

ESTUDO DOS PROCESSOS DE MISTURA EM RESERVATÓRIO DE ÁGUA PREDIAL

*Harrison Cesar de Souza Coltre¹; Ana Lúcia Denardin da Rosa²; Johannes Gérson Janzen³;
Rhayanna Kalline do Nascimento⁴ & Vinicius Alexandre Sikora de Souza⁵*

Resumo – O conhecimento dos processos que ocorrem no interior de reservatórios prediais de água constitui-se num fator crucial para a qualidade da água em sistemas prediais. Neste estudo, foi empregada a ferramenta Fluidodinâmica Computacional (FDC) para o estudo do comportamento dos processos que ocorrem no interior de um reservatório de água predial circular. A eficiência hidráulica do reservatório foi mensurada através da curva da distribuição do tempo de retenção (DTR). O reservatório apresenta regime de escoamento próximo ao completamente misturado, porém com a presença de curto-circuito. Foram realizadas análises estatísticas para verificar a existência da influência do número de elementos da malha nos resultados. As análises mostram que não há diferença estatística significativa entre os resultados obtidos nas malhas geradas, podendo-se afirmar com 99,95% que a magnitude do número de elementos não interfere na distribuição do tempo de residência.

Abstract – The knowledge of the processes occurring inside the building water reservoirs constitutes a crucial factor for the water quality in building systems. In this study, we used the tool Computational Fluid Dynamics (CFD) to study the behavior of the processes occurring inside a circular water tank building. The hydraulic efficiency of the reservoir was measured through the curve of residence time distribution (RTD). The reservoir has flow regime close to completely mixed, but with the presence of a short circuit. Statistical analysis was performed to check the influence of the number of mesh elements in the results. Analyses show no statistically significant difference between the results obtained in the resulting mesh, which can be stated with 99.95% confidence that the magnitude of the number of elements does not affect the residence time distribution.

Palavras-Chave – Reservatório de água predial; Eficiência hidráulica; Elementos da malha computacional.

¹Graduando em Engenharia Ambiental pela UNIR, Rua Rio Amazonas nº 351, 76900-000 Ji-Paraná. E-mail: harrison_sc@hotmail.com

²Professora Assistente da UNIR, DEA, Rua Rio Amazonas nº 351, 76900-000 Ji-Paraná. E-mail: atecivil2006_02@yahoo.com.br

³Professor Adjunto 2 da UFMS, PGTA, Cidade Universitária S/N, Campo Grande-MS. E-mail: johannesjanzen@gmail.com

⁴Graduando em Engenharia Ambiental pela UNIR, Rua Rio Amazonas nº 351, 76900-000 Ji-Paraná. E-mail: rhayannakalline@hotmail.com

⁵Graduando em Engenharia Ambiental pela UNIR, Rua Rio Amazonas nº 351, 76900-000 Ji-Paraná. E-mail: vass1000@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, é generalizado o uso de reservatórios prediais para fazer face às flutuações de vazão e pressão do sistema de abastecimento urbano de água e para atender às situações de emergência (reserva de incêndio, por exemplo). Por conseguinte, os reservatórios prediais são geralmente projetados e operados atendendo a condições hidráulicas e funcionais. Entretanto, os reservatórios de água potável constituem uma parte crítica da instalação predial de água fria no que diz respeito à manutenção do padrão de potabilidade (NBR 5626:1998). Reservatórios mal projetados e operados podem ocasionar diminuição da qualidade da água devido ao elevado tempo de residência hidráulico, à redução de desinfetante residual, ao desenvolvimento de microrganismos e subprodutos da desinfecção devido à ocorrência de nitrificação e degradação das características organolépticas. Portanto, o conhecimento dos processos que ocorrem no interior de reservatórios prediais de água constitui-se num fator crucial para a qualidade da água em sistemas prediais.

As equações de conservação de massa, quantidade de movimento e concentração de um composto governam os processos que ocorrem no interior dos reservatórios de água:

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial \rho U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{u_i u_j} \right) + g_i \frac{\rho - \rho_r}{\rho_r} \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U_j \frac{\partial C}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D \frac{\partial C}{\partial x_i} - \overline{u_i C} \right) + S_C \quad (3)$$

em que t é o tempo, U_i é a componente da velocidade média na direção x_i , P é a pressão média, ρ_r e ρ são, respectivamente, a massa específica de referência e a massa específica do fluido, C é a concentração de algum composto ou uma quantidade escalar, S_C é uma fonte ou sumidouro volumétrico (expressando, por exemplo, o decaimento de cloro), ν e D são, respectivamente, a viscosidade cinemática e difusividade molecular (de C), $\overline{u_i u_j}$ representa a correlação entre flutuações de velocidade, $\overline{u_i C}$ representa a correlação entre as flutuações de velocidade e um escalar. As correlações representam fisicamente a transferência de quantidade de movimento e massa devido ao movimento turbulento. A solução dessas correlações conduz a correlações sempre mais complexas (ordens superiores), não se obtendo equacionamento definitivo. A fim de obter solução para as equações 1 a 3 é necessário utilizar equações auxiliares (modelos de turbulência) que não introduzam parâmetros além daqueles já utilizados. A partir da solução dessas equações é

possível obter, por exemplo, a função densidade de probabilidade do tempo de detenção no reservatório, ou, a distribuição do tempo de residência hidráulico. A função densidade de probabilidade do tempo de detenção hidráulico fornece informações importantes das características do escoamento, tais como, a mistura existente no interior do reservatório de armazenamento de água.

Esse movimento de mistura é principalmente gerado, na entrada do reservatório de armazenamento de água, pelo “jato de quantidade de movimento”. A injeção de água no reservatório, na forma de um jato, pode ser descrita sucintamente da seguinte forma: o jato original se instabiliza gerando movimentos turbulentos que diminuem de intensidade à medida que o escoamento se afasta do injetor. Em contrapartida, segundo Schulz (2003), a escala desses movimentos aumenta ao longo do escoamento. A performance da mistura gerada através de jatos tem sido tradicionalmente medida através da determinação do tempo de mistura – tempo necessário para uma conhecida quantidade de traçador (concentração de um composto) alcançar um grau específico de uniformidade no reservatório. Diversos pesquisadores têm desenvolvido equações empíricas, incluindo as variáveis consideradas relevantes, para calcular o tempo de mistura em reservatórios de armazenamento de água, dentre os quais destacam-se: Rossmann e Grayman (1999); Grayman *et al.* (2000); Grayman *et al.* (2004); Roberts *et al.* (2006).

Apesar dos esforços, o objeto de estudo tem-se mostrado arduo a quantificações definitivas. Essa dificuldade está associada – segundo Van Der Walt e Haarhoff (2000); Roberts *et al.* (2006) – ao fato de os sistemas estudados geralmente estarem sujeitos à agitação turbulenta, um movimento altamente randômico, instável e tridimensional, como explicitam autores como: .

A complexidade é ainda aumentada pelo fato de as características do escoamento em reservatórios de armazenamento serem altamente dependentes do *layout* do reservatório (geometria do reservatório e localização, configuração e orientação das tubulações de entrada e de saída), das propriedades do fluido e da operação do reservatório.

A grande quantidade de fatores hidromecânicos que influenciam o comportamento hidrodinâmico de reservatórios de armazenamento de água, e o processo de mistura associado a ele, e os poucos dados disponíveis, devido à dificuldade de realização de medidas em reservatórios de distribuição de água reais, gera, segundo Roberts *et al.* (2006), uma grande incerteza nas previsões que atualmente podem ser feitas com os modelos disponíveis. Desta forma Grayman e Kirmeyer (2002) destacam que não se pode prescindir de experimentos laboratoriais e/ou computacionais que permitam o controle do maior número possível de características, conduzidos de forma criteriosa e em processos sequenciais, buscando evidenciar todos os detalhes que possam contribuir para uma quantificação mais adequada do fenômeno .

No contexto de experimentos computacionais, alguns pesquisadores tem recentemente empregado a ferramenta Fluidodinâmica Computacional (FDC), dentre os quais destacam-se: Van Der Walt (2002); Palau *et al.* (2007). O FDC é uma ferramenta computacional utilizada para resolver as equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento utilizando técnicas numéricas. A existência de poucos estudos mostra a necessidade de mais trabalhos na área, particularmente no Brasil. A utilização da FDC permite o estudo combinado das diversas variáveis que influenciam o comportamento hidrodinâmico dos reservatórios de água. Assim, é possível tanto otimizar o funcionamento de reservatórios já existentes, através de mudanças geométricas e operacionais, como projetar reservatórios otimizados. Ademais, é possível obter resultados com detalhamento quase ilimitado, de forma não-intrusiva, reduzindo substancialmente o tempo e os custos quando comparados com métodos convencionais. Os experimentos computacionais, portanto, auxiliam a compreender a natureza dos fenômenos que ocorrem no reservatório de água.

Neste estudo, pretende-se empregar a ferramenta Fluidodinâmica Computacional (FDC) para o estudo do comportamento dos processos que ocorrem no interior de um reservatório de água predial circular. Também foi realizada uma análise da densidade da malha. E, finalmente, são apresentados resultados para diferentes índices de eficiência hidráulica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Características do Reservatório e Detalhes Numéricos

A Figura 1 apresenta o reservatório de água estudado no presente estudo. A geometria foi gerada através de *software CAD (Computational Aid Design)*. O reservatório possui 1,40 m de diâmetro e 0,65 m de profundidade, isto é, a relação entre a altura e o diâmetro do reservatório é igual a 0,46. A entrada fica aproximadamente 0,60 m do fundo e a saída fica a aproximadamente 0,05 m do fundo. A entrada e a saída possuem seção transversal circular com diâmetro de 25 mm. A capacidade do reservatório é de 1,00 m³ e o tempo de retenção teórico é 2494 s.

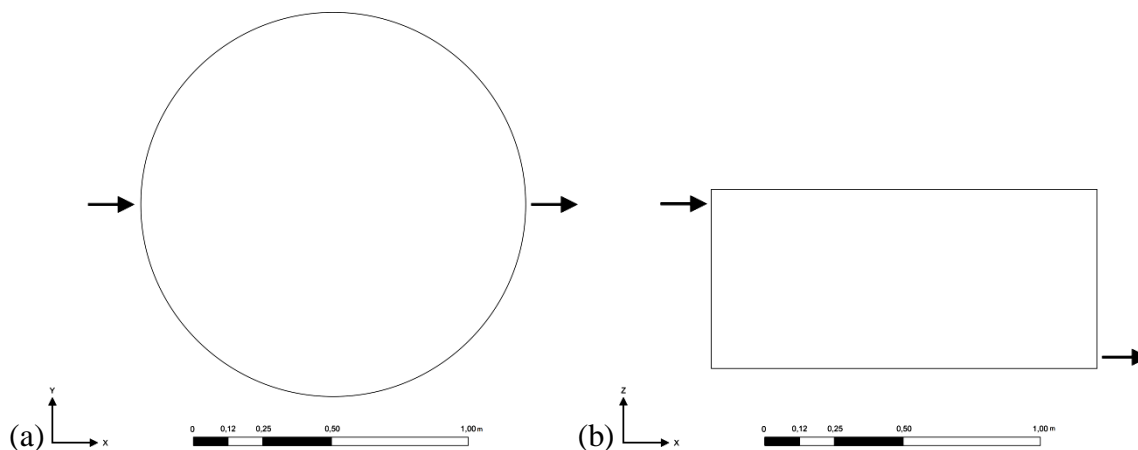


Figura 1. Geometria utilizada para as simulações: (a) visão superior do reservatório; (b) visão lateral do reservatório.

Neste estudo, foram geradas sete malhas do reservatório apresentado na Figura 1. A Figura 2 apresenta dois exemplos de malhas. O número de elementos das malhas varia entre cerca de 20000 e 300000. A forma utilizada para os elementos são de tetraedro. As malhas geradas estão discriminadas na Tabela 1.

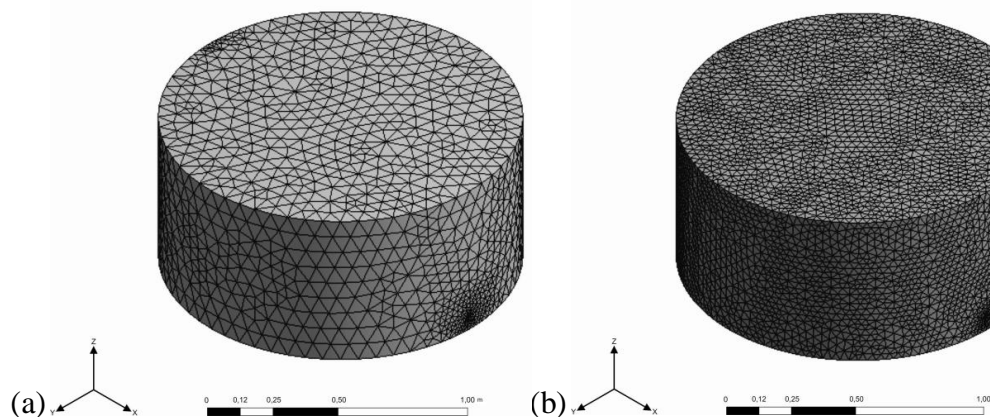


Figura 2. Malhas geradas para fluidodinâmica computacional: (a) Malha com 19929 elementos; (b) Malha com 303168 elementos.

Tabela 1 – Características das malhas geradas.

Malha	Nós	Elementos
R 02	4140	19929
R 04	7835	40062
R 06	11695	60326
R 08	15296	80194
R 10	19064	100997
R 20	37392	202997
R 30	55144	303168

A simulação foi realizada em regime permanente com uma vazão mássica de 0,40 kg/s. As paredes foram consideradas hidraulicamente lisas, assim considerou-se que a rugosidade da geometria foi completamente cobertas pela subcamada limite laminar, portanto as asperezas da parede não alcançaram o núcleo turbulento, gerando fontes de turbulência. O traçador foi inserido durante 1 minuto. Cada simulação foi configurada para 10000 segundos de fenômeno físico e saída de dados a cada 20 segundos.

3.2. Equações DTR

A curva da distribuição do tempo de retenção (DTR) serve como ferramenta para análise das características hidráulicas do reservatório. A DTR é uma função estatística que descreve a

probabilidade de uma fração de partículas do fluido permanecer no volume de controle por um determinado tempo. O uso da DTR na forma normalizada permite a comparação entre sistemas operando sob diferentes condições (Borges, 2006).

O cálculo da DTR foi realizado conforme Stamou (2007). A massa total de traçador (M_e) inserida no reservatório pode ser obtida a partir da equação:

$$M_e = \int_{t=0}^{\infty} Q_e(t)C_e(t)dt \quad (14)$$

onde Q_e é a vazão volumétrica que entra no reservatório, C_e é a concentração de traçador e t é o tempo.

A massa total de traçador que deixa o reservatório M_s é igual a:

$$M_s = \int_{t=0}^{t=t_{exp}} Q_s(t)C_s(t)dt \quad (15)$$

onde Q_s e C_s são a vazão volumétrica e a concentração de traçador na saída do reservatório, respectivamente. A concentração normalizada $E(\theta)$ é calculada através da seguinte equação:

$$E(\theta) = \frac{c(t)}{Rc \cdot C_0} \quad (16)$$

onde $Rc = M_s/M_e$, θ é o tempo adimensional (relação do tempo com o tempo de retenção teórico) e C_0 é a massa total de traçador inserido no reservatório dividido pelo seu volume. A partir da concentração normalizada de traçador na saída podemos calcular a concentração acumulativa $F(\theta)$ utilizando a seguinte equação:

$$F(\theta) = \int_0^1 E(\theta)dt \quad (17)$$

A concentração acumulativa $F(\theta)$ representa a probabilidade de uma porção de água do reservatório ter um tempo de retenção adimensional igual ou menor do que o tempo adimensional θ .

As curvas produzidas pelas equações supracitadas podem ser usadas para o cálculo da eficiência hidráulica através de indicadores de fluxo. No presente estudo são utilizados sete indicadores de acordo com os utilizados por Stamou (2007). Para avaliar a zona de curto-circuito dentro do reservatório é usado o indicador θ_{10} que é o tempo normalizado necessário para que 10% da massa do traçador saia do reservatório, determinado a partir de $F(\theta)$. Para avaliar a dispersão da mistura podem ser definidos dois indicadores: θ_{75-25} e θ_{90-10} . A dispersão da mistura é representada

por $\theta_{90/10}$ e por Var , onde $\theta_{90/10}$ é a relação entre θ_{90} e θ_{10} e Var é a variância de $E(\theta)$ que é demonstrado na equação abaixo.

$$Var = \int_0^1 (\theta - 1)^2 E(\theta) d\theta \quad (18)$$

Para medir a eficiência podem ser definidos dois indicadores: θ_{50} , tempo que leva para 50% do traçador deixar o reservatório; e θ_{max} , tempo em que ocorre a maior concentração encontrada a partir de $E(\theta)$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Curva DTR e Índices de Eficiência

A Figura 3 apresenta a Curva DTR para cada malha gerada. Nota-se que o padrão de saída do traçador praticamente independe do número de elementos da malha. Obviamente que o nível de detalhamento é maior conforme o número de elementos da malha aumenta. Dessa forma, a malha R 30 apresenta o menor índice de curto-circuito. No entanto, a partir de 60 000 elementos a diferença nos resultados é ínfima.

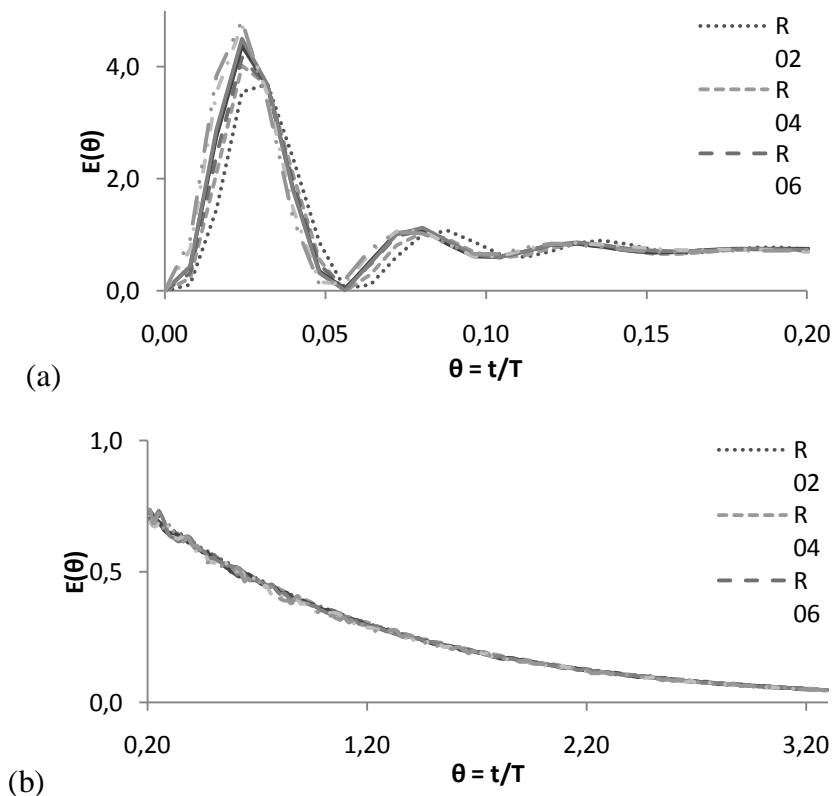


Figura 3. Curva DTR para as varias malhas geradas. (a) Concentração normalizada de traçador na saída até $\theta=0,2$. (b) Concentração normalizada de traçador na saída a partir de $\theta=0,2$ até $\theta=3,3$.

A Figura 4 apresenta os índices de eficiência. Nota-se que a diferença entre os valores dos índices são praticamente imperceptíveis, apesar do aumento do número de elementos da malha. O índice θ_{10} é o que apresenta a maior variação, variando entre 0,03 para malha R30 e 0,07 para Malha R02. Essa diferença, apesar de pequena, resulta em uma grande variação no índice $\theta_{90/10}$. Este índice por ser mais sensível do que os outros seus valores variaram entre 31,89 e 71,25, para as malhas R02 e R20, respectivamente. Todas as malhas apresentaram $\theta_{\max}=0,02$ e $\text{Var}=0,80$, exceto R02. Os índices encontrados para R02 são iguais a $\theta_{\max}=0,03$ e $\text{Var}=0,79$.

Os resultados obtidos mostram que o reservatório possui regime próximo do fluxo ideal completamente misturado. Os índices θ_{75-25} e θ_{90-10} são cerca de 6% e 2%, respectivamente, maior que no fluxo ideal completamente misturado. Já o índice θ_{50} é 30% menor do que no fluxo completamente misturado. Os valores baixos para θ_{10} apontam para a existência de curto-circuito.

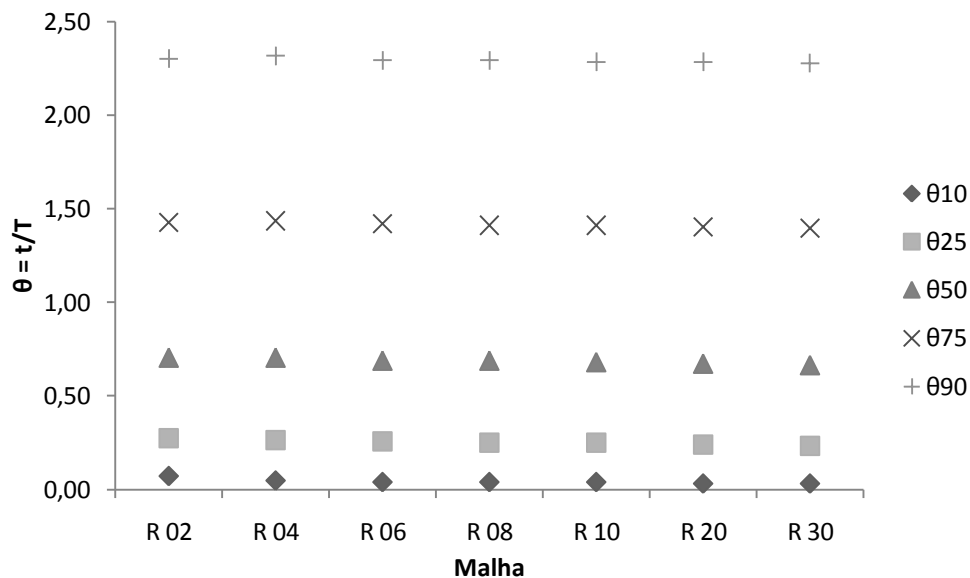


Figura 4. Índices de eficiência hidráulica de acordo com o a malha.

A Figura 5 apresenta as linhas de corrente do fluido dentro do reservatório. Apesar de haver um grupo de linhas que correm direto para o a saída, caracterizando o curto-circuito, é possível perceber que há uma grande quantidade de linhas de corrente que passam por quase todo o reservatório antes de sair. Essas partes do fluido que percorrem grandes distâncias fazem com que o fluido se misture e se torne homogêneo. Sendo a homogeneidade é a principal característica do fluxo ideal completamente misturado.

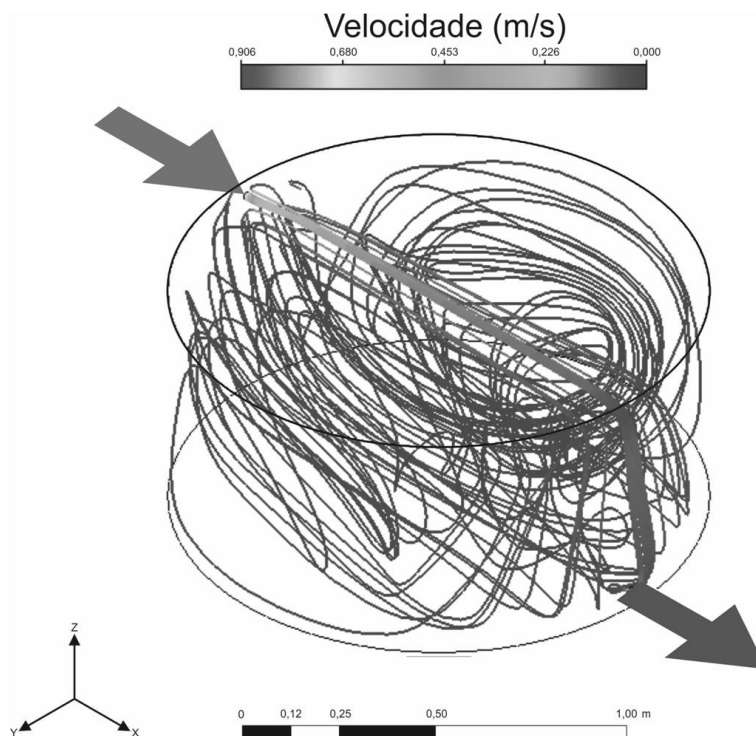


Figura 5. Linhas de corrente do fluido no interior do reservatório.

4.2. Testes Estatísticos

A Tabela 2 apresenta a média das concentrações na saída de cada malha estudada. De acordo com a Análise de Variância (ANOVA), as médias das concentrações obtidas pelos diferentes números de elementos nas malhas não diferem entre si de forma significativa, pois o valor-p de é aproximadamente igual a 1, isto é, bem maior que o nível de significância estabelecido. Essa constatação é confirmada pelo teste de Tukey. Assim, pode-se afirmar com 99,95% de confiança que a alteração no número de elementos nas malhas estudadas não ocasiona diferenças significativas em relação às médias das concentrações.

Tabela 2 – Médias das concentrações.

Malha	Média
R 02	0,03405 ^a
R 04	0,03400 ^a
R 06	0,03397 ^a
R 08	0,03396 ^a
R 10	0,03394 ^a
R 20	0,03389 ^a
R 30	0,03385 ^a

* médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, segundo o teste de Tukey.

A Tabela 3 mostra a análise dos resíduos das malhas em relação à média. Constata-se que as flutuações dos resultados das malhas não apresentam uma magnitude significativa quando

comparados a um ponto central, ou seja, a média dos valores destas. A taxa de erros padrão médio (EPM) oscila entre 1,5 a 0,3%, concordando desta forma com os valores obtidos para os erros normalizados médio (ENM), que se encontram na faixa -1,3 a 1,6%. Ou seja, os resíduos provocados pela elevação no número de elementos não são representativos para a geometria estudada. Frisa-se ainda que os índices dos erros normalizados multiplicativo médio (ENMM), os quais segundo Moog et al. (1998) são muito sensíveis a pequenas diferenças, estiveram próximos a 1, o que demonstra que não que as diferenças a nos resultados obtidos pelas malhas.

Tabela 3 – Análise dos resíduos das malhas em relação à média.

Malha	EPM	ENM	ENMM
R 02	0,009	1,177	1,027
R 04	0,003	1,584	1,027
R 06	0,002	0,214	1,012
R 08	0,003	-0,179	1,016
R 10	0,004	-0,781	1,024
R 20	0,009	-0,939	1,027
R 30	0,011	-1,283	1,037

A Tabela 4 apresenta o valor-p dos testes t-pareado das malhas em relação à média. Observa-se que o valor-p obtido em todos os testes t-pareado encontra-se acima do nível de significância estipulado em tal análise, comprovando desta forma que nenhum resultado obtido pelas diferentes malhas difere de forma significativa da média destes. Assim rejeitou-se a hipótese alternativa, podendo-se afirmar com 99,95% de confiança que não existem flutuações estatisticamente significantes entre os resultados das malhas.

Tabela 4 – Valor-p dos testes t-pareado das malhas em relação à média.

Malha	Valor-p
R 02	0,834
R 04	0,968
R 06	0,733
R 08	0,815
R 10	0,925
R 20	0,846
R 30	0,813

Assim, é possível afirma que para a geometria do reservatório em estudo o número de elementos nas malhas testadas não apresenta influencia nos resultados da distribuição do tempo de residência. Isso demonstra que, para o reservatório estudado, os resultados para as malhas com $2 \cdot 10^3$ e $3 \cdot 10^4$ elementos são estatisticamente similares. Logo a malha com menos elementos torna-se mais eficiente em representar o fenômeno estudado devido a esta apresentar um menor custo

computacional. A Figura 6 apresenta a variação do tempo de simulação em relação ao número de elementos na malha. Nota-se a existência de uma relação diretamente proporcional entre o número de elementos da malha e o tempo gasto na resolução da problemática, utilizando-se um *notebook* com 4 Gb de memória RAM e processador Intel® Core™ 2 duo de 2 Gigahertz.

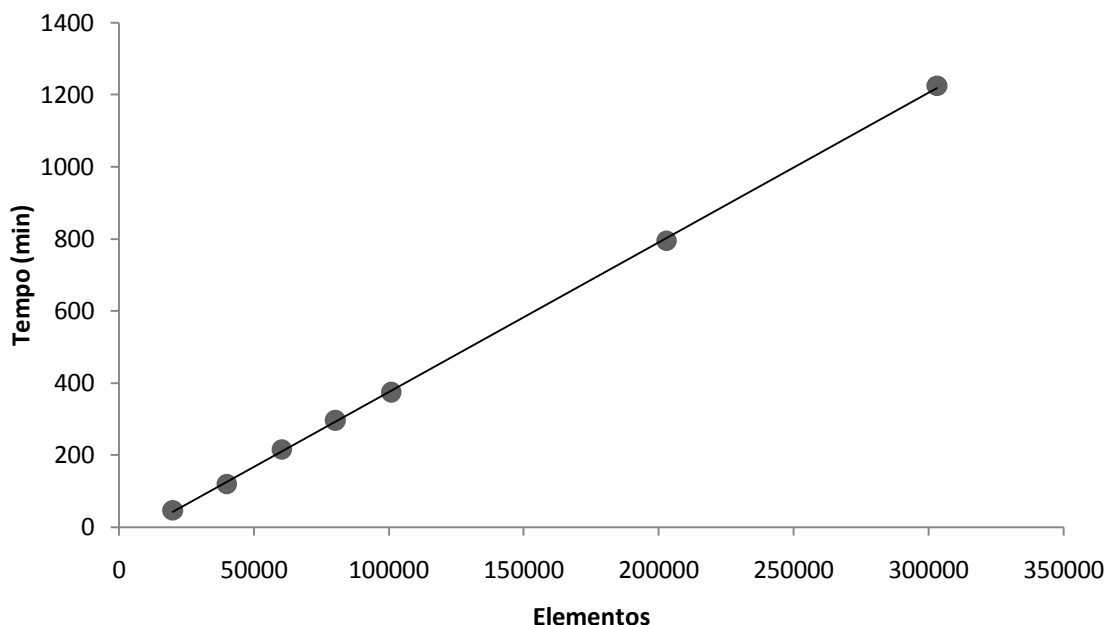


Figura 6. Variação do tempo de simulação em relação ao número de elementos na malha.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi realizada simulação computacional dos processos de mistura que ocorrem no interior de reservatório predial. Os índices de eficiência calculados indicam que o regime de fluxo pode ser considerado completamente misturado. O regime completamente misturado é ideal para reservatórios reais. Constatou-se também que independentemente do número de elementos da malha o traçador possui o mesmo padrão na saída. É possível afirmar que para a geometria do reservatório estudado o número de elementos nas malhas testadas não apresentou influência nos resultados da distribuição do tempo de residência, ou seja, é possível utilizar uma malha com número de elementos da ordem de 20.000 (ao invés de 300.000 elementos).

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5626. (1998). *Instalação Predial de Água Fria*.

BORGES, A. C.; MATOS, A. T.; CALIJURI, M. C.; OLIEIRA, G. H. H.; ROLDÃO, J. S. F. (2006). “Uso de traçadores para avaliação da hidrodinâmica de sistemas alagados construídos operando sob clima tropical”. Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. Viçosa-MG.

GRAYMAN, W. M.; ROSSMAN, L.; CLIFFORD, A.; DEININGER, A.; SMITH, C., SMITH, F.; SCHNIPKE, R. (2000). *“Water quality modeling of distribution system storage facilities”*. Denver, AWWA Research Foundation.

GRAYMAN, W. M. AND G.J. KIRMEYER. (2000). *Water Distribution Systems Handbook*, McGraw-Hill, New York - NY, 580 p.

GRAYMAN, W. M.; ROSSMAN, L.A.; DEININGER, R.A.; SMITH, C.D.; ARNOLD, C.N.; SMITH, J.F. (2004). *“Mixing and Aging of Water in Distribution System Storage Facilities”*. Journal AWWA, vol. 96, n. 9, pp. 70-80.

MAREK, M.; STOESSER, T.; ROBERTS, P. J. W.; WEITBRECHT, V.; JIRKA, G. H. (2007). *“CFD Modeling of turbulent Jet mixing in water storage tank”*. Georgia Institute of Technology.

MOOG, D. B.; JIRKA, G. H. (1998). *“Analysis of reaeration equations using mean multiplicative error”*. Journal of Environmental Engineering, pp. 104-110.

PALAU, G.; WEITBRECHT, V.; STÖSSER, T.; BLENINGER, T.; HOFMANN, B.; MAIER M.; ROTH, K. (2007), *“Numerical Simulations to predict the hydrodynamics and the related mixing processes in water storage tanks”*. Proc. IAHR Congress Venice, pp. 1-6.

ROMERO-GOMEZ, P. LI, Z.; CHOI, C.Y.; BUCHBERGER, S.G.; LANSEY, K.E.; TZATCHKOV, V.T. (2008). *“Axial dispersion in a pressurized pipe under various flow conditions”*. 10th Annual Water Distribution Systems Analysis Conference WDSA2008. Kruger National Park, South Africa

ROBERTS, P. J. W.; TIAN, X.; LEE, S.; SOTIROPOULOS, F.; DUER, M. (2006). *“Mixing in storage tanks - draft final report”*. AWWA Research Foundation.

ROSSMANN, L.A.; GRAYMAN, W.M. (1999). *“Scale-model studies of mixing in drinking water storage tanks”*. J. of Environmental Engineering, vol. 125, n. 8, pp. 755–761, 1999.

SCHULZ, H. E. (2003). *“O Essencial em Fenômenos de Transporte”*. 1. ed. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP, v. 1398 p. 2003.

STAMOU, A. I. (2007). *“Improving the hydraulic efficiency of water process tanks using CFD models”*. Chemical Engineering and Processing.

VAN DER WALT, J.J.; HAARHOFF, J. (2000). *“Is a reservoir really that simple? A CFD investigation into the internal hydraulics of reservoirs”*, in WISA 2000 Conference, Sun City, South Africa, 2000.

VAN DER WALT, J. J. (2002). *“The modeling of water treatment process tanks”*. 211 f. 2002. Tese (PhD em Engenharia Civil) – Rand Afrikaans University, África do Sul.