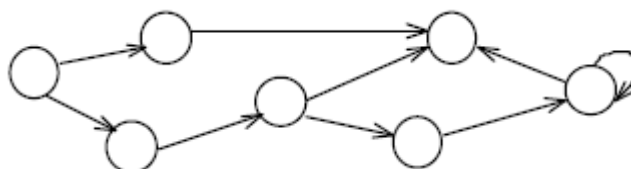
3.3 Modelo de simulação através da teoria dos grafos (PETRUCCI, 2001)

Petrucchi (2001) propôs um modelo para o estudo das interações entre os componentes de um sistema predial de água a partir do tratamento probabilístico das atuações dos usuários em relação ao sistema. Essa proposta permite uma avaliação completa desse sistema durante toda sua fase de operação, sob ótica do comportamento hidráulico a partir de um nível de desempenho esperado. Para isso, o autor desenvolveu um modelo de simulação em ambiente computacional.

A caracterização de um componente pode ser feita através de um registro de banco de dados que contenha as informações necessárias para o processo de configuração do sistema. Um tubo de PVC soldável, por exemplo, deve apresentar suas características dimensionais (diâmetro de entrada, diâmetro de saída e comprimento), nível ou cota das extremidades, vazão atuante no componente e a equação da perda de carga.

Para o estudo do comportamento de todas as interações entre as partes, ou subsistemas, o autor considerou a abordagem do problema através da teoria dos grafos. Na Figura 2 pode-se observar uma representação de um grafo, com a notação do conjunto de vértices (componentes) e arestas (relações).

Figura 2 –Representação pictográfica de um grafo

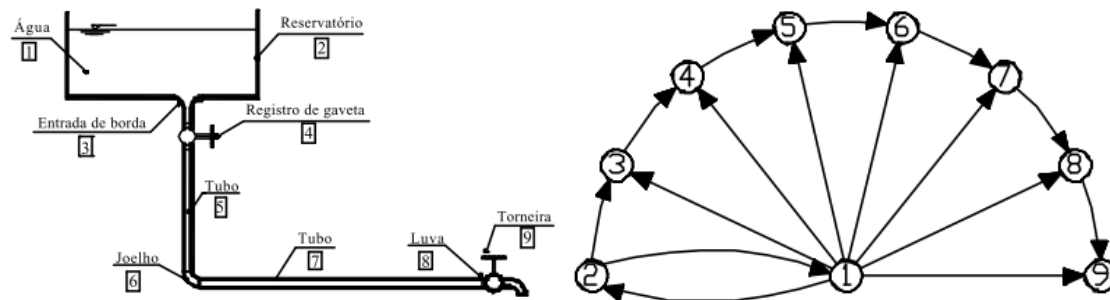


Fonte: Petrucci (2001)

A partir do conhecimento dos componentes que formam o sistema estudado (vértices do grafo) e as relações entre esses componentes (arestas do grafo), é possível fazer uma representação de um sistema predial de

água através da teoria dos grafos. A Figura 3 tem uma possível reprodução do grafo de um sistema de distribuição de água.

Figura 3 –Representação pictográfica de um grafo



Fonte: Petrucci (2001)

Uma vez estabelecidas as relações através de pelo menos uma propriedade de igualdade entre os subsistemas, pode-se, para cada relação, obter um vetor que corresponde ao conjunto de igualdades. A equação 3 mostra essa denotação e a equação 4 corresponde ao vetor “R”, que tende a simplificar o estado de um sistema com algumas poucas propriedades.

$$r_{ij} \equiv U\{p_{ki} = p_{mj}\} \quad (3)$$

$$R \equiv U_{i=1, j=1}^{n, n} \{r_{ij}\} \quad (4)$$

O que pode ser observado com a definição dessas relações é a caracterização completa de um sistema em função das relações entre os componentes. Por exemplo, no sistema da Figura 3, algumas dessas relações podem ser obtidas, como a vazão de entrada e saída de um componente em função da pressão estática ao qual opera o sistema, e etc. A Tabela 1 demonstra a influência de cada componente dentro de um sistema, e as relações entre os subsistemas.

Tabela 1 – Relações entre os componentes

Número	Componente Tipo	Leis aplicáveis
2	Reservatório	$H_{s2} = y$
3	Saída de borda	$Q_{e3} = Q_{s3} ; H_{s3} = H_{e3} - \Delta H(Q_{s3})$
4	Válvula de gaveta	$Q_{e4} = Q_{s4} ; H_{s4} = H_{e4} - \Delta H(Q_{s4})$
5	Tubo	$Q_{e5} = Q_{s5} ; H_{s5} = H_{e5} - \Delta H(Q_{s5}) + Z_{e5} - Z_{s5}$
6	Joelho	$Q_{e6} = Q_{s6} ; H_{s6} = H_{e6} - \Delta H(Q_{s6})$
7	Tubo	$Q_{e7} = Q_{s7} ; H_{s7} = H_{e7} - \Delta H(Q_{s7}) + Z_{e7} - Z_{s7}$
8	Luva	$Q_{e8} = Q_{s8} ; H_{s8} = H_{e8} - \Delta H(Q_{s8})$
9	Torneira	$Q_{s9} = Q_{s9} ; Q_{s9} = Cd \cdot H_{e9}^a$

Fonte: Petrucci (2001)

3.4 Modelo de simulação com o uso da lógica nebulosa (OLIVEIRA et al., 2013)

Existem fatores subjetivos, aos quais está sujeito o comportamento humano, que podem influenciar no nível de solicitação de um sistema de distribuição de água. Oliveira et al. (2013) propôs um modelo de simulação que

considerou algumas dessas variáveis nebulosas, como a temperatura da água disponível nos pontos de utilização, a temperatura externa do ambiente, se o usuário está atrasado ou não, dentre outros, para estabelecer um ambiente de simulação para determinação da vazão em uma residência unifamiliar. O modelo proposto abrangeu apenas a utilização do chuveiro, equipamento com maior influência na vazão de projeto em sistemas prediais de distribuição de água.

Para o estabelecimento do momento de uso de um determinado aparelho sanitário, os autores consideraram o uso de uma simulação de Monte Carlo. Caso o evento se caracterizasse como o uso do chuveiro, o tempo de banho foi obtido através do uso da lógica nebulosa. Caso contrário, o tempo era obtido pelo método dos três pontos proposto por Gonçalves (1986).

3.5 Modelo de simulação estocástica de demanda de água residencial (BLOKKER; VREEBURG; VAN DIJK, 2010)

Blokker, Vreeburg e van Dijk (2010) e propuseram o estudo do momento de acionamento, intensidade e duração do uso de um determinado aparelho sanitários de uma residência utilizando o modelo “Poisson Rectangular Pulse” (PRP). Além de fornecer a vazão de pico de um determinado sistema, é possível o estudo do consumo de água durante todo um período pré-estabelecido.

Neste tipo de abordagem, a ocorrência de uso de um determinado aparelho sanitário é determinada em função de sua distribuição de probabilidade, assim como sua duração e vazão. Para a obtenção das vazões, o modelo utiliza as equações 5 e 6.

$$Q = \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{F_{jk}} B(I_{ijk}, D_{ijk}, \tau_{ijk}) \quad (5)$$

$$B(I_{ijk}, D_{ijk}, \tau_{ijk}) = \begin{cases} I_{ijk} & \tau < T < \tau_{ijk} + D_{ijk} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (6)$$

Onde,

i é o número de aparelho sanitários em utilização de 1 até F_{jk} ;

j é o número de pessoas atendidas pelo aparelho sanitário de 1 até N ;

k é o número total de aparelhos sanitários de 1 até M ;

D é a duração do uso do aparelho sanitário do tipo k pelo usuário j na ocorrência i , em segundos;

I é a vazão do aparelho sanitário em uso;

τ é o momento de acionamento do aparelho sanitário.

Através de pesquisas de demanda de água anteriormente realizadas, foram definidas as densidades de probabilidade das variáveis intervenientes do modelo. Por exemplo, os autores consideraram que um chuveiro normal, possui frequência de uso Binomial com duração de uso determinada pela distribuição chi-quadrada. Já uma bacia sanitária, possui frequência de uso

de acordo com uma Poisson e tempo de operação fixo (de acordo com o volume da caixa acoplada).

3.6 Modelo de Wistort modificado (2014)

Diante das limitações apresentadas pelo modelo de Wistort (1994), quando há um número pequeno de aparelhos sanitários no trecho considerado, Buchberger et al. (2015) propuseram o Modelo de Wistort modificado a partir do truncamento da distribuição binomial na probabilidade de ocorrência de vazões nulas (número de aparelhos em funcionamento igual à 0. A Equação 7 mostra o truncamento da proposta de Wistort na ocorrência de vazões nulas,

$$Q_{99\%} = \frac{1}{1-p_0} \left[\sum_{k=1}^k q_k n_k p_k + (z_{99\%}) \sqrt{\left((1-p_0) \sum_{k=1}^k n_k p_k (1-p_k) q_k^2 \right) - p_0 \left(\sum_{k=1}^k n_k p_k q_k \right)^2} \right] \quad (7)$$

Onde,

k , q_k , n_k , p_k , t_k e $Z_{(99\%)}$ já foram definidos em Wistort (1994);

p_0 é a probabilidade de ocorrência de vazões nulas, que pode ser calculada através da equação 8.

$$p_0 = \prod_{k=1}^k (1-p_k)^{n_k} \quad (8)$$

Outra contribuição dada pelos autores foi com a possibilidade de considerar alguns ambientes como um único grupo de aparelhos sanitários. Um tradicional exemplo que pode ser dado para a aplicação desse conceito é o caso de um banheiro, que geralmente é acessado por uma única pessoa e, enquanto em operação, restringe o uso dos demais usuários do ambiente sanitário. Para isso, deve-se obter a probabilidade de uso do próprio grupo e uma vazão que represente essa probabilidade.

Considerando que os aparelhos sanitários pertencentes a um grupo possuem independência probabilística, o produto da probabilidade de os aparelhos não estarem em funcionamento, é dado pela expressão 9.

$$p_{desl} = \prod_{k=1}^k (1-p_k) \quad (9)$$

Para a obtenção da vazão característica desse grupo, os autores propuseram a classificação de todas as vazões possíveis em ordem crescente e, a partir de sua probabilidade de ocorrência e com o critério de desempenho estabelecido, a vazão pode ser determinada. A Tabela 2 mostra um exemplo utilizado pelo autor no caso de um banheiro tradicional estadunidense. No exemplo, a vazão considerada foi de 0,44 L/s.

Tabela 2 – Cálculo da vazão do grupo de aparelho sanitário

Casos estudados	Vazão (L/s)	Probabilidade de ocorrência	Probabilidade (sem vazões nulas)	Probabilidade Acumulada
Nenhum em funcionamento	0	0,936293	-	-
Lavatório	0,09	0,024008	0,37685	0,37685
Chuveiro	0,12	0,024131	0,37878	0,75563

Lavatório + Chuveiro	0,22	0,000619	0,00971	0,76534
Bacia Sanitária	0,25	0,009458	0,14845	0,91379
Lavatório + Bacia Sanitária	0,34	0,000243	0,00381	0,9176
Chuveiro + Bacia Sanitária	0,37	0,000244	0,00383	0,92143
Banheira	0,44	0,004826	0,07576	0,99719
Lavatório + Chuveiro + Bacia Sanitária	0,47	0,000006	0,00009	0,99728
Lavatório + Banheira	0,53	1,24E-04	0,00194	0,99922
Bacia Sanitária + Banheira	0,69	0,000049	0,00077	0,99999
Lavatório + Bacia Sanitária + Banheira	0,79	0,000001	0,00002	1,00000

Fonte: Buchberger et al. (2015)

Algumas considerações podem ser feitas a partir da abordagem dos autores para a consideração do banheiro como um único aparelho sanitário (ou um grupo de aparelhos):

- o tratamento do banheiro como um único aparelho sanitário surge a partir da consideração de que um único usuário pode acessar os equipamentos em determinado instante de tempo, e ainda, que o acesso a este ambiente sanitário para os demais usuários fica temporariamente bloqueado enquanto em uso por este usuário;
- existem situações em que, mesmo ocupado, o banheiro pode ser acessado pelos demais usuários do ambiente sanitário. Em uma suíte, por exemplo, ao qual o público (casal) de um determinado dormitório pode acessar o ambiente mesmo com um outro usuário utilizando-o. Assim, cabe ao projetista a interpretação de quais ambientes sanitários serão classificados como de uso exclusivo.
- a consideração de independência probabilística propostas pelos autores não pode ser aplicada sem a devida interpretação. Por exemplo, existem probabilidades condicionais que precisam ser consideradas nesse contexto, como o uso do lavatório após o uso da bacia sanitária; uso do chuveiro após o uso da bacia sanitária e etc. Nessa situação há, inclusive, probabilidade de dois aparelhos sanitários estarem em funcionamento simultaneamente;
- algumas atividades consideradas pelos autores para o cálculo da vazão, como o uso do lavatório, chuveiro e da bacia sanitária simultaneamente, não condiz com a realidade e deve ser retirada de análise. É improvável que um único usuário acesse três equipamentos sanitários ao mesmo tempo.

Diante das considerações feitas, se faz necessário uma abordagem mais completa para que esta proposta do banheiro como um grupo de aparelhos sanitários seja aplicável.

4 COMENTÁRIOS FINAIS

Os modelos apresentados com propostas analíticas de aplicação, mostraram pouca evolução na abordagem do problema – foi exposto uma simplificação para a aplicação da metodologia proposta por Hunter (1940). Em projetos de engenharia, se mostra desnecessária a tentativa de simplificar a aplicação de um modelo, visto que este pode ser utilizado de forma complexa através do uso do computador. Além disso, a tentativa de imposição do banheiro como um único ambiente sanitário se mostra válida, uma vez que o ambiente é usualmente acessado por um único usuário, restringindo a utilização dos demais. Entretanto, a abordagem mostrada necessita da consideração de algumas probabilidades condicionais.

É possível observar uma tendência, nos últimos anos, para o uso de modelos de simulação para abordar o problema. Esses modelos fornecem uma visão geral do comportamento das solicitações do sistema de distribuição de água durante todo um período de tempo determinado. Algumas vantagens podem observadas com a aplicação da simulação do comportamento humano sobre o sistema:

- o projetista tem uma visão geral das vazões que ocorrem no sistema durante todo um período de tempo determinado e não apenas a vazão de pico. Com isso, é possível dimensionar o sistema de acordo com o critério de desempenho desejado;
- a quantidade de água reservada em um edifício pode ser estudada através de modelos de simulação, assim como o funcionamento de alguns equipamentos mecânicos pertencente a esse sistema, como bombas de recalque. Além de auxiliar no dimensionamento do sistema de reservação, é possível o estudo da operação do edifício;
- a produção de águas residuais também pode ser estudada através de modelos de simulação, que pode auxiliar no processo de tomada de decisão de sistemas de água não potável.

Entretanto, em modelos de simulação, a quantidade de informações que precisam estar disponíveis é suficientemente grande, o que pode dificultar o seu uso. São necessários diversos estudos e em diversas camadas do problema para que sejam aplicados com eficiência.

REFERÊNCIAS

ALITCHKOV, D. K. Implementation of Stochastic Model for Simulation of the flow rates in the water supply and drainage systems for buildings. W062 - Proceedings of the 24th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings. **Anais...** Roterdã, Países Baixos: CIB W062 - Water Supply and Drainage, 1998.

_____. Statistical Method For Estimation of Peak Water Demands in Water Supply System for Buildings. W062 - Proceedings of the 26th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings. **Anais...** Rio de Janeiro, Brasil: CIB W062 - Water Supply and Drainage, 2000.

BLOKKER, E. J. M.; VREEBURG, J. H. G.; Van Dijk, J. C. Simulating Residential Water Demand with a Stochastic End-Use Model. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 136, n. Janeiro/Fevereiro, p. 19-26, jan 2010. ISSN 0733-9496. Disponível em: <[http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000002](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000002)>. Acesso em: 01 fev. 2016. doi: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000002.

BUCHBERGER, S. G. et al. **Peak Water Demand Study: Probability Estimates for Efficient Fixtures in Single and Multi-family Residential Buildings**. American Society of Plumbing Engineers. 2015. Disponível em: <https://www.aspe.org/sites/default/files/Peak_Water_Demand_Study_Draft_for%20Peer_Review.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2016.

GALOWIN, L. S. "Hunter" Fixture Units Development. W062 - Proceedings of the 34th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings. **Anais...** Hong Kong, China: CIB W062 - Water Supply and Drainage, 2008.

GONÇALVES, O. M. **Formulação de modelo para o estabelecimento de vazões de projeto em sistemas prediais de distribuição de água fria**. São Paulo, 1986. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

HUNTER, R. B. **Methods of estimating loads in plumbing systems**. US Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1940.

INGLE, S.; KING, D. C.; SOUTHERTON, R. Design and Sizing of Water Supply Systems Using Loading Units – Time for a Change? W062 - Proceedings of the 40th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings. **Anais...** São Paulo, Brasil: CIB W062 - Water Supply and Drainage, 2014.

KONEN, T. P.; GONÇALVES, O. M. Summary of Mathematical Models for the Design of Water Distribution Systems Within Buildings. W062 - Proceedings of the 20th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings. **Anais...** Roterdã, Países Baixos: CIB W062 - Water Supply and Drainage, 1993.

OLIVEIRA, L. H. de et al. Modelling of water demand in building supply systems using fuzzy logic. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 34, n. 2, p. 145-163, maio 2013. ISSN 0143-6244. Disponível em: <<http://bse.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0143624411429381>>. Acesso em: 02 fev. 2016. doi:10.1177/0143624411429381.

PETRUCCI, A. L. **Metodologia para Seleção de Configuração em Sistema Predial de Água Fria**. São Paulo, 2001. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

TINDALL, J.; PENDLE, J. Are we significantly oversizing domestic water systems?. CIBSE Technical Symposium. **Anais...** Londres, Inglaterra: 2015.

WU, G. Z. et al. Comparison between the traditional methods and the simulation method in water supply load calculation methods for office building. W062 - Proceedings of the 40th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings. **Anais...** São Paulo, Brasil: CIB W062 - Water Supply and Drainage, 2014

WISTORT, R. A new look at determining water demand in buildings: ASPE direct analytical method. American Society of Plumbing Engineers Convention.
Anais...Kansas City, Missouri: American Society of Plumbing Engineers, 1994