ESTUDO DOS MICRO ROBÔS E SUA APLICABILIDADE NA MEDICINA

Bruno Bonandi Vidal[1], Heitor Delesporte Conceglieri[1], João Felipe Moreira Alves[2], Odair de Barros Júnior[3]

1 – Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica
2 – Acadêmico do curso de Engenharia da Computação
3 – Mestre em Engenharia Elétrica – Professor Multivix – Vitória

RESUMO

Doença, enfermidade, existem tantos termos para se referir à alteração biológica do estado de saúde de um ser (humano, animal etc.), manifestada por um conjunto de sintomas perceptíveis ou não. Tais termos estão na mídia de forma ostensiva nos últimos meses por conta da recente pandemia e quarentena devido ao novo COVID-19. Entretanto, o furor, o pânico e a preocupação gerada deixam algumas perguntas sem respostas, sendo uma destas a seguinte: as outras doenças, como o câncer, estão sendo deixadas de lado, esquecidas com o foco voltado para a atual situação mundial. Os estudos para avanço nas descobertas de novos tratamentos e a busca de curas, mesmo não sendo noticiadas ou presentes nas manchetes, continuam. O objetivo do presente artigo é apresentar e analisar os micro robôs através de uma revisão bibliográfica de alguns artigos de estudiosos e engenheiros a respeito de parâmetros como movimento, propulsão e benefícios de alguns modelos de dispositivos visando a inserção destes na medicina oncológica buscando a interação e a ajuda que a tecnologia pode fornecer à Medicina. Num futuro próximo, o foco é que se tenha, no cenário oncológico, novos tratamentos que sejam menos invasivos, menos destrutivos e mais acessíveis a um número maior de pessoas, em relação a quimioterapia e a radioterapia, por exemplo.

Palavras Chave: Doença. Câncer. Micro robôs. Oncologia. Tecnologia.

1 INTRODUÇÃO

Doença, enfermidade, existem tantos termos para se referir à alteração biológica do estado de saúde de um ser (humano, animal etc.), manifestada por um conjunto de sintomas perceptíveis ou não. Tais termos estão na mídia de forma escancarada nos últimos meses por conta da recente pandemia e quarentena devido ao novo COVID-19. Entretanto, a crescente ocupação com as estratégias de combate ao COVID-19, provocam uma redução nos esforços de combate a outras doenças, como o câncer, que continuam necessitando dos mesmos cuidados de antes da atual situação mundial.

Os estudos para avanço nas descobertas de novos tratamentos e a busca de curas, mesmo não sendo noticiadas ou presentes nas manchetes, continuam. Num futuro próximo o foco é que se tenha, no cenário oncológico, por exemplo, novos tratamentos que sejam menos invasivos, menos destrutivos e mais acessíveis a um número maior de pessoas, em relação a quimioterapia e a radioterapia, sendo inserida a ideia do uso de nanotecnologia para auxílio nos tratamentos.

O termo nanotecnologia, conforme Ferreira e Rangel (2009), foi introduzido pelo engenheiro japonês Norio Taniguchi, para designar uma nova tecnologia que ia além do controle de materiais e da engenharia em microescala. Entretanto, o significado do termo atualmente se aproxima mais da formulação de Eric Drexler, que corresponde à metodologia de processamento envolvendo a manipulação átomo a átomo. E, segundo Silva (2006) a respeito da nanotecnologia, dada a necessidade de partilhar conhecimentos acerca deste novo mundo, as fronteiras entre áreas tecno científicas estabelecidas tornam-se difusas, numa cooperação multidisciplinar entre a ciência de materiais, a mecânica, a eletrônica, a robótica, a biologia, a química e a física.

Em análise, através de uma pesquisa quantitativa e qualitativa, o presente estudo apresenta-se como um compêndio de projetos e modelos de micro robôs já estudados e projetados. Dividindo-se em 6 seções sendo: “Referencial Teórico” apresentando alguns modelos e projetos de micro robôs analisados e suas características, assim como os problemas enfrentados para a implantação da nanotecnologia na medicina e, possíveis e futuras aplicações; “Metodologia da pesquisa” apresenta como foi concebida a pesquisa e estudo para este projeto; “Resultados e discussões” traz à luz alguns resultados dos estudos analisados em forma de texto corrido, quadros e imagens; “Considerações” expõe uma análise final dos autores após os estudos para a realização deste projeto; “Referências” aponta os estudos, artigos e livros tomados como base.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BIOENGENHARIA E MICRO ROBÔS

Segundo Sitti (2015), um dos maiores impactos científicos e sociais em potencial de robôs móveis não unilaterais de pequena escala, seriam suas aplicações de assistência médica e de bioengenharia. Hu (2018) complementa dizendo que “os robôs de pequena escala sem amarras (de vários milímetros até alguns micrômetros em todas as dimensões) que podem acessar espaços confinados e fechados de forma não invasiva podem permitir aplicações em micro fábricas, como a construção de andaimes de tecido por montagem robótica, em bioengenharia, como manipulação celular e biossensor e na área da saúde, como a administração de drogas direcionada e cirurgia minimamente invasiva”. Como alternativa aos dispositivos médicos existentes, como endoscópios e cateteres flexíveis,

os mili/micro robôs médicos móveis podem acessar regiões complexas e pequenas do corpo humano, como gastrointestinal (GI), cérebro, medula espinhal, capilares sanguíneos e no interior do olho, sendo minimamente invasivo e poderia até permitir o acesso a regiões de tamanho submilimétrico sem precedentes no interior do corpo humano, as quais não foram possíveis de acessar atualmente com nenhuma tecnologia de dispositivo médico. Ryan (2016) afirma que "o controle sem fio de pequenos dispositivos é uma perspectiva interessante devido à capacidade desses dispositivos de acessar espaços fechados, como aqueles dentro do corpo humano".

Como alternativa aos endoscópios flexíveis usados no trato gastrointestinal, as cápsulas endoscópicas engolíveis do tamanho de comprimidos com câmera de bordo e um dispositivo de transmissão de imagem sem fio foram comercializadas e usadas em hospitais desde 2001, que permitiu o acesso a regiões que eram impossíveis de acessar antes e reduziram os problemas de perda de trabalho relacionados ao desconforto e sedação, nesse sentido segundo Lee (2020) "a endoscopia por cápsula WIRELESS (WCE) permite que os médicos visualizem os órgãos internos para diagnóstico e potencialmente para intervenção".

No entanto, a cápsula endoscópica é limitada ao monitoramento passivo do trato GI por imagem ótica, pois os médicos não têm controle sobre posição, orientação e funções da cápsula. Vários grupos propuseram cápsulas endoscópicas robóticas ativas na última década, sendo que estes dispositivos poderiam ser controlados de forma a obter imagens ativas e ter outras funções médicas, como o modelo de Zhang.

Na bioengenharia, os micro robôs móveis, devido à sua capacidade de manipular micro entidades biológicas individuais com alta precisão repetidamente, podem ser usados como um novo estudo científico ou ferramenta de prototipagem para engenharia de tecidos, por exemplo montagem e controle de blocos de construção de tecidos regenerados, e biologia celular como estudos de célula única, manipulando células não móveis ou móveis.

2.2 MODELOS DE MICRO ROBÔS

2.2.1 Modelo de Zhang

Segundo Zhang (2009), um micro robô em formato de cápsula sem fio controlado pela rotação do campo magnético externo apresenta operação sem contato, alta

confiabilidade, segurança e tem o potencial de entrar no corpo humano para aplicações em engenharia médica de interposição.

Os resultados experimentais demonstram que o torque magnético é forte o suficiente para conduzir a cápsula robôs nadando horizontalmente e verticalmente em um cano cheio de óleo de silicone e o sistema de robô proposto tem o potencial de entrar no sistema digestivo e circulatório dentro do corpo humano para aplicações de engenharia médica.

Zhang apresentou um modelo de micro robô em cápsula (Figura 1) com atuadores, tanto externo quanto interno, que são cilindros magnéticos de Nd-Fe-B com vários polos magnéticos com formato tegular alternando com magnetização radial diferente. Através do acoplamento com o campo magnético rotacional gerado pelo atuador externo rotativo, o robô é girado por um atuador interno incorporado e o impulso axial é gerado pela pressão dinâmica do fluido que se distribui na superfície externa do robô com lâmina espiral, assim o movimento de parafuso do micro robô é realizado.

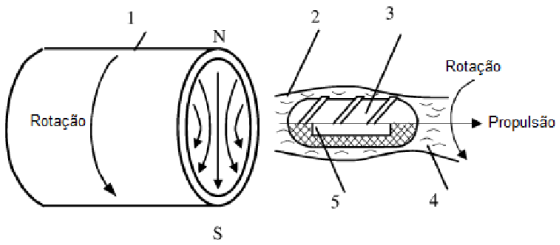
A lâmina em espiral é localizada em torno da superfície externa do robô. Quando o robô é girado, a propulsão é gerada pela pressão dinâmica desenvolvida pela rotação relativa entre a lâmina em espiral do robô e a parede interna do tubo. Se existir um deslocamento axial entre a seção do meio do atuador externo e do robô, o atuador externo gera uma força elástica magnética ao longo da direção axial, que aumenta com o aumento do deslocamento axial e exerce sobre o robô como uma propulsão auxiliar, portanto transmitindo o torque magnético e, a força resultante da força elástica magnética e a propulsão dinâmica do fluído servem como efeito “força e parafuso”, que é um método eficaz para conduzir o robô para a frente no intestino.

Figura 1 – Protótipos de robôs com diferentes passos de parafuso.

Fonte: Zhang et al, 2009

Figura 2 – Diagrama esquemático do robô e do campo magnético rotacional.

1. Atuador externo 2. Intestino 3. Robô em cápsula 4. Líquido 5. Atuador interno



Fonte: Zhang, 2009

2.2.2 Modelo de Ren e Dong

Segundo Ren e Dong (2010), geralmente, o micro robô tem dimensões muito pequenas ou move-se ligeiramente. O estudo sobre micro robôs está se tornando o foco do MEMS (Micro Electronic and Mechanical System - Micro Sistema Eletrônico e Mecânico), já que o robô pode entrar em um espaço muito pequeno para trabalhar e explorar. O micro robô nadador é um novo tipo de robô que é conduzido por micro drivers e simula o mecanismo de movimento aquático.

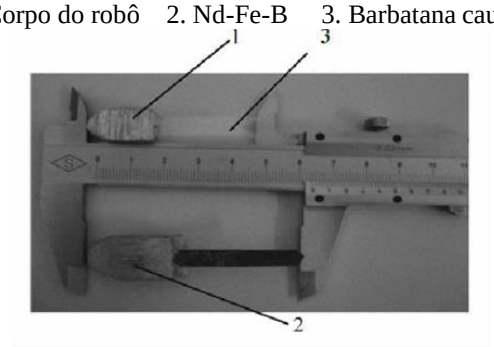
Tendo isto em vista, apresentaram um modelo de micro robô dirigido por campo magnético externo. Um ímã permanente é embutido no robô e bobinas magnéticas externas consistem em bobinas de gradiente, os ímãs do inversor gerados pela corrente de carga para a bobina externa atuam sobre o ímã incorporado no robô para obter a força necessária e ajustar o torque do inversor para atender aos seus requisitos.

A estrutura do micro robô e sua barbatana é mostrada na Figura 3. A cabeça é a boia e é feita de ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno). O micro robô possui a cabeça de forma simplificada com um ímã Nd-Fe-B de 3 mm x 3 mm incorporado e uma cauda imitando uma barbatana lunada caudal na parte traseira, para melhor reduzir a resistência.

O princípio de funcionamento do robô é mostrado na Figura 4, que é converter energia magnética em vibração mecânica de sua cabeça com ímã de Nd-Fe-B que aciona a vibração da barbatana caudal de cobre na ação e produz força propulsora sob a ação de acoplamento entre a cauda e o líquido vibrados através da alteração da frequência do tempo variando o campo magnético.

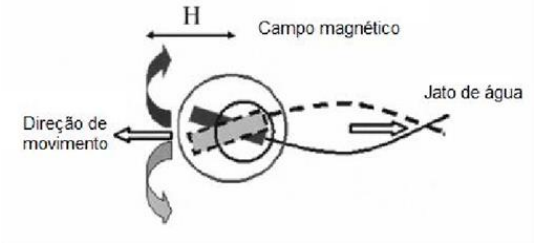
Figura 3 - Esboço da barbatana traseira de diferentes comprimentos.

1.Corpo do robô 2. Nd-Fe-B 3. Barbatana caudal



Fonte: Ren e Dong, 2010

Figura 4 - Mecanismo de acionamento do micro robô.



Fonte: Ren e Dong, 2010

2.2.3 Modelo de Matsumoto

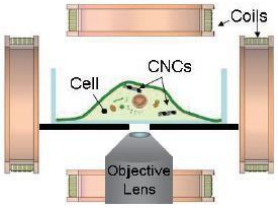
Por sua vez, Matsumoto e alguns outros pesquisadores apresentaram uma nova aplicação de nano bobinas de carbono (CNC's) como nano robôs intracelulares. Nano robôs com CNC foram fabricados com sucesso e dispersos em água, revestindo-os com polímero 2-metacriloiloxietil de fosforilcolina (MPC). As CNC's tinham diâmetro de 700 nm, espessura de 250 nm e passo de 350 nm.

Os nano robôs foram feitos para nadar em um meio aplicando um campo magnético uniforme gerado por três pares de bobinas magnéticas entre si. O campo tinha uma densidade de fluxo magnético de 3,5 mT. Os nano robôs nadaram a uma velocidade de 0,45 m/s girando seu corpo, a direção do movimento era controlada pela troca do campo magnético.

Segundo Matsumoto (2011), no número de Reynolds (número adimensional usado em mecânica dos fluidos para o cálculo do regime de escoamento de determinado fluido sobre uma superfície), em um domínio nano, a influência do comportamento viscoso aumenta à medida que o tamanho diminui. Na natureza, os flagelos bacterianos são bem conhecidos por serem capazes de nadar eficientemente em líquidos.

A relação entre a escala de tamanho e a força motriz (isto é, eficiência de propulsão) dos flagelos de natação ficam melhores à medida que o tamanho dos flagelos diminui. Portanto, a forma do flagelo bacteriano é tomada como o modelo do nano robô. Uma imagem de um CNC é mostrada na Figura 8. É possível preparar CNC's por deposição de vapor químico (CVD), com acetileno como gás de reação e Fe como catalisador, que são semelhante aos flagelos em forma.

Figura 5 - Imagem conceitual de um nano-robô intracelular, onde CNCs em células são cercados por bobinas de Helmholtz.



Fonte: Matsumoto et al, 2011

2.2.4 Modelo de Ichikawa

Ichikawa desenvolveu um micro robô altamente funcional que pode manipular células com alta força de preensão em um chip micro fluídico. O robô possui um mecanismo de preensão (ato ou efeito de agarrar, pegar, segurar) para agarrar e transportar células com energia suficiente. Um ímã permanente é fixado no centro do mecanismo de preensão e um ímã elétrico controla a posição do ímã na parte inferior do chip. A precisão da distância da pinça é de 3 μm e pode ativar cerca de 50 Hz.

O robô possui quatro ímãs permanentes para posicionamento, e outros quatro ímãs permanentes controlam o robô a partir da parte inferior do chip. O robô é muito fino e pequeno, assim facilitando a sua manobrabilidade; permitindo com isso o manuseio de alta potência e o corte de uma célula através desse dispositivo.

Em um estudo anterior, Ichikawa e seu grupo desenvolveram um mecanismo magnético chamado de micro ferramenta (MMT) para manipulação, carregamento, classificação de células, e geração de gotículas. As micro ferramentas (MMT) são controladas por campos magnéticos aplicados.

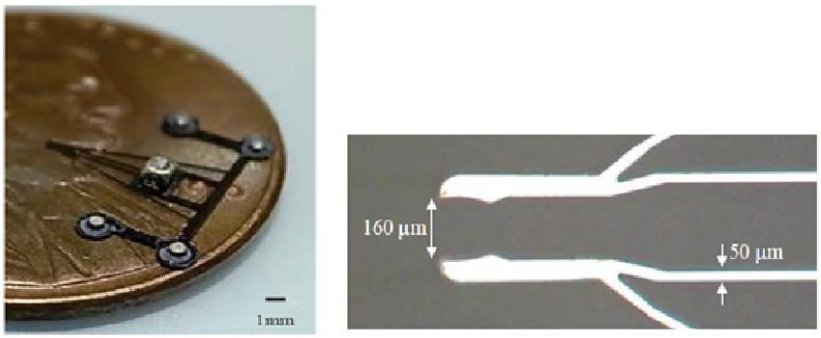
Segundo Ichikawa (2014), uma MMT é capaz de girar, transportar e reter uma única célula com precisão, entretanto, no caso de duas MMT's, é necessária uma estreita cooperação entre elas, além disso, a força de retenção não é forte o bastante.

Para vencer tais obstáculos, foi proposto um novo micro robô funcional

incorporando um mecanismo de sucção, mecanismo este acionado por força magnética. A força de aspiração é suficiente para fixar uma célula, contudo, a captura de uma célula ou micro objeto de alta rigidez é uma dificuldade.

Como solução para tal problema, o micro robô proposto possui um mecanismo de preensão (Figura 6). Geralmente, o manipulador mecânico não é o mais indicado para o manuseio de objetos em microescala haja vista a sua turbulência. Porém, como o volume do robô no chip é pequeno, a turbulência é reduzida. O micro robô foi feito de silício por conta de seu desempenho de usinagem, característica mecânica e compatibilidade biomédica.

Figura 6 - Visão geral do robô no chip e imagem microscópica da pinça.



Fonte: Ichikawa, 2014

2.3 DESAFIOS E CONCEITOS EMERGENTES EM ROBÔS BIOMÉDICOS MINIMIZADOS

Segundo Sitti (2015), para possibilitar aplicações biomédicas de alto impacto de robôs móveis minimizados, muitos desafios fundamentais precisam ser enfrentados. À medida que o tamanho do robô funcional diminui à escala milimétrica, o design, a fabricação e o controle desses sistemas exigem princípios de desenvolvimento que diferem muito dos da robótica em escala macro. Além disso, as atividades médicas dentro do corpo humano exigem tarefas adicionais, como feedback do ambiente e comunicação com o operador.

A seguir tem-se alguns dos desafios encontrados no desenvolvimento e projeto para aplicação e inserção dos mili/micro robôs na medicina, assim como de algumas aplicações atuais e potenciais.

2.3.1 Design e modelagem

Projetar um mili/micro robô móvel para uma tarefa biomédica específica para obter desempenho operacional ideal, como a menor duração de operação, consumo mínimo de energia e maior cobertura de área, enquanto há restrições como software, hardware, fabricação, movimento, controle, vida útil e segurança é o principal objetivo.

Dado que os ambientes biológicos estão notavelmente lotados, o projeto de mili/micro robôs física e quimicamente, robustos e flexíveis é de suma importância. Esse projeto requer uma estratégia integrada, na qual componentes, princípios de locomoção, materiais e fontes de energia são considerados totalmente funcionais por meio de um sistema de controle em circuito fechado em tempo real.

Esses problemas de design podem ser abordados em muitas perspectivas diferentes. Uma variável de design principal é o número de mili/micro robôs: um único robô multitarefa versus um time ou um enxame de robôs com funções paralelas e distribuídas. Considerando o tamanho potencial de um tecido ou órgão humano, um único micro robô seria insuficiente para um efeito teranóstico (que une terapêutica e diagnóstico) suficiente em uma determinada operação, enquanto uma equipe de micro robôs funcionando de maneira concertada poderia amplificar significativamente a taxa de transferência esperada. (SITTI, 2015, p. 214-215)

2.3.2 Materiais e fabricação

Os robôs projetados para operar em pequena escala são essencialmente um problema da ciência dos materiais, porque a inteligência desses robôs viria principalmente de seu material físico, estrutura, mecanismo e propriedades de design. Qualquer material que entre em contato com fluidos biológicos precisa ser resistente à corrosão, o ambiente aquoso altamente salino pode facilmente causar lixiviação de produtos perigosos dos robôs, além de causar mau funcionamento irreversível. A resiliência mecânica e a durabilidade também são altamente críticas, principalmente em grandes vasos e tecidos de suporte de carga.

Na maioria das aplicações biomédicas, é crucial ter também novos materiais macios, biodegradáveis, multifuncionais, inteligentes e compatíveis com os processos de micro e nano fabricação existentes; por outro lado, os materiais atuais dos robôs são tipicamente rígidos, não biodegradáveis e têm uma função única. (SITTI, 2015, p. 215-

216)

2.3.3 Mobilidade

Para os robôs de cápsulas, foram propostos muitos métodos de animação 2D e 3D. No entanto, ainda existem muitos desafios em aberto, como aumentar a precisão e a velocidade da locomoção para operações precisas e mais curtas, minimizar o consumo de energia durante a locomoção, aumentar a segurança para não danificar nenhum tecido ou criar qualquer reação negativa do corpo e operação robusta contra o movimento relativo dos órgãos, como respiração, batimentos cardíacos e peristaltismo. Além disso, toda pessoa com idade, sexo e raça diferentes tem uma escala e propriedade diferentes de tecidos biológicos. Portanto, o método de locomoção fornecido pode ser adaptado a essas variações de maneira abrangente. (SITTI, 2015, p. 216)

2.3.4 Localização do robô

Determinar a localização e a orientação de um robô médico em 3D é determinante para o controle preciso e seguro do movimento dentro do corpo humano. Muitos métodos de localização bem sucedidos estão disponíveis para mili robôs, enquanto a localização de robôs médicos em escala de mícron é um grande desafio devido ao seu tamanho muito menor. Assim, é melhor projetar sistemas de micro robôs como enxames e facilitar um sinal de imagem coletiva mais forte. Sistemas de imagens médicas como ressonância magnética, fluoroscopia, PET (Tomografia por Emissão de Pósitrons), NIR (Espectroscopia no Infravermelho Próximo) e ultrassom são possíveis candidatos à localização de micro robôs. (SITTI, 2015, p. 218)

2.3.5 Segurança

É obrigatório garantir a segurança dos mili/micro robôs biomédicos enquanto eles são implantados, operados, extraídos e removidos do corpo humano. Essa segurança só é possível projetando e selecionando materiais e métodos adequados para fabricação, atuação e alimentação desde o início do projeto e integração do sistema.

Portanto, qualquer componente robótico, controle remoto magnético ou outro método autônomo de atuação ou detecção deve estar dentro dos limites da FDA (Food and Drug Administration - agência federal do Departamento de Saúde e Serviços

Humanos, um dos departamentos executivos federais dos Estados Unidos), para que não causem desconforto, danos ou dor aos pacientes; os micro robôs sintéticos devem ser feitos de materiais macios biocompatíveis e biodegradáveis; micro robôs biohíbridos (por exemplo, atuados por células musculares ou bactérias) não devem ser patogênicos ou não devem criar nenhuma resposta imunológica negativa. (SITTI, 2015, p. 218-219)

2.4 APLICAÇÕES BIOMÉDICAS ATUAIS E POTENCIAIS DOS MILI/MICRO ROBÔS

2.4.1 Imagem visual ativa para diagnóstico de doenças

A imagem visual (ótica) ativa, como técnicas endoscópicas e laparoscópicas, é um dos mais importantes métodos para diagnosticar doenças. Enquanto endoscópios e cateteres flexíveis fornecem diagnósticos visual da doença, eles podem ser invasivos e são apenas para triagem de curta duração – atualmente, para fins de rastreamento. Para imagens visuais minimamente invasivas e implantáveis (longa duração) e acessando pequenos espaços que não eram possíveis de alcançar antes (por exemplo, pequenos intestinos), os endoscópios existentes em cápsulas do tamanho de comprimidos estão se tornando uma alternativa significativa.

Essas cápsulas comercializadas atualmente têm câmera embutida, dispositivo de transmissão sem fio e bateria para tirar fotos e enviá-las para um dispositivo de gravação externo. (SITTI, 2015, p. 207-209)

2.4.2 Detecção móvel in situ para diagnóstico de doenças e monitoramento da saúde

Os sensores biomédicos passivos atuais podem ser implantados dentro ou localizados fora do corpo humano para monitoramento contínuo da condição de saúde de um paciente ou de uma pessoa saudável. Esses sensores podem medir ou detectar glicose, pH, temperatura, oxigênio, atividade viral ou bacteriana, movimento do corpo (inércia), equilíbrio, pressão arterial, respiração, atividade muscular, atividade neurológica, taxa de pulso etc., in situ (no organismo do paciente), para diagnosticar e informar qualquer condição médica anormal ou atividade patológica.

Sendo assim, a adição de mobilidade remota ou a bordo e capacidade de controle a esses sensores, colocando-os em mili/micro robôs médicos dentro do corpo humano

para monitoramento ativo da saúde permite que vários sensores móveis possam ser implantados simultaneamente com o objetivo de patrulhar dentro das diferentes partes do corpo de maneira minimamente invasiva.

Essa importante aplicação biomédica (além do monitoramento visual) ainda não foi muito explorada. Como estudo preliminar, Ergeneman et al (2013) propuseram um micro robô magnético, controlado magneticamente, que poderia obter sensor ótico de oxigênio para medições intra oculares. (SITTI, 2015, p. 209)

2.4.3 Terapia direcionada

A terapia direcionada é capaz de enriquecer a concentração local de terapêuticos, como medicamentos, mRNA (RNA mensageiro), genes, sementes radioativas, agentes de contraste de imagem, células tronco e proteínas em uma região específica do corpo, mantendo efeitos colaterais mínimos no resto do corpo. Além disso, o controle da cinética de liberação também pode modular a concentração do medicamento na janela terapêutica, prolongando assim o efeito da administração de dose única.

Os mili/micro robôs móveis podem liberar essas substâncias biológicas e químicas terapêuticas em um local alvo específico em quantidades precisas e controladas, de modo que os possíveis efeitos colaterais sejam minimizados e que quantidades mais substanciais possam ser entregues para uma recuperação mais rápida e melhor. Como principal aplicativo de terapia direcionada, robôs móveis de pequena escala foram usados para a entrega direcionada de medicamentos no trato GI (gastrointestinal) e vasos sanguíneos. (SITTI, 2015, p. 209-210)

2.4.4 Cirurgia minimamente invasiva

Além das aplicações diagnósticas e terapêuticas, o próximo nível de uso médico poderia ser uma cirurgia minimamente invasiva no corpo. Tais operações ou funções cirúrgicas podem estar abrindo vasos obstruídos ou outros canais, cauterização, hipertermia, biópsia, oclusão, estimulação elétrica, injeção, corte, perfuração, remoção de biomateriais ou adição a um determinado alvo são exemplos de possíveis atuações cirúrgicas. No geral, existem apenas alguns estudos preliminares de cirurgia minimamente invasiva, que podem ser estendidos significativamente com muitas novas aplicações potenciais dentro do sistema circulatório, cérebro, medula espinhal, entre

outros órgãos. (SITTI, 2015, p. 210-211)

2.4.5 Engenharia de tecidos

Muitas doenças podem ser tratadas através da entrega ou transplante preciso de células tronco diferenciadas, como algumas doenças do sague: leucemia, certos tipos de linfoma (incluindo o linfoma de Hodgkin), anemia aplásica, talassemia, anemia falciforme, algumas doenças metabólicas congênitas ou decorrentes de imunodeficiência como a granulomatosa crônica e a regeneração de tecidos nos locais patológicos. Pesquisas preliminares foram realizadas por Kim et al. que projetaram um micro robô em forma de gaiola fabricado por estereolitografia (forma de tecnologia de impressão 3D usada para criar modelos, protótipos, padrões e peças de produção camada por camada, usando processos fotoquímicos pelos quais a luz faz com que monômeros e oligômeros químicos se cruzem para formar polímeros) foto resistente de tom negativo.

O revestimento das estruturas poliméricas desenvolvidas com a bicamada Ni/Ti tornou o micro robô orientável pelo campo magnético. Ao revestir ainda mais o micro robô com poli-L-lisina, pode-se cultivar células renais embrionárias humanas (HEK293) em 3D dentro do micro robô útil, mostrando a possibilidade de usá-lo como biópsia para apoiar a regeneração tecidual.

Como alternativa, os tecidos artificias podem ser construídos in vitro (em ambiente controlado e fechado) primeiro e, em seguida, substituir o seu mau funcionamento em contrapartes in vivo (em tecidos vivos), e assim fornecer uma nova fonte para transplante médico. Um exemplo de obtenção de tecidos artificiais é a organização de hidrogéis em micro escala (microgel) carregados com células diferentes em geometrias predefinidas. (SITTI, 2015, p. 211-212)

3 METODOLOGIA E MÉTODO DE PESQUISA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O estudo pretendido se classificará em revisão sistemática, de base técnica quantitativa descritivo-exploratória.

3.2 TÉCNICAS PARA COLETA DE DADOS

A técnica para coleta de dados a ser empregada no estudo pretendido será a

descritivo-exploratória, a qual incluirá análise detalhada e crítica bem como e interpretação científico - literária de conteúdos textuais que seguirem ligados ao tema “Estudo dos micro robôs e sua aplicabilidade na medicina”.

3.3 FONTES PARA COLETA DE DADOS

O estudo se utilizará de livros e periódicos, sendo os periódicos adquiridos em banco de dados eletrônicos de sites de divulgação pública, tais como Scielo e IEEE.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA PESQUISADA

As amostras pesquisadas serão advindas de livros e periódicos, nacionais e internacionais. Os periódicos serão adquiridos em banco de dados eletrônicos de websites de divulgação pública, sendo as palavras-chaves utilizadas: Doença. Câncer. Micro robôs. Oncologia. Tecnologia. Micro robôs.

3.5 INSTRUMENTO PARA A COLETA DE DADOS

A pesquisa pretendida se utilizará da análise de conteúdo como técnica de instrumento de coleta de dados, seguida de uma pré-seleção de livros, anais e periódicos, nacionais e internacionais, sendo utilizados os seguintes critérios de inclusão aos mesmos: (1) conteúdos publicados entre os anos de 1978 e 2020, (2) respeito de parâmetros como movimento, propulsão e benefícios de alguns modelos de dispositivos visando a inserção destes na medicina buscando a interação e a ajuda que a tecnologia pode fornecer à Medicina, (3) periódicos que sigam indexados no banco de dados selecionado ou estejam junto a esse disponíveis a pesquisa.

3.6 POSSIBILIDADE DE TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Os livros e periódicos pré-selecionados, após empregados os critérios para coleta de dados, poderão passar por uma nova seleção, com base na leitura de seus resumos, sumários e prefácios, mantendo como fontes, somente, os que se mostrassem mais fielmente adequados ao desenvolvimento pretendido.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista o objetivo do atual projeto, tratando-se de uma análise e revisão bibliográfica, apresenta-se abaixo alguns resultados obtidos dos protótipos e projetos

apresentados na seção 2, Referencial Teórico.

4.1 MODELO DE ZHANG ET AL

A velocidade angular do campo magnético rotacional é ajustada pela conversão da frequência para controle da velocidade no robô, e o controle do movimento adverso do robô é realizado alterando, de maneira conveniente, a direção do campo magnético rotacional. Alguns protótipos e seus parâmetros são apresentados na Quadro I.

QUADRO I

PARÂMETROS ESPIRAIS DE PROTÓTIPOS DE ROBÔS MODELO DE ZHANG

Parâmetros	Símbolo	Quantidade			Unidade
Passo em espiral	p	10	20	35	mm
Ângulo espiral	θ	20	30	45	graus
Altura da lâmina	H_a	1	1	1	mm
Espessura da lâmina	a	1	1	1	mm

Fonte: Zhang, 2009

4.2 MODELO DE REN E DONG

A partir das figuras acima, pode-se ver que o movimento do robô é muito diferente sob o tubo colocado verticalmente em diferentes formas de movimentação. No modo de enrolamento uniforme, o robô não pode concluir todo o movimento em baixa e alta frequência, mas no modo em movimento pode funcionar em todas as frequências, ao mesmo tempo, pode-se ver que a taxa do robô é rápida, obviamente, em contraste com o enrolamento uniforme. Prova-se então, pela simulação, que o micro robô pode nadar em velocidade estável em líquido através do controlador, que é a base para que o robô nada e flutua de forma independente.

QUADRO II. ENSAIO DE DESEMPENHO DO ROBÔ SOB AS CONDIÇÕES DE SOLENOIDE DE ENROLAMENTO UNIFORME (COMPRIMENTO DE TUBO 100CM, COMPRIMENTO DE CAUDA 28MM)

Frequência (Hz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tempo (s)	-	-	55,8	50,8	47,1	40	38,8	47,9	-
Velocidade (mm/s)	-	-	18	19,6	21,2	25	25,8	20,9	-

Fonte: Ren e Dong, 2010

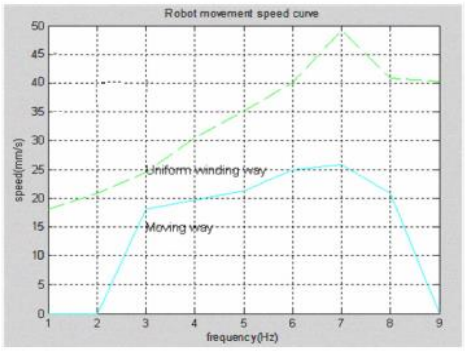
QUADRO III – TESTE DE DESEMPENHO DO ROBÔ SOB A CONDIÇÃO SOLENÓIDE EM

MOVIMENTO (COMPRIMENTO DE TUBO 100CM, COMPRIMENTO DE CAUDA 28MM)

Frequência (Hz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tempo (s)	55,6	48,1	40,8	32,8	28,5	24,9	20,3	24,5	24,8
Velocidade (mm/s)	18	20,8	24,5	30,5	35,1	40,1	49,2	40,8	40,3

Fonte: Ren e Dong, 2010

Figura 10 - Os resultados experimentais do tubo colocado verticalmente em diferentes formas sinuosas.

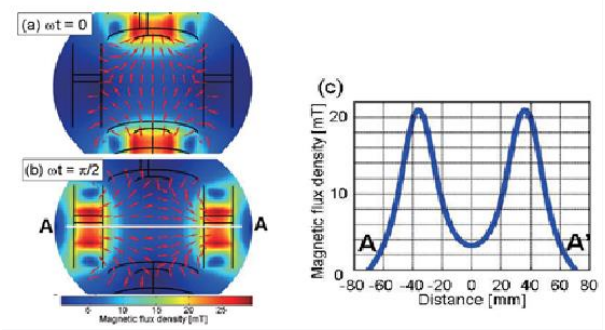


Fonte: Ren e Dong, 2010

4.3 MODELO DE MATSUMOTO

Confirma-se que o campo magnético estava girando com a bobina que era alternadamente mais forte e mais fraco (figuras 11a e 11b) e também que um campo magnético constante foi gerado na área central quadrada de 10 mm entre as bobinas; a densidade magnética do fluxo foi de aproximadamente 3,5mT e o gradiente foi inferior a ± 10% (Fig. 11c).

Figura 11 - Resultados da simulação do campo magnético gerado pelas bobinas de Helmholtz. Em (a) e (b), a gradação de cores mostra a densidade do fluxo magnético e as setas vermelhas mostram a direção do campo magnético.

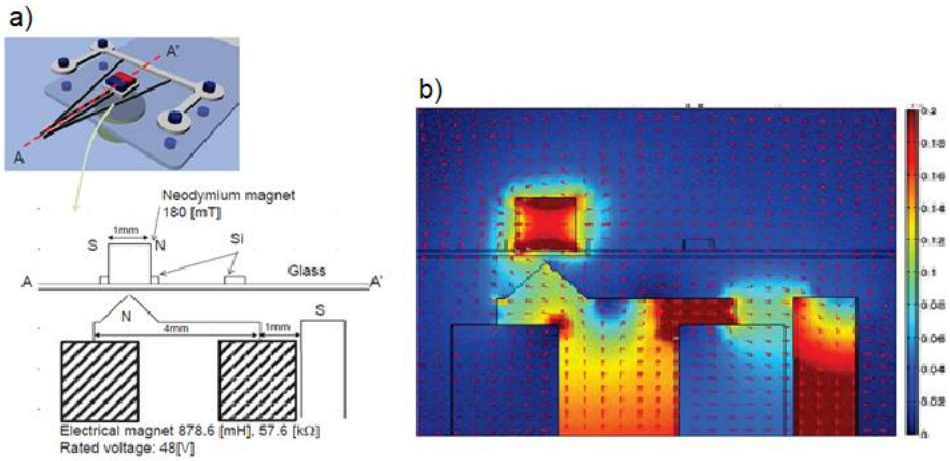


Fonte: Matsumoto, 2011

4.4 MODELO DE ICHIKAWA

Como era necessário que o ímã permanente fosse movido na direção horizontal, então fora colocado o ímã permanente horizontalmente entre o ímã elétrico. O resultado da análise mostra que a direção do fluxo magnético ao redor do ímã permanente e do ímã elétrico é horizontal.

Figura 26 - Análise do fluxo magnético. a) O diagrama esquemático é a seção transversal do centro do micro robô e o ímã elétrico. (b) A direção do fluxo magnético ao redor do ímã permanente e do ímã elétrico é horizontal.



Fonte: Ichikawa, 2014

5 CONSIDERÇÕES

Robôs móveis de pequena escala tem um futuro promissor em aplicações de assistência médica e bioengenharia. Eles são incomparáveis para acessar pequenos locais corporais delicados e altamente confinados, onde os dispositivos médicos convencionais ficam aquém sem uma intervenção invasiva. Os projetos reconstituíveis e moduladores desses robôs também podem permitir a execução de várias tarefas, como estratégias teranósticas, isto é, diagnósticas e terapêuticas. Não obstante, mobilidade, alimentação e localização são os principais desafios que limitam significativamente a transição de projetos robóticos viáveis do estágio in vitro para o estágio pré clínico. Um micro robô ideal de auto alimentação que pode ser acionado automaticamente, visando um local específico para executar uma função programada através de relatórios em tempo real a um operador externo, realmente desencadearia uma mudança de paradigma na prática clínica. Além disso, robôs individuais que podem formar conjuntos de enxame para

operações paralelas e distribuídas amplificariam drasticamente os resultados clínicos esperados.

O projeto e a fabricação de robôs miniaturizados, particularmente na escala submilimétrica, exigem uma estratégia fundamentalmente diferente da fabricação existente em macro escala. Como as interações superfície-superfície predominam nas forças inerciais, o design e a fabricação nesse domínio de tamanho requerem um esforço interdisciplinar, principalmente o envolvimento de pesquisadores robóticos, químicos, engenheiros biomédicos e cientistas de materiais.

Como visto, o modelo de Zhang é um micro robô em cápsula sem fio controlado por rotação do campo magnético e apresenta operação sem contato, alta confiabilidade, segurança e tem o potencial de entrar no corpo humano para aplicações em engenharia médica. O modelo de Ren e Dong baseia-se em um robô nadador com barbatana para gerar a propulsão do movimento através dos batimentos desta. O modelo de Matsumoto, por sua vez, apresenta uma nova aplicação de CNC's como nano robôs intracelulares tomando flagelos bacterianos como inspiração para a natação em um meio aplicando um campo magnético uniforme gerado por três pares de bobinas magnéticas entre si. E o modelo de Ichikawa é um micro robô altamente funcional que pode manipular células com alta força de preensão em um chip micro fluídico através de micro pinças, podendo ser aplicado em terapia direcionada.

No geral, até mesmo os exemplos primitivos atualmente apresentados de robôs móveis abriram novos caminhos em aplicações biomédicas, pavimentando estratégias minimamente invasivas e de baixo custo, levando assim a uma rápida recuperação e maior qualidade de vida dos pacientes.

6 REFERÊNCIAS

BYNUM, W. F. **The History of Medicine:** A Very Short Introduction. New York: Oxford University Press, 2008.

DILLER, Eric et al. Control of Multiple Heterogeneous Magnetic Micro-Robots on Non-Specialized Surfaces. In: **2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation**, maio 9-13, 2011, Shanghai, China.

FERREIRA, Hadma; RANGEL, Maria. Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. In: **Química Nova**, vol. 32, no. 7, 2009.

GAO, Mingyuan et al. Magnetic Controlled Navigation System for Endoscopic Micro Robot. In: **Proceedings of the 2009 IEEE 3rd International Conference on Nano/Molecular**

Medicine and Engineering, outubro 18-21,2009, Tainan, Taiwan.

H. Lee and S. Jeon, "Two-dimensional manipulation of a magnetic robot using a triad of electromagnetic coils," In: **AIP Adv. 10, 015003,** janeiro 2020.

Hu, W., Lum, G., Mastrangeli, M. et al. Small-scale soft-bodied robot with multimodal locomotion. IN: **Nature** 554, 81–85, janeiro 2018.

ICHIKAWA, A. et al. Untethered Micro-Robot with Gripping Mechanism for On-Chip Cell Surgery Utilizing Outer Magnetic Force. In: **2014 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA),** maio 31 – junho 7, 2014, Hong Kong, China.

JEON, S. M. et al. Utilization of Magnetic Gradients in a Magnetic Navigation System for the Translational Motion of a Micro-Robot in Human Blood Vessels. In**: IEEE Transactions on magnetics**, vol. 47, no. 10, outubro 2011.

KIM, D. et al. **Propulsion and Control of Implantable Micro-Robot based on Wireless Power Transfer.** 2015, Coréia.

MATSUMOTO, Takumi et al. A Novel Application of Carbon Nano Coils for Intracellular Nano-Robots. In: **Proceedings of the 2011 6th IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems**, fevereiro 20-23, 2011, Kaohsiung, Taiwan.

REN, SiJing; DONG, JinBo. Analysis and Research of Wandering and Procession Pipe Robot Driven by the External Magnetic Field. In**: International Conference On Computer Design And Applications (ICCDA 2010)**, 2010.

REN, SiJing; DONG, JinBo. Study of A Swimming Micro Robot Drived By Outside Magnetic Field. In: **International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010)**, 2010.

RYAN, Patrick; DILLER, Eric. Five-Degree-of-Freedom Magnetic Control of Micro-Robots Using Rotating Permanent Magnets. In: **2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)**, Stockholm, Sweden, maio 16-21, 2016.

SITTI, Metin et al. Biomedical Applications of Untethered Mobile Milli/Microrobots. In: **Proceedings of the IEEE**, Vol. 103, No. 2, fevereiro 2015.

SONTAG, Susan. **Illness as Metaphor.** Nova Iorque: Farrar, Straus and Giroux, 1978.

ULLRICH, Franziska et al. Mobility Experiments With Microrobots for Minimally Invasive Intraocular Surgery. In: **Investigative Ophthalmology & Visual Science,** Vol**.**54, 2853-2863, abril, 2013.

VALDASTRI, Pietro et al. A Novel Magnetic Actuation System for Miniature Swimming Robots. In: **IEEE Transactions on robotics**, vol. 27, no. 4, agosto 2011.

ZHANG, Yongshun et al. Characteristics of Magnetic Torque of a Capsule Micro Robot Applied in Intestine. In**: IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS**, vol. 45, no. 5, maio 2009.