## Construção de sistema de pinças óticas

Miguel Boaventura Teixeira Gomes

7 de março de 2016

#### Resumo

Neste relatório apresenta-se uma montagem simples e o respetivo procedimento de para construir uma pinça ótica com um feixe (gradiente de forças). A técnica foi testada para partículas, células de fermento, que se encontram no regime de *Rayleigh*.

### 1 Introdução

#### 1.1 Princípios físicos da manipulação ótica

O estudo da manipulação ótica tem o seu início com *Johannes Kepler*, que observou que a cauda de cometas se orienta sempre para longe do Sol. *Kepler* atribuiu este fenómeno a uma "pressão solar". Mais tarde foi possível medir o momento linear extremamente pequeno de um fotão que por sua vez está associado a forças da ordem do pico-newton.

A primeira experiência que se enquadra na manipulação ótica foi feita por *Ashkin* em 1980 em que as partícula foram observadas a serem conduzidas ao longo de um feixe laser ligeiramente focado.

As primeiras pinças óticas consistiam de dois feixes pouco focados e contrapropagantes. Estas foram mais tarde substituídas pelas que agora são as mais comuns que usam um único feixe [1]. A forma de funcionamento destas últimas pode ser facilmente analisado para partículas no regime de *Rayleigh* usando ótica geométrica (fig.1).

#### 1.2 Usos de pinças óticas

Hoje em dia estes dispositivos tem uma utilização enorme principalmente no ramo da biologia e biofísica. Como a área de micro-manipulação ótica é muito extensa, neste trabalho só se discute a utilização das pinças que foram montadas. Ou seja, um único feixe de perfil gaussiano.

No contexto da biofísica esta técnica permitiu o estudo da dinâmica de moléculas individuais. Quer por manipulação direta da molécula quer, para o caso de macro-moléculas, pela manipulação de coloides ligados à macro-molécula. Esta última configuração também dá liberdade na escolha do laser usado uma vez que não hipóteses de danificar a molécula com o feixe [1].



Figura 1: Visualização do funcionamento da geração das forças que prendem a partícula no foco de um feixe de perfil gaussiano no regime de *Rayleigh*. As imagens (a) e (b) apresentam o comportamento para movimentos da partícula ao longo da direção de propagação do feixe. A mudança de direção dos fotões implica uma variação de momento linear na direção z. Pela conservação do momento linear a partícula é devolvida à posição de equilíbrio. Para movimentos perpendiculares à propagação do feixe o perfil gaussiano afasta raios de maior intensidade dando à partícula momento linear com direção ao feixe principal, criando assim uma posição de equilíbrio horizontal [1, 2].

Para se proceder à quantificação dos fenómenos em estudo é necessário saber as forças aplicadas pela pinça. Um método simples é mover a partícula que está presa a velocidades constantes e determinar quando a partícula de desprende. Sabendo o atrito provocado pelo meio e a forma aproximada da partícula pode-se calcular a força das pinças ótica.

## 2 Montagem experimental

A montagem experimental usada está esquematizada na figura 2.

A amostra estava montada sobre uma carruagem com que se podia fazer translações da amostra. A câmara CCD estava ligada a um monitor onde se podia observar a amostra (fig.3,4). As lentes (3) e (4) funcionam respetivamente como objetiva e ocular do microscópio. Havia ainda um LED de luz branca para iluminar a amostra. Esta luz é necessária uma vez que o espelho dicroico reflete no comprimento de onda  $\lambda = 532$ nm do laser verde usado.

A montagem foi feita na mesa ótica tal como se vê no esquema. O laser e a carruagem que controla a posição da lente (1) estavam numa placa de suporte mais elevada que funciona também como dissipador de calor para o laser. Durante o alinhamento da montagem foi ainda utilizado um atenuador entre o laser e o espelho (5). Desta forma foi possível fazer o alinhamento sem a utilização dos óculos de proteção.

Os valores de  $f_1$  e  $f_2$  devem ser escolhidos de tal forma que o feixe saia do



Figura 2: Montagem experimental usada neste trabalho. As distâncias  $f_1$  e  $f_2$  correspondem às distâncias focais das duas lentes que compõem o telescópio.



Figura 3: Câmara ${\cal CCD}$ usada na experiência para visualizar a amostra.



Figura 4: Ecrã utilizado para visualizar o sinal de vídeo do CCD.

telescópio com diâmetro suficiente para encher a abertura da lente (3) de forma a minimizar o tamanho do foco e consequentemente aumentar o gradiante gerado. Essa abertura foi medida obtendo-se o valor de 5mm de diâmetro e o feixe tinha um diâmetro de 1mm à saída do laser (valor tabelado). Logo, a razão entre as distancias focais deve ser  $f_2/f_1 \simeq 5$ .

#### 2.1 Alinhamento

O alinhamento foi iniciado com o laser e com a carruagem nos seus locais finais. A orientação do espelho (5) foi alinhada com o eixo x usando os orifícios da mesa e uma régua para medir a altura do feixe no lado oposto da mesa. As distâncias focais escolhidas foram 50mm e 250mm para as lentes (1) e (2). Estas lentes usam um suporte que se adapta a várias lentes distintas pelo que foi usada uma lente com distância focal de f = 1000mm no lugar de (1) e (2) para alinhar uma de cada vez de forma a ficarem paralelas ao plano yOz.

Em seguida colocaram-se nos suportes as lentes escolhidas e usou-se a régua para medir o diâmetro do foco à saída de dois e na parede em frente para corrigir a distância entre as lentes e obter um feixe colimado. A torre do periscópio é mais difícil de alinhar uma vez que só tinha um parafuso para alterar a inclinação do espelho (7). Por isso usou-se o espelho dicroico para fazer o alinhamento do conjunto. Para o alinhar começou-se por retirar a lente (3) e colocar na superfície da mesa (abaixo da platina onde se coloca a amostra) um espelho. Depois, usando um papel com um orifício da largura do feixe, mexeu-se na orientação do espelho dicroico até o feixe inicial e o refletido coincidirem. O papel deve ser colocado progressivamente entre o espelho dicroico e (7), entre (7) e (6), entre (6) e (2) e finalmente entre (1) e (5). Neste último, a largura menor do feixe e a grande distância do percurso ótico permitem o alinhamento mais fino.

Este procedimento garante que o sistema está alinhado com a mesa. Em seguida repete-se o procedimento com os espelho na platina e variando a orientação da mesma. Por fim, devolve-se a lente (3) à sua posição e repete-se pela terceira vez o processo com o espelho colocado no suporte da lente.

Para alinhar o microscópio pode ser necessária mais potência o que implica a utilização de óculos protetores. O aumento de potência faz com que seja visível alguma luz do laser que passa pelo espelho dicroico. Essa luz pode ser usada para garantir a formação de imagem no *CCD*. Basta alinhar (8)

até o foco incidir na câmara e em seguida colocar a lente de forma a observar a formação de um foco.

#### 2.2 Preparação da amostra

As partículas utilizadas para testar as pinças óticas foram células de levedura colocadas num lâmina de vidro. A lamela foi colocada por cima com duas fibras óticas a servir de suporte. Estas garantem que as células têm mais liberdade de movimento na direção z. A primeira solução usada teve de ser substituída por ter demasiada concentração de partículas. Para testar convenientemente



Figura 5: Visualização da amostra de leveduras com alta concentração.

as pinças é necessário uma solução diluída. Finalmente, é necessário colocar uma gota de líquido de adaptação de índices de refração na lamela para utilizar objetiva (3) de microscópio de  $100 \times$  de ampliação.

### 3 Resultados

O primeiro resultado observado foi a amostra com o microscópio. A figura 5 mostra o microscópio a funcionar e evidencia a necessidade de reduzir a concentração da solução.

Nas condições observadas é impossível isolar uma única célula e movê-la independentemente. No entanto já se conseguiu observar as partículas a serem atraídas para o foco ao mover o feixe com a carruagem ou ao mover a platina.

As fotografias da figura 6 mostram o foco do laser na amostra. Desta forma é fácil observar a manipulação do feixe através da carruagem na montagem da figura 2. Movendo a lente (1) na direção x consegue-se variar a altura z do foco na amostra. Movimentos da lente nas direções  $y \in z$  correspondem a movimentos do foco nas direções  $y \in x$  respetivamente.

Por fim conseguiu-se a manipulação de partículas individuais. No entanto, observou-se que o gradiente de forças aplicado era fraco e não se conseguiu arrastar a partícula em grandes distâncias. O material e tempo de execução da experiência não permitiram fazer medições, mas o método discutido na introdução para medição da força da pinça foi testado qualitativamente mexendo a platina a diferentes velocidades.

Foram identificadas as principais causas observadas para a falha parcial do funcionamento das pinças óticas. O estado degradado do espelho (6) provoca perda de potência no feixe e degrada o perfil gaussiano. Outra perda de potência



Figura 6: Visualização do foco do laser na amostra.

ocorreu na abertura a lente que não se conseguiu alinhar de forma correta. Finalmente a platina onde se colocou a amostra tinha movimentos pouco precisos que causavam a saída da partícula do foco.

# 4 Conclusão

Foi possível observar a micro-manipulação de células de levedura com uma pinça ótica. A montagem não permitiu uma manipulação forte das partículas mas permitiu um primeiro contacto com a área de manipulação ótica.

### Referências

- Dholakia, K.; Reece, P.; Gu, M. Optical micromanipulation. Chemical Society Reviews. 2007.
- [2] Smith, S. P.; Bhalotra, S. R.; Brody, A. L.; Brown, B. L.; Boyda, E. K.; Prentiss, M. Inexpensive optical tweezers for undergraduate laboratories. 1998.