

## Alimentador Automático de Animais Domésticos Utilizando Controle de Motor de Passo

Felipe Franchi Pires\*. Marcelo Favoretto Castoldi\*. Alessandro Goedtel\*. Wesley Angelino de Souza\*

\* Centro Integrado de Pesquisa em Controle e Automação,  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Cornélio Procópio, Paraná, Brasil  
(e-mail: felipepires74@gmail.com; marcastoldi@utfpr.edu.br; agoedtel@utfpr.edu.br; wesleyangelino@utfpr.edu.br)

---

**Abstract:** Towards the growing pet market in Brazil, this work aims to create a product capable of being used to feed domestic animals in a residential environment. A stepper motor provides the device with great reliability, and a control system guarantees the execution of the requested tasks. Furthermore, a web application simplifies access to the device through any internet browser, allowing the motor to be activated directly or programmed. All activations performed are recorded in the system for monitoring activities, and a consumption analysis element is also implemented to help the user to keep control of feed consumption on the device.

**Resumo:** Atendendo ao crescente mercado de pets no Brasil, esse trabalho tem a proposta de criar um produto capaz de ser utilizado para a alimentação de animais domésticos em ambiente residencial. A utilização de um motor de passo oferece ao dispositivo grande confiabilidade e um sistema de controle fornece a garantia da execução das tarefas solicitadas. Uma aplicação web simplifica o acesso ao dispositivo por qualquer navegador da internet, permitindo o acionamento do motor de forma direta ou programada. Todos os acionamentos realizados são registrados no sistema para o monitoramento das atividades, sendo também implementado um elemento de análise de consumo que auxilia o usuário a manter o controle do consumo de ração no dispositivo.

**Keywords:** Stepper Motor; Control System; Home Automation; Servers; Smart Devices; Internet of Things.

**Palavras-chaves:** Motor de Passo; Sistema de Controle; Automação Residencial; Servidores; Dispositivos Inteligentes; Internet das Coisas.

---

### 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem-se a evolução tecnológica sendo uma realidade, com diversos recursos computadorizados se tornando presentes no dia a dia da população, sendo utilizados em diversos dispositivos, desde um sistema mais simples como uma torradeira até a um sistema mais complexo, como um avião (CAMARGO, 2021). Desta forma, vários dispositivos estão integrando elementos essenciais nas rotinas das pessoas (KIM, 2016), tendo o conceito de Internet das Coisas cada vez mais comum no cenário cotidiano.

Juntamente com a evolução tecnológica nos últimos anos, o Brasil passou por diversas mudanças sociais, culturais e econômicas, e tem-se um crescimento na quantidade de pessoas que possuem animais de estimação (FURLAN, GOBETTI, 2021). O Brasil tem a segunda maior população de cães, gatos e aves canoras e ornamentais em todo o mundo e é o terceiro maior país em população total de animais de estimação. São 54,2 milhões de cães, 23,9 milhões de gatos, 19,1 milhões de peixes, 39,8 milhões de aves e mais 2,3 milhões de outros animais, totalizando 139,3 milhões, o que demonstra a força potencial do setor na economia brasileira (ABINPET, 2022). Em aspectos econômicos, o Brasil é o sétimo maior consumidor de produtos relacionados ao

segmento de animais de estimação, com um faturamento de R\$ 27,02 bilhões de reais em 2020 (ABINPET, 2022).

No aspecto humano, os animais de estimação são todos aqueles criados para o convívio com os seres humanos por razões afetivas e emocionais, tendo como destinações principais a terapia, companhia, lazer, auxílio aos portadores de necessidades especiais, esportes, ornamentação, participação em torneios e exposições, conservação e trabalhos especiais (ABINPET, 2021).

Em contrapartida, tem-se a necessidade do ser humano ter que se ausentar da residência para trabalhar, viajar ou fazer qualquer outra atividade, deixando os animais na residência geralmente sozinhos. Esta ausência, que pode ser prolongada, pode resultar na incapacidade dos animais de estimação de se alimentarem, tendo a dieta irregular e até deixando-os famintos (HANQING, 2015). Cada vez mais isto se torna uma preocupação, que faz com que muitas pessoas decidam abandonar os animais de estimação por não terem condições de manter o cuidado, ou simplesmente fazem com que os animais de estimação passem por maus-tratos (GAEDTKE, 2019).

É possível utilizar-se da tecnologia para melhorar o padrão de vida, tanto do dono de animais de estimação quanto aos

próprios animais. Desta forma, é proposto neste trabalho um alimentador para resolver as necessidades dos donos de animais de estimação, alimentando automaticamente o recipiente de alimentação do animal de estimação. Tem-se assim um projeto controlado por microcontrolador ESP32 e motor de passo.

A Seção 2 apresenta os fundamentos sobre o modelo do motor de passo, bem como o seu controle e transmissão de dados via web. A Seção 3 apresenta as etapas de desenvolvimento do alimentador automático, os resultados e discussões acerca do protótipo desenvolvido são apresentados na Seção 4 e as conclusões se encontram na Seção 5.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O desenvolvimento desse trabalho é fundamentado em três princípios: o princípio de funcionamento e acionamento do motor de passo, o sistema de controle de posição de máquinas elétricas e a transmissão de dados via web. Nesse capítulo são apresentados brevemente esses conceitos.

### 2.1 Motor de Passo

O motor de passo é um motor de corrente contínua, que a partir da polarização sequencial de suas bobinas, gira seu rotor (CHAPMAN, 2005) e é caracterizado pela sua capacidade de deslocar seu eixo com grande precisão (CONSTANDINOU, 2005). Esse deslocamento é realizado em um movimento bem definido pelos aspectos construtivos desse motor, que associados a um sistema de controle, oferece grande confiabilidade a um sistema desenvolvido utilizando tal recurso (CARDOZO, 2012).

A estrutura interna do motor de passo pode ser encontrada em três diferentes tipos: relutância variável, ímã permanente e híbrido, onde são encontrados um conjunto dos dois primeiros tipos. Esses motores também são identificados pelo número de bobinas por fase e são classificados como unipolar, uma bobina por fase, ou bipolar, duas bobinas por fase. Essas estruturas podem ser visualizadas na Fig. 1.

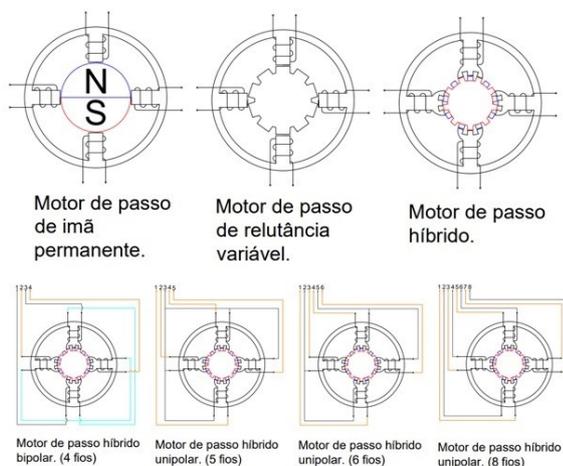


Fig. 1 Tipos de estruturas internas do motor de passo.

O acionamento do motor de passo pode ser realizado em diferentes modos de passo, que são: passo completo onda

(*wave*) ou passo completo normal, meio passo ou micro passo. Para esse acionamento, é necessária a utilização de um *driver* de motor do tipo ponte H dupla, conforme Fig. 2. Esse modelo de driver de motor de passo é o mais versátil e eficiente para o acionamento do motor (ARANJO, 2012).

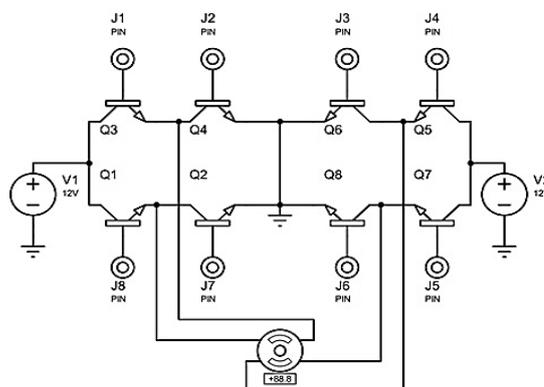


Fig. 2 Driver de motor de passo: ponte H dupla.

O acionamento sequencial das bobinas para o modo de passo completo em onda é executado conforme indicado na Tabela 1. Nesse acionamento, apenas uma bobina é acionada por vez, sendo as 1a e 1b a polarização da bobina 1 diretamente ou reversamente e o mesmo para a bobina 2.

Tabela 1. Acionamento passo completo em onda.

Passo	1a	2a	1b	2b
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1
5	1	0	0	0
6	0	1	0	0
7	0	0	1	0
8	0	0	0	1

A modelagem do motor de passo foi feita a partir do circuito equivalente indicado na Fig. 3.

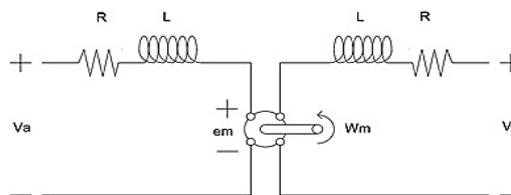


Fig. 3 Circuito equivalente motor de passo.

A partir do circuito equivalente, foi obtido o modelo de uma das fases do motor indicado na Fig. 4.

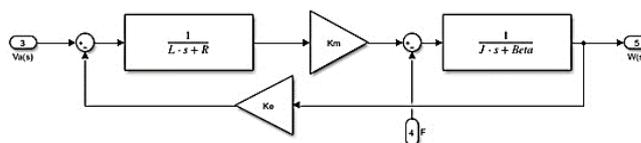


Fig. 4 Modelo de uma das fases do motor de passo.

Por se tratar de um motor bipolar, o modelo final do motor consiste na associação de duas fases modeladas e conectadas em paralelo como indicado na Fig. 5.

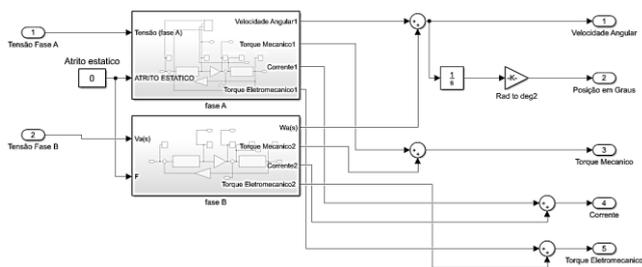


Fig. 5 Modelo do motor de passo.

Uma vez obtido o modelo do motor de passo, é colocado um sinal de alimentação na entrada do motor conforme a Tabela 1 e conectado conforme indicado na Fig. 6.

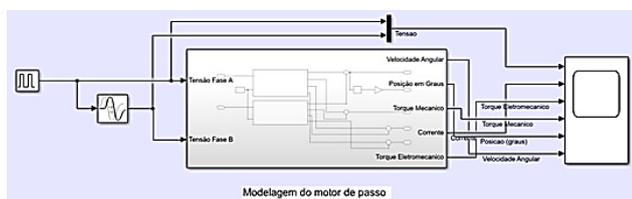


Fig. 6 Alimentação do motor de passo.

## 2.2 Sistema de Controle

Um sistema de controle diz respeito a um conjunto de dispositivos e equipamentos que gerenciam o comportamento de máquinas e sistemas físicos. Nesses sistemas, pode ser feito o gerenciamento de processos e, assim, facilitar a execução de certas funções (DAZZO & HOUPIS, 1984).

O controle de posição do motor de passo em malha fechada é o modelo utilizado nesse trabalho. Esse modelo é responsável por garantir a execução das tarefas solicitadas remotamente, o modelo do sistema de controle está indicado na Fig. 7.

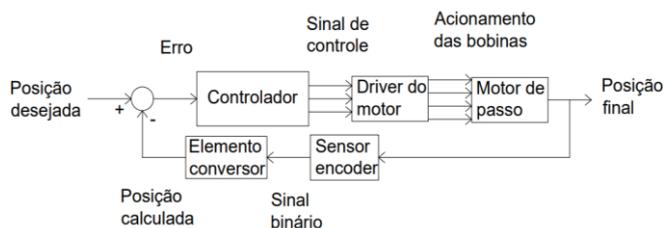


Fig. 7 Malha de um sistema de controle de posição.

Tendo como base o modelo do motor, é construído o modelo utilizado no sistema de controle, indicado na Fig. 8.

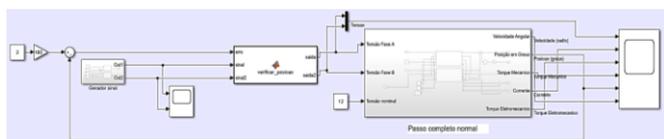


Fig. 8 Modelo do sistema de controle utilizado nas simulações.

O modelo de controle é base para a implementação do protótipo, que tem como dispositivo embarcado o microcontrolador ESP32. Esse microcontrolador oferece versatilidade na construção de sistemas de comunicação sem fio, podendo enviar dados para uma aplicação web com interface gráfica (SANTOS, JUNIOR 2019). Essa aplicação utiliza de técnicas de liberação de portas no roteador e hospedagem de servidores para permitir o acesso remoto via internet, dessa maneira, possibilitando a utilização do dispositivo em sistemas inteligentes de automação residencial na internet das coisas (SANTOS, SILVA et al. 2016).

## 2.3 Aplicação web

O ESP32 utiliza de protocolos de transmissão de dados, algoritmos de verificação da operação do sistema e análise de consumo para oferecer uma experiência completa ao usuário e ao cuidado do pet. Além desses mecanismos, o sistema de controle em malha fechada de motores de passo oferece melhores resultados próximos do limiar de torque oferecido por essas máquinas, dessa maneira permitindo uma redução de custo desses componentes (LE, HOANG & JEON, 2017).

O protocolo TCP de transmissão de dados pela internet é um protocolo caracterizado pela confiabilidade e segurança, uma vez que conta com a verificação de erros dos pacotes de dados e garante a entrega dos dados na sequência correta (KUROSE & ROSS, 2010).

Diante da fundamentação destacada, a seção a seguir apresenta o contexto de implementação do sistema alimentador automático, em seu contexto de desenvolvimento de hardware e software.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desse dispositivo foram utilizados os seguintes componentes:

- Um motor de passo 17HS4401;
- Um driver de motor de passo A4988;
- Um microcontrolador ESP32;
- Um regulador de tensão ajustável LM2596;
- Uma fonte de tensão de 12V 3A;
- Um sensor encoder fotoelétrico e;
- Um dispenser de cereais.

A conexão desses elementos está indicada na Fig. 9.

O motor de passo utilizado é o modelo NEMA 17 17HS4401 HANPOSE, sendo este um motor de passo híbrido bipolar que opera em 12V e 1.7A, e tem resolução de passo de 200 passos/revolução. A resolução desse motor permite a realização de um movimento preciso e o torque fornecido é o adequado para uma boa relação de custo e benefício para o projeto.

O driver de motor de passo utilizado é o modelo A4988 Pololu, baseado no modelo de ponte H dupla e conta com diversos

dispositivos para facilitar o acionamento deste motor, além de oferecer alguns dispositivos de segurança como o limitador de corrente.

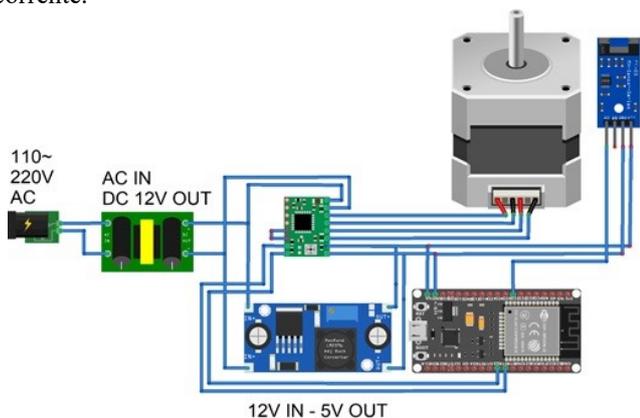


Fig. 9 Circuito eletrônico.

O microcontrolador ESP32 Espressif possui memória EEPROM de 4KB, comunicação sem fio WiFi 802.11 b/g/n, processador Xtensa dual-core baseado em arquitetura 40nm, operando em 260MHz, 520 KB de memória SRAM, 32 portas de I/O (*Input/Output*). Para este projeto, a frequência de operação do processador fornece boa taxa de amostragem para a leitura do sensor. A grande quantidade de portas de I/O permite a conexão de todos os dispositivos eletrônicos ao sistema, a conexão WiFi permite a conexão remota com o dispositivo e a memória permite o armazenamento dos dados de forma física.

O regulador de tensão tem o papel de reduzir a tensão da fonte de 12V para alimentar os dispositivos eletrônicos de mais baixa tensão. Este regulador, portanto, está configurado para converter os 12V da fonte para os 5V de alimentação do dispositivo controlador e *driver*.

O sensor encoder fotoelétrico utilizado conta com 200 passos de leitura e pode ser acoplado diretamente ao eixo do motor. Esse sensor é responsável por realizar a leitura da posição do motor para a realimentação do sistema de controle. Esses dados são fornecidos como sinal binário pelos cabos do sensor e então são processados e convertidos para uma unidade de posição contabilizada em número de passos do motor.

Por fim, o último componente da lista é o dispenser de cereais onde todo o sistema foi montado. Este conta com 6 haletas e permite o porcionamento da ração. Sua estrutura já é adaptada para função de porcionar alimentos e facilita a implementação do sistema criado.

O acoplamento mecânico utilizado no sistema é realizado em eixo direto, ou seja, o motor, o sensor e o eixo do dispenser são acoplados a um mesmo eixo de giro como indicado na Fig. 10.

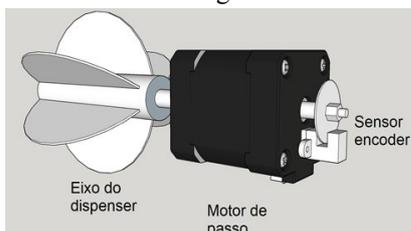


Fig. 10 Modelo 3D do acoplamento mecânico.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O dispositivo final criado é exibido na Fig. 11.



Fig. 11 Protótipo final.

As principais páginas da interface gráfica do sistema são compostas pela página principal, monitoramento, acionamento autônomo e análise de consumo. A página principal, indicada na Fig. 12, é o ponto central de toda a aplicação, sendo encontradas as principais funções do sistema.



Fig. 12 Página principal.

A página de monitoramento indicada na Fig. 13 é onde o usuário pode verificar todas as atividades realizadas no dispositivo, sejam elas acionadas pelo usuário ou automaticamente pelo acionamento autônomo.



Fig. 13 Página de monitoramento.

A página de acionamento autônomo indicada na Fig. 14 é onde são programados os acionamentos automáticos da máquina. Nessa página o usuário define um horário e todos os dias que esse acionamento será realizado.

1.	09:00:00
2.	13:00:00
3.	19:00:00

Fig. 14 Página de acionamento autônomo.

Uma vez que coletados os dados pelo sistema, o usuário pode acessar a página de análise de consumo indicado na Fig. 15. Nessa página será apresentada uma projeção dos cálculos de consumo referentes ao período indicado no monitoramento.

Média de porções por refeição	2.22
Refeições por dia	4.50
Consumo mensal em kg	5.48
Consumo mensal em reais	82.18

Fig. 15 Página de análise de consumo.

#### 4.1 Resultados da modelagem do motor

Uma vez obtido o modelo do motor, foi aplicado tensão nominal para validar o comportamento do modelo obtido com o dispositivo real. Os resultados dessa simulação estão indicados na Fig. 16.

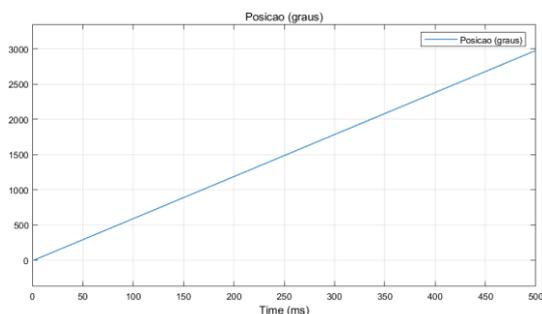


Fig. 16 Curva de posição do motor simulado.

O comportamento esperado da simulação do motor de passo é o de ganho de posição linear, sendo esse positivo ou negativo dependendo do sentido de giro.

#### 4.2 Resultados da simulação do sistema de controle

A simulação do sistema de controle é realizada para a verificação do comportamento do sistema de controle sobre o motor antes de sua implementação no sistema físico. Para a simulação, o motor é programado para girar em velocidade de aproximadamente 150 rpm e se deslocar até a posição de 360 graus, ou uma volta completa do motor. O resultado da simulação realizada é indicado na Fig. 17.

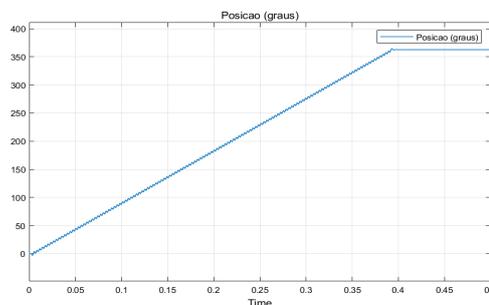


Fig. 17 Resultado da simulação do sistema de controle de posição.

A partir da simulação é possível observar um resultado adequado para o acionamento do motor de passo, uma vez que o deslocamento foi linear, a aceleração do motor na partida não distorceu a curva de posição e a frenagem do motor gerou erro de posição final de aproximadamente 2,6 graus, conforme é apresentado na Fig. 18.

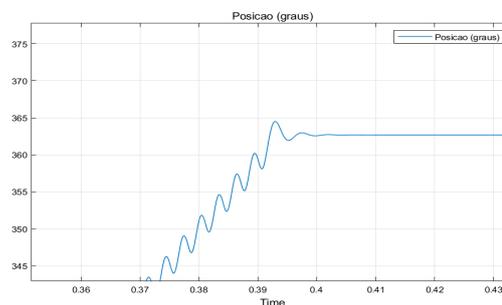


Fig. 18 Erro de posição no processo de frenagem do motor.

A posição do motor fisicamente é apresentada através das amostras coletadas pelo sensor *encoder* em unidades de tempo aferidas pelo timer do microcontrolador, indicados na Fig. 19.

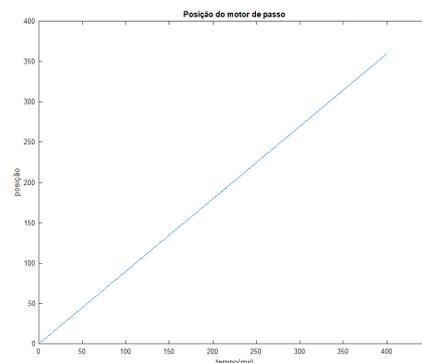


Fig. 19 Amostras de posição do motor de passo.

A partir da comparação entre os resultados da modelagem e as amostras do sistema físico, o resultado obtido por meio da simulação é validado.

#### 4.3 Resultados das amostras

Uma vez implementado o sistema físico, foram realizados alguns testes de precisão. Esses testes consistem na amostragem sequencial dos despejos do dispositivo e da amostragem automática por período maior de operação.

Na Tabela 2 estão indicadas as amostras sequenciais realizadas de 1 a 8 porções com massa de 13,33 gramas por porção. Esse valor de massa média por porção foi obtido através do valor médio de 100 porções despejadas.

**Tabela 2. Amostras do acionamento sequencial.**

Quantidade de porções	Amostras (g)					
1	22	13	21	17	18	15
2	24	27	24	25	23	22
3	42	36	41	34	36	37
4	55	53	58	51	58	60
5	73	71	74	67	63	69
6	72	76	87	82	95	86
7	98	97	105	100	85	92
8	103	113	115	107	112	110

A partir dessas amostras foi calculado o erro da média de massa das porções com a quantidade esperada para a análise de performance do dispositivo. Esses cálculos estão indicados na Tabela 3.

**Tabela 3. Cálculos utilizados na análise de performance.**

Quantidade de porções	1	2	3	4
Média (g)	17,67	24,17	37,67	55,83
Erro média	33%	9%	6%	5%
Quantidade de porções	5	6	7	8
Média (g)	69,50	83,00	96,17	110,00
Erro média	4%	4%	3%	3%

É possível observar o erro médio e identificar o principal problema do dispositivo. A operação com baixo número de porções é a maior fonte dos erros do sistema implementado, o erro global médio é de 11%.

Ao bloquear a possibilidade do acionamento com pequeno número de porções reduzimos a ocorrência de erros e travamentos no eixo do motor, reduzindo o erro global médio de 11% para 4%.

Após a realização dos bloqueios para a otimização do sistema, foi iniciado o teste de acionamento automático do dispositivo para a análise de confiabilidade dos despejos de ração.

Foram coletadas amostras de forma automática em três horários definidos no sistema, às 9 horas, 13 horas e 19 horas, totalizando 3 acionamentos por dia. A seguir, na Tabela 4, estão indicadas as amostras coletadas no sistema.

**Tabela 4. Amostras do acionamento automático.**

Amostras	Massa (g)
1. Dia: 15/03/2022, Hora: 09:00:00, Quantidade: 2	84
2. Dia: 14/03/2022, Hora: 19:00:00, Quantidade: 2	70
3. Dia: 14/03/2022, Hora: 13:00:00, Quantidade: 2	67
4. Dia: 14/03/2022, Hora: 09:00:00, Quantidade: 2	87
5. Dia: 13/03/2022, Hora: 19:00:00, Quantidade: 2	89
6. Dia: 13/03/2022, Hora: 13:00:00, Quantidade: 2	65
7. Dia: 13/03/2022, Hora: 09:00:00, Quantidade: 2	87
8. Dia: 12/03/2022, Hora: 19:00:00, Quantidade: 2	89
9. Dia: 12/03/2022, Hora: 13:00:00, Quantidade: 2	83
10. Dia: 12/03/2022, Hora: 09:00:00, Quantidade: 2	88

A massa dos despejos foi aferida através de uma balança eletrônica e tendo como base de cálculo o peso de uma porção como 40 gramas de ração. Na Tabela 5 estão indicados os cálculos utilizados na análise do teste de confiabilidade do dispositivo.

**Tabela 5. Cálculos utilizados na análise do teste de confiabilidade.**

Média (g)	80,9
Erro média	1%

É possível observar a redução do erro médio, de 4% para 1% se comparado com o teste anterior. Isso ocorre devido a compensação automática do sistema de controle e do sistema mecânico, que apesar de os erros acontecerem, eles são corrigidos pelo próprio sistema.

## 5. CONCLUSÕES

Na sociedade moderna, tem-se as evoluções sociais, econômicas e tecnológicas evidentes, conduzindo a automatização de processos e recursos que melhoram a qualidade de vida. Nesta linha, a maioria dos animais de estimação ficam em casa sozinhos, sobretudo na necessidade de os proprietários terem que sair para o trabalho ou viagem. Alguns animais de estimação, neste aspecto, podem ficar solitários, famintos, entediados e até experimentando ansiedade de separação. Como solução, existem formas de trazer ferramentas, como alimentadores automáticos, para satisfazer a demanda de alimentos.

Desta forma, este projeto apresenta um dispositivo que tem a proposta de atender as necessidades para o desenvolvimento de um produto responsável por ajudar a cuidar da alimentação

de um animal doméstico. A facilidade de acesso oferecida pelo servidor web e a confiabilidade gerada pelo conjunto de motor de passo e sistema de controle oferece um produto completo para a tarefa proposta.

O sistema de controle de posição do motor de passo apresentou um resultado adequado para a aplicação, uma vez que o protocolo de transmissão de dados garantiu ao serviço hospedado pelo microcontrolador a entrega e recepção dos dados e solicitações corretamente, sendo que a estrutura do servidor ofereceu fácil acesso ao dispositivo.

Como trabalhos futuros, é possível realizar o estudo de performance associado aos elementos mecânicos do dispositivo. Também podem ser estudados estruturas de gerenciamento e análise dos dados em servidores intermediários para a melhoria do sistema.

#### REFERÊNCIAS

- Aranjo B., Soori P. K. and Talukder P. (2012). Stepper motor drives for robotic applications. *IEEE International Power Engineering and Optimization Conference Melaka, Malaysia*, 2012, pp. 361-366, doi: 10.1109/PEOCO.2012.6230890.
- Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação (ABINPET). *Informações gerais do setor Pet*. Disponível em: [http://abinpet.org.br/infos\\_gerais/](http://abinpet.org.br/infos_gerais/), Acesso em: 20 de Abril de 2022.
- Camargo, M. D. C. (2021). Desenvolvimento de sistema de monitoramento com IoT de baixo custo para equipamentos médicos, (UNIFESP), *Trabalho de Conclusão de Curso*.
- Cardozo, W. S. (2012). Controle de Motores de Passo em Malha Fechada (*Doctoral dissertation*, PUC-Rio).
- Chapman, Stephen J. (2005). *Fundamentos de máquinas elétricas*. 5ª Ed., McGraw-Hill.
- Constandinou, T. G. (2005). Tudo sobre motores de passo. *Santa Maria: UFSM*. Disponível em: <[http://w3.ufsm.br/fuentes/index\\_arquivos/step.pdf](http://w3.ufsm.br/fuentes/index_arquivos/step.pdf)> Acesso em: 20 de Abril de 2022.
- Dazzo J.J. & Houppis, C. H. (1984). *Análise e Projeto de Sistemas de Controle Lineares*, 2a. Ed., Editora Guanabara.
- Furlan, A. C. S.; GOBETTI, S. T. C. (2021). A evolução da alimentação comercial para cães e gatos no Brasil. *Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa*, [S.l.], v. 37, n. 73, p. 46-57, dez. 2021.
- Gaedtke, K. M. (2019). Afeto e cuidado nas relações entre humanos e seus animais de estimação. *Mediações-Revista de Ciências Sociais*, 24(3), 84-99.
- Hanqing, T. (2015). Design and implementation of pet feeding system based on ARM platform remote control. *Beijing University of Technology*.
- Kim, S. (2016). Smart pet care system using internet of things. *International Journal of Smart Home*, 10(3), 211-218.
- Kurose, J. F. e Ross, K. (2010). *Redes de Computadores e a Internet*, 5ª Ed., Pearson.
- Le K. M., Hoang H. V. and Jeon J. W. (2017). An Advanced Closed-Loop Control to Improve the Performance of Hybrid Stepper Motors. *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, no. 9, pp. 7244-7255, Sept. 2017, doi: 10.1109/TPEL.2016.2623341.
- Santos, B. P., Silva, L. A., Celes, C. S., Borges Neto, J. B., Peres, B. S., Vieira, M. A. M., ... & Loureiro, A. A. (2016). *Internet das coisas: da teoria à prática* (UFMG). Livro Texto Minicursos - SBRC 2016, p. 15.
- Santos, J. W., & Junior, R. C. L. (2019). Sistema de automatização residencial de baixo custo controlado pelo microcontrolador esp32 e monitorado via smartphone (UTFPR). *Trabalho de Conclusão de Curso*.