

Monitoramento do cultivo de *caenorhabditis elegans* por dispositivo IOT

Monitoring the cultivation of caenorhabditis elegans through an IoT device

André Caetano Alves Firmo ¹
Raudiney Frankilin Vasconcelos Mendes ¹
Henrique Nelson Pereira Costa Júnior ¹
Bárbara Fernanda Cunha de Abreu ²
Rafael Matos Ximenes ¹

¹Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Antibióticos, Programa de Pós-graduação em Farmácia, Recife, Pernambuco, Brasil.

²Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Psicologia Cognitiva, Programa de Pós-graduação em Psicologia, Recife, Pernambuco, Brasil.

Resumo

Objetivo: Este trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de incubação de baixo custo capaz de controlar fatores ambientais, proporcionando maior desempenho na reprodução e no desenvolvimento de microrganismos.

Método: Através de um estudo exploratório e empírico descritivo foi utilizado recursos provenientes da IoT (Internet das Coisas) otimizando variáveis ambientais, beneficiando o processo de cultivo de organismos.

Contribuições teóricas/práticas/sociais: Os dados encontrados indicam que o sistema proposto apresentou resultados estatisticamente relevantes na promoção do cultivo do *Caenorhabditis elegans*, uma espécie de nematódeo frequentemente utilizado como modelo para diversos estudos científicos, em comparação a soluções comerciais.

Originalidade/relevância: Os achados desta pesquisa apontam a viabilidade de implementação de um sistema de monitoramento computacional de cultivo de *Caenorhabditis elegans*, proporcionando maior celeridade e economicidade nos avanços de pesquisas na fabricação de novos fármacos.

Palavras-chave: *Caenorhabditis elegans*, IoT, Monitoramento, Incubação.

Abstract

Purpose: This work aimed to develop a low-cost incubation system capable of controlling environmental factors, providing better performance in the reproduction and development of microorganisms.

Design/methodology/approach: Through an exploratory and empirical descriptive study, resources from IoT (Internet of Things) were used to optimize environmental variables, benefiting the organism cultivation process.

Research/practical & Social implications: The data found indicate that the proposed system showed statistically relevant results in promoting the cultivation of *Caenorhabditis elegans*, a species of nematode frequently used as a model for various scientific studies, compared to commercial solutions.

Originality/value: The findings of this research indicate the feasibility of implementing a computational monitoring system for the cultivation of *Caenorhabditis elegans*, providing greater speed and cost-effectiveness in advancing research in the manufacture of new drugs.

Keywords: *Caenorhabditis elegans*, IoT, Monitoring, Incubation.

Introdução

Caenorhabditis elegans (*C. elegans*) é um nematódeo de vida livre amplamente utilizado como um organismo modelo em pesquisas científicas devido às suas características únicas. Com um sistema nervoso relativamente simples, composto por cerca de 302 neurônios, ciclo de vida curto de apenas 2-3 semanas, genoma completamente mapeado e centenas de linhagens geneticamente modificadas. Modelos com *C. elegans* se tornaram uma ferramenta valiosa para investigações em áreas como biologia do desenvolvimento, farmacologia, genética e neurociência (Ahamefule et al., 2021). O controle adequado das condições de cultivo é essencial para garantir o crescimento saudável, a reprodução e a manutenção das características biológicas desejadas em *C. elegans*. Nesse sentido, o controle preciso da temperatura e luminosidade desempenha um papel fundamental, uma vez que esses fatores ambientais influenciam o metabolismo, a fisiologia e o comportamento dos nematódeos (Partridge et al., 2018; Zhang et al., 2015).

A temperatura é um fator ambiental crucial que afeta diversos aspectos do ciclo de vida de *C. elegans*. Esses organismos são ectotérmicos, o que significa que a temperatura corporal é diretamente influenciada pela temperatura ambiente. Para garantir um crescimento e desenvolvimento adequados, é necessário manter a temperatura dentro de uma faixa específica, geralmente entre 20 e 25° C, com algumas linhagens

necessitando de temperatura próximas aos 15° C para manutenção de suas características genéticas (Mata-Cabana et al., 2021). Desvios significativos dessa faixa podem resultar em efeitos adversos na taxa de crescimento, reprodução, longevidade e expressão de genes importantes. Além disso, a temperatura também influencia a resposta ao estresse, a formação de mutações espontâneas e a sensibilidade a compostos químicos. Portanto, o controle preciso da temperatura é essencial para garantir resultados experimentais confiáveis e reprodutíveis (Sekajova et al., 2022).

A luminosidade é outro fator ambiental crítico que desempenha um papel fundamental no cultivo de *C. elegans*. Esses organismos são fotossensíveis e exibem comportamentos específicos em resposta à luz, como a migração para áreas mais escuras. Além disso, a luminosidade pode afetar a atividade locomotora, o ritmo circadiano, a reprodução e a longevidade de *C. elegans*. Portanto, é essencial regular com precisão a intensidade luminosa, bem como os ciclos de luz e escuridão para minimizar as variabilidades experimentais e obter resultados consistentes (De Magalhães Filho et al., 2018; Pooranachithra et al., 2019).

Diante disto, o controle de temperatura e luminosidade desempenha um papel crucial no cultivo de *C. elegans* como modelo in vivo. Ao estabelecer condições ambientais adequadas, como manter a temperatura dentro de uma faixa ótima e regular a luminosidade de

forma apropriada, é possível garantir o crescimento saudável, o desenvolvimento normal e a reprodução desses nematódeos (Stiernagle, 2006). Além disso, protocolos padronizados de controle de temperatura e luminosidade são fundamentais para obtenção de resultados cientificamente robustos e confiáveis. Compreender a importância desses fatores ambientais é essencial para a realização de estudos farmacológicos e a interpretação adequada dos dados obtidos com o uso de *C. elegans* como modelo in vivo.

Na promoção do controle de temperatura e luminosidade é imperativo a utilização de uma ferramenta eficiente. Há sistemas de estufa e incubadoras comerciais com controle de temperatura, onde o seu alto custo torna-se uma aquisição inviável comprometendo o ideal cultivo de *C. elegans*. Além disso, monitorar os nematódeos manualmente pode ser um processo cansativo e propenso a erros. Este trabalho propõe a criação de uma incubadora de baixo custo com o controle de temperatura, umidade e luminosidade através de um dispositivo IoT. A presente pesquisa foi desenvolvida através de um estudo exploratório e empírico descritivo, com vistas a identificar a viabilidade da criação de um sistema computacional acessível e eficaz para os microrganismos em cultivo.

Fundamentação Teórica

Caenorhabditis elegans é um nematódeo não parasitário encontrado

em frutas que estão em decomposição no solo, habitando regiões com clima temperado, alimentando-se de bactérias e fungos. Pertencente à ordem Rhabditida, família Rhabditidae (Brenner, 1974), possui um ciclo reprodutivo que dura em média 2 a 4 dias (Popović et al., 2016; Burns et al., 2015). A maior parte dos indivíduos são hermafroditas (5AA+XX), com presença de poucos machos 0,1-0,2% (5AA+XO). Cada adulto hermafrodita produz aproximadamente de 200 a 300 progênes, garantindo assim, a rápida reprodução em laboratório (Zarkower, 2006). Os primeiros estudos foram realizados por Brenner em 1965, porém, só em 1979 o *C. elegans* foi definido como organismo modelo para estudos genéticos, com uma linhagem denominada Bristol N2 (Hodgkin, Horvitz, & Brenner, 1979). É abordado em diversas aplicações para as investigações de transtornos musculares, fisiológicos, metabolismo, ação de fármacos, modelos de infecção in vivo, triagem de drogas antimicrobianas e anti-helmínticas, dentro outras, toxicologia, com aplicações nas áreas biológicas e médicas (Kropp et al., 2021). Além disso, o sequenciamento completo do seu genoma facilita a comparação com outros organismos (Equence et al., 2012), sendo por isso proposto para screening de bibliotecas químicas, assim como modelo de doenças neurodegenerativas, como o Alzheimer, Parkinson, e outras patologias (Popović et al., 2016). Seu uso no meio farmacêutico proporciona uma valiosa plataforma

para a identificação de compostos potenciais e a compreensão de mecanismos envolvidos em diversas condições clínicas. (Popović et al., 2016). Outros fatores positivos da utilização de *C. elegans* é o seu viés econômico em relação a manutenção e experimentos, pois são mais baratos, quando comparados na manutenção de mamíferos como modelos (Corsi, Wightman, & Chalfie, 2015).

Os nematódeos adultos conseguem atingir o comprimento máximo de 1 milímetro e seu corpo permanece transparente em todos os estágios larvais, facilmente observados em microscópio óptico (Hodgkin, Horvitz, & Brenner, 1979). Sua cultura em laboratório se dá em Nematode Growth Medium (NGM) enriquecido com *Escherichia coli* como fonte de alimento de acordo com adaptação por Popović et al., (2016). Em baixas temperaturas é capaz de resistir vários meses sem alimentação, com nível metabólico baixo (Schrimpf et al., 2010).

O ciclo biológico é composto por ovos, cinco estágios larvais e a fase adulta. Os ovos eclodem após 14 a 18 horas, quando se dá início ao primeiro estágio larval, e para alcançar a fase adulta são necessários aproximadamente 2 a 3 dias em condições favoráveis de temperatura e alimentação. Em condições de excesso populacional ou na ausência de alimento, as larvas ficam em estágio latente sem consumo de energia, chamado estágio Dauer. Sobrevivem a condições adversas por meses,

até encontrarem condições ideais de desenvolvimento, a larva sai desse estágio e segue o seu ciclo de desenvolvimento (Raizen et al., 2008). Sendo um ectotérmico, não pode regular a temperatura do corpo, que depende da temperatura ambiental, dessa forma, a temperatura interfere no ciclo de vida do *C. elegans*, que para chegar a fase adulta em 5,5, 3,5 e 2,5 dias necessita de 15 °C, 20 °C e 25 °C, respectivamente (Prahlad, Cornélio, & Morimoto, 2008; Kim et al., 2020).

Em *C. elegans*, a termossensação e a resposta ao estresse térmico desempenham papéis fundamentais. Esses processos são simultaneamente autônomos e não autônomos das células, envolvendo a coordenação de eventos em células e tecidos diferenciados após a exposição a altas temperaturas (< 28° C) (Kyriakou, et al., 2022). Essa coordenação é essencial para o restabelecimento do equilíbrio após uma condição de estresse.

Diante disto o sucesso de ensaios farmacológicos com *C. elegans* depende da capacidade de monitorar parâmetros fisiológicos, comportamentais do organismo e as condições de cultivo. O monitoramento manual de *C. elegans* é trabalhoso e suscetível a erros e automação é essencial para um acompanhamento preciso e eficiente. Para capturar informações sobre o efeito de uma droga ao longo do tempo, é crucial registrar dados em tempo real (Stiernagle, 2006).

Plataformas micro fluídicas integradas a dispositivos IoT têm sido desenvolvidas para separar, posicionar e monitorar individualmente *C. elegans*. Essas plataformas permitem o fluxo contínuo de mídia, oferecendo um ambiente controlado e minimizando as variações experimentais. Sensores IoT integrados permitem o monitoramento em tempo real dos parâmetros fisiológicos e comportamentais de cada organismo, fornecendo dados detalhados e relevantes (Lanza et al., 2021).

O controle preciso da temperatura é um aspecto crítico nos estudos farmacológicos com *C. elegans*, pois a temperatura pode influenciar significativamente o comportamento e a fisiologia desses organismos. As ferramentas IoT oferecem soluções inovadoras para o monitoramento e ajuste automatizado da temperatura, garantindo que as condições experimentais sejam mantidas consistentes e controladas ao longo do tempo (Daniels et al., 2019).

Plataformas de micro fluídica e câmaras de cultura especialmente projetadas podem ser equipadas com dispositivos IoT para o controle de temperatura. Sensores de temperatura integrados monitoram constantemente as condições internas e externas dos sistemas, enquanto atuadores de aquecimento e resfriamento respondem automaticamente a qualquer variação indesejada. Isso permite que os pesquisadores estabeleçam e mantenham um ambiente térmico ideal para os *C. elegans*

durante todo o experimento (Mohammadi et al., 2013).

Sensores IoT fornecem dados precisos e em tempo real sobre as variações de temperatura no ambiente de cultivo dos *C. elegans*. Esses dados são frequentemente acompanhados de sistemas de registro, permitindo a geração de históricos detalhados das condições térmicas durante todo o período do experimento. Essa funcionalidade é valiosa para análises posteriores, validação dos resultados e replicação de experimentos em diferentes condições térmicas (Le et al., 2020).

Além de monitorar a temperatura em tempo real, sistemas IoT podem ser configurados para emitir alertas e notificações automáticas caso ocorram desvios significativos nas condições térmicas. Isso permite que os pesquisadores tomem ações corretivas imediatas caso ocorram eventos indesejados, como quedas bruscas ou aumentos excessivos de temperatura, minimizando assim qualquer possível impacto nos resultados do experimento (Felker et al., 2020).

A integração de ferramentas IoT para o controle de temperatura em experimentos com *C. elegans* na área de farmacologia é uma estratégia poderosa para otimizar a qualidade e a consistência dos dados obtidos. O controle preciso da temperatura, a regulação remota, o monitoramento em tempo real e a possibilidade de registros históricos contribuem para a confiabilidade dos

experimentos, além de facilitar a interpretação dos resultados obtidos (Hulme et al., 2008).

A utilização de sistemas de controle de temperatura com tecnologia IoT apresenta-se como uma abordagem promissora, tornando os estudos farmacológicos com *C. elegans* mais eficientes, permitindo uma melhor compreensão das respostas dos organismos a diferentes fármacos e acelerando o desenvolvimento de novas terapias e medicamentos. O aprimoramento constante dessas ferramentas promete proporcionar avanços significativos na pesquisa farmacológica e em outras áreas da ciência, impulsionando a inovação e a busca por soluções mais eficazes para problemas de saúde.

Metodologia

Com o objetivo de construir uma incubadora de baixo custo, foi utilizada uma mini geladeira portátil, com porta de vidro e capacidade de 10L e alimentação bivolt 110/220V. Este dispositivo possui um termostato onde é possível regular a temperatura. Com o propósito de monitorar a temperatura de forma mais efetiva e permitir uma intervenção remota foi desenvolvido um controlador remoto IoT capaz de monitorar a temperatura, ligar/desligar a incubadora e disponibilizar uma interface de comando através de um Aplicativo mobile.

O aplicativo foi desenvolvido utilizando a plataforma Blynk, que permite a criação de aplicativos para gerenciamento de dispositivos IoT com o armazenamento dos dados nas nuvens. Ela disponibiliza uma interface com elementos de interação homem-máquina a partir de elementos pré-formatados e de desenvolvimento rápido. Possui também um plano de uso gratuito com a limitação de gerenciamento de 2 dispositivos e armazenamento dos dados históricos por até 1 semana. Essas limitações não impactaram na realização deste projeto e são suficientes para validar o método proposto.

Desenvolvendo o Hardware

Diante das diversas opções de micro controladores e placas de desenvolvimento disponíveis, a opção que apresentou a melhor relação custo/benefício foi a placa de desenvolvimento NodeMCU com o controlador ESP8266. A justificativa é de que esta opção já conta com um controle de alimentação e acesso as portas de GPIO, além da interface WIFI, e por seu tamanho ser minimalista e de fácil adaptação em diversas caixas padronizadas. Em média, seu custo é equivalente à placa Arduino UNO, destacando sua superioridade com relação a interface WIFI nativa, seu tamanho reduzido e menor consumo de energia. Após a seleção da placa de controle, foram selecionados os sensores e circuitos auxiliares. Para o controle da temperatura foi utilizado o sensor de temperatura e umidade DHT-22

Am2302. Este sensor possui faixa de medição de temperatura de -40° a 125° Celsius, capacidade de medição de umidade de 0% a 100%, consumo abaixo dos 2,5mA e escala em alta precisão com tolerância de 2% a 5%. Essas características determinaram a escolha desse sensor aliado a seu baixo custo. Para medir a luminosidade foi utilizado o sensor TSL235R, ele é capaz de converter a intensidade luminosa em uma onda quadrada, com frequência diretamente proporcional a intensidade de luz. Possui ainda um baixo consumo na ordem de 2mA. Além dos dois sensores, foi utilizado um módulo relê para

ligar/desligar a incubadora e um display 16x2 para apresentar as informações coletadas pelos sensores. Foi utilizada uma caixa de disjuntor de sobrepor como enclosure do dispositivo. Para alimentação, foi utilizada uma fonte bivolt 110/220v com saída 5V 2A. Após a montagem e interligação dos componentes foi necessário adequar a caixa para abarcar a estrutura eletrônica. A Figura 1 apresenta o dispositivo já montado.

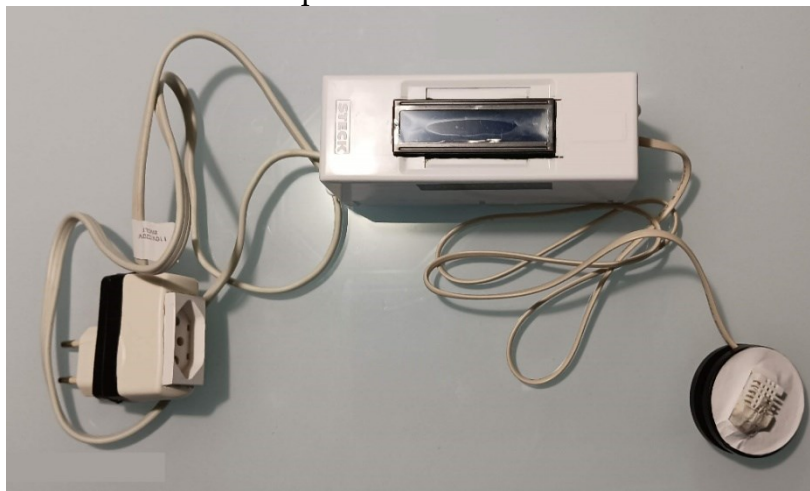


Figura 1. Dispositivo montado

Fonte: Autores

Desenvolvendo o Software

O desenvolvimento do software foi realizado em duas etapas: o Firmware e o APP de controle.

O Firmware foi construído usando a IDE do Arduino e com o uso das seguintes bibliotecas:

- ESP8266WiFi – estabelece a conexão de acesso a rede WiFi.
- DNSServer – cria um serviço de resolução de nomes interno.
- ESP8266WebServer – cria um serviço de troca de mensagens com o protocolo HTTP.

- WiFiManager – disponibiliza uma interface de gestão sobre a conexão WiFi.
- BlynkSimpleESP8266 – estabelece o serviço com os servidores do Blynk.
- DHT – responsável por acessar e coletar os dados do sensor DHT-22.
- LiquidCrystal_I2C – responsável por acessar e escrever os dados no display 16x2.

Na inicialização são executados os seguintes passos:

- Atribuir as variáveis de cada sensor e módulos os valores correspondentes.
- Inicia a conexão com a rede WiFi.
- Autenticar no serviço Blynk.

No loop principal do firmware são executadas as rotinas:

- Executar o serviço Blynk.
- Coletar as informações dos sensores.

- Apresentar as informações no display.
- Checar o acesso a rede WiFi
 - o Se disponível, envia os dados pelo serviço Blynk.
 - o Caso não esteja disponível, inicia o serviço de gerência da rede wifi, permitindo o usuário se conectar através de uma rede ad-hoc e fornecer os dados para acesso através de um accesspoint.
- Enviar os dados para a plataforma Blynk.

O APP de controle foi desenvolvido na plataforma Blynk.io onde foram realizadas as configurações de exibição dos gadgets para mostrar os dados de Temperatura, Umidade, Luminosidade e um botão para controlar a alimentação da incubadora. Na Figura 2 é apresentado o dashboard da aplicação. A plataforma Blynk disponibiliza um APP para a sistema Android permitindo o uso através do smartphone.

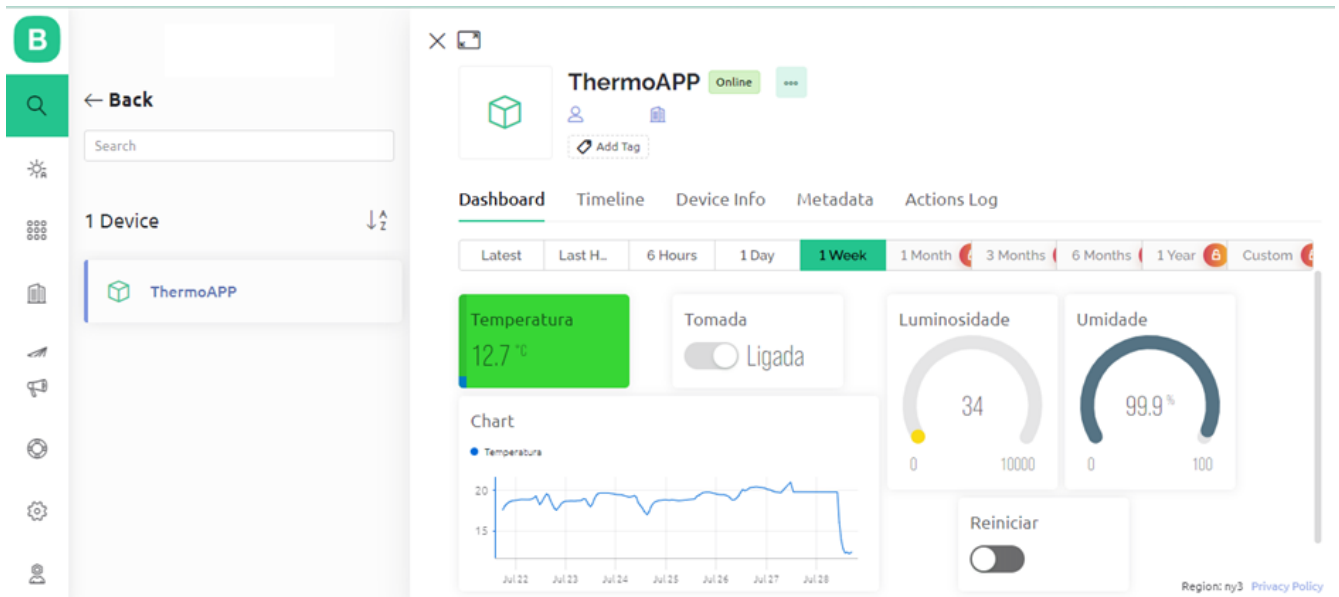


Figura 2. Dashboard de criação do aplicativo.

Fonte: Autores

Testando o dispositivo

A instalação do dispositivo é feita de maneira simples colocado o módulo dos sensores dentro da incubadora e ligada a alimentação da incubadora na tomada do dispositivo. No primeiro uso, o dispositivo cria uma rede ad-hoc onde o usuário se conecta e passa as informações para conexão com o

seu accesspoint. O dispositivo já mostra no seu display as informações dos sensores e atualiza as informações em tempo real com o serviço Blynk. Na Figura 3 é apresentado o dispositivo instalado, a incubadora em operação e a tela do APP mobile.



Figura 3. Dispositivo instalado (A) e tela do APP mobile (B)

Fonte: Autores

No uso da incubadora, os nematódeos foram sincronizados em solução de lise (NaOH 1M e NaClO a 5%). Os ovos foram lavados com tampão M9 (0.01M KH_2PO_4 , 0.02M Na_2HPO_4 , 0.04M NaCl, 1M MgSO_4) e transferidos para uma placa de 24 poços (10 ovos/poço). Cada poço contendo 500 μl de ágar NGM, semeado com 10 μl de *E. coli* (OP50) obtidos de uma cultura overnight. Divididos em 3 grupos: controle positivo cultivados em BOD comercial na temperatura de 22° C, controle negativo de cultivo em temperatura ambiente $28 \pm 2^\circ \text{C}$ e o grupo teste cultivados a 18° C. No dia 0, ovos foram transferidos para os poços e no 04 dia, os nematódeos adultos foram avaliados através de análises morfométricas.

As análises morfométricas foram realizadas em imagens obtidas das amostras de nematódeos adultos retirados do meio de cultura das placas de 24

poços e fixados em formol a 5% com tampão M9. As imagens do *C. elegans* imobilizados foram capturadas utilizando um microscópio acoplado a câmera, na ampliação de 10x. A área total do corpo do nematódeos adulto foi quantificado através do software Tcapture®2.1.

Os dados morfométricos coletados dos diferentes grupos experimentais foram analisados estatisticamente no software Graphpad prism 9® por ANOVA com pós teste de Tuckey com significância de $p \leq 0,05$.

Resultados

O grupo submetido à temperatura da BOD comercial (22° C) e o grupo teste (18° C) não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,005$). No entanto, o grupo exposto à temperatura ambiente ($28 \pm 2^\circ \text{C}$) apresentou diferenças em relação aos grupos de 22° C e 18° C,

com valor de $p > 0,05$ (Figura 4). Esses resultados estão em concordância com a literatura que relata o cultivo de nematódeos em temperaturas variando de 18° C a 22° C. O estresse causado pelas altas temperaturas no grupo de ambiente ($28 \pm 2^\circ\text{C}$) influenciou o desenvolvimento e comportamento dos nematódeos. Observou-se que os nematódeos adultos apresentaram menor movimento sinusoidal e não depositaram

ovos nas placas. Em contraste, nos grupos com temperaturas de 22° C e 18° C, foi observado maior movimento e a postura de ovos. Os resultados foram expressos em média $\pm$ SEM e analisados por ANOVA com pós-teste Tuckey com significância de *** $P < 0.0005$ ** $P < 0.005$ (Figura 5).



Figura 4. Apresentação dos nematódeos.

Fonte: Autores

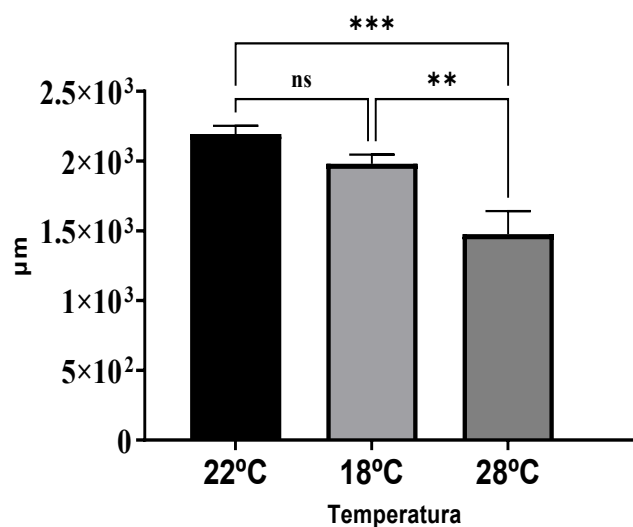


Figura 5. Análise de morfometria do perímetro da área corporal dos nematódeos submetidos a diferentes condições de cultivos.

Fonte: Autores

Considerações Finais

O presente trabalho mostrou-se uma alternativa viável e promissora para a potencialização no cultivo do *C. elegans* destacando:

- Com relação a morfometria, o modelo proposto apresentou um aumento de 42,3% do perímetro corporal da amostra em relação ao cultivo em temperatura ambiente e apenas 8,3% menor em relação ao modelo comercial.
- Com relação a oviposição, o cultivo em temperatura ambiente não apresentou atividade e não houve produção de ovos. Já o modelo proposto, assim como no modelo comercial, a amostra apresentou maior motilidade e postura de ovos nas placas.
- Com relação ao custo das soluções, o cultivo em temperatura ambiente não apresenta custo significativo, apenas os insumos de bancada. Já a solução comercial, sem um monitoramento da remoto de temperatura, possui um custo médio de R\$ 3.000,00. No modelo proposto o custo de produção foi de R\$ 800,00 representando uma redução de 73% no custo de aquisição. Estima-se que uma primeira versão comercial da solução possua um valor de R\$ 1.500,00.

Além do custo, o modelo proposto proporciona o monitoramento não apenas da temperatura, mas também da umidade e da luminosidade a qual a amostra está submetida. Os dados destas outras variáveis permitem

uma observação e análise mais profunda do cultivo do *C. elegans*. O sistema também emite alertas sobre condições extremas de temperatura e proporciona que o usuário possa agir desligando ou ligando a incubadora remotamente.

O monitoramento do cultivo de *Caenorhabditis elegans* por dispositivos IoT representa uma evolução significativa na pesquisa científica, visto que há uma escassez de mecanismos e estudos nesse campo de atuação. Os dados encontrados na presente pesquisa indicam que através do sistema computacional proposto e do domínio da temperatura, foi possível desenvolver o controle contínuo das condições ambientais e de reprodução dos nematódeos. Além de oferecer insights valiosos sobre o comportamento e a fisiologia desses microrganismos, a utilização de uma incubadora e de recursos IoT resultaram em ganhos significativos para o desenvolvimento de nematódeos. Para futuras pesquisas propõe-se realizar o monitoramento de *C. elegans*. Por períodos mais extensos para verificar tendências e padrões que podem ocorrer ao longo do tempo, bem como estudos comparativos entre outras espécies de nematódeos, com vistas a identificar características específicas de outros microrganismos.

Referências

- Ahamefule, C. S., Ezeuduji, B. C., Ogbonna, J. C., Moneke, A. N., Ike, A. C., Jin, C., Wang, B., & Fang, W. (2021).

- Caenorhabditis elegans as an infection model for pathogenic mold and dimorphic fungi: Applications and challenges. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11. Frontiers Media S.A.
<https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.751947>
- Brenner, S. (1974). The genetics of *Caenorhabditis elegans*. *Genetics*, 77(1), 71-94.
- Burns, A. R., Luciani, G. M., Musso, G., Bagg, R., Yeo, M., Zhang, Y., & Stasiuk, S. (2015). *Caenorhabditis elegans* is a useful model for anthelmintic discovery. *Nature Communications*, 6, 7485.
- Corsi, A. K., Wightman, B., & Chalfie, M. (2015). A transparent window into biology: A primer on *Caenorhabditis elegans*. *Genetics*, 200(2), 387-407.
- Daniels, B. C., Ryu, W. S., & Nemenman, I. (2019). Automated, predictive, and interpretable inference of *Caenorhabditis elegans* escape dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(15), 7226-7231.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1816531116>
- De Magalhaes Filho, C. D., Henriquez, B., Seah, N. E., Evans, R. M., Lapierre, L. R., & Dillin, A. (2018). Visible light reduces *C. elegans* longevity. *Nature Communications*, 9(1).
<https://doi.org/10.1038/s41467-018-02934-5>
- Equence, C. E. S., et al. (2012). Genome sequence of the nematode *C. elegans*: A platform for investigating biology. *Science*, 282, 2012-2018.
- Felker, D. P., Robbins, C. E., & McCormick, M. A. (2020). Automation of *C. elegans* lifespan measurement. *Translational Medicine of Aging*, 4, 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.tma.2019.12.001>
- Hodgkin, J., Horvitz, H. R., & Brenner, S. (1979). Nondisjunction mutants of the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Genetics*, 91(1), 67-94.
<https://doi.org/10.1093/genetics/91.1.67>
- Hulme, S. E., Shevkoplyas, S. S., & Samuel, A. (2008). Microfluidics: Streamlining discovery in worm biology. *Nature Methods*, 5(7), 589-590.
<https://doi.org/10.1038/nmeth0708-589>
- Kim, B., et al. (2020). Regulatory systems that mediate the effects of temperature on the lifespan of *Caenorhabditis elegans*. *Journal of Neurogenetics*, 34(3-4), 518-526.
- Kyriakou, E., Taouktsi, E., & Syntichaki, P. (2022). The Thermal Stress Coping Network of the Nematode *Caenorhabditis elegans*. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(23), Article 14907.
- Kropp, P. A., et al. (2021). *Caenorhabditis elegans* for rare disease modeling and drug discovery: Strategies and strengths. *Disease Models & Mechanisms*, 14(8), dmm049010.

- Lanza, E., Caprini, D., Lucente, V., & Folli, V. (2021). Microfluidic arena for high-throughput *C. elegans* calcium imaging experiments with multiple strain confinement. In 2021 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, MetroInd 4.0 and IoT 2021 - Proceedings (pp. 566–571). <https://doi.org/10.1109/METROIND4.0IOT51437.2021.9488505>
- Le, K. N., Zhan, M., Cho, Y., Wan, J., Patel, D. S., & Lu, H. (2020). An automated platform to monitor long-term behavior and healthspan in *Caenorhabditis elegans* under precise environmental control. *Communications Biology*, 3(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-1013-2>
- Mata-Cabana, A., Romero-Expósito, F. J., Geibel, M., Piubeli, F. A., Merrow, M., & Olmedo, M. (2021). Differential regulation of developmental stages supports a linear model for *C. elegans* postembryonic development. *BioRxiv*, 2021.05.03.442510. <https://doi.org/10.1101/2021.05.03.442510>
- Mohammadi, A., Byrne Rodgers, J., Kotera, I., & Ryu, W. S. (2013). Behavioral response of *Caenorhabditis elegans* to localized thermal stimuli. *BMC Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-14-66>
- Partridge, F. A., Brown, A. E., Buckingham, S. D., Willis, N. J., Wynne, G. M., Forman, R., Else, K. J., Morrison, A. A., Matthews, J. B., Russell, A. J., Lomas, D. A., & Sattelle, D. B. (2018). An automated high-throughput system for phenotypic screening of chemical libraries on *C. elegans* and parasitic nematodes. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance*, 8(1), 8–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2017.11.004>
- Pooranachithra, M., Bhaskar, J. P., Murali, D., Das, S. S., Jebamercy, G., Krishnan, V., & Balamurugan, K. (2019). Unravelling the wound healing ability and mode of action of pyridine carboxamide oxime using *Caenorhabditis elegans* as potential pre-screen wound model. *Life Sciences*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2019.116859>
- Popović, Z., Matić, R., Bojović, S., Stefanović, M., & Vidaković, V. (2016). Ethnobotany and herbal medicine in modern complementary and alternative medicine: An overview of publications in the field of C medicine I 2001–2013. *Journal of Ethnopharmacology*, 181, 182–192.
- Prahlad, V., Cornelius, T., & Morimoto, R. I. (2008). Regulation of the cellular heat shock response in *Caenorhabditis elegans* by thermosensory neurons. *Science*, 320(5877), 811–814.
- Raizen, D. M., Zimmerman, J. E., Maycock, M. H., Ta, U. D., You, Y. J., Sundaram, M. V., & Pack, A. I. (2008). Lethargus is a *Caenorhabditis elegans*

- sleep-like state. *Nature*, 451(7178), 569-572.
- Schrimpf, S. P., & Hengartner, M. O. (2010). A worm rich in protein: Quantitative, differential, and global proteomics in *Caenorhabditis elegans*. *Journal of Proteomics*, 73(11), 2186-2197.
- Sekajova, Z., Rosa, E., Spagopoulou, F., Zervakis, P.-I., & Lind, M. I. (2022). Temperature-induced compensatory growth in *C. elegans* is regulated by a thermosensitive TRP channel and influences reproductive rate. *BioRxiv*, 2020.12.08.415851.
<https://doi.org/10.1101/2020.12.08.415851>
- Stiernagle, T. (2006). Maintenance of *C. elegans*. *WormBook: The Online Review of C. elegans Biology*, 1-11.
<https://doi.org/10.1895/WORMBOOK.1.101.1>
- Zarkower, D. (2006). Somatic sex determination. *WormBook: The Online Review of C. elegans Biology*. Retrieved from
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK19602/>
- Zhang, B., Xiao, R., Ronan, E. A., He, Y., Hsu, A. L., Liu, J., & Xu, X. Z. S. (2015). Environmental temperature differentially modulates *C. elegans* longevity through a thermosensitive TRP channel. *Cell Reports*, 11(9), 1414.
<https://doi.org/10.1016/j.celrep.2015.04.066>

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, por financiar este projeto e permanecer incentivando a ciência do país.

André Caetano Alves Firmo (caetanofirmo@gmail.com) idealizou e construiu o dispositivo e o sistema de monitoramento.

Raudiney Franklin Vasconcelos Mendes (raudiney.mendes@ufpe.br) realizou a pesquisa bibliográfica e compilou os resultados.

Henrique Nelson Pereira Costa Júnior (henrique.junior@ufpe.br) realizou o cultivo e avaliação do *C. elegans* no ensaio experimental.

Bárbara Fernanda Cunha de Abreu (barbara.babinanda@gmail.com) contribuiu com a revisão teórica e metodológica, bem como com a formatação deste artigo.

Rafael Matos Ximenes (rafael.ximenes@ufpe.br) realizou a supervisão das atividades no ensaio experimental e revisou a bibliografia e resultados.

Data de Submissão: 23/06/2024 Data de Aprovação: 07/07/2024.

Editor-Chefe: Diogo Henrique Helal.

Editor Adjunto: Bruno Melo Moura.

Esta obra está licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY NC 4.0). Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que lhe atribuem o devido crédito pela criação original. Texto da licença: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.pt_BR.