



Ministério da Educação – Brasil

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM

Minas Gerais – Brasil

Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas

ISSN: 2238-6424

QUALIS/CAPES – LATINDEX

Nº. 27 – Ano XIII – 05/2025

<https://doi.org/10.70597/vozes.v12i27.718>

Geração de energia em bicicleta ergométrica: Uma abordagem utilizando IA e simulações financeiras

Profa. Dra. Deborah Faragó Jardim

Doutora em Física

Docente no Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia da UFVJM

Teófilo Otoni – MG - Brasil

<http://lattes.cnpq.br/7626923298872191>

E-mail: deborah.farago@ufvjm.edu.br

Prof. Dr. Alexandre Faissal Brito

Doutor em Física

Docente no Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia da UFVJM

Teófilo Otoni – MG - Brasil

<http://lattes.cnpq.br/6555493393643522>

E-mail: alexandre.faissal@ufvjm.edu.br

Me. Rogério Starich Silva

Mestre em Matemática

Matemático do Departamento de Ciências Exatas - UFVJM

Teófilo Otoni - MG -Brasil

<https://lattes.cnpq.br/2518365247915424>

E-mail: rogerio.starich@ufvjm.edu.br

Iane Menezes Barbosa
Bacharel em Ciências e Tecnologia
Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia da UFVJM
Teófilo Otoni – MG - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1360463600746062>
E-mail: iane.menezes@ufvjm.edu.br

Maria Luiza Soares Freitas
Bacharel em Ciências e Tecnologia
Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia da UFVJM
Teófilo Otoni – MG - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6445900158388269>
E-mail: luiza.soares@ufvjm.edu.br

Lucas Matheus Alves da Rocha
Bacharel em Ciências e Tecnologia
Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia da UFVJM
Teófilo Otoni – MG - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8817521362338993>
E-mail: lucas.matheus@ufvjm.edu.br

Isaac Ramos Soares
Bacharel em Ciências e Tecnologia
Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia da UFVJM
Teófilo Otoni – MG - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7082775903227603>
E-mail: isaac.ramos@ufvjm.edu.br

Resumo: Este estudo apresenta a concepção, implementação e análise de um sistema de geração de energia elétrica a partir de bicicletas ergométricas adaptadas, utilizando controle por Arduino e ferramentas de inteligência artificial. O protótipo desenvolvido foi testado com três voluntários, permitindo a coleta de dados experimentais de corrente, tensão e potência. As análises quantitativas incluíram a eficiência do sistema, simulações financeiras baseadas no Valor Presente Líquido (VPL) e projeções econômicas sob diferentes cenários. Além disso, um modelo de aprendizado de máquina foi treinado para otimizar o ritmo das pedaladas, buscando maximizar a produção de energia elétrica. Os resultados indicam que, embora a eficiência atual do sistema seja limitada, melhorias significativas podem ser alcançadas com a substituição de componentes e ajustes nos parâmetros operacionais. Este trabalho reforça o potencial de aplicações sustentáveis para a geração de energia em ambientes urbanos e destaca a relevância da integração de tecnologias emergentes, como o recurso da inteligência artificial, para otimizar sistemas baseados em comportamento humano.

Palavras-chave: Geração de energia, bicicletas ergométricas, Arduino, inteligência artificial, sustentabilidade.

1. Introdução

A geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis tem ganhado destaque nas últimas décadas, particularmente em sistemas que convertem energia mecânica em elétrica. As bicicletas ergométricas adaptadas para gerar eletricidade representam uma alternativa criativa e sustentável, especialmente em ambientes urbanos.

Existem muitos trabalhos publicados que estudam esse tema, cada um abordando o assunto por uma perspectiva adequada ao objetivo de sua proposta. Em Silva e Pereira (2020) é analisada a viabilidade de se converter a energia mecânica de bicicletas ergométricas em energia elétrica, utilizando para isso um alternador automotivo para recarregar dispositivos eletrônicos. O trabalho de Dias, Lima e Rodrigues (2016) apresenta um protótipo que substitui o freio mecânico de uma bicicleta ergométrica por um conversor eletrônico, permitindo a conversão da energia mecânica gerada durante a atividade física em energia elétrica, com potencial para injeção na rede elétrica.

Em Micheloni e Barra (2020) é analisado o aproveitamento energético da energia gerada por bicicletas em diversas academias, considerando dados coletados em diferentes estabelecimentos com o objetivo de avaliar a viabilidade da geração de energia elétrica nesses locais.

Machado (2023), em seu trabalho de conclusão de curso, desenvolveu um estudo acerca da aplicação de um controlador de carga para um gerador síncrono trifásico de ímãs permanentes acoplado à bicicleta ergométrica.

Muitos outros trabalhos sobre o tema podem ser consultados, caso o leitor tenha interesse no assunto, como Macagnan, Neto e Neto (2016), Ramos, Setúbal e Jesus (2013), Silva (2022) e Alexandre *et al.* (2015).

O texto que se segue foi motivado por um projeto referente a um Trabalho de Conclusão de Curso que buscou avaliar a eficiência de um sistema de geração elétrica em uma bicicleta adaptada, utilizando controle via Arduino (BARBOSA *et al.*, 2023). Para atingir os objetivos propostos pelo trabalho e testar as hipóteses formuladas, foi necessário realizar o estudo em etapas distintas. A primeira etapa consistiu na implementação do protótipo utilizado. Na segunda etapa foram realizados

testes no protótipo com o intuito de carregar uma bateria através da energia produzida.

Para se obter os dados experimentais foram utilizados três voluntários, selecionados com base na disponibilidade para a participação em experimentos controlados, que pedalarão a bicicleta adaptada durante um intervalo de tempo determinado. Com todo o sistema ligado foram feitas medições de corrente, tensão e potência.

Este trabalho apresenta resultados parciais do texto original (BARBOSA *et al.*, 2023) e propõe análises mais específicas, como a avaliação da viabilidade econômica do projeto utilizando como indicador de rentabilidade o método conhecido por Valor Presente Líquido. Foram avaliados três possíveis cenários, como se observa na literatura, com o objetivo de apoiar a tomada de decisão acerca da viabilidade ou não do projeto. Em seguida foi verificada a viabilidade do projeto para o caso de um novo motor, mais apropriado para o que se propõe.

Além disso, com a intenção de verificar a possibilidade de se melhorar a eficiência do sistema, fez-se uma pequena intervenção computacional com o uso de ferramentas de inteligência artificial no Python. Este sistema não foi testado na prática, mas é apresentado como forma de motivação para o uso dessa ferramenta, bastante útil em problemas de otimização.

2. Metodologia

A pesquisa que deu origem a este texto pode ser caracterizada como experimental, em função da realização de experimentos controlados, em que foram coletados dados de medições reais (corrente, tensão e potência) em um ambiente monitorado. Além disso, a abordagem é quantitativa, pois os resultados foram analisados por meio de ferramentas estatísticas e modelos computacionais.

Para se desenvolver este trabalho foi necessário seguir as etapas descritas abaixo, nos itens que se seguem.

2.1 Montagem do Experimento

Para a montagem do aparato experimental, uma bicicleta foi adaptada, como se observa na Figura 1. Foi retirada a roda dianteira e colocado um suporte na roda traseira. No eixo da roda traseira foi adaptado um motor que seria responsável pela geração da energia a partir da rotação provocada pelas pedaladas.

A partir da rotação do eixo do motor é gerado um campo magnético rotativo que, através do conjunto de estator e bobinas, produz uma corrente alternada (AC). Assim, a potência mecânica fornecida pelas pedaladas é convertida em potência elétrica.

Figura 1 – Visualização da bicicleta adaptada.



Fonte: Acervo particular dos autores (2023)

Como a finalidade do experimento, ao se produzir energia elétrica, era o carregamento de uma bateria, seria necessário que se tivesse uma corrente contínua (DC) na entrada da bateria. Por esta razão, na conversão de AC para DC, foram utilizadas, por se tratar de um motor trifásico, duas pontes retificadoras KBPC 5010 e dois capacitores 2200 μ F e 63V para regulação da tensão como se observa na Figura 2.

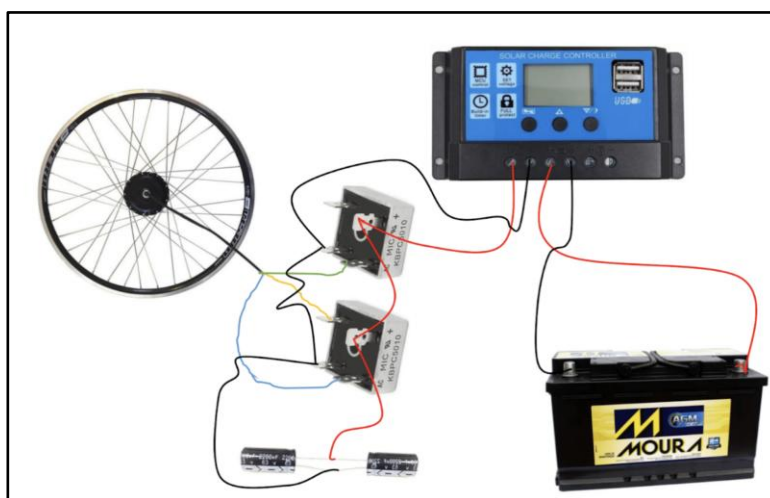
Figura 2 – Ligação entre pontes retificadoras e capacitores para converter a corrente, de alternada para contínua.



Fonte: Acervo particular dos autores (2023)

Além disso, como a tensão mais adequada para carregar a bateria, conforme informação do fabricante, deve estar entre 13,8V e 14,4V, foi utilizado um controlador de carga, que fornece as informações necessárias acerca da carga e durante o uso posterior da bateria. Isto poderia ser útil para melhorar a eficiência do projeto. A Figura 3 é uma representação do sistema com todos os componentes conectados entre si.

Figura 3 – Sistema de armazenamento de carga.



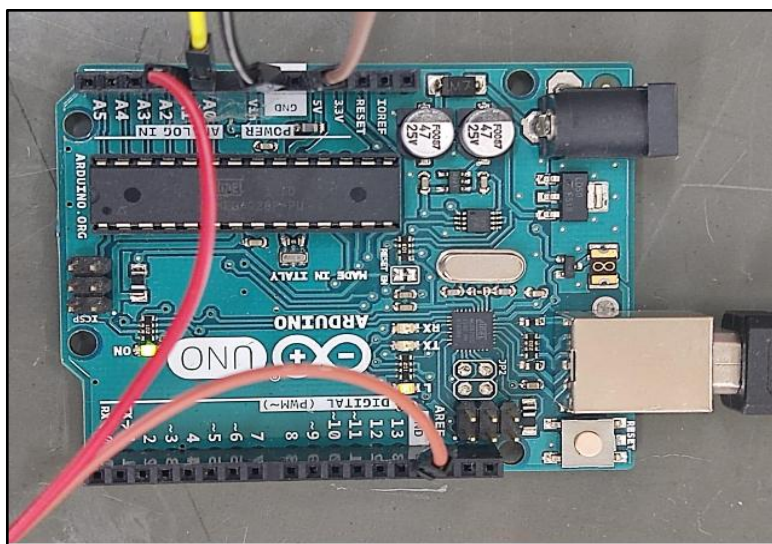
Fonte: Acervo particular dos autores (2023)

2.2 Carregamento Monitorado da Bateria

O carregamento da bateria acontece quando há movimento dos pedais da bicicleta. Este movimento é transmitido para a roda que contém o motor por meio de uma corrente de aço. No motor é gerada uma corrente alternada que passa por duas pontes retificadoras e por dois capacitores para que seja transformada em corrente contínua e assim chegar até a bateria para que seja feito o seu carregamento.

Como o experimento deveria ser bem controlado para saber se o projeto seria viável financeiramente, foi preciso medir a tensão e a corrente gerada através da rotação feita pelo esforço humano na bicicleta. Para que esses dados fossem devidamente lidos, fez-se o uso de dois sensores, sendo um para a leitura da corrente e o outro para a leitura da tensão, que foram conectados ao arduino, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Placa de arduino com os cabos conectados.

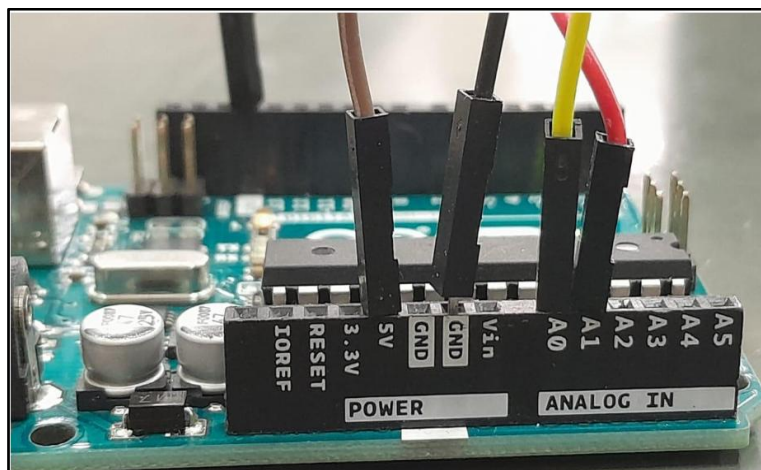


Fonte: Acervo particular dos autores (2023)

O fio amarelo, que foi conectado à porta analógica A0 do arduino, é referente ao sensor que é responsável por ler o valor da corrente. O fio marrom, que está conectado ao pino 5V é responsável por regular a tensão para 5 volts, para que possa alimentar os shields e circuitos externos como leds, sensores etc. O fio preto, que está conectado no pino GND, é usado para aterrar o circuito, ou seja, fechar e impedir a corrente. O fio vermelho, que está ligado à porta analógica A1, é referente ao sensor

que fará a leitura da tensão gerada através da conversão da energia mecânica para a elétrica, como se observa na Figura 5.

Figura 5 – Ligação de cabos para captação de dados com arduino.



Fonte: Acervo particular dos autores (2023)

Vale ressaltar que, para se fazer a leitura corretamente dos pinos analógicos, aos quais estão conectados os sensores, foi feito o uso de um código específico para esse projeto, uma vez que os parâmetros externos e materiais usados são diferentes de outros projetos pesquisados. O resumo simples do código para este caso pode ser consultado no texto de Barbosa *et al.* (2023).

3. Coleta de Dados

Os dados coletados durante o experimento foram a corrente elétrica (I), a tensão (T), e a potência (P), que estão dispostos numa planilha. Três voluntários participaram dos testes, resultando em 250 medições para 1 e 2, que pedalaram por 10 minutos cada um, e 225 medições para o terceiro, que pedalou por 9 minutos. A Tabela 1 apresenta o resumo da média simples dos dados obtidos para cada voluntário.

Tabela 1 – Valores médios para cada voluntário

Voluntário	Tempo (min)	I (A)	T (V)	P (W)	E (kWh)
1	10	10,00	14,53	145,30	0,0242
2	10	8,48	13,83	117,28	0,0195
3	9	9,64	15,14	145,95	0,0219

Fonte: Próprio autores (2024)

Os dados da corrente e da tensão apresentados na tabela foram obtidos calculando-se a média a partir da planilha, enquanto os valores da potência e da energia vieram do cálculo direto das médias de I e T por meio das equações básicas. A potência, quando calculada a partir dos valores instantâneos, medidos através das pedaladas, apresentaram os valores da Tabela 2, sendo avaliado também o desvio padrão dessas medidas, cujos valores mostraram uma grande amplitude nos dados de P durante as pedaladas.

Tabela 2 – Valores das potências para cada voluntário e os respectivos desvios padrão

Voluntário	P (W)	Desvio Padrão (W)
1	145,80	22,98
2	117,39	11,44
3	146,11	17,18

Fonte: Próprio autores (2024)

Com os dados dispostos na planilha foi possível gerar os gráficos da corrente e da tensão em função do tempo para cada voluntário e observar o padrão do comportamento das grandezas físicas a partir das pedaladas. Estes gráficos estão apresentados na Figura 6. O primeiro gráfico refere-se à corrente (curva em azul) e tensão (curva em laranja) produzidas pelas pedaladas do voluntário 1, o segundo e o terceiro gráficos referem-se aos voluntários 2 e 3, respectivamente.

Figura 6 – Gráficos da corrente e da tensão geradas pelas pedaladas pelos voluntários 1 (superior), 2 (do meio) e 3 (inferior) ao longo do tempo.



Fonte: Acervo particular dos autores (2023)

Os gráficos apresentados na Figura 6 mostram, quando comparados entre si, que o voluntário 2 manteve uma menor dispersão nos pontos coletados, mas foi quem contribuiu com a menor potência gerada (ver Tabela 1), mostrando que a velocidade constante das pedaladas não implica melhor resultado na produção de energia.

4. Resultados e Discussão

A partir dos dados coletados pelo sistema, algumas análises foram feitas com o intuito de compreender o quanto representa, na prática, a energia produzida pelos voluntários ao pedalarem a bicicleta. Além disso, foi verificada a eficiência de cada

voluntário e avaliada a viabilidade financeira do projeto em questão e de uma possível troca de motor para melhorar a eficiência.

4.1. Utilização da energia gerada

Como forma de avaliar, na prática, a energia gerada pelo sistema através dos voluntários, apresentada na Tabela 1, considerou-se uma lâmpada de LED bulbo Philips, que consome 11 W de potência. Tomando um valor médio para o custo da energia elétrica, conforme tabela da CEMIG consultada em 2023, para a bandeira verde tem-se o valor de R\$0,65313 por kWh. Já para a bandeira de escassez hídrica o valor passa a ser de R\$0,79303 por kWh.

Tomando como base o voluntário 1, os 10 minutos de pedalada correspondem a 0,1667 horas. Daí, a fração da potência P_1 que ele produziu, pela potência P da lâmpada analisada, calculada no tempo total t da pedalada, fornece:

$$\frac{P_1}{P} \cdot t = \frac{145,30W}{11W} \cdot 0,1667 h = 2,21 h \quad (1)$$

Ou seja, pedalando por 10 minutos, o voluntário 1 conseguiria manter a lâmpada de LED acesa por 2 horas e 12 minutos, aproximadamente, como indica o resultado da (1). Nesse tempo essa lâmpada consome uma energia de 0,024222 kWh, que representaria um gasto de R\$0,0158 com a tarifa da bandeira verde, ou R\$0,0192 para o caso da tarifa de escassez hídrica.

Considerando uma média de 60 minutos de pedalada por dia, ao invés dos 10 minutos do experimento, durante 30 dias, a economia seria de R\$2,84 e R\$3,46 de acordo com a bandeira tarifária aplicada. Caso a bicicleta seja utilizada por um tempo mais longo, por exemplo, por 8 horas diárias, o valor economizado seria de R\$22,72 e R\$27,68 para cada bandeira.

Obviamente, se o objetivo for adaptar esse sistema para um uso tão limitado, o custo da montagem não valerá à pena. No experimento em questão o motor foi doado, mas pode-se estimar seu valor entre R\$600,00 e R\$1.000,00. Tomando o valor médio e a bandeira tarifária verde, o retorno financeiro ocorreria em 35 meses aproximadamente, quase 3 anos, sem considerar qualquer tipo de manutenção no

sistema e sem realizar qualquer tipo de análise de gestão de projeto. No item 4.3 foi feita uma simulação para analisar a viabilidade do projeto como está proposto e de uma modificação utilizando um motor mais novo e mais apropriado.

4.2 Cálculo da eficiência dos voluntários

A eficiência na produção de energia elétrica é relativamente baixa neste experimento. Pode-se estimar este valor aplicando-se uma equação simples obtida em qualquer bibliografia básica de Física, como em Nussenzveig (2013). A energia $E(t)$ é definida, em termos da força F e da velocidade v como

$$E(t) = \eta \cdot (F \cdot v) \cdot t \quad (2)$$

E a potência é obtida derivando a equação (2). Daí,

$$dE(t)/dt = P = \eta \cdot (F \cdot v) \quad (3)$$

A potência P apresentada na equação (3) é referente ao seu valor medido na experimentação e o termo entre parênteses, $(F \cdot v)$, que tem dimensão de potência, refere-se ao esforço mecânico devido às pedaladas, ou seja, é a potência mecânica gerada pelo voluntário.

Deste modo, a eficiência é calculada reestruturando a (3), sabendo que F é a força aplicada aos pedais e v é a velocidade oriunda da rotação, isto é, $\eta = P / (F \cdot v)$.

De acordo com Alencar, Matias e Oliveira (2010), um indivíduo, sentado numa bicicleta, consegue imprimir uma força de até metade do seu peso corporal. Neste caso, para os voluntários nesse experimento, este valor estaria entre 300 N e 400 N. Entretanto, considerando que a bicicleta foi adaptada e conectada a uma bateria de carro, exigindo um esforço maior dos voluntários em função da resistência interna do sistema, a força média útil considerada será estimada em 300 N, para qualquer um dos voluntários.

Considerando o raio de aplicação da força como sendo de 17 cm (média da alavanca dos pedais) e o número de rotações dos pedais com um valor médio de 60 RPM, a conversão para as unidades do sistema internacional fornece o valor

aproximado de 1 m/s. Com estes dados podemos estimar em 300 W o valor da potência.

Portanto, a expressão da eficiência para este caso fica expressa como se segue:

$$\eta = P / (300 W) \quad (4)$$

E com isso é possível calcular o valor médio aproximado para a eficiência de cada voluntário. Os dados estão dispostos na Tabela 3. Comparando-se os dados da tabela com os gráficos da Figura 6, observa-se que o voluntário 2, que manteve o ritmo mais constante das pedaladas, foi quem obteve menor eficiência na produção de energia, como já havia sido comentado anteriormente.

Tabela 3 – Eficiência aproximada calculada para cada voluntário.

Voluntário	P (W)	Eficiência
1	145,30	48,4 %
2	117,28	39,1 %
3	145,95	48,7 %

Fonte: Próprios autores (2024)

4.3 Análise da viabilidade do projeto

Antes de iniciar um projeto como este, que implica um investimento e busca algum retorno financeiro, é preciso realizar um estudo de viabilidade que possa amparar uma tomada de decisão. Neste sentido, pode-se avaliar indicadores quantitativos, em especial aqueles que levam em consideração o valor do dinheiro ao longo do tempo. Os cinco indicadores mais populares, citados por Saldanha (2020), utilizados para se verificar a rentabilidade são:

1. Valor Presente Líquido (VPL);
2. Valor Anual Equivalente (VAE);
3. Taxa Interna de Retorno (TIR);
4. Taxa Interna de Retorno Modificada (TRM);
5. Payback.

A simulação desenvolvida neste trabalho utilizou o método do VPL. De acordo com Saldanha (2020), o

valor Presente Líquido é o método mais confiável de avaliação de viabilidade de um projeto de investimento, e consiste em calcular o valor presente dos fluxos de caixa futuros, descontados a uma taxa de desconto adequada que reflita o custo de capital da empresa ou a taxa de retorno exigida.

Inicialmente, foi preciso determinar o fluxo de caixa do projeto, que levou em consideração os custos e as receitas. Segundo Saldanha (2020), o

fluxo de caixa consiste em fazer o lançamento, no tempo, das futuras entradas e saídas financeiras do projeto de investimento. Uma das tarefas de maior importância na análise de investimento é elaborar as avaliações e projeções ou previsões das distintas variáveis econômico-financeiras que compõem o projeto de investimento.

Quadro 1 – Condições para simulação.

Situação	Descrição
Investimento inicial	Custo de adaptação da bicicleta (equipamentos como sensores, gerador, fios, etc.).
Economia Mensal	Valor estimado da economia elétrica com o uso do sistema
Custo de Manutenção	Taxa periódica para manter o equipamento funcionando

Fonte: Próprios autores (2025)

Quadro 2 – Três cenários para a simulação.

Cenários	Condição do sistema
Pessimista	Taxa de desgaste elevada; Menor eficiência energética ao longo do tempo.
Realista	Taxa de desgaste moderada; Boa economia com base nos dados.
Otimista	Taxa de manutenção mínima e eficiência constante; Aumento no tempo de uso do sistema.

Fonte: Próprios autores (2025)

Em todas as etapas computacionais foram feitas simulações a partir de códigos desenvolvidos no *software* Python. Com estes cálculos foram analisadas as projeções econômicas de longo prazo com base em três cenários definidos como: “Pessimista”, “Realista” e “Otimista”. Em todos os cenários foram consideradas as condições básicas apresentadas no Quadro 1. A partir disso, os 3 cenários foram definidos e estão disponibilizados no Quadro 2.

O objetivo aqui foi o de avaliar os custos e benefícios ao longo dos anos, trazendo os valores para o presente, e analisando a viabilidade financeira do projeto. A expressão para o cálculo do VPL é a seguinte:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t} - I \quad (5)$$

Na expressão (5), o numerador $B_t - C_t$ representa o fluxo de caixa do projeto, sendo B_t a economia anual gerada e C_t o custo de manutenção anual do sistema. O parâmetro I representa o investimento inicial do projeto. Os outros parâmetros foram estimados com base em aproximações e suposições práticas para representar um cenário típico de análise de custo-benefício. Foram feitas duas simulações, a primeira com o valor calculado de uma economia de R\$25,00, a média mensal aproximada entre as bandeiras verde e de escassez hídrica, calculada na seção 4.1. O parâmetro B_t é quem recebe este valor. Na segunda simulação o investimento inicial foi maior, considerando um motor mais eficiente, que supostamente seria capaz de aumentar o valor da economia mensal para o novo valor de R\$40,00.

O custo do capital r , também conhecido como taxa mínima de atratividade (TMA), foi estimado em 5%, a média padrão para projetos de risco médio, e o tempo t calculado para todos os cenários e casos foi de 10 anos. O custo de manutenção anual do sistema C_t foi estimado em 10% do custo inicial, considerando o motor como o que foi utilizado no experimento, que não é o mais adequado para um projeto como este, além de ser um motor usado e que pode necessitar de uma manutenção mais cara. E para o motor mais adequado o custo de manutenção foi estimado em 5% do custo inicial.

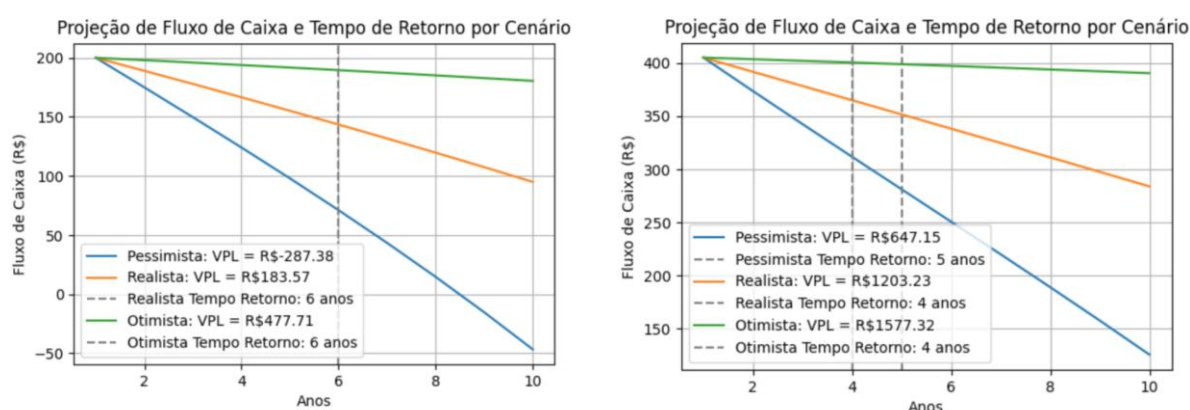
Os resultados obtidos estão apresentados nos gráficos da Figura 7. À esquerda foi considerado um investimento inicial de R\$1.000,00 e à direita o valor foi

de R\$1.500,00. Nos dois gráficos há um quadro na porção inferior à esquerda com os valores do VPL e do tempo de retorno do investimento (TRI) calculados. De acordo com a literatura, se $VPL > 0$ o projeto é viável financeiramente e teria a indicação de implementação.

Para o gráfico à esquerda vê-se que $VPL > 0$ para os cenários Realista e Otimista e não para o Pessimista. Com respeito ao retorno do investimento, o TRI mostra que ele não ocorre para o cenário Pessimista e que ele acontece aos 6 anos de funcionamento para os cenários Realista e Otimista.

No gráfico à direita da Figura 7, vê-se que $VPL > 0$, o que indica que o projeto é viável financeiramente para todos os cenários e o fluxo de caixa diminui, mas não se torna negativo como ocorre no gráfico da esquerda. O TRI é de 5 anos para o cenário pessimista e de 4 anos para os outros dois cenários, indicando que a troca do motor no projeto pode torná-lo viável para todos os cenários, pelo menos para esta análise simplificada.

Figura 7 – Projeção de Fluxo de Caixa para os 3 cenários considerados. À esquerda, para $I = R\$1.000,00$ e à direita com $I = R\$1.500,00$.



Fonte: Próprios autores (2025)

De qualquer forma, em ambos os gráficos e para todos os cenários, o que se observa é uma perda de capital ao longo do tempo, indicando uma necessidade de rever gastos para tornar o sistema economicamente sustentável, ou seja, o projeto deve ser revisto para que se busque um aumento na eficiência do sistema e/ou uma diminuição das despesas com a manutenção.

Obviamente, o modelo poderia ser melhorado, mas a ideia neste trabalho era mostrar de forma simplificada a necessidade de se avaliar a viabilidade de um projeto.

Mas apesar da simplicidade, o uso apenas desses dois indicadores, o *VPL* e o Fluxo de Caixa, é muito interessante. Como complemento é deixado como sugestão para trabalhos futuros a investigação mais aprofundada acerca da elaboração de projetos com maior retorno financeiro e que sejam economicamente sustentáveis por um prazo mais longo.

4.4 Otimizando o sistema com o uso da IA

Além de melhorar a eficiência do sistema a partir da adequação do material, é possível avaliar também a condição dos voluntários nas pedaladas. Pode-se investigar se existe uma frequência de rotação dos pedais que maximize a produção de energia, se os voluntários podem ser instruídos para que ajustem os períodos de cansaço com baixa frequência de pedaladas e de retomada e qual seria o horário que cada voluntário tem maior rendimento.

Para realizar esta tarefa é preciso recorrer ao uso de *software* com o recurso da inteligência artificial (IA), em especial com a aplicação da aprendizagem de máquina (*machine learning* - ML). Esta tarefa deve ser uma forma de otimizar o sistema na produção de energia elétrica.

O código foi desenvolvido utilizando o *software* Python, de modo a criar e treinar um modelo de regressão linear com base nos dados extraídos do arquivo de dados experimentais. Ele realiza o treinamento do modelo com as variáveis independentes X , que são a corrente e a tensão, com o objetivo de prever a potência, que é a variável dependente y . O modelo é treinado para ajustar uma equação da forma:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 \quad (6)$$

Além disso, foi feita a avaliação estatística do desempenho do modelo utilizando a medida do Erro Quadrático Médio (MSE) entre as previsões e os valores reais e o Coeficiente de Determinação (R^2) que mede o quanto do comportamento da potência pode ser explicado pelo modelo. Com base nas previsões é possível recomendar o ritmo de pedalada para cada voluntário.

A partir do desenvolvimento do código, o passo seguinte deveria ser a aplicação em cenário real com a implementação do programa no aparato experimental, mas esta etapa não foi realizada. Entretanto, o código utilizou bibliotecas adequadas e deixou-se aqui a ideia do uso da IA em atividades com estas características.

Para o desenvolvimento do modelo de regressão linear foram utilizadas as seguintes bibliotecas:

- “**LinearRegression**” para implementar o modelo;
- “**train_test_split**” para dividir os dados em conjuntos de 70% treino (usado para ajustar o modelo) e 30% teste (usado para avaliar o modelo);
- “**mean_squared_error**” e “**r2_score**” para testar o modelo.

Com os dados do teste, o modelo é habilitado para fazer previsões acerca da potência baseadas nos valores da corrente e da tensão. Essas previsões indicam o ritmo de pedalada entendido como sendo o ideal. Os dados utilizados foram os da coleta experimental.

O resultado apresentado pela programação está apresentado abaixo.

```
MSE: 0.55406923331675
R^2: 0.9897608975530848
Coeficientes: [13.48198897 10.73806651]
Intercepto: -144.63170073638003
```

Recomendações de ritmo de pedalada com base no modelo:

```
Ex1: Corrente = 9.02A, Tensão = 14.09V --> Potência Recomendada = 128.28W
Ex2: Corrente = 10.32A, Tensão = 13.90V --> Potência Recomendada = 143.76W
Ex3: Corrente = 9.41A, Tensão = 13.68V --> Potência Recomendada = 129.13W
```

Desse modo, a partir do treinamento praticado, o modelo fornece recomendações acerca do ritmo de pedalada.

Na etapa seguinte foram feitas algumas adaptações e o modelo foi estendido para aprender padrões específicos de um voluntário ao longo do tempo, fornecendo recomendações personalizadas para otimizar o sistema. Para isso, é preciso registrar os dados de corrente, tensão, potência e tempo de pedalada diariamente, além de criar uma base de dados crescente que possa capturar padrões ao longo do tempo. Neste caso, pode-se utilizar modelos de Regressão de Séries Temporais, que são capazes de detectar padrões dependentes do tempo, como o cansaço ao longo de uma sessão de pedaladas.

Com esse modelo, por meio do aprendizado contínuo, é possível a personalização para se obter o ritmo ideal, identificando as fases das pedaladas e detectando quando o voluntário está cansado ou em recuperação a partir do histórico de pedaladas anteriores. O programa analisa a potência gerada ao longo do tempo e recomenda ajustes no ritmo (corrente e tensão) para manter a eficiência máxima. É um modelo de previsão do comportamento dos voluntários. Pode-se utilizar também a ferramenta *Streamlit* para criar uma interface interativa onde o voluntário veja as recomendações em tempo real.

O funcionamento do programa se dá, por exemplo, da seguinte forma: O modelo aprende que o voluntário pedala bem nos primeiros 10 minutos e se cansa. Nos próximos 5 minutos reduz a rotação dos pedais e depois desse tempo se recupera. As recomendações que o modelo sugere, neste caso, é a que se segue:

1. Primeiros 10 minutos:

"Mantenha as pedaladas para uma corrente entre 10.5 A e 12.8 A."

2. Próximos 5 minutos:

"Diminua as pedaladas para reduzir a corrente até 9.1 A até recuperar o fôlego."

3. Próximos 15 minutos:

"Aumente novamente as pedaladas para manter a corrente acima de 11.8 A."

Por fim, o modelo, que simula o comportamento dos voluntários durante as pedaladas utilizando dados fictícios para teste, apresentou o resultado abaixo.

MSE: 7.919370477632496
R²: 0.9949791949270526
Coeficientes: [-1.37322571 9.1961792 0.01373226]
Intercepto: 48.58676402169164

Recomendações de ritmo de pedalada com base no modelo:

T 1 min: I = 10.20 A, Cansaço = 0.99 --> Potência Recomendada = 141.03 W
T 6 min: I = 11.13 A, Cansaço = 0.94 --> Potência Recomendada = 142.71 W
T 37 min: I = 8.94 A, Cansaço = 0.63 --> Potência Recomendada = 80.00 W
T 46 min: I = 8.01 A, Cansaço = 0.54 --> Potência Recomendada = 59.11 W
T 14 min: I = 11.97 A, Cansaço = 0.86 --> Potência Recomendada = 139.46 W
T 55 min: I = 8.59 A, Cansaço = 0.45 --> Potência Recomendada = 52.05 W
T 34 min: I = 9.49 A, Cansaço = 0.66 --> Potência Recomendada = 89.17 W
T 49 min: I = 8.04 A, Cansaço = 0.51 --> Potência Recomendada = 55.20 W
T 13 min: I = 11.93 A, Cansaço = 0.87 --> Potência Recomendada = 140.43 W
T 58 min: I = 9.07 A, Cansaço = 0.42 --> Potência Recomendada = 52.36 W
T 47 min: I = 8.00 A, Cansaço = 0.53 --> Potência Recomendada = 57.62 W
T 51 min: I = 8.15 A, Cansaço = 0.49 --> Potência Recomendada = 53.49 W
T 32 min: I = 9.88 A, Cansaço = 0.68 --> Potência Recomendada = 95.54 W
T 4 min: I = 10.78 A, Cansaço = 0.96 --> Potência Recomendada = 142.23 W

T 53 min: I = 8.34 A, Cansaço = 0.47 --> Potência Recomendada = 52.47 W
T 18 min: I = 11.95 A, Cansaço = 0.82 --> Potência Recomendada = 133.75 W
T 9 min: I = 11.57 A, Cansaço = 0.91 --> Potência Recomendada = 142.61 W
T 7 min: I = 11.29 A, Cansaço = 0.93 --> Potência Recomendada = 142.80 W

O modelo discutido aqui é um ponto de partida para personalizar o ritmo de pedalada dos voluntários e maximizar a eficiência da geração de energia. Ele é capaz de demonstrar como a IA, por meio do aprendizado de máquina, pode ser usada para entender e melhorar sistemas baseados em comportamento humano.

5 Conclusão

Este estudo apresentou uma análise detalhada sobre a geração de energia em bicicleta ergométrica adaptada, abrangendo desde a implementação do protótipo até as análises estatísticas e computacionais dos resultados obtidos. Apesar da eficiência energética do sistema demonstrar-se limitada, os dados coletados permitiram identificar pontos de melhoria significativos.

A viabilidade financeira do projeto, avaliada por meio de simulações em diferentes cenários, evidenciou a necessidade de otimização tanto no equipamento quanto na abordagem de utilização. Substituir o motor atual por um modelo mais eficiente, por exemplo, mostrou-se uma alternativa viável para aumentar o retorno financeiro e reduzir custos de manutenção a longo prazo.

Além disso, a aplicação de ferramentas de IA, como algoritmos de aprendizado de máquina, revelou-se interessante para ajustar o ritmo de pedaladas dos voluntários e maximizar a eficiência do sistema. O modelo desenvolvido é capaz de oferecer recomendações personalizadas, baseadas em padrões de comportamento dos usuários, para aprimorar a produção de energia elétrica.

Conclui-se que o sistema proposto possui potencial para contribuir com a geração de energia renovável, especialmente em ambientes controlados, como em academias. Contudo, avanços tecnológicos e estratégias de otimização, como a implementação de IA, são indispensáveis para alcançar uma aplicação prática economicamente viável. Estudos futuros devem se concentrar em explorar ajustes no modelo econômico e na integração de sistemas mais sofisticados para aprimorar a sustentabilidade e a eficiência geral deste ou de outros projetos similares.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, T.A.M., MATIAS, K.F.S. E OLIVEIRA, F.B. Cinesiologia e biomecânica do ciclismo: uma revisão. **Revista Movimenta**, Goiás, Vol 3, N1, 2010.

ALEXANDRE, J.I.S., SALES, D.C.S., SILVA, J.P.F., CORDEIRO, R.B., REIS, A.W.V. Produção e captação de energia elétrica limpa através de adaptação de bicicletas ergométricas. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, João Pessoa, 2015: 2(2): 37-42. ISSN 2359-1412.

BARBOSA, I. M., SOARES, I.R., ROCHA, L.M.A., FREITAS, M.L.S., JARDIM, D.F., BRITO, S.F. 2023. Análise da eficiência da transformação de energia através da adaptação de uma bicicleta ergométrica. **Anais[...]**. VI SENGEM - SEMANA DE ENGENHARIA DO CAMPUS DO MUCURI. Disponível em <<https://drive.google.com/file/d/1T4qQ0qeHE2-DRJJVcR5z2dxJlloi9L36/view>>. [Acesso em 10 janeiro 2025]

DIAS, L.R., LIMA, G.B., RODRIGUES, D.B., 2016. Sistema de geração de energia elétrica a partir de uma bicicleta ergométrica. **Anais[...]**. XIV CEEL. 2016. Disponível em <https://www.peteletricaufu.com.br/static/ceel/doc/artigos/artigos2016/ceel2016_artigo056_r01.pdf?utm_source=chatgpt.com>. [Acesso em 10 janeiro 2025]

MACAGNAN, A.L., NETO, J.A.R., NETO, R.N. **Determinação da eficiência energética da tração humana na geração de energia elétrica através de uma bicicleta ergométrica**. Trabalho de Conclusão de Curso. 2016. 87 p. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MACHADO, R.B. **Desenvolvimento de um controlador de carga para gerador síncrono de ímãs permanentes acoplado à bicicleta ergométrica**. Trabalho de Conclusão de Curso. 2023. 57 p. Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2023.

MICHELONI, R.W., BARRA, P.H.A. Reaproveitamento energético em bicicletas ergométricas de academias: um estudo de caso. **Anais[...]**. V ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA. IFSP – Câmpus Araraquara. 2020. Disponível em <https://arq.ifsp.edu.br/eventos/enict/5EnlCT/paper/viewFile/493/293?utm_source=chatgpt.com> [Acesso em 10 janeiro 2025]

NUSSENZVEIG, H.M. **Curso de Física Básica I: Mecânica**. 5 ed. São Paulo: Blucher, 2013.

RAMOS, V.M., SETUBAL, F.A.N., JESUS, K.M.S. Academia eficiente: estudo de caso para geração de energia alternativa. **Anais[...]**. XLI CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA - Cobenge. 2013.

SALDANHA, B.L.F. **Engenharia Econômica**: Projetos de Investimento. 1^a.ed. pp. 213-214. Amazon Digital Services LLC- Edição do Kindle, 2020.

SILVA, M.J.D. **Gerador de energia por indução eletromagnética em bicicletas ergométricas**. Trabalho de Conclusão de Curso. 2022. 53 p. AEDB, Resende, 2022.

SILVA, H. N., PEREIRA, V. R. A. Análise da eficiência de uma bicicleta ergométrica para geração de energia elétrica. **Anais[...]**. In: 11º CONGRESSO DE INOVAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO IFSP. 2020. São Paulo.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524