

Estudo das trajetórias de movimento de bactérias magnéticas iluminadas com luz monocromática

Aluna: Beatriz Silva Lima (CEDERJ-UFRJ)

Orientador: Daniel Acosta-Avalos

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF)

Rio de Janeiro, 2019



Introdução: Bactérias magnéticas

- Apresentam a organela **magnetossoma**, composta por cadeia de nanopartículas magnéticas, como a magnetita (Fe_3O_4) e a greigita (Fe_3S_4);
- Essa cadeia confere um momento magnético a bactéria, permitindo com que o organismo interaja com campos magnéticos, fenômeno denominado **magnetotaxia**.

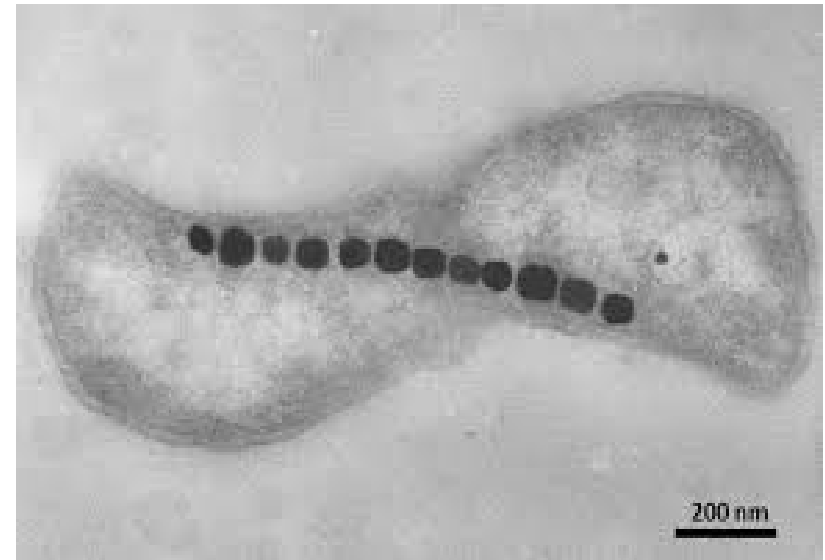


Fig. 1: Magnetossoma no interior de uma bactéria magnética.
Fonte: Nature Education, 2010

Introdução: Bactérias magnéticas

São organismos procariotos flagelados que se movimentam em uma trajetória helicoidal;

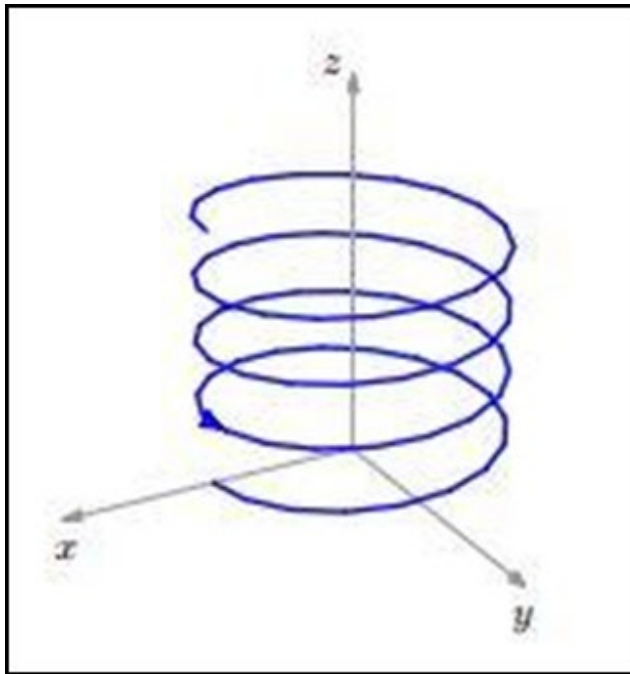


Fig. 2: Trajetória em hélice no qual o eixo está orientado com um campo magnético externo.

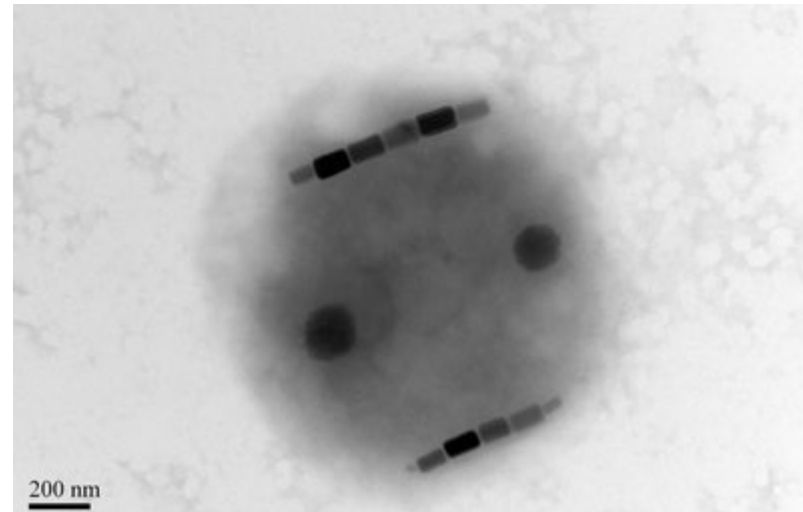


Fig. 3: Bactéria magnética em formato de coco

Candidatus Magnetoglobus multicellularis (CMm)

- São organismos flagelados formados por várias bactérias magnéticas, com região central do corpo acelular, são capazes de se orientar magneticamente;
- Possuem a magnetossoma, composta por nanocristais de greigita (Fe_3S_4) que confere um momento magnético.
- Tem-se observado que a velocidade desses microorganismos é afetado pela luz monocromática.

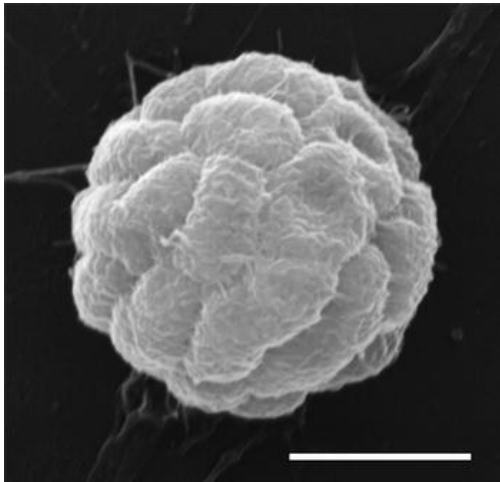


Fig 4: CMm em microscopia eletrônica.

Fonte: Almeida et. Al 2012

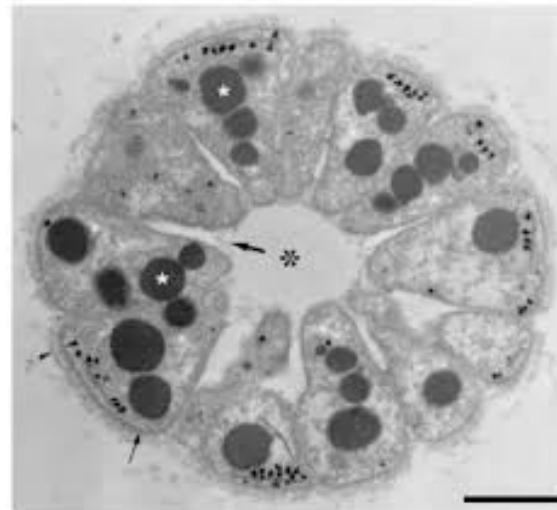


Fig. 5: CMm em corte transversal, em microscopia eletrônica. Fonte: Sobrinho, 2008

Objetivos

- Estudar os efeitos das luzes monocromáticas de diferentes comprimentos de onda no movimento dos CMm da lagoa de Araruama, e pela primeira vez, nas bactérias magnetotáticas encontradas na Lagoa Rodrigo de Freitas, procurando observar quais são as mudanças nos parâmetros de suas trajetórias.

Metodologia

Os métodos foram os mesmos para bactérias e CMm's, que foram utilizados como referência.

- **1º passo:** Coletou-se sedimentos com bactérias magnéticas na Lagoa Rodrigo de Freitas e sedimentos com CMm's na lagoa de Araruama;
- **2º passo:** Foram depositados em aquários nas condições ambientais, e retirou-se uma alíquota, que foi disposta dentro de um concentrador de vidro, com o pólo norte de um ímã em frente à sua extremidade;



Concentrador com imã
em sua extremidade.

Aquário com bactérias
magnéticas.

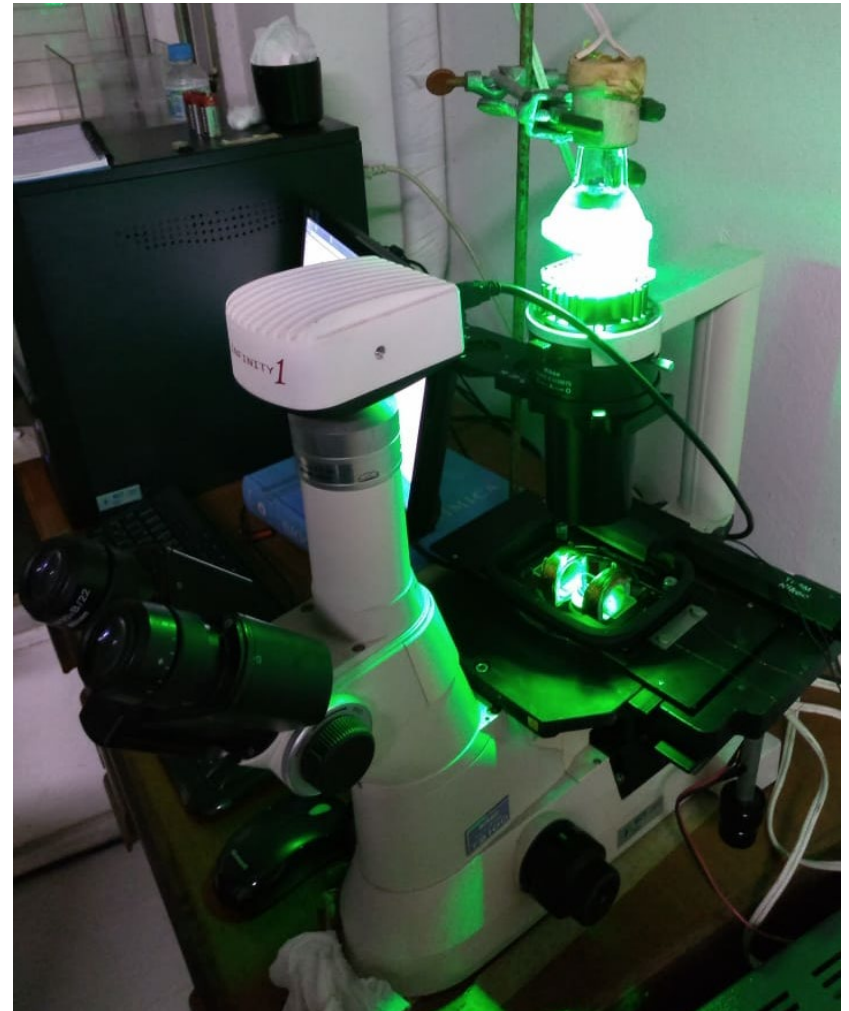


Metodologia

- **3º passo:** Após cerca de 3 minutos, coletou-se uma gota na extremidade do recipiente e então colocou-se na lâmina do microscópio invertido, e gravou-se o movimento através de uma câmera acoplada ao microscópio;
- **4º passo:** Um par de bobinas de cobre estava acoplado no microscópio. E assim, as bactérias foram submetidas à luz de tungstênio do microscópio, e depois, às luzes monocromáticas de cores azul (469 nm), verde (517 nm) e vermelho (628 nm), todas com potência de cerca de 210 mW.



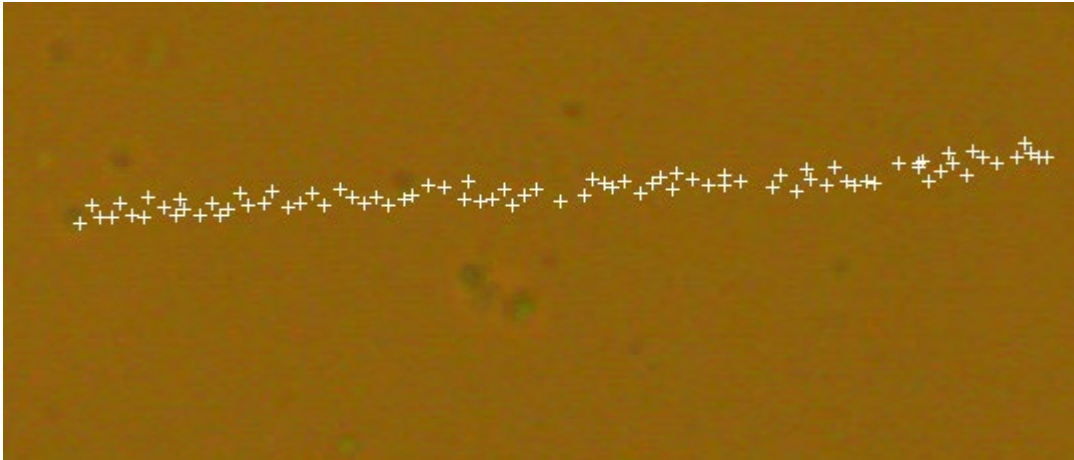
Microscópio invertido Infinity 1 Nikon Eclipse TS100 e par de bobinas associadas a lâmina de amostras dele.



Microscópio invertido associado a uma das lâmpadas LED utilizadas, sendo esta a de cor verde, emitindo um único comprimento de onda.

Metodologia

- **5º passo:** foram analisados os vídeos no *ImageJ*, onde se foi clicando no centro de cada bactéria e marcando com um '+' a cada “passo” dado a cada frame no movimento de nado dela, obtendo as coordenadas x e y de cada ponto marcado.



Trecho da trajetória de uma bactéria magnética sob luz branca do microscópio invertido.

Metodologia

- **6º passo:** As coordenadas x e y de cada bactéria foram transferidas para o programa *Microcal Origin* e foram feitos gráficos de ambas, separadamente, em função do tempo.

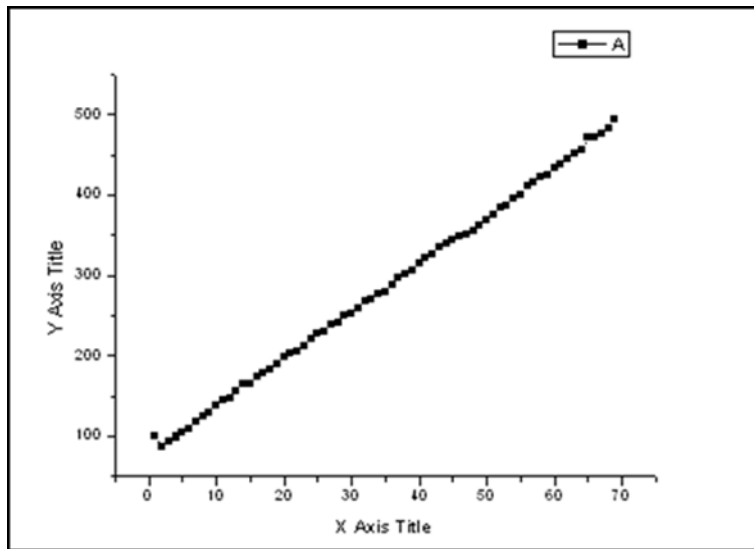


Gráfico da coordenada x em função do tempo

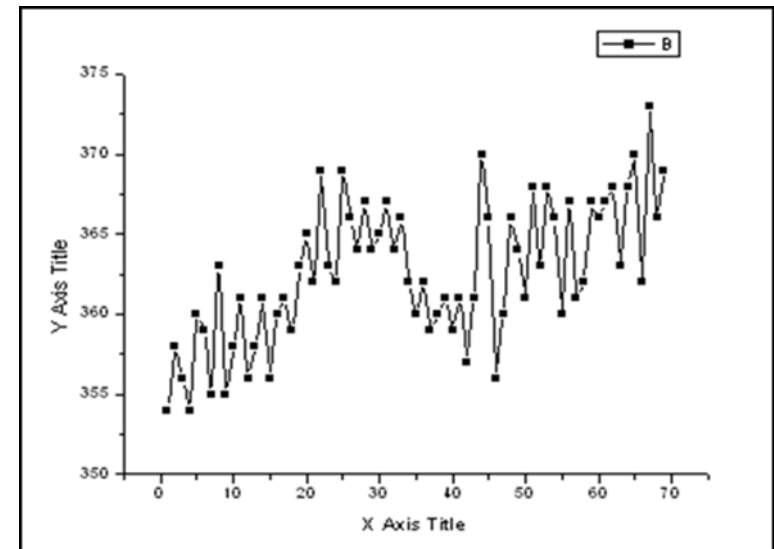


Gráfico da coordenada y em função do tempo

Metodologia

Para obter as componentes da velocidade, foi feito um ajuste linear nos gráficos:

$$x = A + B \cdot t$$

$$y = A + B \cdot t$$

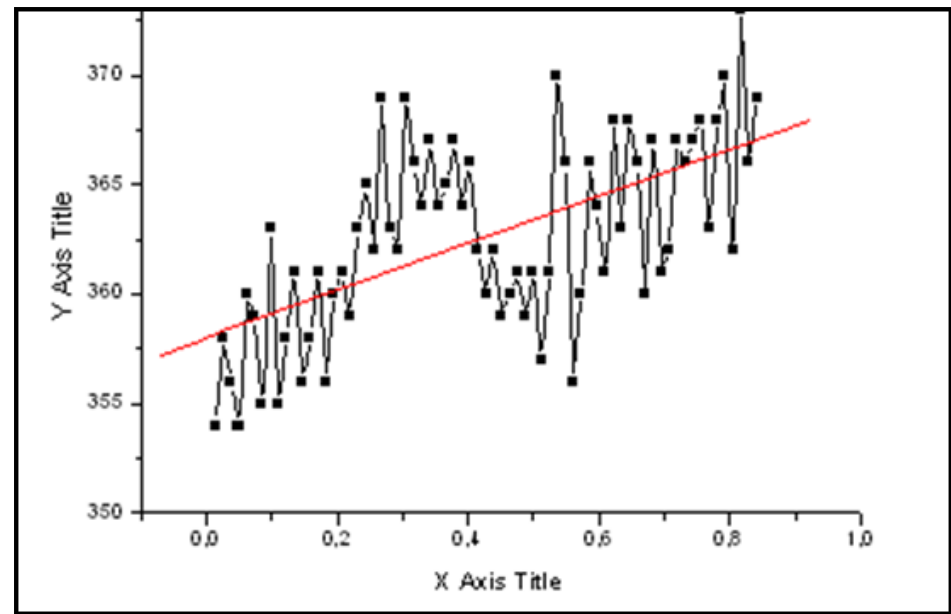
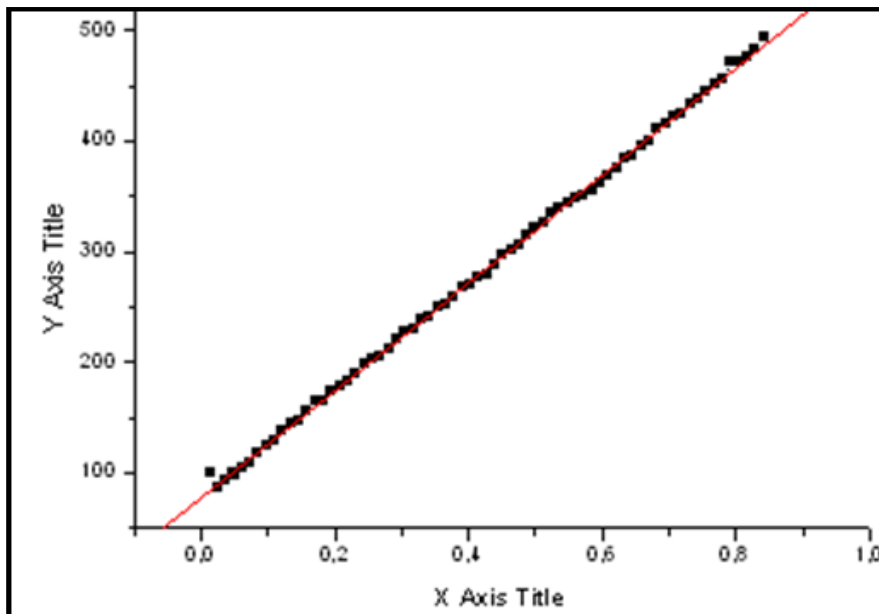


Gráfico da coordenada x em função do tempo

Gráfico da coordenada y em função do tempo

Metodologia

- Para obter as frequências das bactérias foi retirado a linearidade dos gráficos, e assim, foi feito a autocorrelação na coordenada y:

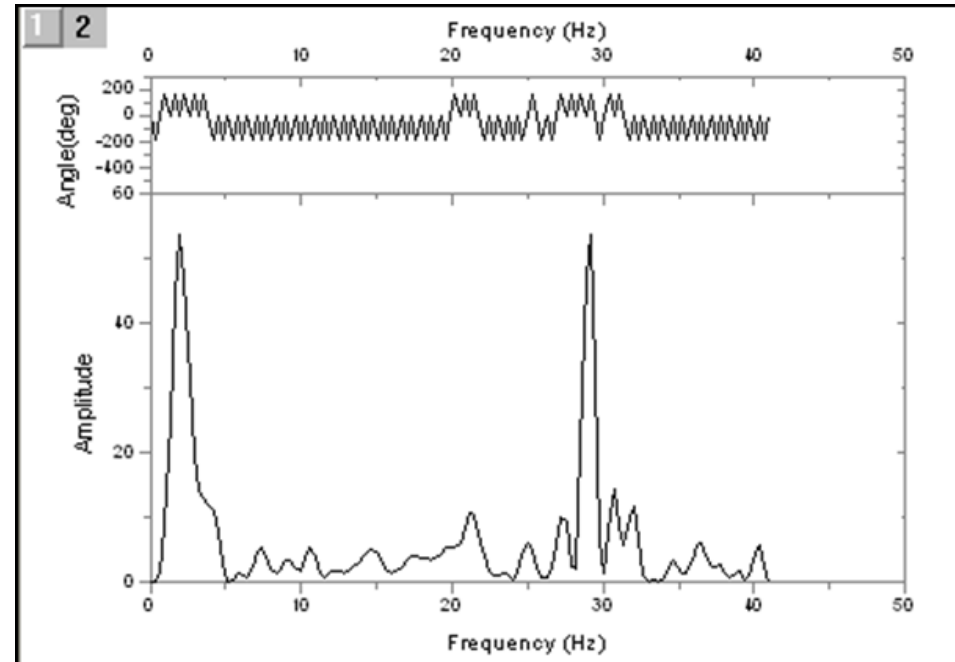
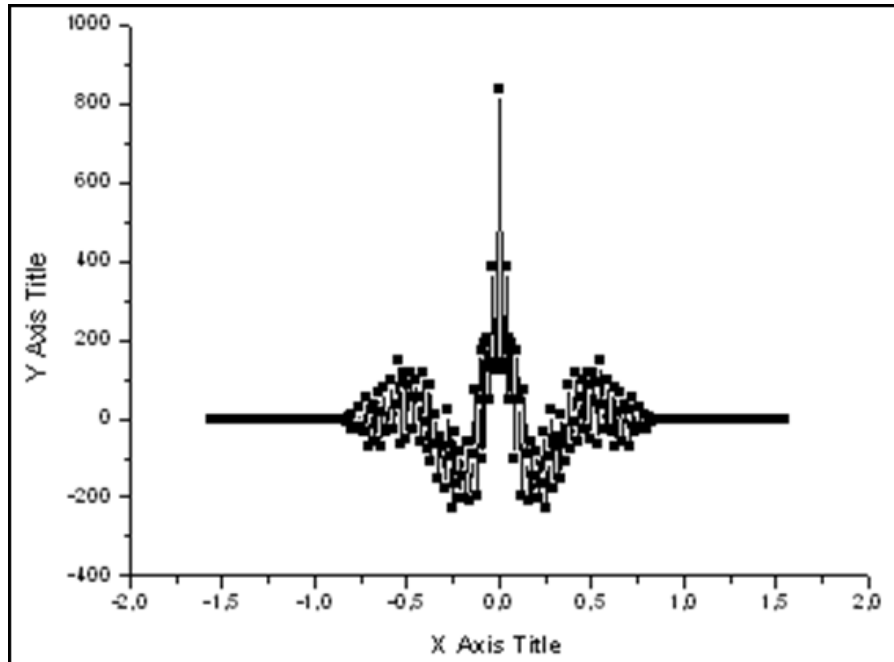


Gráfico da autocorrelação.

Transformada de Fourier aplicada no gráfico de autocorrelação, permitindo ver os picos de frequência.

Metodologia

- No gráfico da componente y, sem a componente linear, em função do tempo, foi realizado um ajuste não linear para obter o raio e a frequência:

$$R1' * \cos((P1' + 6,28 * F1' * x))$$

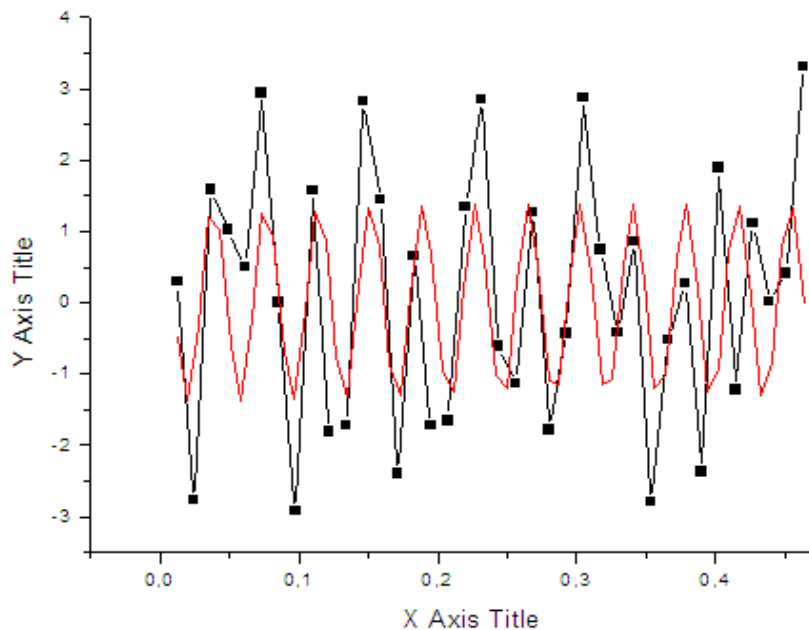
Na fórmula:

R1' – raio

P1' – fase

F1' – frequência

X- tempo



Data: FFTfilter5_Data1D
Model: user1

Chi^2 = 2.32193
R^2 = 0.30231

P1	1.38589	±0.36197
P2	26.48598	±0.29222
P3	1.47355	±0.49668

Na tabela:

P1: Raio

P2: Frequência

P3: Fase

Metodologia

- **7º passo:** coletou-se todos os parâmetros das bactérias adquiridas dos vídeos de todas as luzes, e foi colocado no programa GraphPad InStat, que realizou uma análise estatística.

Resultados: Bactérias

5 Oe	V ($\mu\text{m/s}$)	Freq. 1 (Hz)	R1 (μm)	Freq. 2 (Hz)	R2 (μm)
branca	81.7 ^a	0.50 ^a	0.36 ^a	3.70 ^a	0.15 ^a
azul	52.4 ^b	0.46 ^a	0.23 ^b	5.50 ^b	0.17 ^{ab}
verde	71.2 ^c	0.50 ^a	0.21 ^b	4.55 ^a	0.15 ^{ab}
vermelha	67.5 ^c	0.48 ^a	0.26 ^b	6.15 ^b	0.23 ^{ac}

10 Oe	V ($\mu\text{m/s}$)	Freq. 1 (Hz)	R1 (μm)	Freq. 2 (Hz)	R2 (μm)
branca	71.7 ^a	0.47 ^a	0.25 ^a	7.09 ^a	0.19 ^a
azul	72.8 ^a	0.50 ^a	0.19 ^{ab}	4.44 ^b	0.16 ^a
verde	69.4 ^{ab}	0.45 ^a	0.23 ^{ab}	6.05 ^b	0.18 ^a
vermelha	66.0 ^b	0.45 ^a	0.17 ^b	7.04 ^a	0.18 ^a

Resultados: CMm

5 Oe	V ($\mu\text{m/s}$)	Freq. (Hz)	Raio (μm)
branca	60.9 ^a	0.12 ^a	1.48 ^a
azul	62.2 ^a	0.22 ^b	1.72 ^a
verde	50.3 ^b	0.19 ^b	1.55 ^a
vermelha	77.1 ^c	0.31 ^c	1.53 ^a

10 Oe	V ($\mu\text{m/s}$)	Freq. (Hz)	Raio (μm)
branca	55.4 ^{ab}	0.23 ^a	1.14 ^a
azul	60.3 ^{ac}	0.26 ^a	1.07 ^a
verde	54.1 ^b	0.24 ^a	1.08 ^a
vermelha	64.5 ^c	0.27 ^a	1.07 ^a

Conclusão

- Foi observado pela primeira vez que a luz monocromática influencia o movimento das bactérias magnéticas, de forma semelhante com o *Candidatus Magnetoglobus multicellularis*.
- **Velocidade:** nas bactérias é maior na luz branca do que nas luzes monocromáticas.
- **Raio e Frequências:** nas bactérias e nos CMm, há diferença estatística nesses dois parâmetros para diferentes comprimentos de onda, comprovando que a luz monocromática influencia-os.

FIM!

Obrigada pela atenção!