

Movimento Browniano e suas aplicações matemáticas na medicina **Brownian movement and its mathematical applications in medicine**

Submissão: 26/02/2021 | Fim da revisão por pares: 01/03/2021 | Aceite final: 24/03/2021

Valdecir de Godoy Borges | Universidade de Valença, Brasil | E-mail:
valdecirborgesengclinico@gmail.com

Resumo

O objetivo do presente trabalho é demonstrar através das aplicações matemáticas o movimento Browniano. Considerando-se o objetivo deste estudo, adotou-se a abordagem descritiva qualitativa, exploratória e bibliográfica. O estudo infere que o estudo do movimento Browniano nos trouxe enormes possibilidades de avanços em muitas áreas, entre elas a área da saúde, contribuindo para o avanço não invasivo de diagnósticos, fato importantíssimo, pois causam poucas ou nenhuma seqüela na obtenção de imagens diagnósticas, no mapeamento de determinadas evoluções, como as metaplasias e no deslocamento chamado metástase de determinadas células anômalas ao organismo.

Palavras-chave: movimento browniano, difusão de Langevin, medicina

Abstract

The objective of the present work is to demonstrate, through mathematical applications, the Brownian movement. Considering the objective of this study, a qualitative, exploratory and bibliographic descriptive approach was adopted. The study infers that the study of the Brownian movement brought us enormous possibilities for advances in many areas, including the health area, contributing to the noninvasive advance of diagnoses, a very important fact, as they cause little or no sequel in obtaining diagnostic images, in the mapping of certain developments, such as metaplasias and in the displacement called metastasis of certain anomalous cells to the organism.

Keywords: Brownian movement, Langevin diffusion, medicine

Introdução

A terapeutica é a aplicação do movimento Browniano em se tratando de um movimento atômico, onde partículas se deslocam em meio à átomos e fluidos de substâncias. Iremos abordar possíveis usos e aplicações destes cálculos nos deslocamentos de proteínas (vírus, bactérias, etc.) no tecido e organismos vivos.

Organismo vivo é aquele ser que consegue reagir ao meio com outros organismos e produzir respostas à estímulos, então fico com a classificação de que os vírus são organismos vivos, estudo de cientistas como Einstein do movimento browniano. Algumas bases de estudos como Smoluchowski, em 1912, o físico polonês Marian Smoluchowski teve uma ideia inusitada: construir um motor em nanoescala para converter o movimento browniano em trabalho, estes sistemas físicos de não equilíbrio, desde o nível microscópico, como verificado na difusão de partículas num solvente, até escalas de ordem astronômica, tal como observado em sistemas estelares, um buraco negro (BN) no centro de um sistema estelar denso.

Teoricamente, quando sua massa é muito grande, o BN pode adquirir um movimento que é semelhante ao de uma partícula em suspensão num líquido ou num gás. Estes exemplos nos norteiam para aplicação deste movimento universal do micro e macrocosmos na medicina, em suas possíveis aplicações médicas e terapêuticas, e de exames com detalhes de deslocamento (ICMC, 2020). Trabalhos teóricos sobre a sedimentação de um agregado de partículas tiveram início com Brinkman (1947); Ooms, Mjinlieff e Beckers (1970) entre outros pesquisadores, da equação de Navier-Stokes para o escoamento externo ao agregado, e utilizar as equações de Darcy ou de Brinkman para o escoamento interno.

Segundo Marco Vanni (1999), nos interessa também ainda, que observemos de maneira breve e dinâmica de agregados de partículas de forma que as bactérias principalmente tendem a se agregar, a adesão de diferentes estirpes de bactérias é também influenciada pelas propriedades físico-químicas e termodinâmicas do substrato envolvido. As forças de Vander Waals governam as interações envolvendo uma variedade de moléculas e são responsáveis pela estabilidade de complexos intermoleculares e absorção de diferentes elementos na superfície, como estas e outras forças influenciam no movimento Browniano, como estas forças de adesão nas bactérias são influenciados pelo movimento Browniano.

Entre dois corpos, é resultante da ação combinada entre as forças atrativas de Lifshitz-van der Waals e as forças de dupla camada elétrica, obviamente num processo de movimento Browniano, exerce uma força significativa nestes processos e na área de diagnósticos então se sobrepõem estes estudos do movimento Browniano, como diagnóstico raios X ressonância magnética, tomografia computadorizada, o deslocamento de partículas nos possibilitou trazer a luz acontecimentos que antes só poderia ser observado com incisões cirúrgicas observatórias.

Um modelo simplificado para descrever o comportamento de uma partícula sujeita a uma força aleatória $f(t)$, resultado dos constantes choques com as moléculas do líquido e, que resultam em uma trajetória completamente ao acaso, é conhecido como caminho aleatório. As variáveis que descrevem as distribuições de probabilidade são deslocamento médio e deslocamento quadrático médio.

Para descrever o modelo, caminho aleatório no caso do raio X, até hoje não conseguimos ter um controle adequado das partículas, maior parte delas em exames se perde em trajetórias não programadas, mesmo os aparelhos mais modernos ainda se tem uma perda muito grande das partículas por não sabermos prever seu deslocamento claro, sabendo sua trajetória seria mais fácil corrigi-la conforme a necessidade, na ressonância magnética, difusão mede o movimento brown, das moléculas de água e é especialmente sensível a alterações isquêmicas precoces (ICMC, 2020).

Difusão é um processo de transporte de matéria, no qual um soluto é transportado de uma região de elevada concentração para uma região de menor concentração, devido ao movimento térmico randômico (movimento browniano) de todas as partículas à temperaturas superiores ao zero absoluto (-273°C), observa-se claramente o quanto nos é importante estes movimentos universais na área da saúde e medicina os quais nos possibilita antecipar, prever acontecimentos e diagnosticar com maior precisão de localização espacial e ainda prever o deslocamento futuro de determinadas enfermidades como no caso de metástases e ou processos isquêmicos e evoluções de início e término, como por um exemplo, um infarto do miocárdio, a possibilidade e probabilidade de deslocamento e obstrução de um trombo em determinada artéria coronária e seus possíveis efeitos nos possibilitando ter uma visão mais precisa de um pós diagnóstico mais ou menos favorável, o que permite um tratamento mais eficaz e menos agressivo ao paciente.

É de suma importância o estudo de como os vírus e bactérias se deslocam entre

os átomos do organismo, entre os fluídos do organismo, entre as camadas de células, qual a tendência de deslocamento e qual a consequência destes deslocamentos.

O objetivo do presente trabalho é demonstrar através das aplicações matemáticas o movimento Browniano.

Metodologia

Considerando-se o objetivo deste estudo, adotou-se a abordagem descritiva qualitativa, exploratória e bibliográfica. De acordo com Triviños (1987), a pesquisa descritiva pretende descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade. Para Mattar (2005) uma pesquisa exploratória tem como finalidade propor um maior conhecimento sobre a temática ou problema de pesquisa.

Quanto a abordagem do problema, a presente pesquisa pode ser caracterizada como qualitativa, pois: Considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Esta não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Segundo Triviños (1987), os estudos exploratórios permitem ao investigador aumentar sua experiência em torno de determinado problema. Outras vezes, deseja delimitar ou manejar com maior segurança uma teoria cujo enunciado resulta demasiado amplo para os objetivos da pesquisa que tem em mente realizar.

Segundo o autor a pesquisa bibliográfica é dispendiosa e exige do pesquisador um trabalho intenso e postura crítica acerca do material levantado. Além disso, faz-se necessário como demonstrado que a revisão faça parte do trabalho como um todo e não como uma etapa isolada como uma maneira de elucidação e validação do material abrangido (GIL, 2008).

Resultados

Inicaremos nossos estudos com as bases teóricas de sustentabilidade, que são sustentação epítome de alguns teóricos citados anteriormente, como fórmulas matemáticas para tais conclusões e hipóteses. Einstein, baseou-se na semelhança e

comportamento de soluções e suspensões diluídas na relação de coeficiente de difusão e viscosidade, raciocínio probabilístico. Einstein chega à expressão do percurso quadrático médio do movimento browniano:

Figura 1: Percurso quadrático do movimento Browniano

$$\langle x^2 \rangle = 2Dt = \frac{RT}{3\pi N_A a \eta} t, \quad (4)$$

Fonte: Adaptado de ICMC, 2020.

Dando sequência aos estudos e citando os trabalhos de Einstein e Smoluchowski, Langevin publica uma demonstração do movimento de uma partícula em suspensão, incluindo a força de Stokes. O coeficiente de viscosidade cinemática de um líquido pode ser obtido pela expressão da força de arrasto F_D de Stokes:

Figura 2: força de arrasto F_D de Stokes

$$\mu = \frac{2r^2}{9\nu_{esf}} (\gamma_{esf} - \gamma_{fluido})$$

Fonte: Adaptado de ICMC, 2020.

A lei de Stokes é geralmente aplicada para o escoamento de um fluido viscoso, incompreensível em torno de uma esfera para número de Reynolds menor que 1.

A viscosidade pode ser encarada como o atrito interno dos líquidos, isto é, o atrito que as várias camadas de um líquido encontram ao escoarem uma sobre as outras; "manter a agitação da partícula, e em cuja ausência a força de atrito viscoso acabaria conduzindo ao repouso".

As probabilidades de deslocamento de uma partícula, digamos que podem ser bidimensional, tridimensional, ser eixo XY ou ser eixo XYZ, num determinado intervalo de tempo t $p(\Delta)d\Delta$ a probabilidade da partícula se deslocar entre Δ e $\Delta + d\Delta$ no intervalo de tempo τ . A densidade de probabilidade deve ser simétrica, $p(\Delta) = p(-\Delta)$ desenvolvendo-se a idéia e transformando em números possíveis de se chegar a probabilidades de deslocamento, Einstein conclui que o valor médio do desvio quadrático da energia depende do número de partículas microscópicas; no caso de um fluido, o desvio relativo torna-se absurdamente pequeno, sem nenhuma chance de ser observado.

Entrando novamente no contexto de exames, diagnósticos por imagem, ressonância magnética, imagem de ressonância magnética ponderada na sequência de difusão (DWI), diz respeito ao movimento ao acaso, também conhecido como movimento "browniano" (ICMC, 2020). Difusão isotrópica, ou seja, não existe uma direção pré-determinada para deslocamento, podendo se deslocar em qualquer direção especial, ou seja, XYZ, esta forma de difusão quando alinhada e estruturada pelos campos magnéticos, pode formar imagens por difusão, onde são chamadas de imagens ponderadas em difusão, quanto maior for o sinal final, ou seja, quanto menos difusão houver na amostra medida, mais claro será o voxel elemento de um volume de imagens. As possibilidades de alinhamento atômico tem sua raiz no conhecimento do movimento Browniano, esse conhecimento nos trouxe à luz o mundo microscópico e uniu este mundo microscópico ao mundo macroscópico (ICMC, 2020).

Na presença de autos gradientes magnéticos, o movimento Browniano causa uma atenuação no sinal, serve como o filtro, basicamente se destacando aqui também a importância do movimento Browniano. No caso do uso de contraste para observar anomalias e patologias anatômicas, caso por um exemplo, de um aneurisma nas artérias, digamos femorais, mesmo o contraste que possibilita ver estas deformações nas estruturas do órgão, aplicar-se também a teoria do movimento Browniano, se compreendermos como estas partículas se comportam no meio fluido, qual sua probabilidade quadrática de deslocamento, sem sombra de dúvidas nos tira a luz, questões muito importantes nos diagnósticos de lesões como desfigurações ou metaplasias de determinados órgãos ou determinados sistemas, em imagem cito também no caso imagem por ressonância magnética, cito efeito de Larmor. Joseph Larmor (1857-1942), o efeito de um campo magnético sobre partículas carregadas que descrevem órbitas circulares conhecidas como frequência de Larmor.

A imagem por ressonância magnética é um método muito bom para partes moles com menos diferença de densidade e mesmo com pouca diferença de densidade nos possibilita imagem de alta qualidade, facilitando o diagnóstico de imagem obviamente está ligada a qualidade da imagem gerada, no caso dos órgãos por imagem conhecimento do deslocamento quadrático de determinada partícula no meio atômico influencia na qualidade destas imagens, o aprofundamento na questão do comportamento atômico especial e seus deslocamentos e previsibilidade nestes deslocamentos, estaremos assim fazendo com que as imagens tenham maior

demonstração da realidade de determinada estrutura.

O número de Advogado também teve essa premícia de nascer da ideia do movimento Browniano e seus estudos por Carlo Avogadro (1776-1856) em seu trabalho, volumes iguais de todos os gases à mesma temperatura e pressão contêm o mesmo número de moléculas, o número de Avogadro e, conseqüentemente, um mol é igual à cerca de $6,022 \times 10^{23}$, ou seja, cerca de 600 trilhões de bilhões. Isso é, por definição, equivalente ao número de átomos de 12 gramas de carbono-12 neste ambiente de trilhoies de bilhoes de átomos, uma partícula se desloca aleatoriamente, existem possibilidades gigantescas de colisões, choques com estas estruturas atômicas.

Utilizando se o conhecimento do movimento Browniano, podemos prever numa situação de probabilidade, a propagação de determinadas partículas como bactérias e vírus no ato de espirar de um indivíduo e como estas partículas se propagaram em meios à mistura de gases e sobre efeito de uma atmosfera por exemplo.

Tendo estes pré conhecimentos, mesmo que sejam em caráter de probabilidade, são valiosos para controle de propagação de patógenos entre os seres e valiosos no sentido de estudos de tempo e espaço e também de suspensão dos mesmos baseando-se na área quadrática do movimento Browniano.

A probabilidade, por um exemplo, de determinado vírus ficar em suspensão em uma atmosfera em determinado ambiente levando se em conta quantidade provável de choques e se estes choques atômicos poderiam ou não interferir em sua cápsula de proteína e qual tempo médio para que este vírus chegue ao solo. Obviamente chegando ao solo sua capacidade de transmissão diminui muito e a sua probabilidade de inativação aumenta consideravelmente.

Considerações Finais

Desta forma, o estudo do movimento Browniano oriundos da observação científica e do espírito científico, nos trouxe enormes possibilidades de avanços em muitas áreas, entre elas, a área da saúde contribuindo para o avanço não invasivo de diagnósticos, fato importantíssimo, pois causam poucas ou nenhuma sequela na obtenção de imagens diagnósticas no mapeamento de determinadas evoluções como as metaplasias e no deslocamento chamado metástase de determinadas células anômalas ao organismo. Todo este número de possibilidades nasceu do estudo de célebres

cientistas que enxergaram além do que pode os olhos e a imaginação de muitos.

Referências

ARAUJO, Emiliane Andrade, ANDRADE, Nélio José de; CARVALHO, Antônio Fernandes de; RAMOS, Afonso Mota; SILVA, Cleuber Antônio de Sá; SILVA, Luis Henrique Mendes da. Aspectos coloidais da adesão de micro-organismos. Quím. Nova vol.33 no.9 São Paulo 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000900022 Acesso em: 01/02/2021

CERQUEIRA, Wilber Oliveira. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA SEDIMENTAÇÃO DE UM AGREGADO DE PARTÍCULAS EM UM FLUIDO VISCOZO. trabalho de graduação departamento de engenharia mecânica, 2015. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/14634/1/2016_WilberOliveiraCerqueira.pdf Acesso em: 08/02/2021.

FIGUEIRA, Jalves S. Movimento browniano: uma proposta do uso das novas tecnologias no ensino de física. Rev. Bras. Ensino Fís. vol.33 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172011000400015. Acesso em: 29/01/2021

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GUIMARAES, Marcos Duarte; SCHUCH, Alice; HOCHHEGGER, Bruno; GROSS, Jefferson Luiz; CHOJNIK, Rubens; MARCHIORI, Edson. Ressonância magnética funcional na oncologia: estado da arte. Publicação Científica Oficial do Colegio Brasileiro de Radiologia e Diagnostico por Imagem, 2014. Disponível em: http://www.rb.org.br/detalhe_artigo.asp?id=2510&idioma=Portugues Acesso em: 18/02/2021

HAGE, Maria Cristina Ferrarini Nunes Soares; IWASAKI, Masao. Imagem por ressonância magnética: princípios básicos. Cienc. Rural vol.39 no.4 Santa Maria July 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-

84782009000400051Acesso em: 08/02/2021

ICMC - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – USP. Disponível em: <https://www.icmc.usp.br/> Acesso em: 12/02/2021

MATTAR, F. N. Pesquisa de marketing. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SALINAS, Silvio R.A.. Einstein e a teoria do movimento browniano. Rev. Bras. Ensino Fís. vol.27 no.2 São Paulo Apr./June 2005. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172005000200013#:~:text=A%20teoria%20de%20Einstein%20do,difus%C3%A3o%20anticipando%2Dse%20%C3%A0s%20teorias. Acesso em: 02/02/2021

SERKOVA NJ, Garg K, BRADSHAW-PIERCE EL. Oncologic imaging endpoints for the assessment of therapy response. Recent Pat Anticancer Drug Discov. 2009;4:36–53

SOUZA, Edna Marina de Souza; CASTELLANO, Gabriela; BALDISSIN, Maurício Martins e COSTA, Eduardo Tavares. Imagens de Ressonância Magnética Ponderadas por Difusão e Mapas de ADC Aplicados ao Estudo de Tumores Cerebrais: Atualidades e Perspectivas. Disponível em: <http://www.neurodiagnose.com.br/imagens-mapa-adc.pdf>. Acesso em: 01/02/2021

TRIVIÑOS, Augusto Nivaldo Silva. Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

UNICAMP. Trombose de basilar e infarto de ponte na anemia falciforme. Disponível em: <http://anatpat.unicamp.br/rpganemiafalc9.html> Acesso: 10/02/2021

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - Escola de Engenharia de Lorena – EEL - A queda em meio viscoso, a Lei de Stokes. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4424709/mod_resource/content/1/Roteiro%204%20-%20Viscosidade%20de%20um%20l%C3%ADquido.pdf. Acesso em: 22/02/2021