



## II-092 - CURVA DE PERMANÊNCIA APLICADA NAS ANÁLISES DO SANEAMENTO

**Luciano Farias de Novaes<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Pesquisador da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP).

**José Alberto Domingues Rodrigues<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Professor Pesquisador da Escola de Engenharia Mauá do Instituto Mauá de Tecnologia.

**Cristina Filomena P. Rosa Paschoalato<sup>(3)</sup>**

Engenheira Química pela Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP). Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professora Pesquisadora da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP).

**Wagner Luis Massarotto<sup>(4)</sup>**

Mestrando do curso de Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP).

**Thiago Oliveira de Souza<sup>(5)</sup>**

Aluno de Iniciação Científica do curso de Engenharia Química da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Bento Carlos nº 672. Centro. São Carlos – SP. CEP: 13.560-660. e-mail: luciano@thesis.eng.br

### RESUMO

A curva de permanência é um método estatístico bastante utilizado em estudos hidrológicos, principalmente nos estudos de vazões dos mananciais. Tal curva representa a parcela de tempo (em porcentagem) que uma determinada vazão é igualada ou superada durante um período analisado. Baseado na curva de permanência de vazões em estudos hidrológicos, o presente trabalho tem como objetivo elaborar curva de permanência para os dados obtidos no tratamento de águas residuárias. Tais dados podem ser Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, Oxigênio Dissolvido, Nitrogênio, etc. Assim, tem-se como intuito gerar curva de permanência para uma dada variável do sistema de tratamento de águas residuárias para proporcionar ao responsável pelo tratamento maior sensibilidade do processo. Porém, ao contrário da hidrologia, o objetivo da curva de permanência para os dados de saneamento é representar a parcela de tempo (em porcentagem) que uma determinada variável é igualada ou **não** superada durante um período analisado. Assim, quando descreve uma DQO de permanência igual a 80% ( $DQO_{80\%}$ ) significa que 80% do tempo vão ocorrer valores de DQO no efluente menor ou igual a este valor. O primeiro passo para a estimativa da curva de permanência é definir o intervalo das classes de frequências. Como sugestão recomenda-se 50 classes de frequência para a estimativa da curva. Como existe no banco de dados uma grande variação na magnitude dos valores do parâmetro (X) a ser monitorado é recomendado o uso da escala logarítmica no cálculo de cada intervalo. Os limites dos intervalos de classe é calculado a partir do menor valor ( $X_{\min}$ ), adicionando-se a este o intervalo calculado anteriormente, o que resulta na X do limite superior do intervalo i. Após o cálculo dos limites correspondentes a cada classe de frequência deve ser procedida, utilizando os valores do X do banco de dados, a determinação do número de registros observados de valores de X que se enquadra na classe de frequência obtida. De posse da frequência associada a cada classe é calculada a frequência acumulada. Para plotar a curva de permanência utiliza-se as frequências acumuladas como abscissa e os valores de X como ordenadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estatística, curva de permanência, tratamento de efluentes.

### INTRODUÇÃO

A curva de permanência é um método estatístico bastante utilizado em estudos hidrológicos, principalmente nos estudos de vazões dos mananciais. Tal curva representa a parcela de tempo (em porcentagem) que uma determinada vazão é igualada ou superada durante um período analisado. Assim, quando descreve uma vazão de permanência igual a 80% ( $Q_{80\%}$ ) significa que 80% do tempo vão ocorrer vazões no manancial igual ou superiores a este valor ( $Q_{80\%}$ ).

As vazões mínimas obtidas da curva de permanência são índices muito utilizados em estudos de disponibilidade hídrica, principalmente em processos de concessão de outorga, sendo as vazões associadas às permanências de 90 ( $Q_{90\%}$ ) e 95% ( $Q_{95\%}$ ) as mais utilizadas nestes processos, pois representam que 90 ou 95% do tempo vão ocorrer vazões iguais ou superiores a estes valores. A legislação relativa à outorga, na União e em alguns Estados do Brasil, para utilização dos recursos hídricos superficiais em cursos d'água estabelece critérios diferenciados das vazões utilizadas como referência para a concessão de outorga, sendo que a União adota 70% da  $Q_{95\%}$ , enquanto que o Distrito Federal, a Bahia e Pernambuco adotam 80% da  $Q_{90\%}$  como limites máximos das vazões a serem outorgadas (GARRIDO, 2003).

Na Figura 1 é apresentado uma curva de permanência de vazões, onde observa-se que a maior vazão evidenciada no manancial foi igual a  $3.070 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Porém tal vazão não possui uma permanência considerável no manancial, sendo constatado que esta vazão é igualada ou superada em 0,11% do tempo. Já a menor vazão evidenciada no manancial foi igual a  $31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , sendo constatado que em 100% do tempo vai ocorrer uma vazão maior ou igual a esta no manancial. Continuando a analisar a curva de permanência verifica-se que a vazão associada a permanência de 90% ( $Q_{90\%}$ ) é igual a  $105 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , enquanto que a vazão associada a permanência de 50% ( $Q_{50\%}$ ) é igual a  $252 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

As vazões mínimas obtidas da curva de permanência são muito utilizadas pelos órgãos gestores de recursos hídricos, pois na prática a vazão mínima ocorrida em um dia tem pouca importância, pois normalmente durações maiores apresentam maior interesse ao usuário, já que a permanência de magnitudes reduzidas é que representam uma situação desfavorável para a demanda ou para as condições de conservação ambiental. Assim, a vazão mínima é caracterizada tanto pela sua magnitude com pela sua duração.

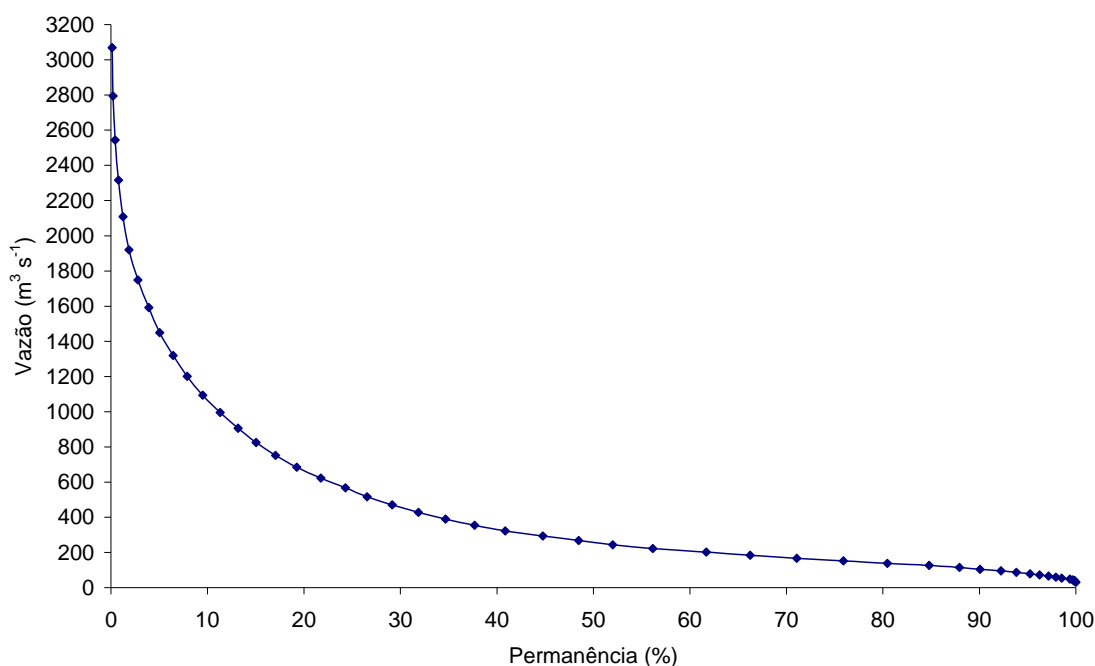


Figura 1. Curva de permanência de vazões.

Baseado na curva de permanência de vazões em estudos hidrológicos, o presente trabalho tem como objetivo elaborar curva de permanência para os dados obtidos no tratamento de águas residuárias. Tais dados podem ser Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), pH, Oxigênio Dissolvido, Nitrogênio, etc.

Assim, tem-se como intuito gerar curva de permanência para uma dada variável do sistema de tratamento de águas residuárias para proporcionar ao responsável pelo tratamento maior sensibilidade do processo. Porém, ao contrário da hidrologia (vazões), o objetivo da curva de permanência para os dados de saneamento é representar a parcela de tempo (em porcentagem) que uma determinada variável é igualada ou **não** superada



durante um período analisado. Assim, quando descreve uma DQO de permanência igual a 80% ( $DQO_{80\%}$ ) significa que 80% do tempo vão ocorrer valores de DQO no efluente menor ou igual a este valor ( $DQO_{80\%}$ ).

Como os padrões de lançamento de efluentes líquidos nos mananciais estabelecidos pela deliberação normativa dos órgãos gestores são baseados em valores únicos estabelecidos, faz-se como sugestão adotar valores baseados em uma dada permanência, dando maior flexibilidade ao responsável pelo tratamento. Como exemplo, cita-se uma descarga no afluente vinda de uma rede clandestina que descaracteriza o afluente, fazendo com que naquele momento o tratamento não satisfaça as condições de lançamento pré-estabelecido pelos órgãos gestores. Porém, este foi um fato isolado não caracterizando que o tratamento não satisfaça as condições pré-estabelecidas, pois a permanência em que o efluente ficou com qualidade ruim não foi significativa.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para o traçado da curva de permanência de um parâmetro a ser monitorado no saneamento (na descrição do procedimento será utilizado o parâmetro DQO) deve-se organizar os dados em uma distribuição de frequência, bastando, para isso, definir os intervalos de classe em função da amplitude dos valores de DQO obtidos nas análises e pela associação de cada uma destas classes ao número de registros observados de valores de DQO em cada intervalo. Assim, o primeiro passo para a estimativa da curva de permanência é definir o intervalo das classes de frequências. Como sugestão recomenda-se 50 classes de frequência para a estimativa da curva. Como existe no banco de dados uma grande variação na magnitude dos valores de DQO é recomendado o uso da escala logarítmica no cálculo de cada intervalo, o qual pode ser calculado pela seguinte equação:

$$\Delta X = \frac{[\ln(DQO_{\max}) - \ln(DQO_{\min})]}{n} \quad (1)$$

em que:

|              |   |  |
|--------------|---|--|
| $\Delta X$   | = | intervalo de classe;                               |
| $DQO_{\max}$ | = | DQO máxima do banco de dados;                      |
| $DQO_{\min}$ | = | DQO mínima do banco de dados; e                    |
| $N$          | = | número de intervalos escolhidos (recomenda-se 50). |

Os limites dos intervalos de classe é calculado a partir da menor DQO ( $DQO_{\min}$ ), adicionando-se a esta o intervalo calculado anteriormente, o que resulta na DQO do limite superior do intervalo  $i$ , e assim por diante.

$$DQO_{i+1} = \exp[\ln(DQO_i) + \Delta x] \quad (2)$$

Após o cálculo dos limites correspondentes a cada classe de frequência deve ser procedida, utilizando os valores da DQO do banco de dados, a determinação do número de registros observados de valores de DQO que se enquadra na classe de frequência obtida. A frequência ( $f_i$ ) associada a cada classe é calculada pela equação:

$$f_i = \frac{Nq_i}{NT} \cdot 100 \quad (3)$$

em que:

|        |   |  |
|--------|---|--|
| $Nq_i$ | = | número de registros de valores de DQO em cada intervalo; e |
| $NT$   | = | número total de dados de DQO.                              |

De posse da frequência associada a cada classe é calculada a frequência acumulada, ou seja, acumula-se as frequências de cada classe no sentido de menor DQO para maior. Para plotar a curva de permanência utiliza-se as frequências acumuladas como abscissa e os valores de DQO correspondente aos limites inferiores do intervalo de classe como ordenadas.

Para a obtenção da curva de permanência das outras variáveis de interesse no saneamento deve-se proceder a mesma metodologia, porém com os dados da variável de interesse no lugar da DQO.

Assim, como resultados foi aplicado a curva de permanência aos dados monitorados de DQO em dois reatores anaeróbio operados em bateladas sequenciais, sendo o primeiro operado com biomassa granulada (ASBR) e o segundo operado com biomassa imobilizada (ASBBR), ambos em escala piloto ( $\sim 1\text{m}^3$ ) aplicado ao tratamento de esgoto sanitário.

## RESULTADOS

Na Figura 2 é apresentado a curva de permanência da DQO bruta afluyente dos reatores ASBR e ASBBR para o período de julho a dezembro de 2006, totalizando um número de amostras igual a 50. Enfatiza-se que o afluyente para ambos os reatores foi o mesmo, sendo por isso apresentado uma única curva de permanência. Verifica-se que o maior valor observado de DQO bruta afluyente foi igual a  $955\text{ mg l}^{-1}$ , correspondendo a  $\text{DQO}_{100\%}$ , ou seja, 100% do tempo vão ocorrer valores de DQO bruta afluyente menores que  $955\text{ mg l}^{-1}$ . Também é contatado que 90% do tempo os valores de DQO bruta afluyente dos sistemas de tratamento são inferiores a  $890\text{ mg l}^{-1}$  ( $\text{DQO}_{90\%}$ ), ou então, 10% do tempo vão ocorrer valores de DQO bruta afluyente dos sistemas de tratamentos superiores a  $890\text{ mg l}^{-1}$ .

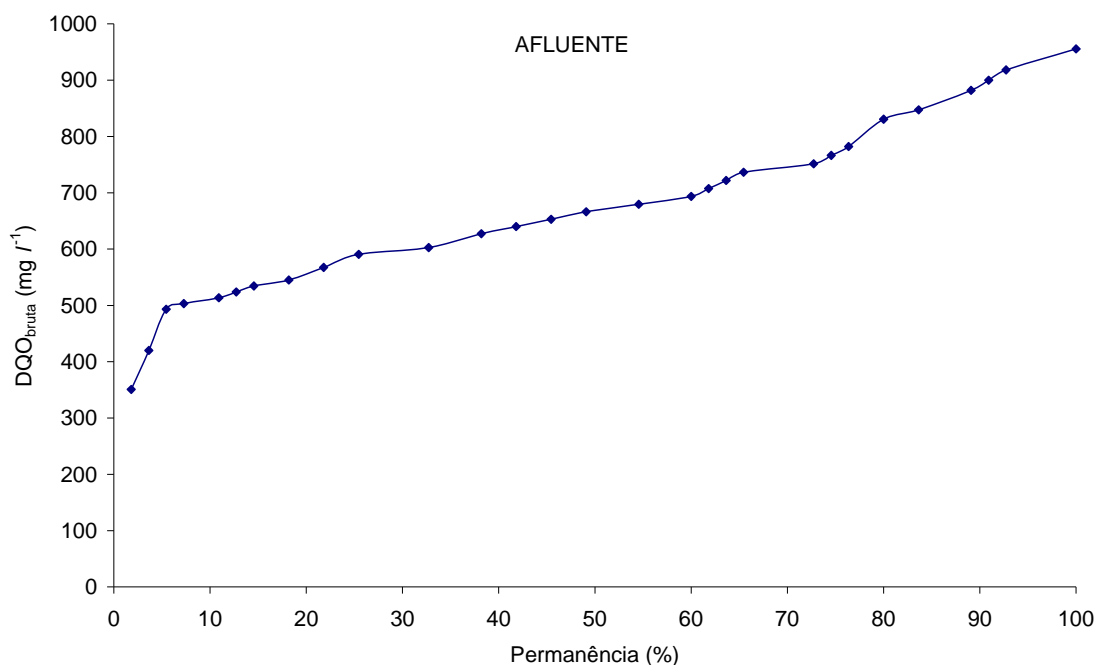


Figura 2. Curva de permanência da DQO bruta afluyente dos sistemas ASBR e ASBBR (50 amostras).

Caso o usuário deseje saber a permanência de concentração de matéria orgânica no afluyente dos sistemas de tratamento na forma de DQO bruta, pode-se utilizar a curva de permanência e verificar que 7% do tempo vão ocorrer valores de DQO bruta afluyente inferiores a  $500\text{ mg l}^{-1}$  ( $\text{DQO}_{7\%}$ ), ou seja, 93% do tempo as concentrações de matéria orgânica no afluyente dos sistemas de tratamento, na forma de DQO bruta, são superiores a  $500\text{ mg l}^{-1}$ .

Esta curva de permanência da DQO afluyente dos sistemas de tratamento mostra a grande variedade da concentração de matéria orgânica afluyente do sistema, sendo evidenciado variação de 350 a  $955\text{ mg DQO}_{\text{bruta}}\text{ l}^{-1}$ . Porém estes valores situados nos extremos apresentam pouca permanência, sendo verificado que a faixa de concentração de matéria orgânica na forma de DQO bruta de maior permanência foi de 600 a  $800\text{ mg l}^{-1}$ , representando 55% de permanência no tempo.

Na Figura 3 é apresentado a curva de permanência da DQO bruta efluente do reator ASBR para o período de julho a dezembro de 2006, totalizando um número de amostras igual a 50. Enfatiza-se que as concentrações de matéria orgânica na forma de DQO bruta nos efluente do ASBR variaram consideravelmente, pois neste



período foi verificado a influência da intensidade de agitação e do tipo de impelidor, fazendo com que o desempenho do sistema piorasse ou melhorasse. Verifica-se que o maior valor observado de DQO bruta efluente foi igual a  $590 \text{ mg l}^{-1}$ , correspondendo a  $\text{DQO}_{100\%}$ , ou seja, 100% do tempo vão ocorrer valores de DQO bruta efluente menores que  $590 \text{ mg l}^{-1}$ .

Também é constatado que 90% do tempo os valores de DQO bruta efluente do ASBR são inferiores a  $396 \text{ mg l}^{-1}$  ( $\text{DQO}_{90\%}$ ), ou então, 10% do tempo vão ocorrer valores de DQO bruta efluente do sistema de tratamento ASBR superiores a  $396 \text{ mg l}^{-1}$ . Assim é constatado que o sistema apresentou efluentes com concentrações de matéria orgânica superiores a  $400 \text{ mg DQO}_{\text{bruta}} \text{ l}^{-1}$ , porém, foi em apenas 10% do tempo, mostrando que estes valores ocorreram devido a alguma intervenção externa do processo (neste caso o aumento da intensidade de agitação).

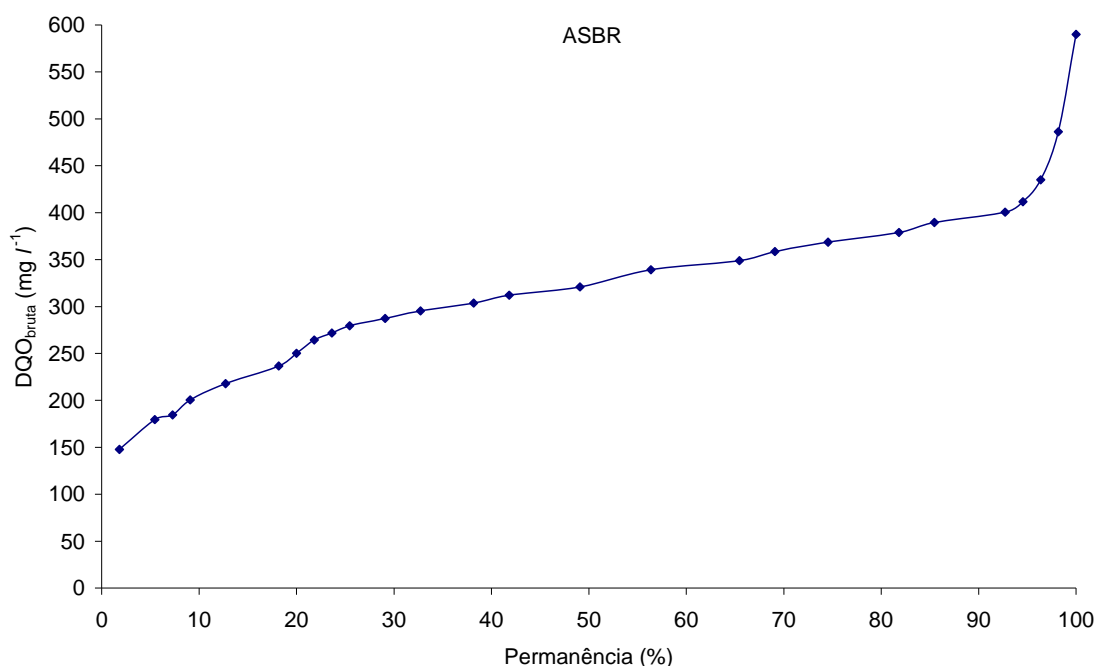


Figura 3. Curva de permanência da DQO bruta efluente do sistema ASBR (50 amostras).

Caso o usuário deseja saber a permanência de concentração de matéria orgânica no efluente do sistema de tratamento ASBR na forma de DQO bruta, pode-se utilizar a curva de permanência e verificar que 5% do tempo vão ocorrer valores de DQO bruta efluente inferiores a  $179 \text{ mg l}^{-1}$  ( $\text{DQO}_{7\%}$ ), porém superiores a  $148 \text{ mg l}^{-1}$  (menor valor evidenciado de DQO efluente do sistema ASBR), ou seja, 95% do tempo as concentrações de matéria orgânica no efluente do sistema de tratamento ASBR, na forma de DQO bruta, são superiores a  $179 \text{ mg l}^{-1}$ .

Na Figura 4 é apresentado a curva de permanência da DQO bruta efluente do reator ASBBR para o período de julho a dezembro de 2006, totalizando um número de amostras igual a 50. Enfatiza-se que as concentrações de matéria orgânica na forma de DQO bruta nos efluente do ASBBR variaram consideravelmente, pois neste período foi verificado a influência da intensidade de agitação e do tipo de impelidor, fazendo com que o desempenho do sistema piorasse ou melhorasse. Verifica-se que o maior valor observado de DQO bruta efluente foi igual a  $478 \text{ mg l}^{-1}$ , correspondendo a  $\text{DQO}_{100\%}$ , ou seja, 100% do tempo vão ocorrer valores de DQO bruta efluente menores que  $478 \text{ mg l}^{-1}$ .

Também é constatado que 90% do tempo os valores de DQO bruta afluente dos sistemas de tratamento são inferiores a  $321 \text{ mg l}^{-1}$  ( $\text{DQO}_{90\%}$ ), ou então, 10% do tempo vão ocorrer valores de DQO bruta efluente do sistema de tratamento ASBBR superiores a  $321 \text{ mg l}^{-1}$ . Assim é constatado que o sistema apresentou efluentes com concentrações de matéria orgânica superiores a  $320 \text{ mg DQO}_{\text{bruta}} \text{ l}^{-1}$ , porém, foi em apenas 10% do tempo,



mostrando que estes valores ocorreram devido a alguma intervenção externa do processo (neste caso o decréscimo da intensidade de agitação).

Caso o usuário deseja saber a permanência de concentração de matéria orgânica no efluente do sistema de tratamento ASBBR na forma de DQO bruta, pode-se utilizar a curva de permanência e verificar que 99% do tempo vão ocorrer valores de DQO bruta efluente superiores a  $183 \text{ mg l}^{-1}$  ( $\text{DQO}_{1\%}$ ).

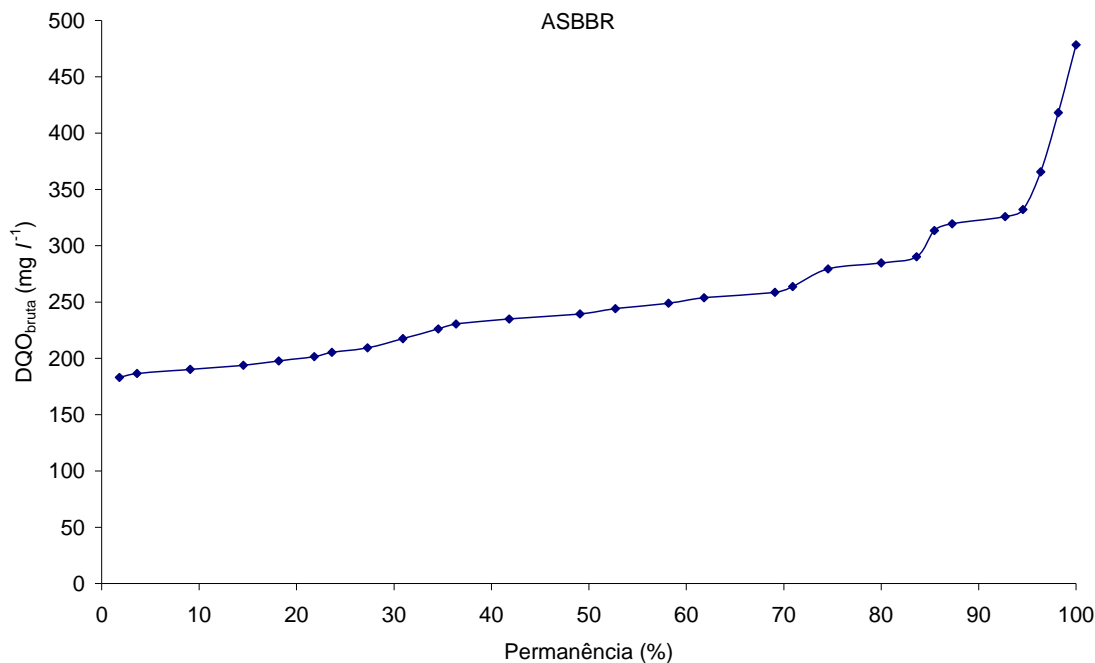


Figura 4. Curva de permanência da DQO bruta efluente do sistema ASBBR (50 amostras).

## CONCLUSÕES

A utilização das curvas de permanência nos parâmetros monitorados no saneamento fornece subsídios para ser gerado um novo índice a ser estabelecido pela deliberação normativa dos órgãos gestores, os quais, na atualidade se baseiam em índices fixados e únicos não permitindo uma flexibilidade ao responsável pelo tratamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GARRIDO, R. J. S. Subprojeto 4.2B – avaliação dos mecanismos financeiros para o gerenciamento sustentável da bacia do Rio São Francisco. In: Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco – ANA/GEF/PNUMA/OEA. **Relatório Final**. Brasília, DF. 335p. 2003.