

A UTILIZAÇÃO DA ROBÓTICA COMO FERRAMENTA DE ENSINO NA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL

THE USE OF ROBOTIC AS TEACHING TOOL IN PROFESSIONAL EDUCATION

Mariane Cristina Andrade¹ André Luiz Salvat Moscato² Juliano Aparecido Verri³ João Paulo Lima Silva de Almeida⁴ Ricardo Breganon⁵ 

Resumo: A crescente demanda dos diversos setores produtivos por profissionais qualificados das áreas tecnológicas nem sempre é completamente atendida, devido à desistência e/ou atrasos na formação de estudantes, que muitas vezes apresentam dificuldades na compreensão dos conteúdos da matemática, física, química, entre outros da área das ciências exatas. Com base nesta relação defasada entre a demanda e formação de profissionais, se faz necessária a utilização de metodologias educacionais alternativas que motivem e proporcionem o êxito no processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos mencionados. A utilização da robótica educacional como ferramenta metodológica tem se mostrado uma opção válida para mitigar esta situação. Neste contexto, com a utilização do kit de robótica educacional LEGO Mindstorms® NXT 2.0, este trabalho propõe o desenvolvimento de um experimento que contempla a observação e abordagens alternativas para um amplo conjunto de conteúdos da área das ciências exatas, tais como: estrutural e dinâmica (conceitos da mecânica e da física), componentes elétricos/eletrônicos (conceitos da eletrônica aplicados ao controle e automação), modelos matemáticos e programação (conceitos de lógica). Especificamente, o principal objetivo do experimento proposto requer que o estudante busque soluções em diversas áreas do conhecimento para o levantamento da potência e do torque em motores elétricos, a fim de observar uma relação interdisciplinar entre os conteúdos envolvidos. Os resultados são obtidos por meio da variação de posição no tempo de uma massa que é alçada pelo motor. Com estes valores, são apresentados graficamente o comportamento da potência mecânica, velocidade angular, rotação e torque com função porcentagem de potência (fornecido pelo *software*). Para validar a metodologia, a rotação calculada é comparada a rotação medida e o comportamento do torque pela potência é analisado.

Palavras-chave: Robótica educacional. Modelagem matemática. Educação Interdisciplinar. Ferramenta de aprendizagem.

¹ Técnica em Eletromecânica, IFPR, Jacarezinho, mariane.andrade2699@gmail.com

² Doutor em Engenharia Mecânica, IFPR, Jacarezinho, andre.moscato@ifpr.edu.br

³ Mestre em Matemática Aplicada e Comp., IFPR, Jacarezinho, juliano.verri@ifpr.edu.br

⁴ Doutor em Engenharia Elétrica e Inf. Industrial, IFPR, Jacarezinho, joao.almeida@ifpr.edu.br

⁵ Doutor em Engenharia Mecânica, IFPR, Jacarezinho, ricardo.breganon@ifpr.edu.br

Abstract: The increasing demand from the several productive sectors for qualified professionals of the technological areas is not always completely meet, due to the withdrawal and/or delays in the student formation, who often present difficulties in understanding the concepts of mathematics, physics, chemistry, among others in the area of the exact sciences. Based on this lagged relation between the demand and the professional formation, it is necessary the use of alternative educational methodologies that motivate and provide success in the teaching-learning process of the mentioned contents. The use of the educational robotic as methodological tool has been shown a valid option to mitigate that situation. In this context, with the use of the educational robotic tool LEGO Mindstorms® NXT 2.0, this work purposes the development of an experiment that contemplates the observation and alternative approaches for a wide range of contents of the exact sciences, such as: structural and dynamic (mechanical and physical concepts), electrical/electronic components (electronic concepts applied on control and automation), mathematical models and programming (logical concepts). Specifically, the main goal of the proposed experiment requires the student to seek solutions in several knowledge areas for the power and torque identification in electric motors, in order to observe an interdisciplinary relationship among the involved concepts. The results are obtained by means of the position changing, along the time, of a mass to be raised by the motor. From these values, the behavior of the mechanical power, angular velocity, rotation and torque with power of percentage function (provided by the software) are graphical presented. In order to validate the methodology, the computed and measured rotations are compared, and the torque behavior related to the power is analyzed.

Keywords: Educational robotic. Mathematical modeling. Interdisciplinary Education. Learning tool.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas automatizados vem se destacando no cotidiano da vida moderna, desde a execução de operações somente no nível de *softwares* (operações bancárias automáticas), até aquelas que coordenam de forma automática os sistemas elétricos e mecânicos, como é o caso dos sistemas robóticos de uma forma geral.

Em especial, os robôs se destacam em operações que demandam segurança, agilidade e precisão. Além disso, diversas operações que ocorrem na indústria moderna são inviáveis ou até mesmo impraticáveis sem a presença de manipuladores robóticos, pois requerem movimentos repetitivos e/ou um elevado grau de precisão, as quais são geralmente encontradas nos setores de produção e manutenção. Um exemplo é a crescente utilização da robótica na indústria 4.0 (SCHWAB, 2016).

Uma outra aplicação da robótica que merece destaque são as missões aeroespaciais, sobre as quais podem-se citar os robôs americanos que pousaram em Marte, *Spirit e Opportunity* e, mais recentemente, o robô *Curiosity* (Figura 1), enquanto o robô chinês, Yutu, está em uma missão na superfície da Lua.

Figura 1 – *Curiosity*, robô que iniciou suas atividades em agosto de 2012.



Fonte: NASA.

Em uma outra perspectiva, a robótica vem ganhando espaço também na educação, com estudos realizados desde a década de 90 (PAPERT, 1994). Sob a visão educacional, a escola deve estar inserida na revolução tecnológica, ou seja, se a sociedade vive a crescente interação Homem-Máquina, as técnicas de ensino aprendizagem devem evoluir na mesma perspectiva e utilizar estes meios para que o estudante esteja preparado para resolver questões cada vez mais complexas requerida pela sociedade.

Com base nas perspectivas apresentadas, as pesquisas na área da robótica aliada à educação ganharam o devido destaque em todo país. Um dos principais resultados desta demanda é o aumento expressivo no número de laboratórios que se dedicam à experimentação em robótica como metodologia de ensino e de projetos de pesquisa que envolvem tais temas, como é o caso de Santos (2019), que apresentou um protótipo de um carro robótico didático guiado remotamente.

Em uma outra contribuição, Silva (2009) realizou um experimento com alunos do ensino fundamental da rede pública utilizando o método de pesquisa-ação com o kit LEGO Mindstorms® e um software educacional. Observou-se como resultado que, embora houve dificuldades em adaptações dos conceitos próprios da robótica para o público pretendido, os estudantes apresentaram um desenvolvimento satisfatórios nos quesitos de interdisciplinaridade e trabalho em grupo.

Outra aplicação da robótica educacional no ensino fundamental foi apontada por (ZILLI, 2004), em instituições das redes pública e privada. Inspirada em publicações de autores consagrados, como Gardner, Perrenoud, Papert e Piaget, evidenciou-se a importância da tecnologia agregada ao ambiente escolar. Ao fim de seu trabalho, foi proposta uma metodologia para implementação da robótica nas escolas, com a descrição de possíveis kits didáticos a serem utilizados.

Martins (2012) utilizou a robótica educacional em escolas municipais de Porto Alegre – RS, em aulas de Matemática. O objetivo principal deste trabalho foi verificar se, de fato, a robótica educacional poderia ser utilizada como

ferramenta de ensino com a utilização do *kit* LEGO Mindstorms®. Assim, verificou-se um maior comprometimento e envolvimento dos estudantes com a disciplina, durante a qual foram desenvolvidas aptidões relacionadas ao trabalho em grupo e a aceitação do erro como estratégia na busca de soluções de problemas matemático. No mesmo sentido, tem-se também a abordagens para o ensino de Física, encontradas em Stoppa (2012) e Diniz e Santos (2014).

No ensino superior, principalmente em cursos de engenharia, constata-se também que as ferramentas de robótica educacional são opções válidas para promover a interdisciplinaridade e estabelecer uma metodologia de ensino alternativa, baseada em experimentações, como apontam Oliveira et al. (2013), Simões et al. (2006), Vahldick (2006) e Furtado Neto et al. (2012). Sob uma perspectiva de verticalização do ensino (interação entre ensino médio e superior), Vallim et al. (2009) promoveram um laboratório de experimentação em robótica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Cornélio Procopio/PR, denominado “Ninho de Pardais”, o qual visa implementação de projetos inovadores visando promover a interação das ciências da engenharia com o ensino em escolas de nível médio, além de estabelecer uma rede de núcleos de incentivo ao estudo de ciência e tecnologia nas escolas da região e desenvolver ferramentas e metodologias de ensino aprendizagem adequadas às demandas regionais.

Com base nos trabalhos apresentados, observa-se um vasto campo de aplicações da robótica educacional no processo de ensino-aprendizagem. Dessa forma, neste trabalho é proposta a utilização da robótica educacional como elemento motivador para o estudo de conteúdos que envolvem a física, a mecânica e a elétrica/eletrônica. Para isso, é descrito o desenvolvimento de um experimento para a obtenção de potência de motores elétricos, em Watts [W], por meio de uma plataforma que reproduz didaticamente os apontamentos pioneiros de James Watt para tal definição (MELCONIAN, 2019).

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção 2 é apresentada uma contextualização teórica acerca do experimento proposto e são descritos os principais detalhes dos desenvolvimentos mecânico e eletrônico

da plataforma; na Seção 3 são discutidos os resultados experimentais, enquanto as considerações finais são apresentadas na Seção 4.

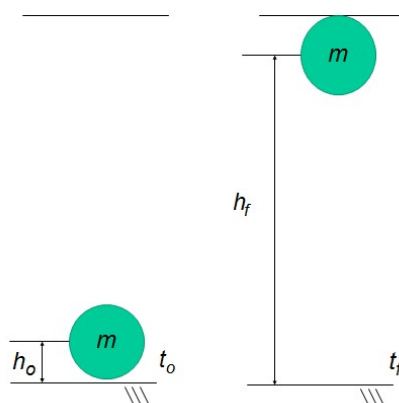
2 FUNDAMENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Para o desenvolvimento da proposta deste trabalho, tem-se como base o modelo experimental proposto por James Watt, o qual tem por objetivo demonstrar a capacidade de trabalho de uma máquina a vapor, a fim e verificar a quantidade de cavalos substituídos por ela (MELCONIAN, 2019). Neste sentido, propõe-se a reprodução dos princípios abordados pelo experimento mencionado em uma forma didática, com a utilização da ferramenta de robótica educacional LEGO NXT 2.0. Analogamente, o principal objetivo do experimento descrito neste trabalho é calcular a potência do conjunto de motores disponibilizado pelo *kit* utilizado.

2.1 Síntese do experimento de James Watt

O experimento conduzido por James Watt consistiu, basicamente, em alçar uma massa m à altura h_f que inicialmente está em uma posição h_o , assim podendo verificar a variação do tempo para esta ação. Uma ilustração deste experimento é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Diagrama esquemático do experimento realizado por James Watt.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Com os parâmetros envolvidos no experimento ilustrado, pode-se analisar a energia potencial nos instantes t_0 (E_{p,t_0}) e t_f (E_{p,t_f}), que são dadas pelas equações (1) e (2):

$$E_{p,t_0} = mgh_0 \quad (1)$$

$$E_{p,t_f} = mgh_f \quad (2)$$

onde:

é g o valor da aceleração da gravidade.

Analisando a variação de energia entre os tempos t_0 e t_f , por meio das equações (1) e (2), chega-se à equação (3).

$$E_{p,(t_f-t_0)} = mg(h_f - h_0) \quad (3)$$

Utilizando a equação (3) e aplicando-a na equação da potência (equação (4)), chega-se à equação da potência desenvolvida para alçar a massa m , equação (5).

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (4)$$

$$P_{(t_f-t_0)} = \frac{mg(h_f - h_0)}{(t_f - t_0)} \quad (5)$$

Analisando a equação (5), podem-se simplificar os termos de variação do espaço pela variação do tempo em velocidade média, assim tem-se a equação (6).

$$P_{(t_f-t_0)} = mgv_{m,(t_f-t_0)} \quad (6)$$

onde:

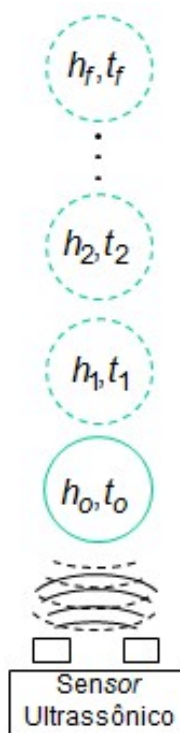
$v_{m,(t_f-t_0)}$ é a velocidade média da massa m durante a subida.

O modelo apresentado nesta seção é utilizado para o cálculo da potência mecânica disponível no conjunto de motores do *kit* LEGO NXT 2.0, seguindo as considerações apresentadas na próxima seção.

2.2 Desenvolvimento do experimento no LEGO NXT 2.0

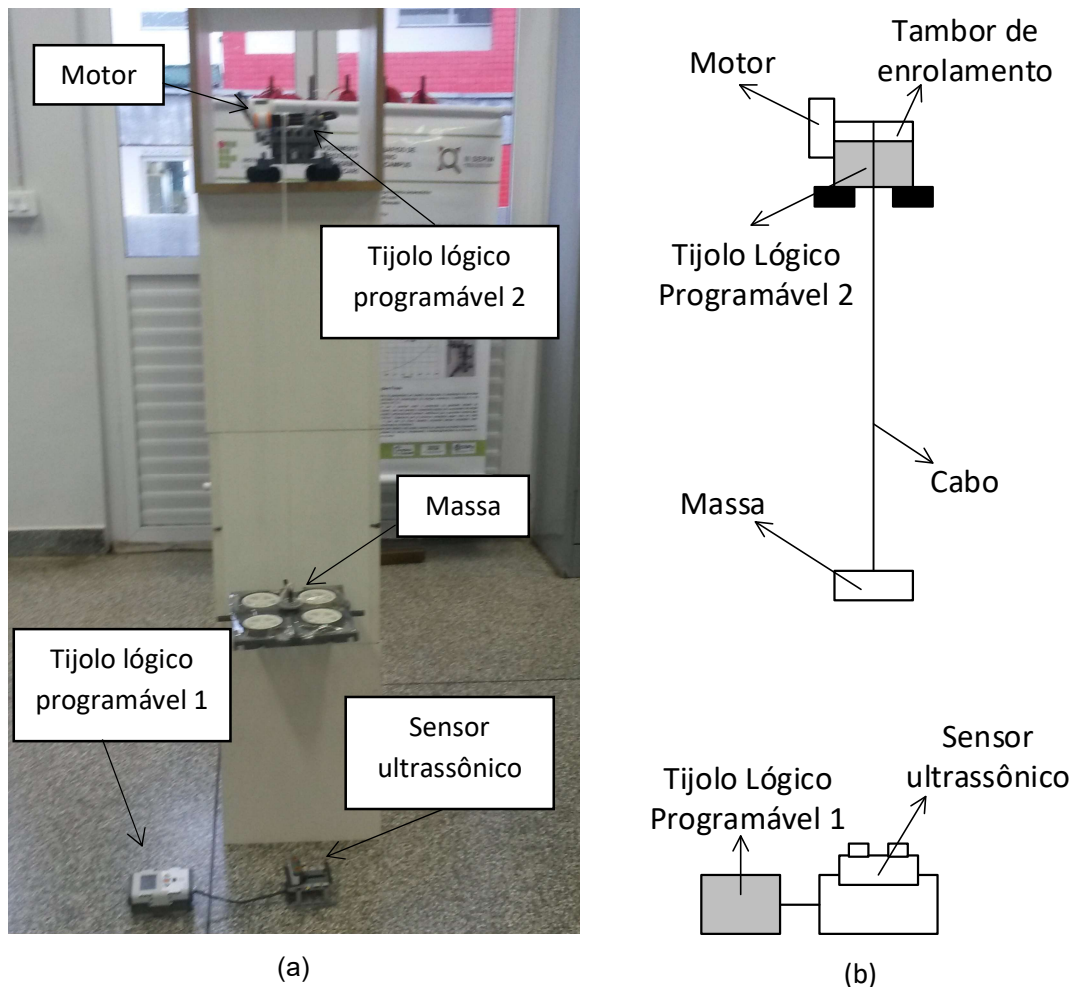
Para a reprodução do experimento ilustrado na Figura 2, utiliza-se um conjunto de rodas, disponíveis no *kit* para a confecção dos robôs, para representar o corpo em movimento de massa m . O movimento de subida da massa m é proporcionado por um cabo preso em sua superfície e tracionado até a altura h_f por um motor. O deslocamento do corpo, da altura h_0 à h_f , é medido por um sensor ultrassônico. O registro dos valores de tempo de subida e posição da massa e o acionamento do motor é realizado por dois Tijolos Lógicos Programáveis (TLPs) independentes, os quais se comunicam por meio do protocolo *Bluetooth*. Esta configuração é esquematizada na Figura 3, enquanto o posicionamento dos componentes é apresentado na Figura 4. Todos os componentes utilizados estão inclusos no *kit* de robótica utilizado. O experimento foi desenvolvido no Instituto Federal do Paraná – Campus Jacarezinho.

Figura 3 – Representação do experimento sob a abordagem do kit LEGO NXT 2.0.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 4 – (a) Experimento proposto com os componentes LEGO NXT 2.0. (b) Diagrama esquemático do experimento.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

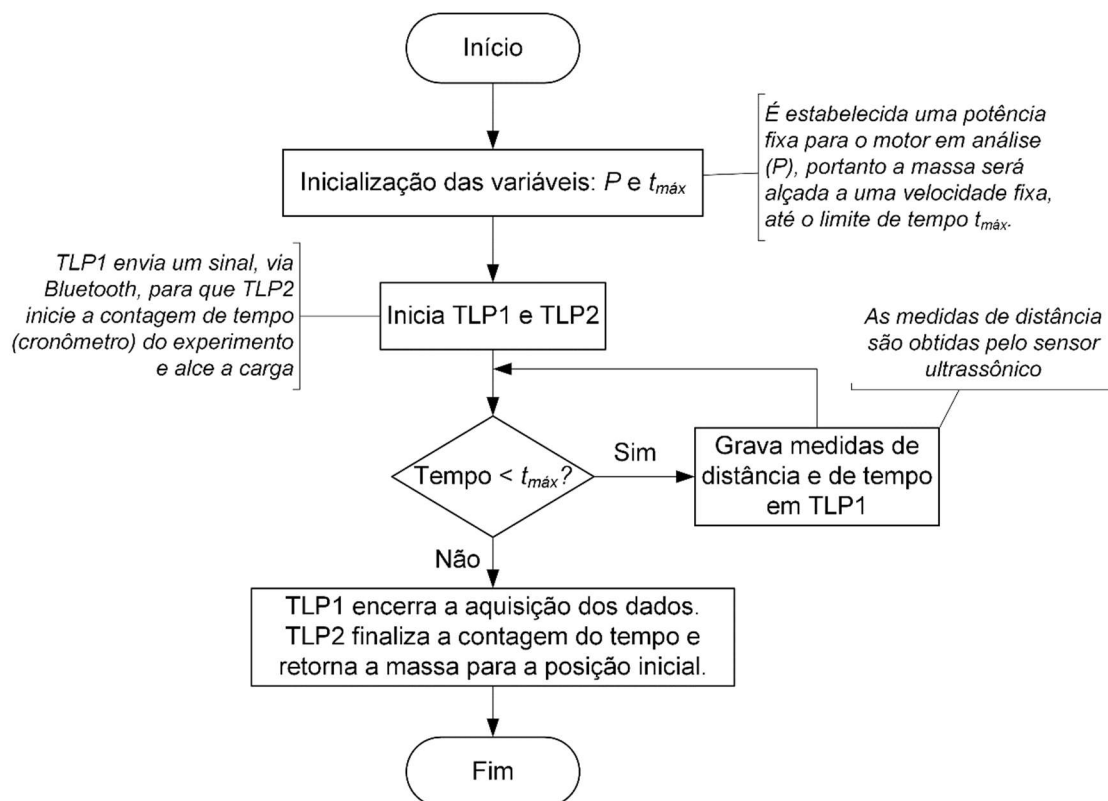
É importante destacar que o acionamento do motor por um dos TLPs é programado para uma potência de subida fixa desejada. Porém, como dito anteriormente, esta potência é desconhecida em termos de unidade de medida [W], ou seja, sabe-se somente a porcentagem de potência do acionamento motor.

A partir da configuração de experimento proposta e com os valores da variação do espaço e do tempo, ambos obtidos por meio do *kit*, os dados são tratados estatisticamente e o valor de velocidade média é obtida para o valor de

potência do motor do *kit*.

Como se pode observar na proposta de experimento descrita nesta seção, é possível o estudante observar os seguintes conceitos utilizados: deslocamento e velocidade média (Física e Matemática); montagem de estruturas (Mecânica); utilização de sensores e atuadores (Elétrica/Eletrônica); e programação (Informática), como pode ser observado no fluxograma da Figura 5, que representa as rotinas implementadas no *software* LEGO Mindstorms® Education NXT Programming para a execução do experimento. Os principais detalhes do funcionamento do fluxograma são apresentados em *itálico*. Os dados são adquiridos por meio do *software* LEGO Mindstorms® Education NXT Data Logging.

Figura 5 – Fluxograma de implementação.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nesta seção são apresentados os principais resultados obtidos da plataforma de experimentos descrita na seção 2.2 e ilustrada na Figura 4. Os resultados são apresentados em duas partes: na primeira, são apresentados os dados que levam ao cálculo da potência do motor, que consiste no objetivo principal deste trabalho; enquanto na segunda parte, resultados complementares são apresentados a fim de propiciar o cálculo de outras características do motor e demonstrar outras possibilidades metodológicas de ampliação das investigações.

3.1 Resultados para o cálculo da potência do motor

Inicialmente, programou-se o TLP para que o motor fosse acionado a uma potência fixa de 25% (veja Figura 4). A partir do tempo $t_0 = 0$ s, anotou-se a medida de distância do corpo a cada 0,2 segundos, até $t_f = 1,8$ s, de acordo com os dados mostrados no TLP (advindos do sensor ultrassônico). A fim de considerar dados confiáveis para a análise (livre de ruídos e/ou outras interferências), repetiu-se esta coleta de dados por 30 vezes e adotou-se a média entre os dados medidos. Após a obtenção dos dados para 25% de potência aplicada ao motor, repetiu-se todo o procedimento para as potências de 50%, 75% e 100%.

Os resultados obtidos para a potência de 25% aplicada ao motor são mostrados na Tabela 1.

Um modelo linear aproximado dos dados de distância apresentados na Tabela 1 consiste em: $y = 4,3733x + 41,71$, em que os coeficientes foram obtidos pelo método dos mínimos quadrados dos erros. O alto valor de R^2 (0,9982) indica que o modelo atende os requisitos de precisão para este trabalho. Uma vez que a relação é de distância x tempo, o coeficiente angular da reta de

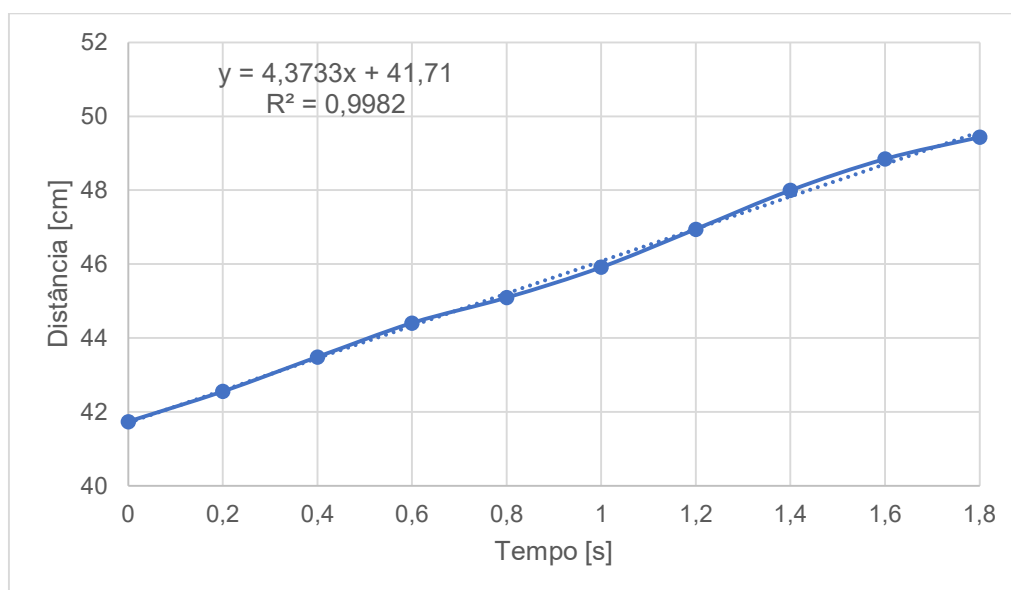
regressão é a estimativa encontrada para a velocidade do sistema, que no caso foi de 4,37 cm/s. Este comportamento pode ser observado na Figura 6.

Tabela 1 - Testes realizados para potência em 25% e tratados estatisticamente.

Instantes	Tempo [s]	Mínimo [cm]	Mediana [cm]	Média [cm]	Máximo [cm]
1	0	40,00	41,00	41,74	45,00
2	0,2	41,00	42,00	42,56	45,00
3	0,4	42,00	43,00	43,49	46,00
4	0,6	43,00	44,00	44,41	47,00
5	0,8	44,00	45,00	45,10	47,00
6	1	45,00	46,00	45,92	48,00
7	1,2	46,00	47,00	46,95	52,00
8	1,4	47,00	48,00	48,00	55,00
9	1,6	47,00	49,00	48,85	55,00
10	1,8	48,00	49,00	49,44	53,00

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 6 – Modelo linear para a potência de 25%.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Para a potência de 50%, os dados obtidos são apresentados na Tabela 2.

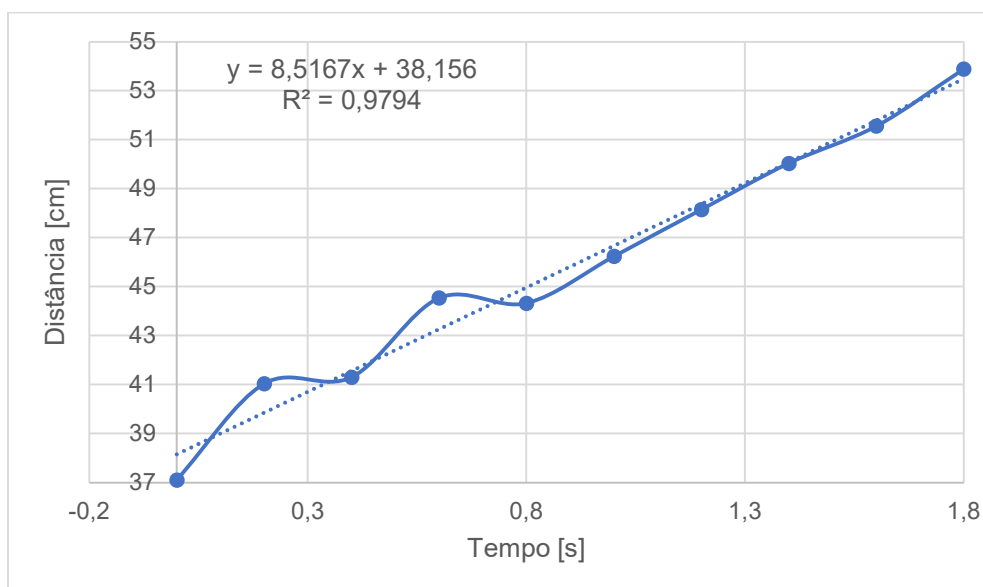
Tabela 2 - Testes realizados para potência em 50% e tratados estatisticamente.

Instantes	Tempo [s]	Mínimo [cm]	Mediana [cm]	Média [cm]	Máximo [cm]
1	0	36,00	37,00	37,11	39,00
2	0,2	38,00	39,00	41,04	43,00
3	0,4	40,00	41,00	41,31	48,00
4	0,6	41,00	42,00	44,54	48,00
5	0,8	43,00	44,00	44,33	46,00
6	1	44,00	46,00	46,24	49,00
7	1,2	47,00	48,00	48,15	50,00
8	1,4	48,00	50,00	50,04	56,00
9	1,6	50,00	51,00	51,56	54,00
10	1,8	51,00	53,00	53,89	65,00

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Da mesma forma considerada para 25% de potência, o modelo linear aproximado para os dados da Tabela 2 possui a equação: $y = 8,5167x + 38,153$. O alto valor de R^2 (0,9794) evidencia a boa qualidade do ajuste. Tem-se como o coeficiente angular da reta de regressão o valor de 8,51 cm/s. Uma comparação visual entre o modelo obtido e os dados reais pode ser observada na Figura 7.

Figura 7 – Modelo linear para a potência de 50%.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

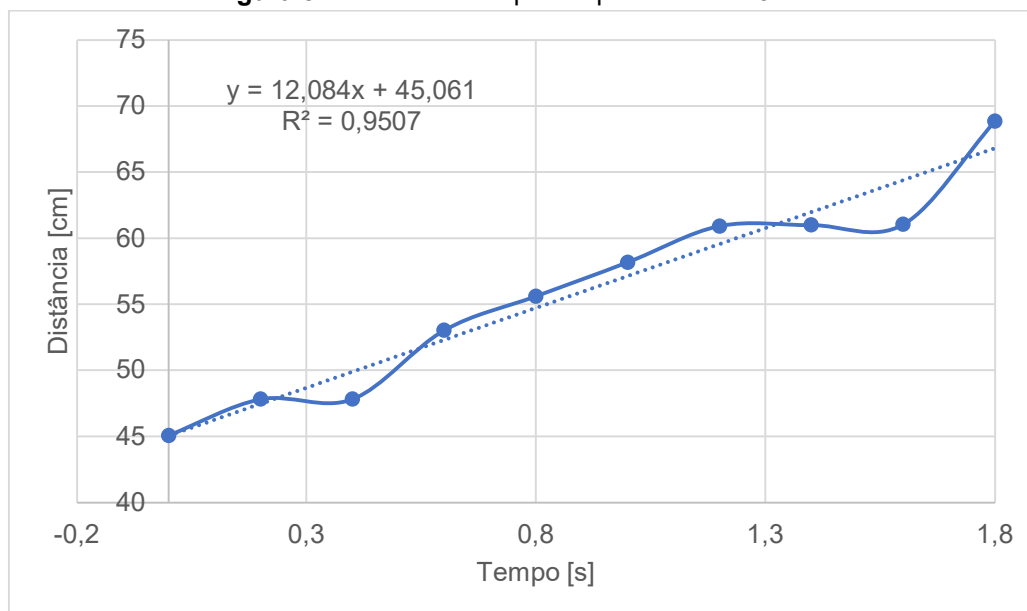
Os dados de distância relativos ao experimento que considera 75% de potência aplicada ao motor são apresentados na Tabela 3, cujo modelo linear estimado compreende a equação: $y = 12,084x + 45,061$, com $R^2 = 0,9507$ e coeficiente angular da reta de regressão de 11,82 cm/s. O comportamento dos dados do modelo linear e reais é apresentado na Figura 8.

Tabela 3 - Testes realizados para potência em 75% e tratados estatisticamente.

Instantes	Tempo [s]	Mínimo [cm]	Mediana [cm]	Média [cm]	Máximo [cm]
1	0	44,00	45,00	45,08	53,00
2	0,2	45,00	48,00	47,82	53,00
3	0,4	48,00	50,00	50,23	55,00
4	0,6	51,00	53,00	53,03	58,00
5	0,8	54,00	55,00	55,61	60,00
6	1	57,00	58,00	58,18	62,00
7	1,2	58,00	61,00	60,92	69,00
8	1,4	58,00	61,00	61,00	69,00
9	1,6	58,00	61,00	61,05	69,00
10	1,8	66,00	68,00	68,86	76,00

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 8 – Modelo linear para a potência de 75%.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Por fim, na Tabela 4 são apresentados os dados de distância relativos ao experimento com potência de 100%.

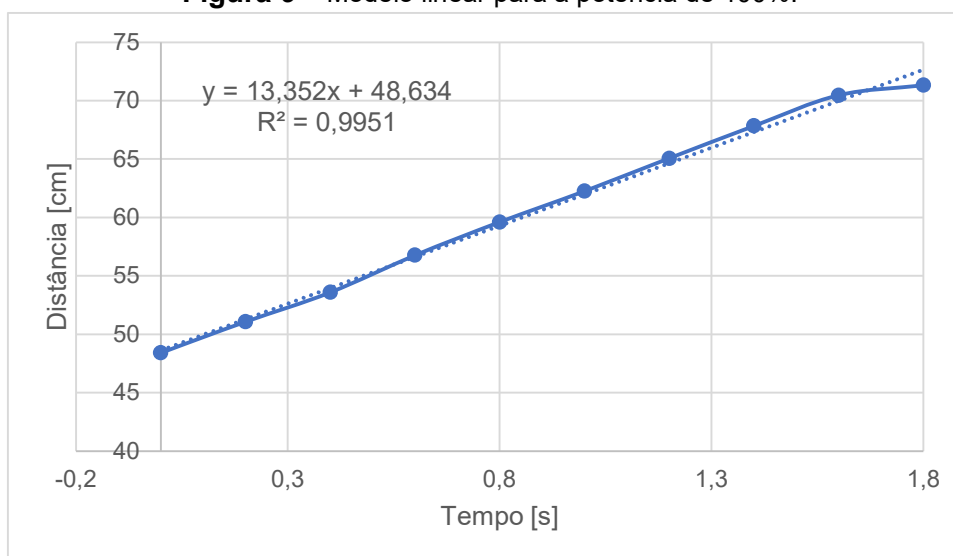
Tabela 4 - Testes realizados para potência em 100% e tratados estatisticamente.

Instantes	Tempo [s]	Mínimo [cm]	Mediana [cm]	Média [cm]	Máximo [cm]
1	0	47,00	48,00	48,43	55,00
2	0,2	49,00	50,00	51,08	58,00
3	0,4	52,00	53,00	53,60	61,00
4	0,6	55,00	56,00	56,78	64,00
5	0,8	57,00	59,00	59,62	67,00
6	1	60,00	62,00	62,27	68,00
7	1,2	63,00	64,00	65,07	76,00
8	1,4	65,00	68,00	67,85	72,00
9	1,6	68,00	70,00	70,47	76,00
10	1,8	69,00	71,00	71,33	77,00

Fonte: Elaborado pelos Autores.

O modelo linear ajustado possui equação: $y = 13,352x + 48,634$, com $R^2 = 0,9951$ e coeficiente angular da reta de regressão de 13,35 cm/s. Este comportamento pode ser observado na Figura 9.

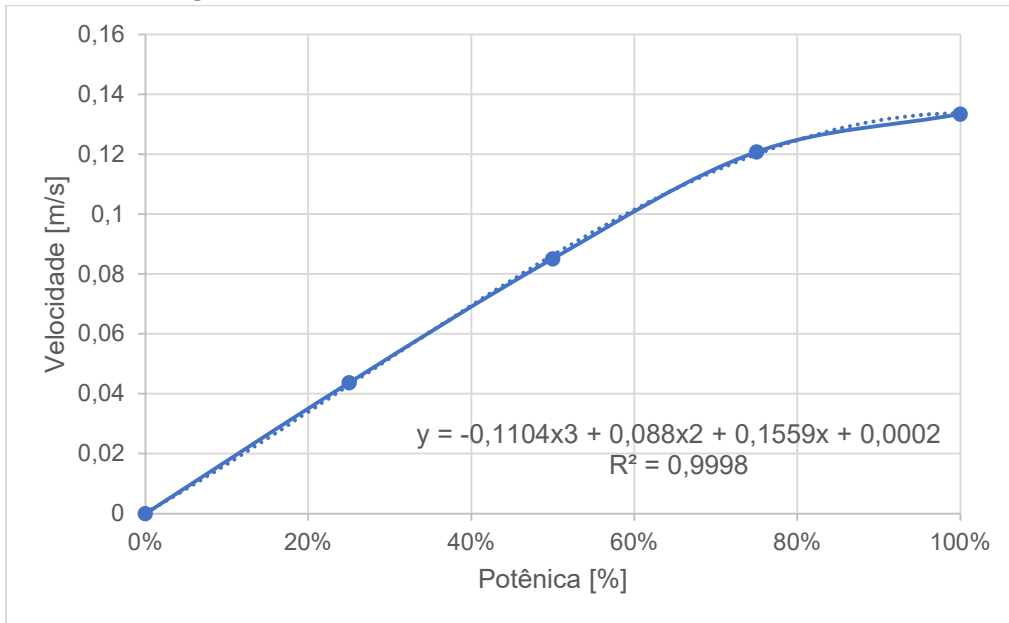
Figura 9 – Modelo linear para a potência de 100%.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Por fim, com os coeficientes angulares das retas, que representam a velocidade em [cm/s], pode-se chegar a um gráfico de Potência em [%] por velocidade em [m/s] como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Potência em [%] por velocidade em [m/s].



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Com o ajuste polinomial mostrado na Figura 10 foi possível realizar um estudo mais minucioso do comportamento da taxa de variação da velocidade em função da potência aplicada.

Uma vez que o polinômio de terceiro grau apresentou uma elevada precisão no ajuste ($R^2 = 0,9998$), torna-se evidente que as grandezas relacionadas não são diretamente proporcionais.

Calculando-se a derivada do modelo ajustado $y = -0,11x^3 + 0,088x^2 + 0,1559x + 0,0002$, obtém-se a seguinte expressão:

$$\frac{dy}{dx} = -0,3312x^2 + 0,176x + 0,155 \quad (7)$$

Ao igualar a equação (7) à zero, resulta-se em uma equação de segundo grau cujas raízes são $x_1 = -0,47$ e $x_2 = 1,001$, as quais estão fora do intervalo do domínio considerado (de 0% a 100%). Desta forma, dado que $\frac{dy}{dx} > 0$ ao longo de todo o domínio, conclui-se que a função y é crescente, isto é, aumentando-se a potência, aumenta-se a velocidade média.

Entretanto, calculando-se a derivada segunda de y obtém-se (8):

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -0,6624x + 0,176 \quad (8)$$

A partir da qual, solucionando-se a equação (9):

$$\frac{d^2y}{dx^2} = 0 \quad (9)$$

Apresenta um ponto de inflexão para $x_0 = 0,2657$. Sendo assim, a partir de aproximadamente 26% da potência aplicada, a taxa de variação da velocidade média em função da potência tende a decair, embora permaneça positiva.

Tal análise deixa evidente que o rendimento do motor tende a cair em potências elevadas.

3.2 Cálculo de parâmetros complementares do motor LEGO NXT 2.0

Além de encontrar a relação entre a potência em porcentagem e a potência em Watts, o experimento proposto também apresenta dados para encontrar outros parâmetros relativos ao motor LEGO NXT 2.0. Como exemplo, destacam-se os três seguintes:

1. Velocidade angular [Rad/s]: a velocidade angular pode ser encontrada por meio da equação (10).

$$\omega = \frac{V}{R} \quad (10)$$

onde: ω representa a velocidade angular, V representa a velocidade de subida da massa e R pode ser definido como o raio do carretel que enrola o cabo que está preso ao corpo, cujo valor é de 0,01025 m.

2. Rotação [RPM]: o valor de rotações por minuto é calculado com auxílio da equação (11).

$$r = \frac{30\omega}{\pi} \quad (11)$$

onde, r é referente ao número de rotações por minuto. Para fins de comparação, a rotação obtida pela equação (11) é comparada com a rotação medida por um tacômetro.

3. Torque no motor [Nm]: o torque no motor representa a força que o motor faz para deslocar a massa de 0,210 kg (veja Figura 4), conforme equação (12).

$$M_t = \frac{P}{\omega} \quad (12)$$

onde M_t representa o torque no motor e P é a potência deduzida ao longo da seção 3.1.

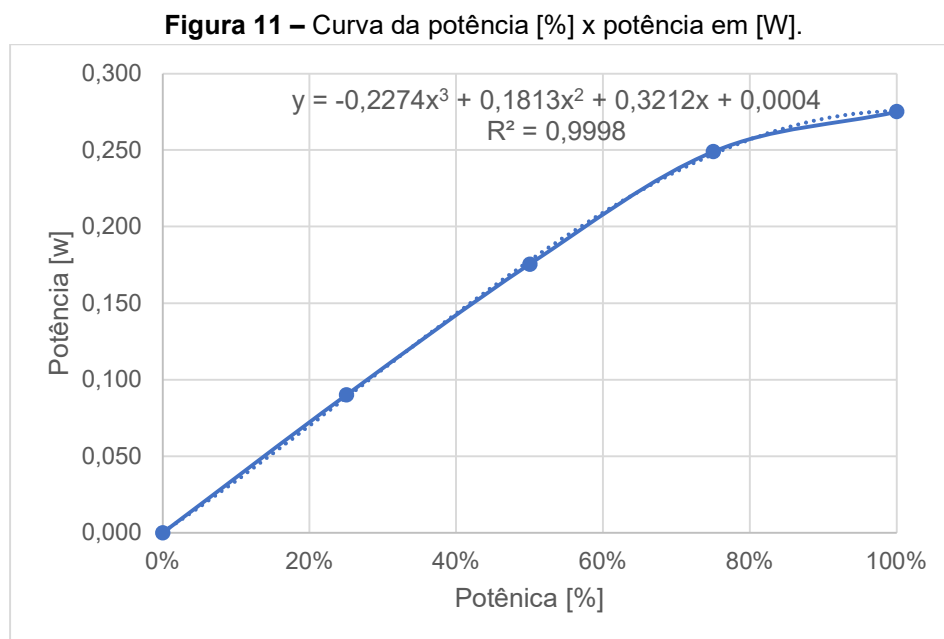
A partir da aplicação das equações (10)-(12) e da medição com o tacômetro, os valores obtidos são apresentados na Tabela 5, juntamente com uma análise, em percentual, do erro de rotação entre os valores calculado e medido.

Tabela 5 - Parâmetros calculados e medido no motor LEGO NTX 2.0.

Potência [%]	Potência [W]	Velocidade Angular [Rad/s]	Rotação [RPM]	Torque [N.m]	Rotação Tacômetro [RPM]	Erro Rotação
0%	0,000	0,000	0,000	0,0211	0	0%
25%	0,090	4,267	40,743	0,0211	40	-2%
50%	0,175	8,309	79,345	0,0211	74	-7%
75%	0,249	11,789	112,579	0,0211	118	5%
100%	0,275	13,026	124,392	0,0211	127	2%

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Complementando a análise, na Figura 11 é possível perceber que quanto maior o percentual da potência aplicada, maior é a potência em Watts, porém este crescimento não se mantém para potências elevadas.

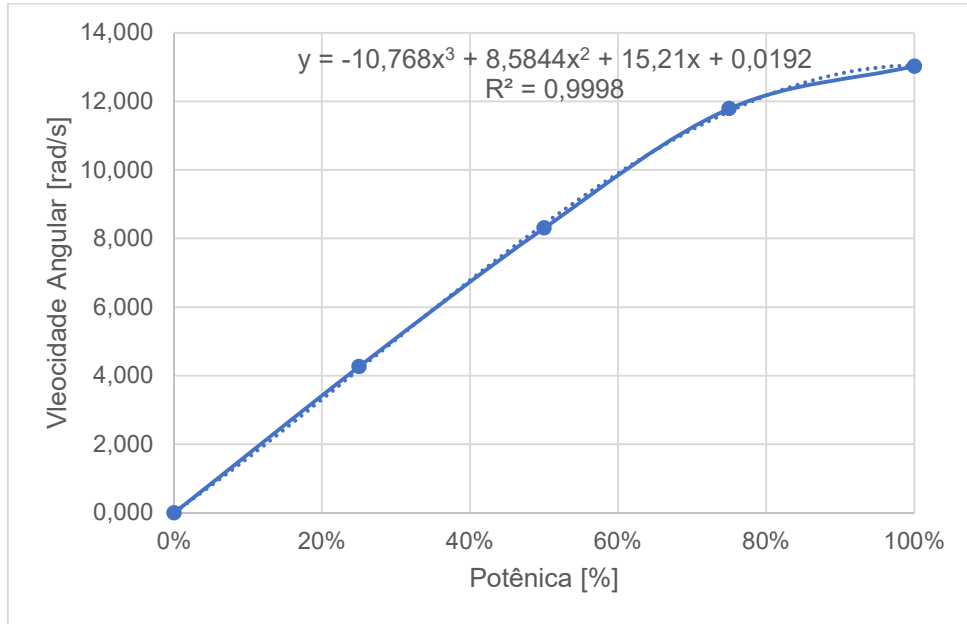


Fonte: Elaborado pelos Autores.

Na Figura 12 é apresentada a relação entre Potência [%] e Velocidade Angular [rad/s]. Nesta relação, é perceptível que a velocidade angular também acompanha a potência. Para potências elevadas, a velocidade angular deixa de possuir uma característica linear e tende a diminuir.

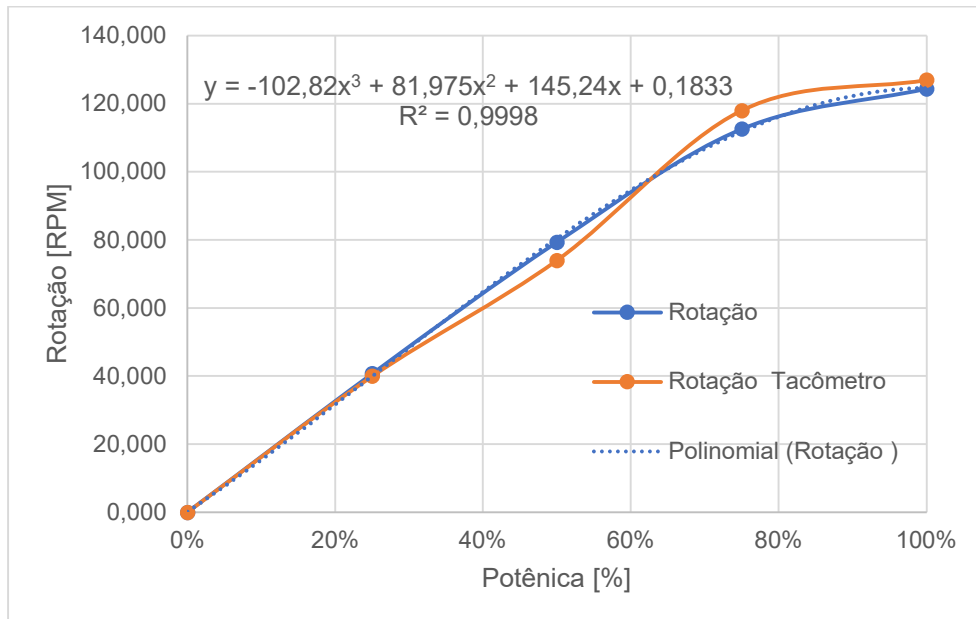
Na Figura 13 verificam-se os mesmos comportamentos apontados nas Figuras 11 e 12, ou seja, o número de rotações acompanha o aumento da potência, mas se estabiliza ao alcançar as potências máximas. Na Figura 13 a rotação medida com o tacômetro permite confirmar que o valor da rotação calculada está próximo dos valores reais medidos no experimento.

Figura 12 – Curva da potência [%] x velocidade angular [rad/s].



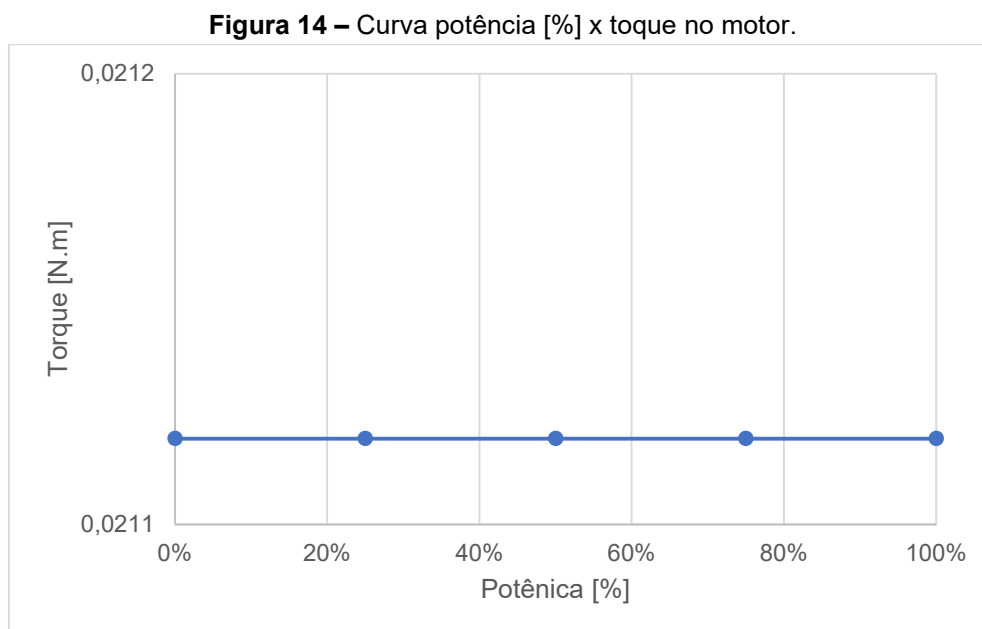
Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 13 – Curvas de potência [%] x rotações por minuto e de potência em [%] x rotações por minuto medidas tacômetro.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Por fim, na Figura 14, é possível comprovar uma característica apresentada em todos os motores elétricos que, independente da potência, o valor de torque permanece o mesmo, validando a metodologia proposta.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho é apresentada uma abordagem alternativa de ensino, baseada em robótica educacional, para desenvolver conceitos interdisciplinares da Física, Matemática, Mecânica, Elétrica/Eletrônica e Informática. Tratou-se de uma plataforma experimental, desenvolvida no Instituto Federal do Paraná – Jacarezinho, para o cálculo de parâmetros de um motor elétrico, componente do *kit* educacional LEGO Mindstorms® NXT 2.0.

Constatou-se que a iniciativa de abordar conceitos abstratos das ciências exatas por meio de atividades práticas de fácil observação contribuem para a compreensão de conteúdos propostos.

Especificamente nos componentes curriculares que envolvem elementos de máquinas, geralmente ofertadas em cursos técnicos em eletromecânica e mecânica, o experimento proposto facilita a aprendizagem de conceitos relativos a motores, tais como o cálculo de rotações por minuto e potência. Conceitos de elétrica e eletrônica também foram aplicados nestas ocasiões.

Em relação aos conceitos de Física e Matemática, pôde-se abordar os conteúdos de velocidade média, deslocamento e modelagem, os quais geralmente são apresentados somente de forma teórica.

Os poucos erros observados nos cálculos e nas medições foram ocasionados por erros de leitura e/ou sinais ruidosos, que é uma situação própria de qualquer experimento prático que utiliza componentes reais. Este fato é mais um exemplo de êxito da metodologia proposta em aproximar o estudante a situações reais, juntamente com o conhecimento de como lidar com tais fatores que são desconsiderados na teoria.

Espera-se que o experimento apresentado neste trabalho contribua para o desenvolvimento de trabalhos futuros que envolvam a robótica educacional, podendo-se destacar análise dos motores do kit LEGO de EV3 e comparando-os ao NXT. E ainda, aplicar tal metodologia nas salas de aula afim de observar sua eficácia como ferramenta de apoio para conceitos de Física (mecânica) e Matemática.

REFERÊNCIAS

DINIZ, R.; SANTOS, M. A Utilização da Robótica Educacional LEGO nas aulas de Física do 1º ano do ensino médio e suas contribuições na aprendizagem. **Congresso Ibero-Americano**, Buenos Aires, Argentina, 2014.

FURTADO NETO, G.; SILVA, B. L. E.; Pereira, R. R.; ARAÚJO JÚNIOR, L. O. Utilização do Kit LEGO Mindstorm NXT no Ensino de Controle de Processos, **XI**

Congresso Brasileiro De Educação Em Engenharia, COBENGE, Belém, PA, 2012.

MARTINS, Elisa F. **Robótica na Sala de Aula de Matemática: Os Estudantes Aprendem Matemática?** Porto Alegre: Dissertação, 2012.

MELCONIAN, S. **Elementos de Máquinas**. 11^a Ed, Editora Erica, São Paulo, 2019.

NASA Science, Mars Exploration Program, Disponível em <https://mars.nasa.gov/msl/home/>, Acesso em 23 jun. 2020.

OLIVEIRA, G. B.; PEDRINI. R.; MEIRINHO, C. J.; BERGER, F.; WATANABE, A. T. Y.; LEAL, A. B. Kits LEGO® Mindstorms® NXT como Ferramenta de Interação entre Engenharia e Ensino Médio. **XLI Congresso Brasileiro De Educação Em Engenharia**, COBENGE, Gramado, RS, 2013.

PAPERT, S. **A Máquina das Crianças: Repensando a Escola na Era da Informática**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1^a Ed., 1994.

SANTOS, R. M.; FLÔR, D. E. RASPCAR – Carro Robótico Guiado Remotamente, **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão**, v.4, n.4, Paranaguá, PR, 2019.

SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial, **Edipro**, São Paulo, 2016.

SILVA, Alzira F. **Roboeduc: uma metodologia de aprendizado com robótica educacional**. Natal: Tese, 2009.

SIMÕES, A. S.; MARTINS, A. C. G.; CARRION, R.; FRANCHIN, M. N. Utilizando a plataforma LEGO Mindstorm® em disciplinas do ciclo básico do curso de

Engenharia Mecatrônica. **XXVI Congresso da SBC, III Encontro De Robótica Inteligente**, Campo Grande, MS, 2006.

STOPPA, Marcelo H. A Robótica Educacional em Experimentos Elementares de Física. **Instrumento: Revista Estadual Pesquisa Educação**. V. 14, n. 1. Juiz de Fora: s/e 2012.

VAHLDICK, A.; BENITTI, F. B. V.; URBAN, D. L.; KRUEGER, M. L.; HALMA, A. O uso do LEGO Mindstorms no apoio ao Ensino de Programação de Computadores, **Difusão e Popularização da C&T**, CNPq, 2006.

VALLIM, Marcos B. R.; HERDEN, Adriana; GALLO, Rubens; Cardoso, Luzia R.; BITENCOURT, Lígia C. Incentivando Carreiras Na Área Tecnológica Através Da Robótica Educacional. **Congresso Brasileiro De Ensino Em Engenharia**. Recife, 2009.

ZILLI, Silvana R. **A Robótica Educacional No Ensino Fundamental: Perspectivas E Prática**, Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2004.

Enviado em: 12 jul. 2020.

Aceito em: 12 out. 2020.

Editores responsáveis: Bianca Neves Machado
Mateus das Neves Gomes.