

2 Trabalhos Relacionados

Podemos destacar dois principais modelos usados em simulação computacional de fluidos, são eles: o modelo Euleriano baseado em grid e o modelo Lagrangeano baseado em partículas. O modelo Euleriano baseado em grid divide (discretizam) o domínio do problema em células que são fixas no espaço durante toda a simulação. As grandezas (massa, massa específica, energia, etc) são simuladas através do fluxo que passa pelas células. Já o modelo Lagrangeano, baseado em partículas, não necessita da discretização do domínio do problema em células. No modelo Lagrangeano baseado em partículas, as grandezas (massa, massa específica, energia, etc) são representadas por partículas e tais partículas movem-se junto com o fluido, ao contrário do modelo Euleriano baseado em grid, que permanece estático durante toda a simulação. Ambos os modelos apresentam vantagens e desvantagens.

Em relação aos modelos Eulerianos, podemos citar alguns trabalhos que tiveram maior importância. Em 1990, Kass e Miller [14] propuseram um novo método para animação de água e ondas. O método era baseado em uma versão simplificada das equações de água rasa em 2D, junto com um campo de altura para representar a superfície do fluido. Em 1996, Foster e Metaxas [10, 11] foram os primeiros a proporem uma maneira capaz de resolver a Equação de Navier-Stokes em três dimensões, utilizando um grid regular. O trabalho também apresenta um algoritmo para extração da superfície livre do fluido. Tratamentos de fronteira contra corpos sólidos e contra o ar, também faziam parte da simulação. Apesar do trabalho de Foster e Metaxas ser capaz de animar fluidos com alto grau de precisão, a simulação não consegue animar em tempo real, mesmo com os atuais computadores, devido à necessidade de um passo de simulação muito pequeno para garantir a estabilidade.

Em 1999, Stam [32] propôs um esquema semi Lagrangeano capaz de contornar o problema do passo de simulação encontrado em Foster e Metaxas [10, 11]. O modelo apresentado por Stam [32] permitia simulações estáveis mesmo

com passos de simulação grandes ao custo de forças dissipativas artificiais. No entanto, o modelo não trata fluidos de superfície livre como água, devido à dificuldade de se extrair a superfície do fluido. Enright e Fedkiw [8] estenderam o trabalho de Stam [32] para lidar com líquidos usando modelos híbridos com partículas para auxiliar a extração da superfície do fluido. Carlson *et al.* [3] desenvolveram um sistema Euleriano capaz de animar fluidos líquidos viscosos e objetos capazes de simular o derretimento de objetos.

Com o aumento do poder computacional dos processadores gráficos (GPUs), diversos trabalhos [13, 33] estão sendo propostos para usar GPUs na animação de fluidos, obtendo excelentes resultados e tempo de animação interativo.

Em 1977, Lucy [20] e Gingold e Monaghan [21] desenvolveram o método conhecido como *Smoothed Particle Hydrodynamics* (SPH). A priori o método foi desenvolvido para lidar com problemas astrofísicos. Reeves [31], em 1983, introduziu na comunidade de computação gráfica sistemas de partículas para modelar uma classe de objetos *fuzzy*. Sistema de partículas também é usado em diversos tipos de efeitos, como explosões, chuva e neve. Miller e Pearce [21] juntaram em seus trabalhos idéias de dinâmica moleculares com um sistema de partículas interativo (onde uma partícula interage com outras partículas) para modelagem de materiais deformáveis e materiais líquidos como lava, lama, óleo, entre outros.

Desbrun e Gascuel [5], foram pioneiros ao aplicarem o método SPH na área de computação gráfica, a princípio, para simular substâncias altamente deformáveis.

Premože *et al.* [29], utilizando o método Lagrangeano *Moving Particles Semi Implicit (MPS)* [16], uma variante do método SPH, obtiveram resultados bastante realistas na simulação de fluidos incompressíveis.

Müller *et al.* [24], em 2003 apresentaram uma simulação e visualização de fluidos, baseado em partículas, em tempo interativo. Müller *et al.* [24] incluíram tensão superficial ao fluido, baseado nas idéias de Morris [23] (Figura 1).



Figura 1 Trabalho de Müller *et al.* [24]. O enchimento do copo com a água é simulado a uma taxa de 5 quadros por segundo. Imagens extraídas de [24].

Em 2004 Müller *et al.* [25] desenvolveram um trabalho focado na interação entre fluidos e corpos sólidos deformáveis. O trabalho desenvolvido permite além da simulação do fluido em tempo interativo, a simulação das forças de repulsão, adesão e atrito entre o fluido e os corpos sólidos.

Clavet *et al.* [4] propuseram um novo método para simulação de fluidos visco elásticos baseado em partículas. No trabalho desenvolvido, Clavet *et al.* [4] forçam tanto a incompressibilidade do fluido quanto a não formação de aglomerações de partículas através do método chamado de *double density relaxation*. O método apresentado é robusto, estável e capaz de simular fluidos em diversos cenários a taxas interativas.

Müller *et al.* [26] apresentaram uma proposta para simulação e interação entre fluidos. O trabalho estende o trabalho de Müller *et al.* [24] acrescentando forças de interface entre fluidos distintos. A proposta apresentada é capaz de simular a interação de fluidos de diferentes características, permitindo por exemplo a simulação de um objeto “lava lamp” (Figura 2).



Figura 2 Alguns exemplos obtidos no trabalho de Müller *et al.* [26], demonstrando a interação entre fluidos. A esquerda fluidos com massas específicas diferentes são misturados, ao meio a simulação de um “lava lamp” e à direita a interação entre 3 fluidos, água, ar e a chama. Imagens extraídas de [26].

Em 2007 *Paiva et al.*[1] apresentaram um trabalho propondo uma técnica capaz de animar o derretimento de objetos utilizando simulação de fluidos não newtonianos, baseado em partículas. A técnica consiste em modelar objetos através da transição de fluidos não newtonianos altamente viscosos para líquidos pouco viscosos. Para isto, *Paiva et al.*[1] utilizam uma variação do modelo lagrangeano SPH.

A biblioteca desenvolvida neste trabalho, segue as propostas feitas por Müller *et al.* [24, 26]. Os resultados obtidos no trabalho de Müller *et al.* [24, 26], nos levou a crer que seria uma ótima forma de validar o uso do método SPH para simulação e animação de fluidos em tempo interativo.