

PIBIC

Relatório Anual

TRÁFEGO DE PEDESTRES E DE VEÍCULOS: SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Aluno: Thomás Machado Martinoia
Orientadora: Celia Anteneodo

TRÁFEGO DE PEDESTRES E DE VEÍCULOS: SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Aluno: Thomás Machado Martinoia
Orientadora: Celia Anteneodo

Introdução

O trânsito de veículos, em autopistas ou urbano, coloca muitas questões de interesse prático tais como: Quais as condições em que os congestionamentos ocorrem e como podem ser evitados? O estudo da circulação de pedestres e da dinâmica de evacuação de ambientes fechados, tanto em situações normais quanto de pânico, também tem grande interesse prático.

A investigação dos comportamentos coletivos emergentes pode ser desenvolvida mediante os métodos utilizados para o estudo dos sistemas físicos. Com efeito, a dinâmica é governada por interações de curto e de longo alcance entre componentes individuais e entre estes e os obstáculos que limitam o movimento. Assim, uma vez identificadas essas interações, é possível descrever a evolução do sistema mediante equações análogas às da mecânica newtoniana.

Diversos modelos têm sido propostos na literatura. Desde modelos em que o fluxo de pessoas ou veículos é tratado como um fluido contínuo, até modelos em que é acompanhada a evolução dos componentes individuais tratados como partículas [1].

Foi feito um estudo sobre como simulações de sistemas dinâmicos de partículas podem ajudar no projeto de espaços como salas e corredores para pessoas ou até mesmo estradas para veículos, em situações críticas.

Para isso, utilizamos simulações computacionais que descrevem partículas em um espaço de duas dimensões, regidas por forças de interação entre elas e entre as paredes e obstáculos do ambiente.

Além do estudo das variáveis físicas que governam os movimentos, foram considerados também fatores psicológicos como, por exemplo, pânico em uma fuga de emergência.

Os resultados das simulações têm potenciais aplicações práticas, por exemplo, no planejamento de disposição de saídas de emergência e na sinalização do tráfego.

Objetivos

Em um primeiro momento, viabilizar a criação e utilização de simulações controladas através de programas de computador.

Pesquisar a dinâmica do trânsito de pedestres e/ou de veículos, procurando utilizar dados realistas e correlacionar os resultados das simulações com os de observações, quando possível.

Metodologia

Dentro do presente projeto foi pesquisado, mediante a técnica de dinâmica molecular, principalmente o comportamento de pedestres em corredores, e a evacuação de ambientes (dinâmica em 2D).

Os pedestres (modelados por cilindros) são caracterizados por sua massa, raio, velocidade almejada e direção almejada. A dinâmica pode ser descrita por um sistema de equações do tipo [2,3]:

$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = \sum_{j \neq i} \mathbf{f}_{ij} + \sum_w \mathbf{f}_{iw} + m_i \frac{v_{0i} \mathbf{e}_i - \mathbf{v}_i}{t_i}, \quad (1)$$

onde o sub-índice i representa o pedestre i , m_i a sua massa, v_i a sua velocidade e t o tempo. Os dois primeiros termos no segundo membro representam, respectivamente, a força total de interação do pedestre i com os outros pedestres j e com as paredes w . Estas forças incluem uma contribuição repulsiva e uma outra de atrito tangencial. O último termo, onde v_0 é o módulo da velocidade desejada, e a sua orientação e t um tempo característico, representa a contribuição devido ao fator psicológico que almeja uma dada direção ou objetivo (chegar à saída, extremidade do corredor, etc.).

As equações de movimento (1) foram integradas numericamente mediante um programa computacional que utiliza um algoritmo de Verlet com passo de integração fixo [4].

Para o estudo de trânsito em corredores, consideramos condições de contorno periódicas (anel), com igual número de pedestres se deslocando em ambos os sentidos ao longo do corredor. Os parâmetros do campo de forças da equação (1) foram extraídos da literatura [2], obtidos na base de observações do mundo real (através de vídeos e fotografias). Durante as simulações foram fixadas as dimensões do corredor e o número de pessoas: tipicamente 60 pessoas em corredores de 5m x 20m, podendo variar de acordo com o interesse de analisar diferentes situações.

A dinâmica é alterada em situações de pânico. Basicamente, em tais condições: (i) as pessoas se movem, ou tentam se mover, mais rápido que o normal, (ii) a direção almejada é afetada, surgindo uma componente dominada pela direção seguida em média pela maioria (movimento coletivo). Como consequência, aumenta a frequência e intensidade das interações de contato e os indivíduos começam a se empurrar, ocorrendo altas pressões e a formação de arcos duradouros nas saídas e estreitamentos. Além do mais, pessoas caídas ou machucadas obstruem o movimento de escape da multidão.

Condições de pânico foram simuladas considerando-se que o vetor unitário que fornece a direção desejada do indivíduo i é governado pelo parâmetro de pânico p_i segundo

$$e_i \propto (1 - p_i)e_{0i} + p_i \langle e_0 \rangle. \quad (2)$$

De modo que se $p_i = 0$ (ausência de pânico no indivíduo i), a direção desejada original se conserva, mas, se $p_i > 0$, surge uma contribuição devido ao movimento coletivo, representado pela direção média com que todos os outros indivíduos se deslocam em cada instante.

Vale lembrar que toda a teoria envolvendo as equações diferenciais que regem a dinâmica do sistema, foram desenvolvidas na literatura observando situações reais (através de vídeos e fotos), a fim de obter resultados o mais verossímeis possível.

Em uma situação emergencial, onde pessoas têm que escapar de uma sala, alguns fatos regem o evento:

- (1) As pessoas se movem, ou tentam se mover mais rápido que o normal.
- (2) Os indivíduos começam a se empurrar. Há interação física, literalmente entre as “partículas”.
- (3) Mover-se para um local desejado, e em particular, passar por um estreitamento se torna descoordenado.
- (4) Arqueamento e entupimentos são observados nas saídas.
- (5) Congestionamentos ocorrem.
- (6) As interações físicas na multidão amontoada se somam causando altas pressões de até 4450 N/m.
- (7) Pessoas caídas ou machucadas atrapalham o movimento de escape da multidão.
- (8) As pessoas tendem a agir de maneira coletiva, repetir o que as outras fazem, em situações como essa.
- (9) Saídas alternativas costumam ser ignoradas ou não eficientes em emergências.

Essas observações motivaram a modelar o fenômeno de fuga em pânico, sob o ponto de vista de um sistema de muitas partículas que movem –se com uma certa velocidade e direção desejada.

Programação e manipulação dos programas

Tendo em vista os objetivos da pesquisa, o programa foi adaptado, e aplicado de acordo com o nosso interesse.

O código do programa utilizado foi criado inspirado na matéria de Tamás Vicsek na revista Nature, em setembro de 2000 [3]. O programa permite simular diversas situações de evacuação de ambientes com diferente geometria conforme trocamos os parâmetros.

Assim, é possível observar como e quanto cada parâmetro influencia no tempo que as partículas demoram pra evacuar a sala, ou como elas se locomovem no ambiente.

O código do programa (escrito em *fortran*), após ser compilado e executado pelo freeware “Force” gera um arquivo *.pdb* contendo as posições para cada partícula em cada instante de tempo. Esse arquivo pode ser lido pelo visualizador VMD, também gratuito, desenvolvido pela universidade *de Illinois*, e assim gerar a representação gráfica da simulação.

As simulações que podem ser realizadas são inúmeras. Podemos analisar quantas pessoas quisermos (dentro dos limites físicos do ambiente) dentro de corredores, salas retangulares, quadradas, com portas diferentes etc.

O código pode ser manipulado de modo a trocar

1. medidas de paredes,
2. formatos de ambientes,
3. quantidades de pessoas,
4. velocidade desejada das pessoas,
5. massa e raio das pessoas,
6. grau de pânico,
7. posições iniciais (geradas aleatoriamente),
8. tempo total da simulação, e precisão das integrais que geram as novas posições.

Combinando diferentes parâmetros, podemos aplicar o programa para inúmeras situações.

1. Simulação de tráfego em corredores

Visando uma situação que pudesse ser aplicada para grupos de partículas (pessoas, carros, animais etc) querendo se locomover para direções diferentes, analisaremos a situação "corredor" com condições de contorno periódicas (ccp). Nestas condições, quando a partícula chega num extremo do corredor volta para a mesma posição no extremo oposto.

O estudo do movimento em corredores pode ser utilizado para simular várias situações na vida real como, grupos de pessoas indo em direções diferentes em um corredor, grupos de pessoas em ambientes grandes como multidões se deslocando para diferentes setores de um evento, por exemplo. Carros dispostos em um estacionamento querendo chegar a lugares distintos.

Simular situações como essas computacionalmente significa prever erros de planejamento sem nenhum custo adicional. Pode ser utilizado, por exemplo, para otimizar a posição de banheiros em locais com grande movimento de pessoas. Também para ver quantas pessoas conseguem se locomover pelo corredor sem se apertarem até o ponto de não conseguirem chegar na outra ponta em um tempo razoável.

Os parâmetros indicados em cada caso correspondem a:

- np (número de pessoas)
- dt (intervalo de tempo para integrar numericamente as equações)
- nstep (número de passos)

O dt que gerou melhores resultados foi 0.001, portanto utilizarei ele em todos os exemplos. Valores maiores geram mais erros nas integrais e fazem com que ocorram explosões. As dimensões do corredor são: 5m x 20m.

Iremos analisar diferentes arquivos .pdb gerados por códigos com diversos valores dos parâmetros, para observar a influência da variação dos parâmetros na eficiência das partículas se movimentarem para a direção desejada.

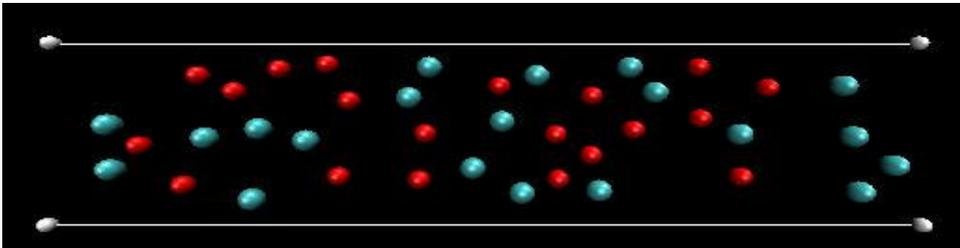
Os exemplos mostrados são representativos de outras realizações (trajetórias) obtidas com os mesmos parâmetros.

- **1.1 Exemplo base:**

np = 40	dt = 0.001	nstep = 120000	file: 400001120000.pdb
---------	------------	----------------	------------------------

Análise do resultado:

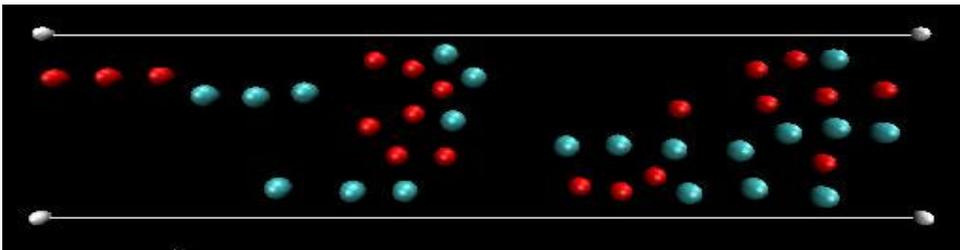
Instante inicial:



Encontramos as partículas aleatoriamente dispostas no espaço bidimensional, conforme o programa calculou automaticamente.

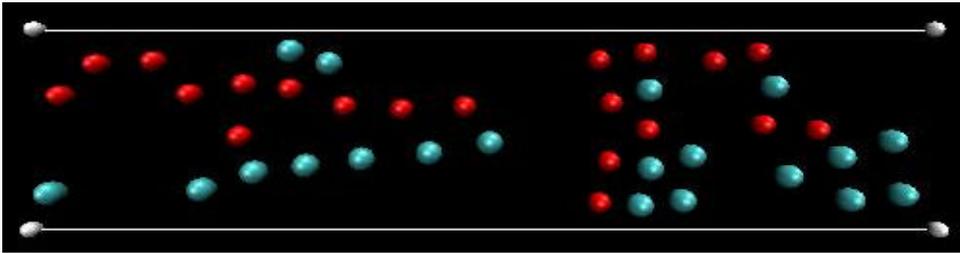
As partículas vermelhas (menores) tem velocidade desejada 0.8 para direita + ruídos e as verdes mesmo módulo porém sentido oposto.

Instante 200:



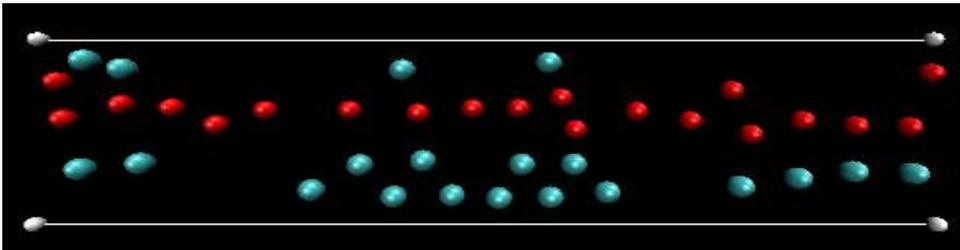
As partículas começam a se mover para as direções almeçadas enquanto interagem entre si mediante as forças representadas na Eq. (1).

Instante 400:



Até esse momento ainda é difícil saber qual a tendência das partículas nesse movimento.

Instante 600:



Nesse momento já fica claro qual a tendência das partículas. Elas vão se arrumando, conforme interagem entre si de modo a formar fileiras, visto que assim não há o choque com outras partículas que têm direção almejada diferente.

Desse ponto em diante, praticamente não há mais contato das partículas entre si ou delas com as paredes, portanto nos próximos 600 instantes a figura gerada é praticamente a mesma. Em outras palavras o sistema atingiu um *estado estacionário*.

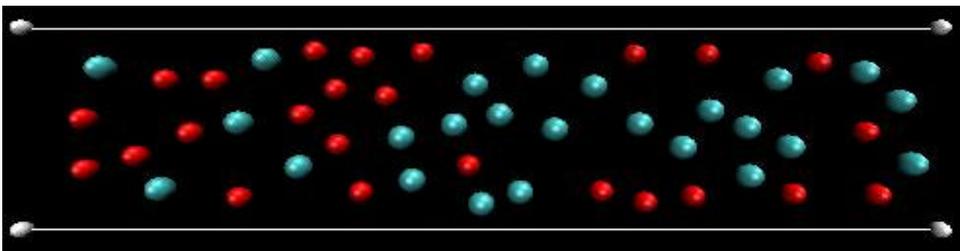
- **1.2 Exemplo 2**

np = 50	dt = 0.001	nstep = 8000	file: 50000180000.pdb
---------	------------	--------------	-----------------------

Obs: 10 pessoas acrescentadas ao caso base, nstep trocado para 8000 pois 6000 já seriam suficientes para o exemplo base.

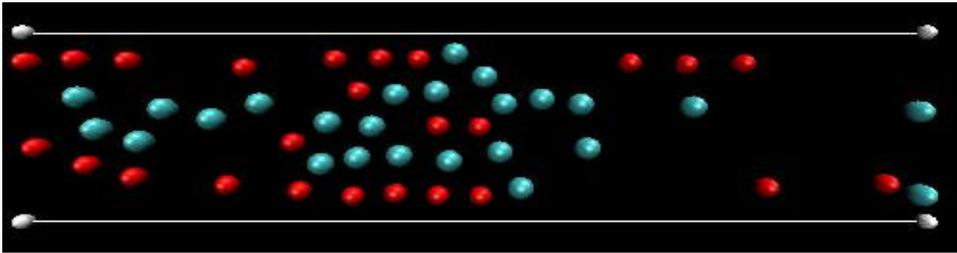
Análise do resultado:

Instante inicial:

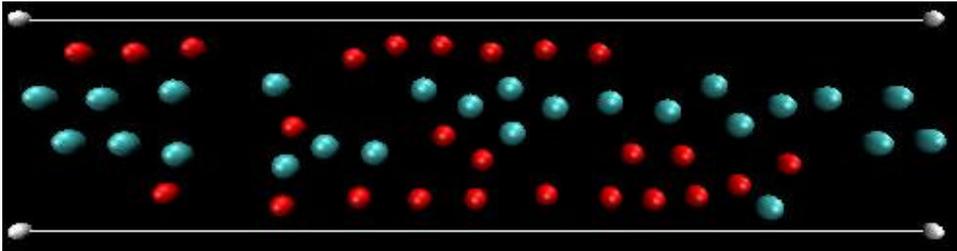


50 partículas aleatoriamente dispostas no mesmo espaço do caso base.

Instante 200

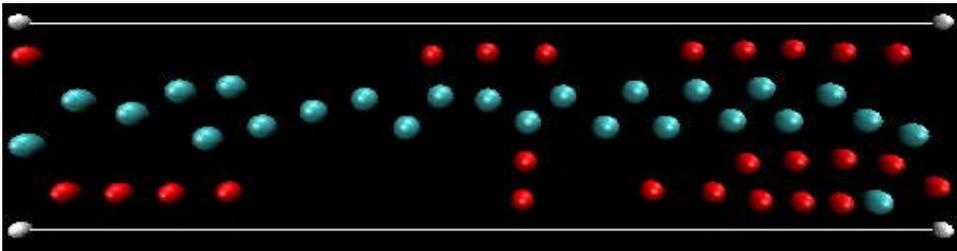


Instante 400



As fileiras de pessoas começam a se definir. No exemplo base, no instante 400 ainda não havia indícios de corredores. 50 partículas acabaram se comportando de forma mais eficiente que 40.

Instante 600



Os corredores estão completamente definidos, mas com as verdes pelo meio e as vermelhas (menores) divididas em cima e embaixo (o contrário do ocorrido no caso base). Mesmo mantendo todos os parâmetros iguais, as configurações variam a cada realização devido à escolha aleatória das condições iniciais e ao desenvolvimento das trajetórias, porém existem características que se conservam em média, tal como o número total de fileiras.

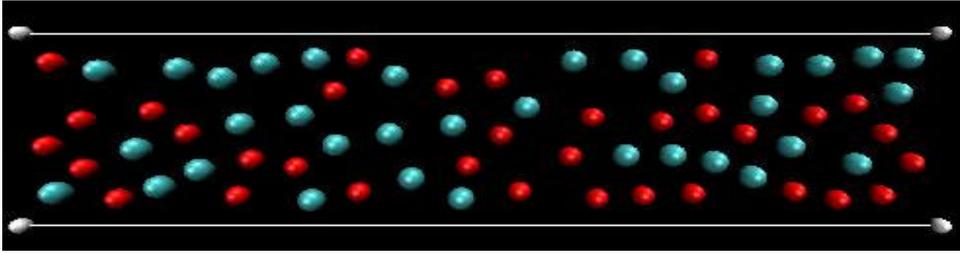
- **1.3 Exemplo 3**

np = 68	dt = 0.001	nstep = 8000	file: 68000180000.pdb
---------	------------	--------------	-----------------------

Obs: 25 pessoas acrescentadas ao caso base.

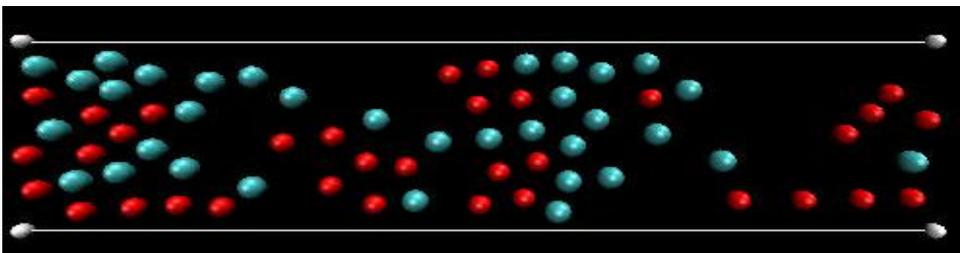
Análise do resultado:

Instante inicial:



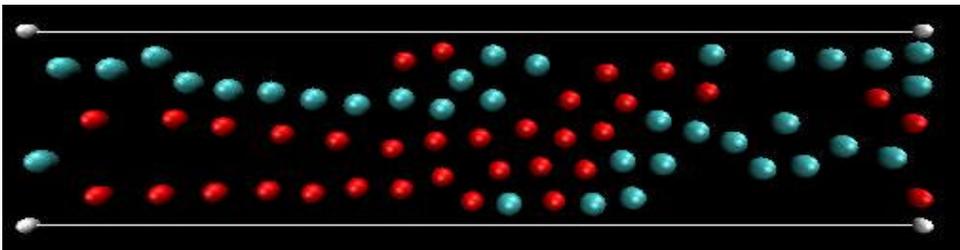
Observa-se que as partículas estão bem próximas umas das outras, visto que o número delas aumentou muito e o espaço continuou o mesmo. O programa gerou posições iniciais aleatoriamente para as partículas, e conforme imposto no código, nenhuma pode estar superposta.

Instante 200



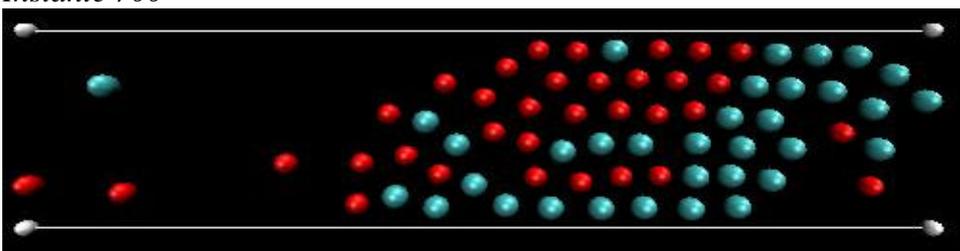
Todas as partículas interagem entre si conforme se movimentam e criam barreiras para o grupo oposto, o que gera concentração de partículas em determinados pontos, e espaços vazios em outros. Porém mesmo com dificuldade, elas continuam se movimentando para a direção desejada.

Instante 400



A tendência de formação de corredores ainda está presente, e de certa forma nesse instante parece que as partículas vão se reorganizar de modo a formar corredores e correr livremente.

Instante 700



Nesse momento, quase 100% das partículas estão do lado direito e a velocidade com que elas andam para a direção desejada é quase nula, sendo até negativa em algumas (estão sendo empurradas pelas partículas do outro grupo).

Desse modo, podemos interpretar os dados fornecidos pelo programa e concluir que, na prática, 68 pessoas de dimensões padrões (70 Kg e raio padrão) em um corredor de 5 metros de largura e 20 de comprimento, vai com certeza, em algum momento gerar amontoamento de pessoas em um local e fazer com que elas se movam numa velocidade muito baixa devido ao “engarrafamento”.

2. Simulação de evacuação de ambiente

As partículas são distribuídas uniformemente de forma aleatória dentro da sala e assumem uma velocidade desejada em direção à porta, simulando a intenção de evacuar o ambiente.

Ao contrário da simulação de corredor, esta não funciona de forma cíclica já que trata-se de um ambiente fechado com uma única saída. Uma vez que cada pessoa sai do ambiente, move-se livremente na direção desejada.

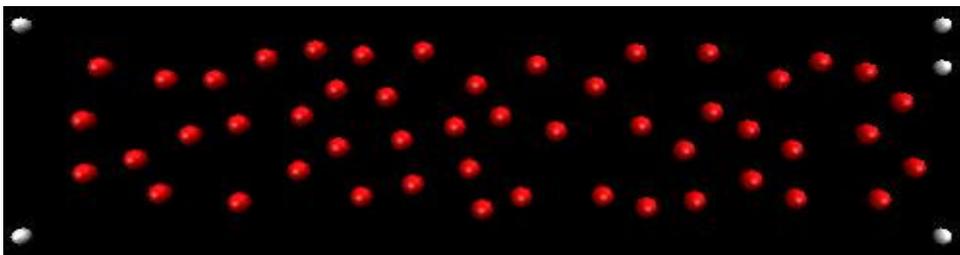
É interessante observar como as partículas “se atrapalham”, principalmente nas proximidades da porta, e como fenômenos realistas podem ser observados, por exemplo, a formação de filas de escape.

O aspecto prático desde estudo é neste caso ainda mais óbvio, visto que o estudo da evacuação de ambientes fechados é vital para segurança de qualquer sala sujeita a emergências.

- **2.1 Exemplo base**

np = 50	dt = 0.001	nstep = 8000	file: aberto2.pdb
---------	------------	--------------	-------------------

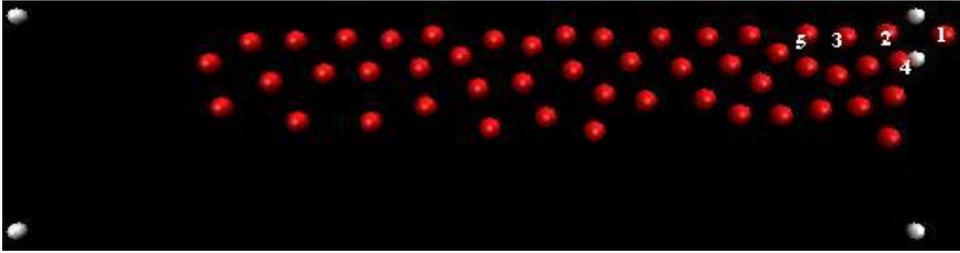
Instante inicial



A única saída do local está entre os dois círculos brancos no canto superior direito que representam as extremidades da porta, sendo os outros lados do retângulo delimitados por paredes rígidas (não desenhadas).

Observa-se a distribuição aleatória inicial, bem semelhante à da simulação anterior, mas nesse caso todas partículas vermelhas indicam a mesma direção desejada.

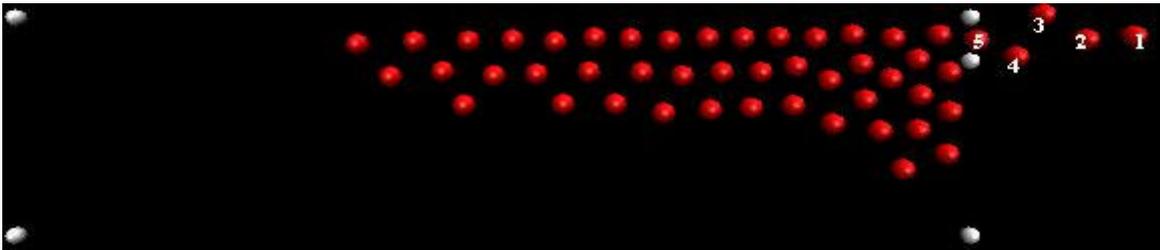
Instante 50



As partículas se movem em direção à porta e interagem entre si a princípio tendendo para uma saída ordenada.

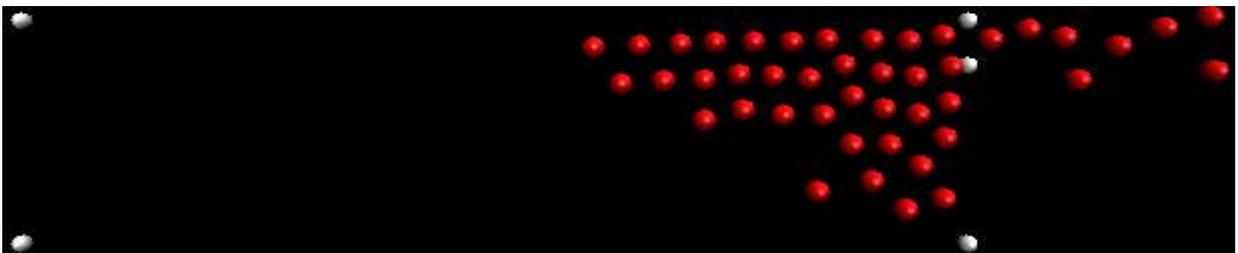
Obs: Os números nas partículas prevêm a ordem de saída.

Instante 100



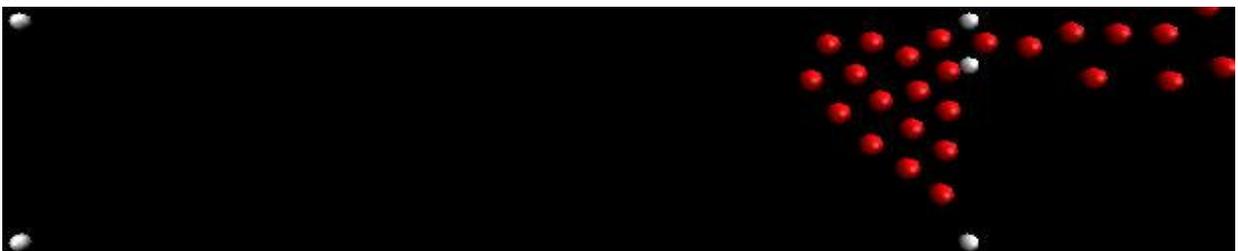
Ao alcançar o frame número 100, 100 partículas já saíram do local, e a configuração das restantes mudou também, aqui mais desorganizada do que no instante 50.

Instante 200



Nota-se claramente aqui que algumas partículas se afastaram da saída ao invés de se aproximar. Isso se deve ao fato de que há acumulação de partículas no canto superior direito, e a intenção de sair do local fez com que algumas partículas tomassem posições mais próximas da parede direita.

Instante 400



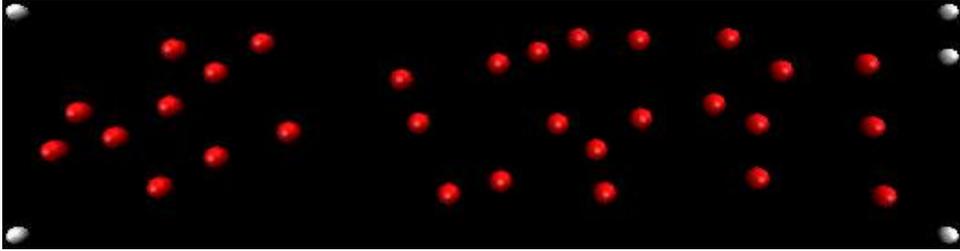
Nesse momento, a maioria das partículas já deixou a sala, mas algumas permanecem praticamente no mesmo local desde o instante 200.

Obs: O tempo total para saída de todas as partículas foi de 802 frames nesse exemplo.

- **2.2 Exemplo 2**

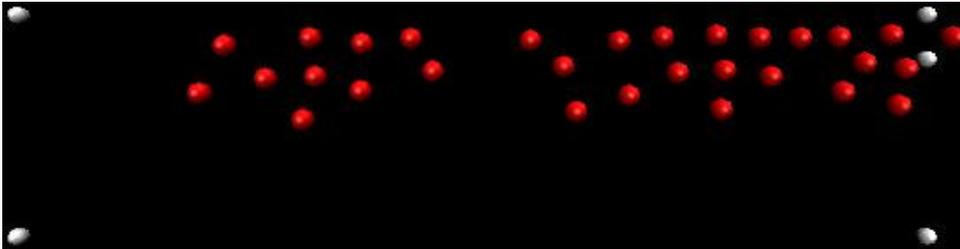
np = 30	dt = 0.001	nstep = 8000	file: aberto130.pdb
---------	------------	--------------	---------------------

Instante inicial

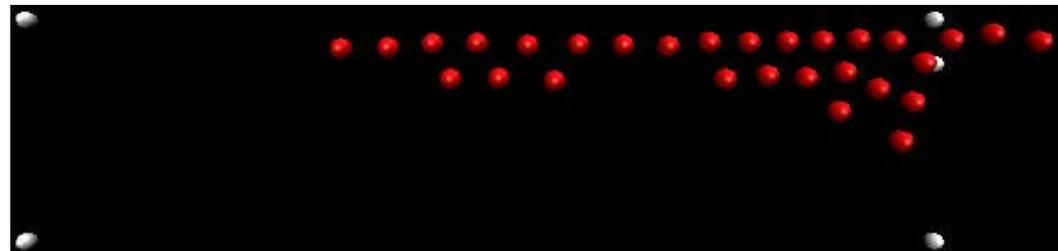


Foi alterada a quantidade de pessoas para um número menor que o do exemplo base de modo a analisar as diferenças entre as evacuações.

Instante50

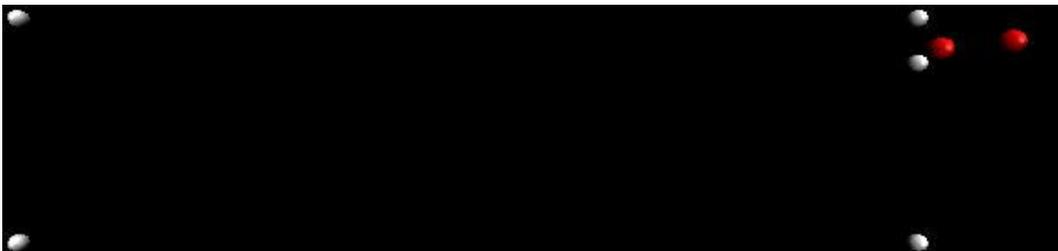


Instante100



A formação de filas de escape aqui é claramente observada na fileira de cima e na fileira encostada na parede direita.

Instante594



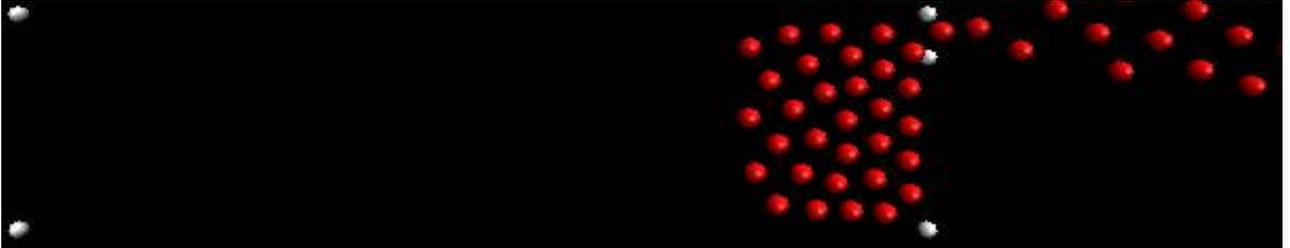
Neste exemplo, no instante 594 todas as partículas já deixaram a sala. Isso nos constata uma diminuição de 25% no tempo de evacuação total em comparação com o exemplo anterior. A diminuição de pessoas no local foi de 40%.

- **2.3 Exemplo 3**

np = 50	dt = 0.001	nstep = 8000	file: aberto3p.pdb	panic = 1.0
---------	------------	--------------	--------------------	-------------

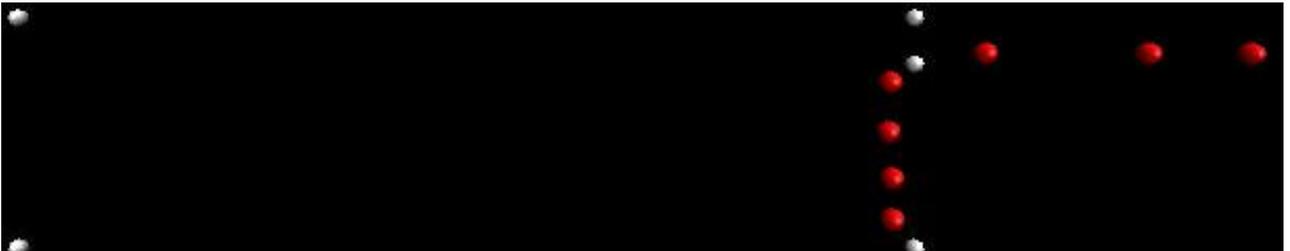
Alteração do parâmetro panic para 1.0 (o padrão utilizado antes era 0.5)

Instante250



O aumento do parâmetro panic agrava o fenômeno de distribuição na parede direita, e piora drasticamente a evacuação como um todo. Isso retrata claramente a realidade, visto que o fator pânico, na prática, faz as pessoas se acumularem mais juntas umas das outras e atrapalha a organização de fileiras para a saída.

Instante802



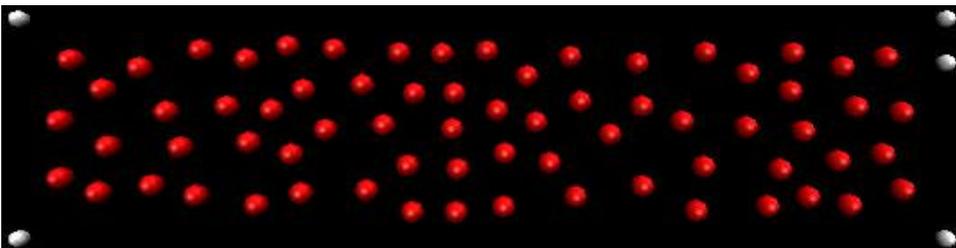
Nesse instante, com o parâmetro panic em 0.5, todas partículas já haviam deixado a sala (conforme mostrado no Exemplo base). Aqui, algumas permanecem na sala. Isso se deve ao ruído gerado na direção desejada do indivíduo, conforme explicado anteriormente.

- **2.4 Exemplo 4**

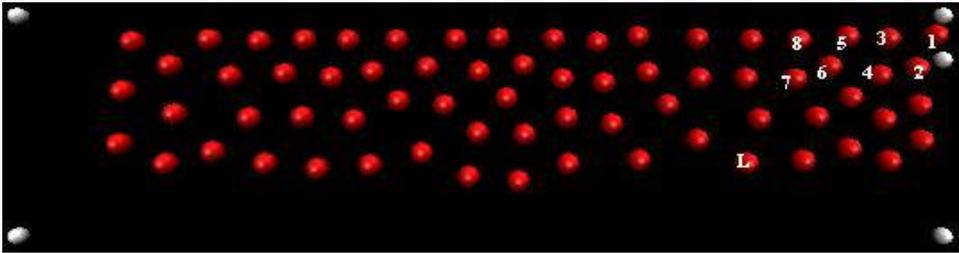
np = 69	dt = 0.001	nstep = 8000	file: aberto4c10s.pdb	Panic = 0.5
---------	------------	--------------	-----------------------	-------------

Caso onde avalia-se o limite de partículas para essa área. O programa só consegue gerar 69 posições aleatórias sem uma partícula estar sobre a outra.

Instante inicial

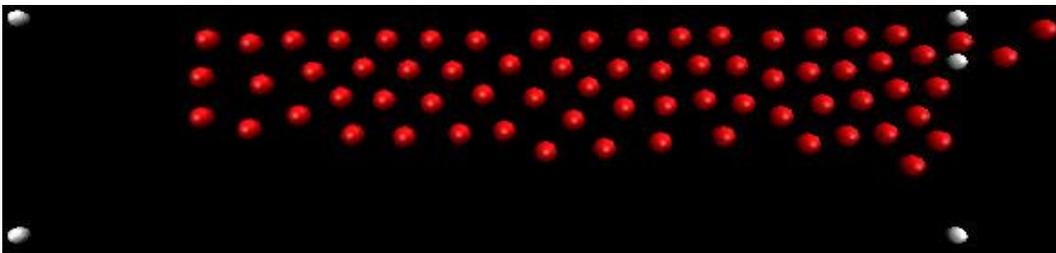


Instante 25

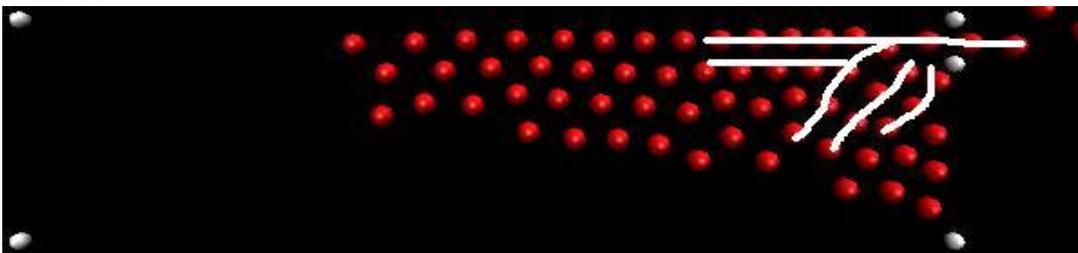


A partícula marcada com a letra “L” será a última a deixar a sala. Não é nada intuitivo prever isso antes de observar as simulações, mas esse fenômeno é explicado pela formação de fileiras e pela aglomeração na parede direita. Essa partícula não consegue entrar numa fila de escape porque é atrapalhada pelo “engarrafamento” que se forma na quina inferior da porta.

Instante 50



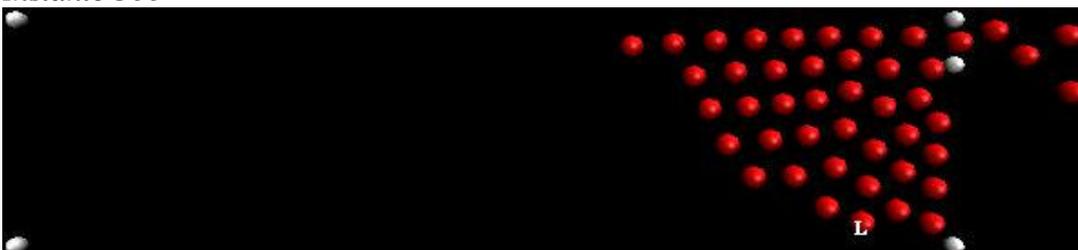
Instante 110



As partículas que deixam a sala primeiro estão marcadas pelas linhas. Essas linhas indicam a formação do fenômeno das filas de escape.

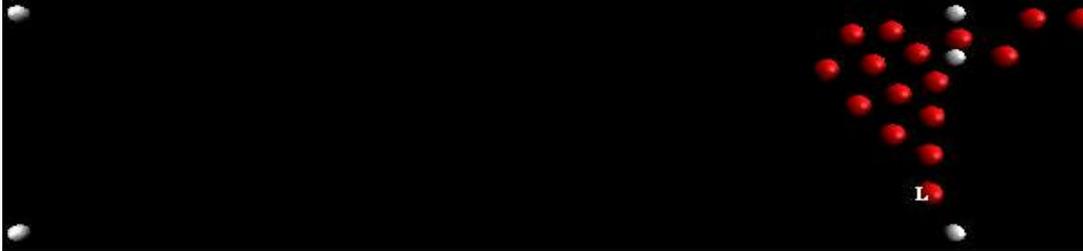
É impressionante como essa simulação feita a partir de um código relativamente simples consegue se aproximar tanto da realidade em certos aspectos como esse. Imagine que uma partícula dessas representa você. A única maneira de escapar da sala é se a pessoa que está entre você e a porta se mover. Agora imagine que formou-se uma fila de escape e você está bem próximo da porta mas não na direção fila. Observe a dificuldade que seria para entrar entre 2 pessoas da fila e conseguir alcançar a saída.

Instante 300



A tendência de aglomeração e o desconhecimento do fenômeno das filas fez com que as partículas se aglomerassem no canto direito. Aqui fica claro que a partícula L será a última a deixar o local.

Instante 600

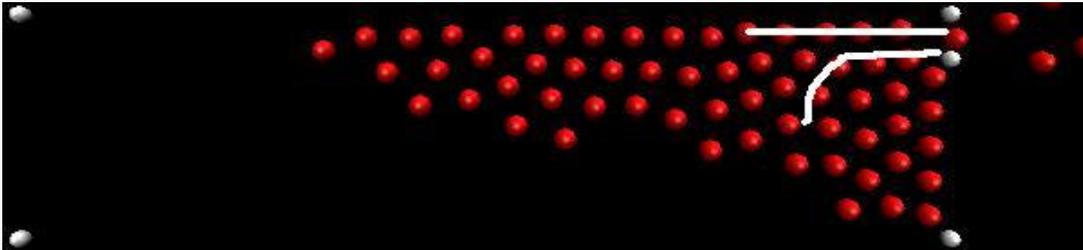


Foram necessários 891 frames para a evacuação completa das 69 partículas presentes. Isso traduz-se num aumento de 11% no tempo, e de 38% na quantidade de pessoas.

- **2.5 Exemplo 5**

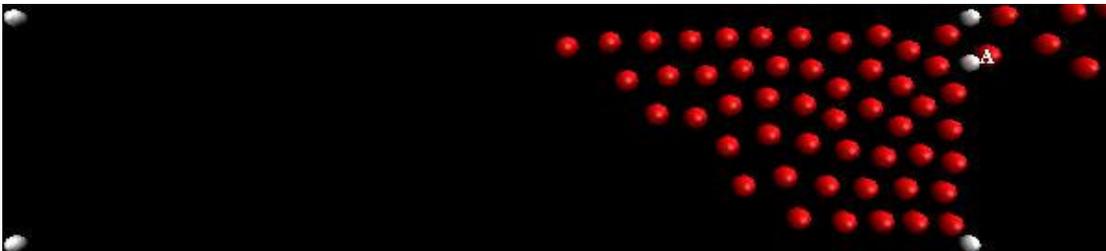
np = 69	dt = 0.001	nstep = 8000	file: aberto48panic.pdb	Panic = 0.8
---------	------------	--------------	-------------------------	-------------

Instante 113



O Exemplo 5 difere do 4 somente pelo parâmetro pânico. Aqui a formação de corredores é mais concentrada e o escape das partículas próximas à parede direita é atrapalhado ainda mais.

Instante 218



A partícula marcada com a letra “A” só deixou a sala no frame número 218. Uma em posição quase igual no exemplo 4 foi a segunda a sair, explicitando que o aumento do pânico favorece a saída das partículas nas filas de escape.

Conclusões

Para configurações inicialmente aleatórias das pessoas no corredor, com igual número se movimentando em sentidos almejados opostos, observamos o fenômeno de formação espontânea de faixas ou pistas. Observamos que este fenômeno depende do tamanho relativo do corredor e da densidade de pessoas. Um estado estacionário, caracterizado por faixas bem definidas, se estabelece mais rápido para uma densidade intermediária ótima. Com densidades baixas, as fileiras não ficam bem definidas. Entretanto para altas densidades, apesar de ser observada a tendência de formação de fileiras ou faixas, surgem também barreiras (engarrafamentos).

A situação de pânico altera o quadro anterior, de modo a apresentar efeitos de congelamento (engarrafamento) para densidades menores.

No caso de evacuações de ambientes fechados, observamos que a ordem de evacuação e o tempo de saída não depende somente da proximidade da saída, mas principalmente, da inclusão em filas de escape.

O pânico aqui exalta a importância da formação das filas de escape, e prejudica a saída de partículas próximas a parede.

O código pode ser manipulado de modo a controlar formato e dimensões de ambientes, densidade de pedestres, velocidade desejada, massa, raio e grau de pânico de cada indivíduo. Assim podemos representar as heterogeneidades presentes em situações realistas.

Os resultados deste tipo de simulações têm potenciais aplicações práticas, por exemplo, no planejamento de disposição e sinalização de saídas de emergência para evacuação otimizada [5].

Referências

- 1- CHOWDHURY, D. et al. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems, **Physics Reports** 329, 199 (2000); HELBING, D., *Traffic and related self-driven many-particle systems*, **Rev. Mod. Phys.** 73, (2001).
- 2 - HELBING, D., MOLNAR, P., Social force model for pedestrian dynamics, **Phys. Rev. E** 51, 4282 (1995).
- 3 - HELBING, D., FARKAS, I., VICSEK, T., Simulating dynamical features of escape panic, **Nature** 407, 487 (2000).
- 4 - Código em Fortran desenvolvido por C. Anteneodo e E. Caffarena. Para a visualização da dinâmica foi utilizado o programa VMD desenvolvido pela Universidade de Illinois.
- 5 - SMITH, R.A., DICKIE, J.F. (eds), *Engineering for Crowd Safety* (Elsevier, Amsterdam, 1993).