

5 Resultados e discussão

O resultado da abordagem proposta é um sistema de partículas que se move no plano de projeção sob a influência de forças decorrentes da gravidade, topologia do terreno, pressão e viscosidade. Os resultados são visualizados sobre a superfície do terreno com a altura da coluna d'água variando em função da massa específica (ρ) no plano de projeção. Foram realizados alguns experimentos para avaliação do comportamento do fluido sob influência do terreno. As figuras (5.7), (5.8) e (5.9) ilustram alguns desses experimentos. Para validação do modelo, foram reproduzidos dois experimentos de (Rodriguez-Paz; Bonet, 2005)(Seções 5.1 e 5.2). Os resultados são discutidos a seguir.

5.1 Rompimento de barragem em canal retangular

Neste experimento, confinamos o fluido em um canal retangular. A geometria inicial do fluido é $2\text{m} \times 1\text{m} \times 0.5\text{m}$. A profundidade do canal é constante e não há atrito. Foram utilizadas 3K partículas nesta simulação.



Figura 5.1: Dimensões do problema (Visão Superior).

No instante $t = 0.0\text{s}$, a barragem é removida e o fluido evolui. O gráfico na Figura (5.2) exibe a variação da altura do fluido na posição $x = 2$. De acordo com a solução analítica, a profundidade da água deve permanecer constante e igual a $4/9$ da altura h_t inicial, até o momento em que a onda que atravessa o fluido no sentido contrário ao fluxo atinge a fronteira no ponto $x=0$.

Os resultados obtidos em (Rodriguez-Paz; Bonet, 2005) são mais próximos da solução analítica, como pode ser observado na Figura (5.3). Essa diferença pode ser atribuída à utilização de raio de interpolação fixo. Considerando que a análise foi

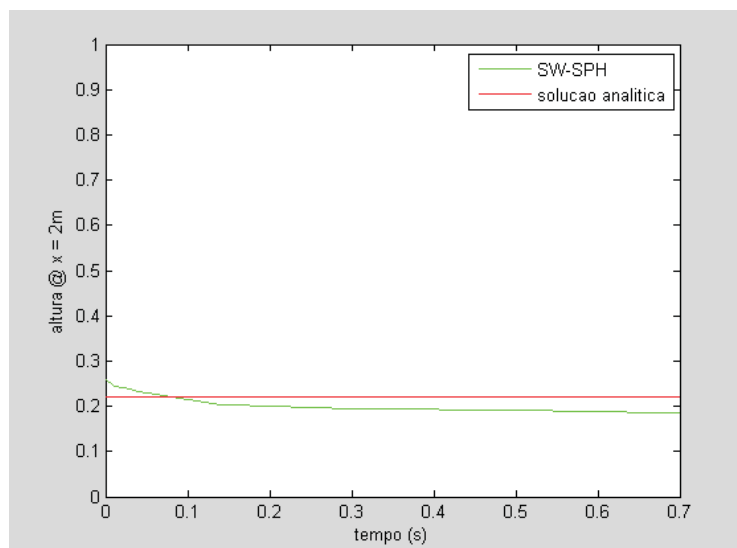


Figura 5.2: Variação da altura h_t em $x = 2\text{m}$ para o caso de rompimento de barragem. Dimensões do fluido: $2 \times 1 \times 0.5\text{ m}$, Raio do Kernel: 0.1

feita em uma região de fronteira e sobre um atributo dependente da massa específica, esse resultado pode ser considerado satisfatório. A diferença ao longo do tempo no intervalo analisado, foi de 4% em média. É válido lembrar que em (Rodriguez-Paz; Bonet, 2005) o foco são as aplicações de engenharia, portanto a precisão é um fator determinante. Já o nosso método é uma adaptação com propósitos de animação em jogos. As Figuras (5.4) e (5.5) ilustram os resultados obtidos com a abordagem proposta aqui.

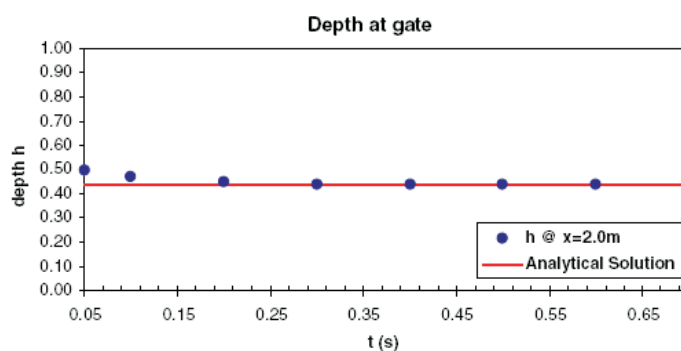


Figura 5.3: Comparação entre o resultado de (Rodriguez-Paz; Bonet, 2005) e a solução analítica para altura do fluido em $x = 2\text{m}$. (Figura extraída de (Rodriguez-Paz; Bonet, 2005))

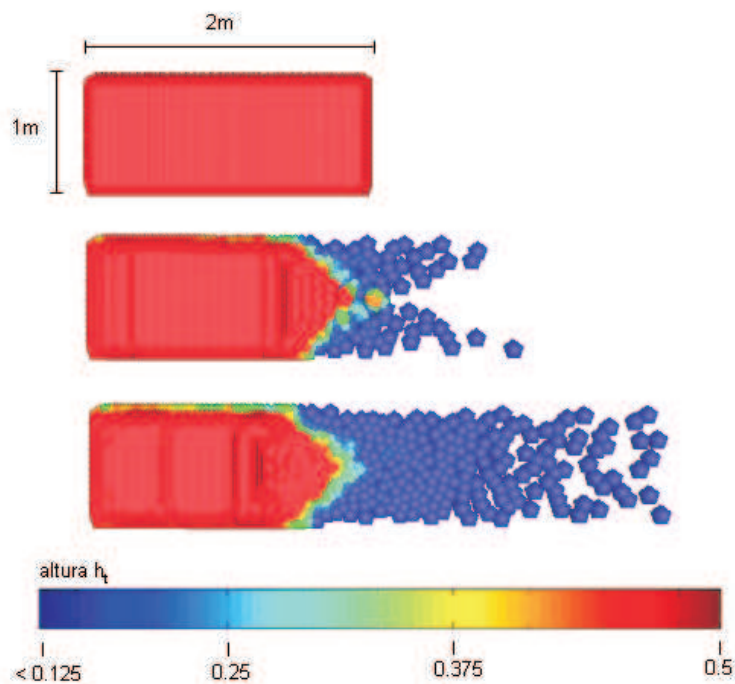


Figura 5.4: Quebra de barragem vertical. Dimensões do fluido: 2 x 1 x 0.5 m. A coloração varia de acordo com a altura do fluido durante sua evolução.

5.2 Barragem cilíndrica

Neste exemplo, avaliamos visualmente o experimento de quebra de barragem cilíndrica. Uma coluna cilíndrica de água, com 5 metros de diâmetro e 0.5 metro de altura, é disposta sobre um terreno plano. Casos como este, onde as fronteiras do fluido se expandem por grandes dimensões, são de difícil simulação com raio de interpolação fixo. Isto porque as partículas, principalmente na região de fronteira, passam a ter menor quantidade de vizinhas provocando problemas de precisão na interpolação via SPH. Apesar deste inconveniente, o resultado visual com a estratégia proposta foi satisfatório. A fronteira do fluido evolui mantendo sua forma circular inicial conforme mostra a Figura (5.6).

5.3 Influência do terreno

Para avaliação da influência do terreno no movimento do fluido, simulamos sua evolução sobre superfícies com gradiente e curvatura controladas. O resultado foi coerente nas situações testadas. As Figuras (5.7), (5.8) e (5.9) ilustram alguns resultados.

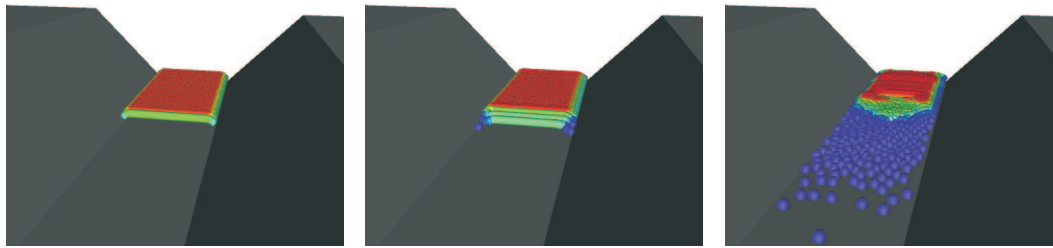


Figura 5.5: Quebra de barragem vertical. 3 instantes de uma simulação com 1500 partículas a 15Fps.

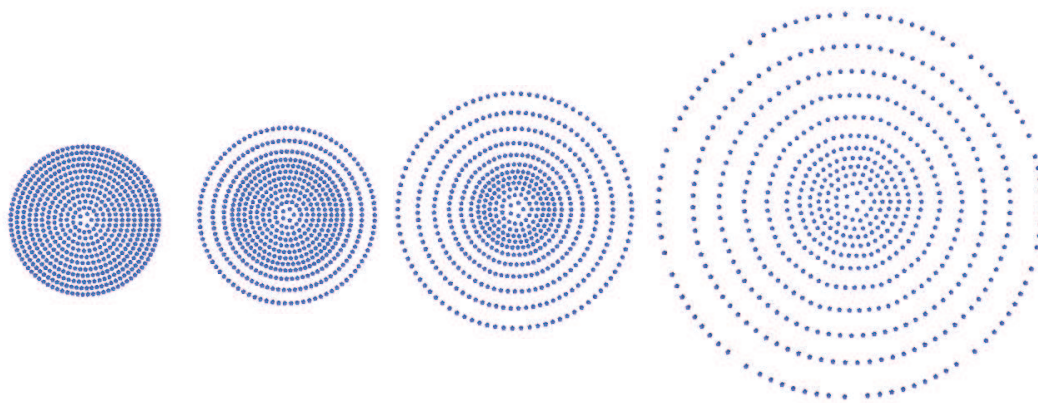


Figura 5.6: Vista superior de um rompimento de barragem cilíndrica com 600 partículas.

5.3.1 Superfície ondulada

Neste experimento, utilizamos uma superfície ondulada para simular o escoamento do fluido. Disparamos uma lâmina d'água de dimensões 3.5 x 3.5 x 0.1m sobre um dos vales da superfície ondulada. Foram utilizadas 2000 partículas nesta simulação. As partículas se mantêm confinadas e ocupam todo o vale conforme ilustra a Figura (5.7).

5.3.2 Superfície plana

Neste caso, dispomos uma lâmina d'água de dimensões 2 x 2 x 0.1 sobre uma superfície plana. O fluido se espalha e seu volume ocupa toda a superfície. Confinado pelos limites da superfície, o fluido varia a altura que oscila formando um efeito visual interessante (Figura (5.8)). Foram utilizadas 1000 partículas para esta simulação e alcançou-se uma taxa de 30 Fps.

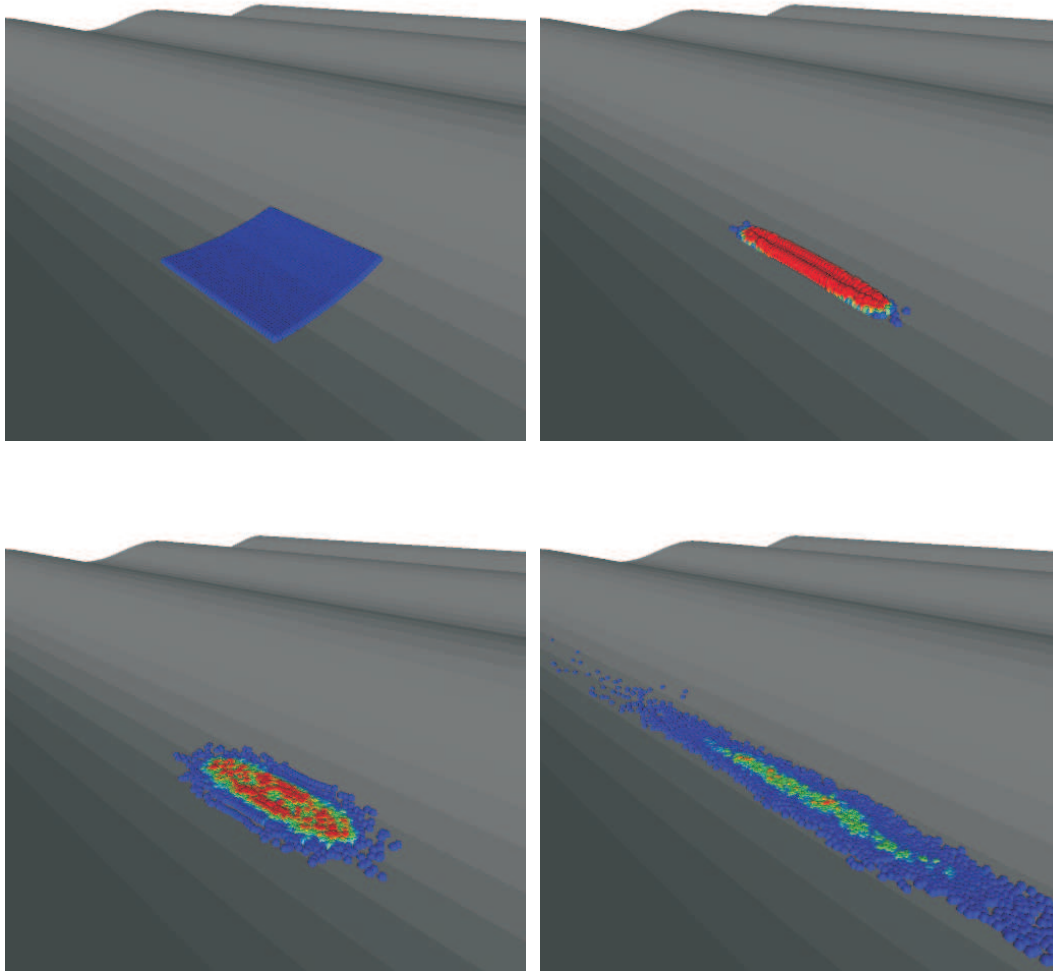


Figura 5.7: Fluido confinado em uma calha (2000 partículas - 13Fps). A cor das partículas de fluido varia em função da altura da coluna de água.

Na Figura 5.9, é ilustrado o resultado do algoritmo de visualização descrito na Seção 4.4.1. A simulação foi efetuada com 2000 partículas. Uma malha virtual fixa é disposta por todo o domínio de simulação. A altura dos vértices dessa malha é obtida via SPH para representação da superfície do fluido à medida que as partículas evoluem.

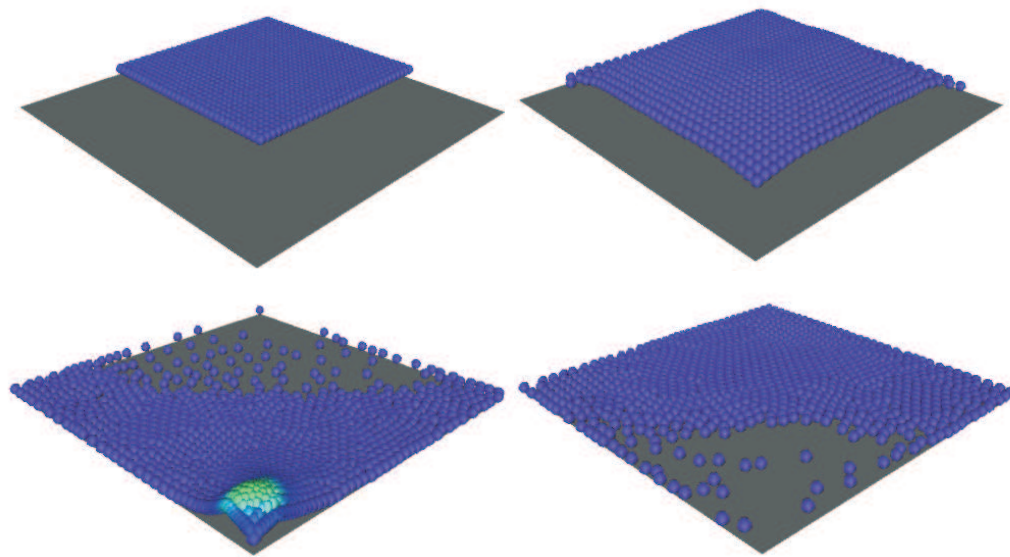


Figura 5.8: Avaliação do comportamento do fluido em terreno plano. (1000 partículas - 30Fps)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611885/CA

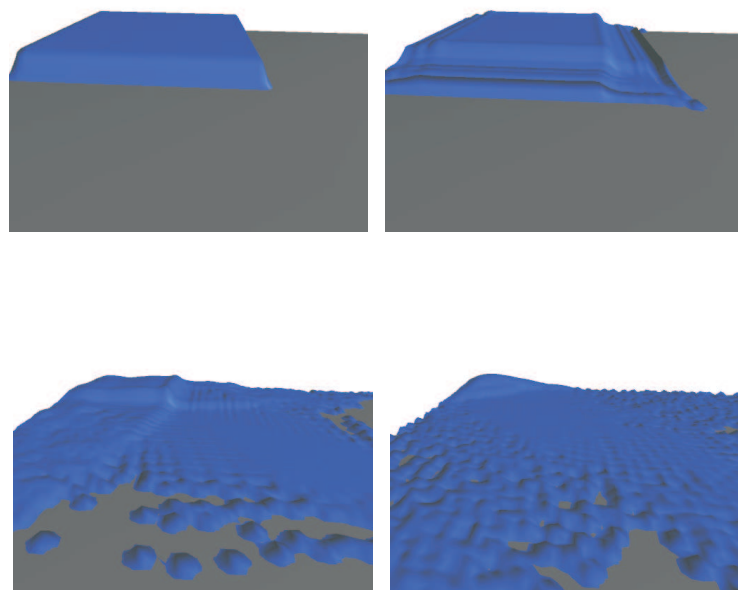


Figura 5.9: Visualização da superfície do fluido. Simulação com 2K partículas.