

ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DAS TÉCNICAS ISPH E MPS COM SUPORTE À TURBULÊNCIA PARA SIMULAÇÃO DE FLUIDOS NEWTONIANOS INCOMPRESSÍVEIS

Carlos Eduardo Cavalcanti Macedo¹ ; Veronica Teichrieb²

¹Estudante do Curso de Ciência da Computação – CIn – UFPE; E-mail: cecm@cin.ufpe.br,

²Docente do Centro de Informática – CIn – UFPE; E-mail: vt@cin.ufpe.br.

Sumário: Este resumo teve por objetivo estudar métodos das partículas com foco em problemas hidrodinâmicos, mais especificamente, as técnicas ISPH e MPS. Uma vez compreendidas as técnicas, implementar os métodos. O desenvolvimento deste projeto faz parte de uma ferramenta maior de simulação de problemas hidrodinâmicos.

Palavras-chave: métodos de partículas, problemas hidrodinâmicos; simulação de fluidos

INTRODUÇÃO

As técnicas CFD (Computational Fluid Dynamics), no escopo do escoamento viscoso em torno de cascos de embarcações submersas, são empregadas na avaliação de desempenho propulsivo, de manobra, de operação de emersão e afundamento, de configuração de instrumentação externa ao casco, de configuração de apêndices (vela; superfícies de controle), de análise de ruído, e outras.

As aplicações são feitas nos âmbitos civil (p. ex.: veículos submersíveis de operação autônoma ou remota) e militar (p. ex.: submarinos; torpedos), com objetivos, no primeiro caso, de apoio às atividades econômicas e de segurança (safety) offshore, e, no segundo caso, de apoio às atividades de segurança (security) nacional.

O método de partículas permite a simulação de CFDs livres de malhas. O fato de não se usar malha permite, por exemplo, uma melhor captura e representação do movimento turbulento de certos escoamentos e uma melhor representação do fluido. Nessa representação, cada partícula tem elementos próprios como velocidade, pressão e aceleração. Os métodos de partículas Incompressible Smoothed Particle Hydrodynamics (ISPH) e Moving Particle Semi-implicit (MPS) são técnicas de simulação por partículas e fazem parte de um conjunto de técnicas de simulação de fluidos incompressíveis e com uma invariância da densidade em fluidos com superfícies livres.

MATERIAIS E MÉTODOS

Durante o período vigente da bolsa foi implementado o método de partículas CMPS (Corrected Moving Particle Semi-implicit method) na linguagem de programação C++, com o intuito de incorporar o método a uma ferramenta de simulação mais completa, sendo essa composta por outros projetos, dentre eles um modelador de sistemas de partículas, desenvolvido em C++ com Windows API (Application Programming Interface), para servirem de entrada para o algoritmo de simulação implementado.

O algoritmo MPS foi apresentado inicialmente por Koshisuka e Oka em 1996 (Moving-Particle Semi-implicit Method for Fragmentation of Incompressible Fluid, University of Tokyo, Nuclear Engineering Research Laboratory, Japan, 1996) para representar o escoamento de fluidos incompressíveis e possui o algoritmo que pode ser visto na Figura 1. A Figura 1 ilustra os passos iniciais do MPS, sendo esses a entrada de dados básicos do sistema de partículas como velocidades e posições iniciais, por exemplo. Logo após tem-se o cálculo das velocidades temporárias, com as forças externas num intervalo de tempo, e

posições temporárias através das velocidades temporárias, calculadas anteriormente, em um dado espaço de tempo. Logo em seguida, é efetuado o cálculo da densidade por número de partículas de cada elemento com o somatório da interação da vizinhança de cada partícula. Esse valor deve ser mantido constante durante toda a simulação para que a incompressibilidade seja garantida.

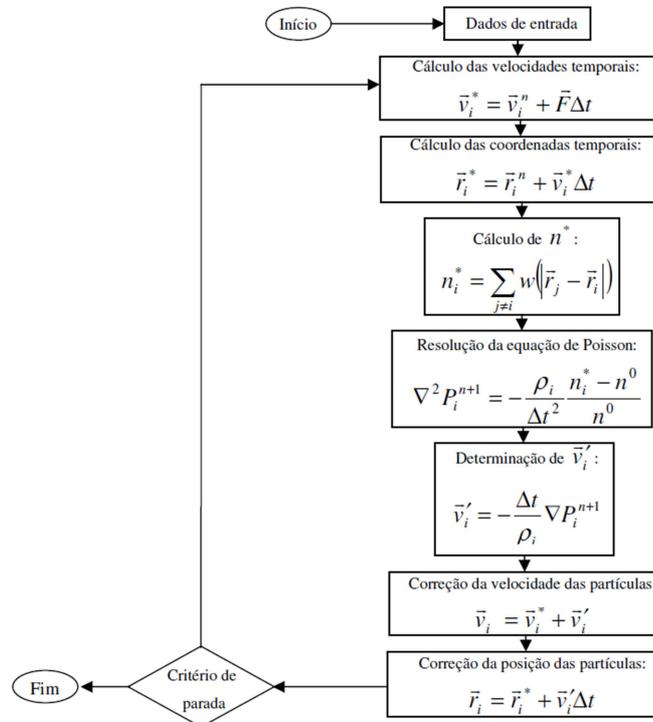


Figura 1 Algoritmo da técnica MPS

Com as posições e velocidades intermediárias e a densidade do número de partículas calculadas, cria-se uma equação de Poisson que forma um sistema linear. Resolvendo esse sistema obtemos a pressão de cada partícula do modelo. Com a pressão em mãos, é possível calcular um termo de correção para a velocidade e acrescentá-lo à velocidade temporária de cada partícula para assim, obter-se a velocidade e a posição esperadas. No final, cada partícula tem suas informações básicas atualizadas que servem de entrada para o próximo passo do algoritmo.

Após a implementação bem sucedida do método MPS, foi encontrado um aprimoramento do método padrão chamado CMPS. Ele foi proposto por Khayyer & Gotoh (2008) e tem como objetivo melhorar a performance do MPS padrão ao modificar e corrigir as formulações, mas ao mesmo tempo mantendo a simplicidade e robustez do método. Os autores Khayyer & Gotoh notaram que o modelo usado no MPS padrão para discretizar o operador gradiente (e assim ser possível implementá-lo) não garantia a conservação do momento linear, portanto propuseram um novo modelo para o gradiente.

Com a equação anti-simétrica proposta para modelar o gradiente, o momento linear é conservado de forma exata. Dessa forma, o algoritmo do MPS básico não sofre alteração; a mudança ocorre na forma do cálculo do termo de correção da velocidade no passo seguinte à resolução da equação de Poisson, mais precisamente quando é calculado o gradiente da pressão (que está sendo denotada por ∇P na Figura 1).

RESULTADOS

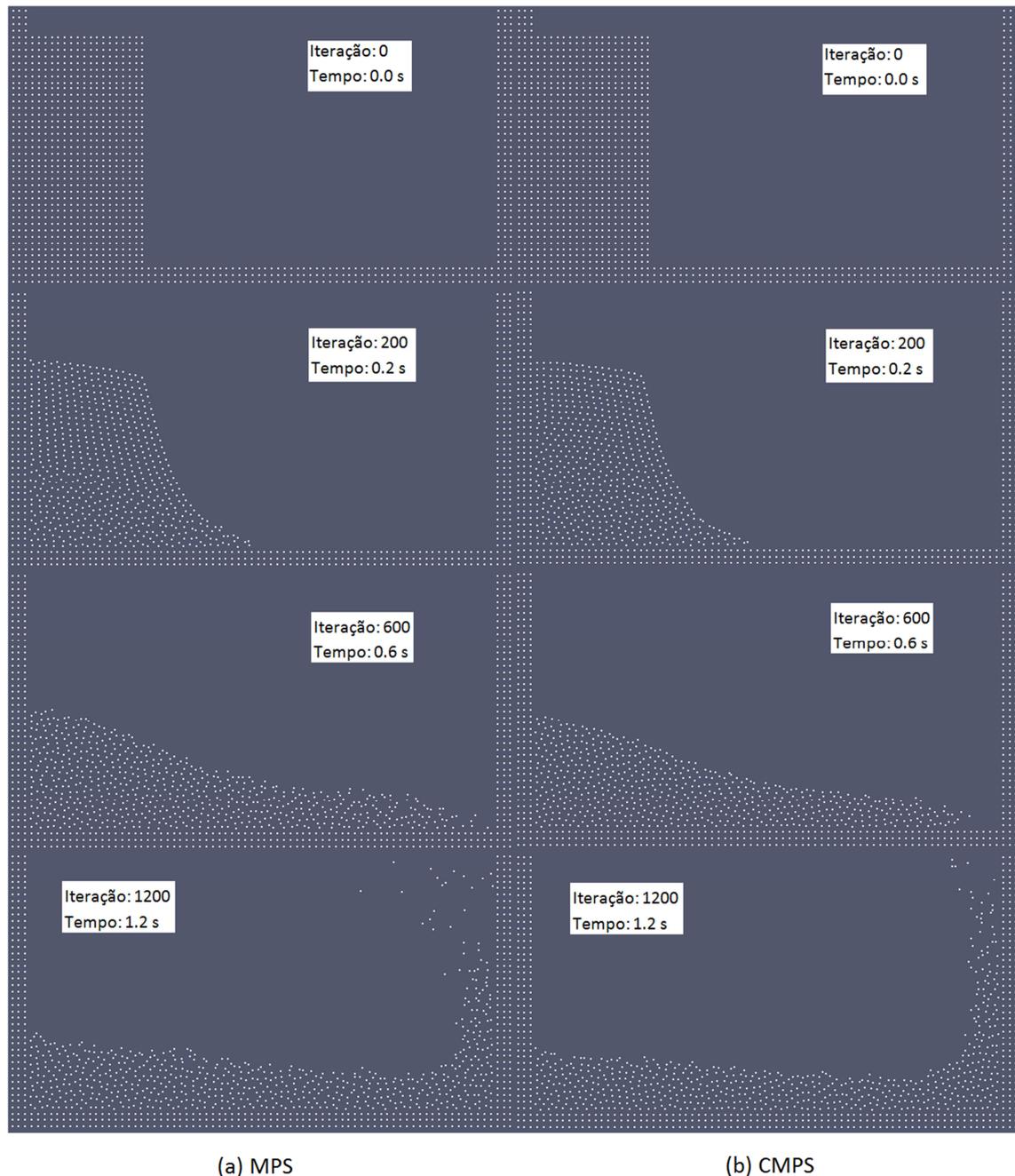


Figura 2 Começo da comparação da simulação de quebra de barragem entre (a) MPS e (b) CMPS e seus respectivos tempos e iterações

Para validar a técnica CMPS desenvolvida, foi implementado como exemplo um caso de teste conhecido na literatura como dam break (quebra de barragem). O sistema é formado por 1.122 partículas (incluindo aquelas que formam as paredes do recipiente) e é executado durante um período de 3.000 iterações do algoritmo, e que cada iteração equivale a $[10]^{-3}$ s. O resultado obtido mostra uma melhora significativa no comportamento das partículas quando comparamos o MPS padrão com o CMPS. Nas Figuras 2 e 3 é possível observar a evolução do caso teste com o tempo, e nela o MPS (esquerda) é comparado lado a lado com o CMPS (direita) em tempos iguais. Os tempos e iterações que se extraíram os frames foram 0.0s (iteração 0), 0.2s (iteração 200), 0.6s (iteração 600) e 1.2s (iteração 1200), como está indicado na Figura 2, e 1.6s (iteração 1600), 1.8s (iteração 1800), 2.2s (iteração 2200) e 3.0s (iteração 3000) como indicado na Figura 3.

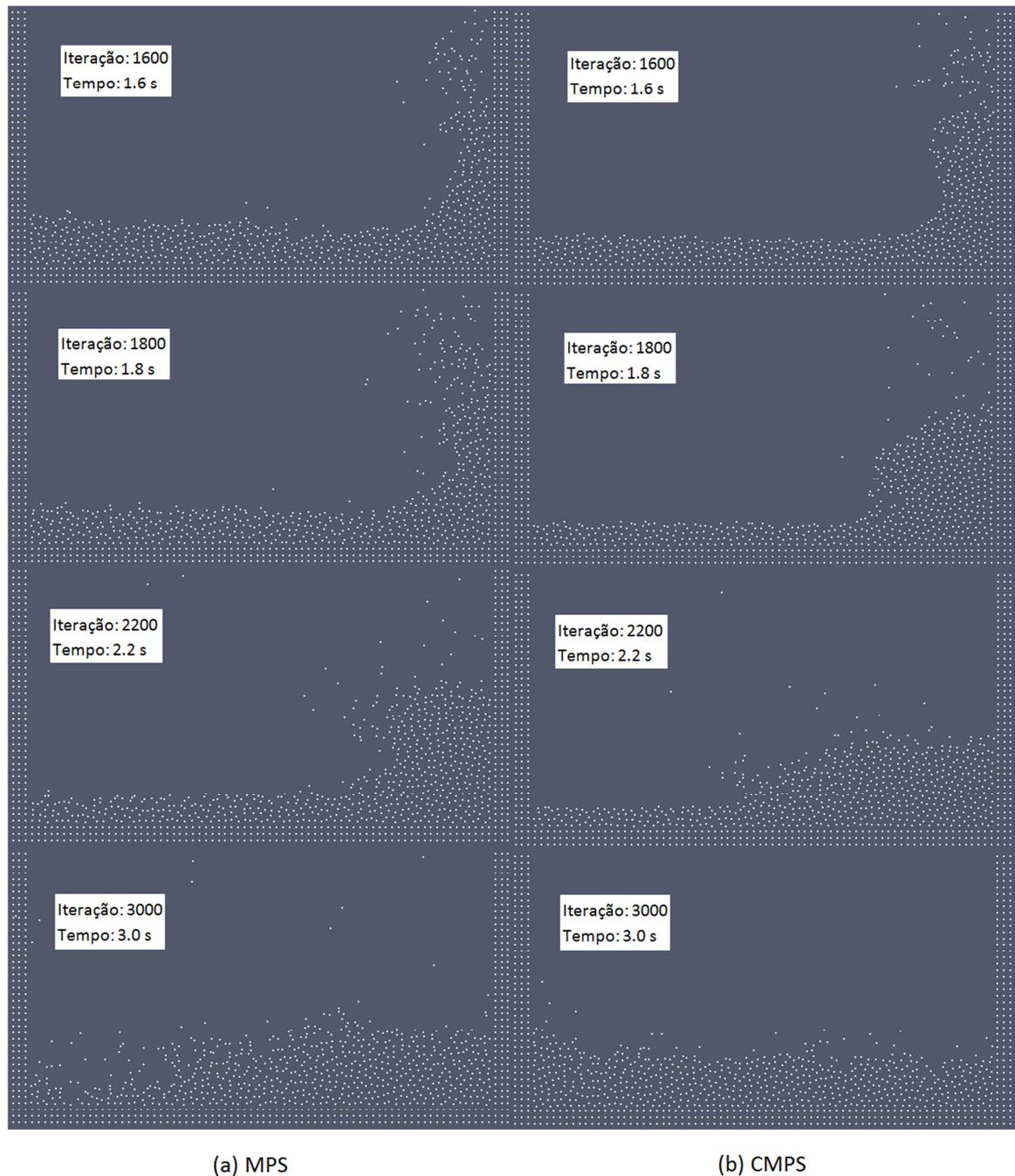


Figura 3 Continuação da comparação da simulação de quebra de barragem entre (a) MPS e (b) CMPS e seus respectivos tempos e iterações

CONCLUSÕES

Os estudos de métodos de partículas se mostraram promissores para a solução de problemas hidrodinâmicos.

REFERÊNCIAS

- Koshizuka S, Oka Y. 1996. Moving particle semi-implicit method for fragmentation of incompressible fluid. Nuclear Science and Engineering; 123:421–34.
- Khayyer A, Gotoh H. 2008. Development of CMPS method for accurate water-surface tracking in breaking waves. Coastal Engineering Journal; 50(2):179–207.