

Análise do Desempenho da Bateria de Notebooks em Diferentes Condições Ambientais: Coleta e Análise de Dados para Otimização Energética

Nicolle Canceri Lumertz

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Escola Politécnica
Porto Alegre, Brasil
nicolle.lumertz@edu.pucrs.br

Leonardo Rodriguez Heredia

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Escola Politécnica
Porto Alegre, Brasil
leonardo.heredia@pucrs.br

Resumo—Este trabalho investiga o impacto de fatores ambientais, como temperatura e umidade, no desempenho das baterias de notebooks. Foram realizadas coletas e análises de dados em ambientes controlados e variáveis, utilizando um banco de dados que integra informações ambientais e medições de consumo de bateria. Foram utilizadas técnicas de regressão linear e análise de componentes principais (PCA) para identificar padrões e relações entre as variáveis analisadas.

Palavras-chave—bateria, notebook, eficiência energética, temperatura, umidade, análise de dados.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o avanço tecnológico tem transformado a forma como interagimos com o mundo, consolidando os dispositivos digitais como ferramentas essenciais em nossa vida cotidiana. Notebooks, em particular, destacam-se como equipamentos indispensáveis para atividades acadêmicas, profissionais e de lazer, proporcionando flexibilidade e mobilidade. Contudo, essa dependência crescente de dispositivos móveis também trouxe desafios relacionados à eficiência energética e à gestão sustentável de recursos tecnológicos.

A autonomia da bateria é um dos aspectos mais relevantes para os usuários de notebooks, especialmente em cenários de trabalho remoto e mobilidade. Além das limitações inerentes às tecnologias de armazenamento de energia, fatores ambientais, como temperatura e umidade, desempenham um papel significativo na degradação e no desempenho das baterias. Estudos apontam que condições extremas podem acelerar o desgaste químico e reduzir drasticamente a capacidade das baterias, comprometendo sua funcionalidade ao longo do tempo [1]. Apesar disso, a relação entre o ambiente externo e o comportamento das baterias ainda é pouco explorada de forma prática e sistemática.

Para isso, foram desenvolvidas ferramentas de monitoramento que integram dados ambientais (temperatura e umidade) e de consumo de bateria, com o objetivo de identificar padrões e propor soluções. Essa abordagem combina a coleta de dados em condições controladas e variáveis, utilizando sensores Bluetooth e scripts automatizados.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Baterias de Notebooks

As baterias de íon-lítio são amplamente utilizadas em dispositivos móveis devido à sua alta densidade de energia e longa vida útil. Elas operam por meio de reações químicas controladas, que envolvem a transferência de íons entre o ânodo e o cátodo, mediadas por um eletrólito [1]. Essas reações são sensíveis a variações ambientais, que podem intensificar processos de degradação.

Temperaturas acima de 30°C, por exemplo, aumentam a taxa de decomposição do eletrólito e o risco de formação de dendritos de lítio, enquanto temperaturas abaixo de 0°C diminuem a eficiência do fluxo iônico, resultando em perda de capacidade [2]. A umidade, por sua vez, pode causar corrosão dos componentes internos e comprometer a segurança das baterias [3].

B. Impacto das Condições Ambientais no Desempenho das Baterias

A temperatura é um fator crítico que afeta significativamente o desempenho das baterias de íon-lítio. Temperaturas elevadas aceleram as reações químicas dentro da bateria, aumentando a taxa de degradação e reduzindo a capacidade da bateria ao longo do tempo [2]. Estudos indicam que para cada aumento de 10°C na temperatura, a vida útil da bateria pode ser reduzida pela metade devido à aceleração das reações de decomposição do eletrólito e dos materiais do eletrodo [2]. Temperaturas elevadas também podem levar à formação de dendritos de lítio, aumentando o risco de curtos-circuitos e falhas [4].

Por outro lado, temperaturas extremamente baixas podem diminuir a eficiência das reações químicas, resultando em menor capacidade de carga e aumento da resistência interna da bateria [5]. Em temperaturas abaixo de 0°C, a mobilidade dos íons de lítio é reduzida, o que diminui a capacidade de carga e a taxa de descarga da bateria [5]. A formação de cristais de lítio em baixas temperaturas também pode danificar os eletrodos e reduzir a vida útil da bateria [5].

A umidade também desempenha um papel significativo na performance das baterias de íon-lítio. Ambientes com alta umidade podem levar à corrosão dos componentes internos da bateria e comprometer a integridade das células de íon-lítio [3]. A umidade pode causar a oxidação dos terminais de metal e a degradação dos eletrólitos, resultando em falhas prematuras da bateria [3]. Além disso, a umidade pode influenciar a estabilidade química dos eletrólitos, o que pode comprometer a segurança da bateria e aumentar o risco de explosão ou incêndio [3].

C. Métodos de Análise de dados

1) *Regressão Linear*: A regressão linear é uma técnica estatística utilizada para modelar a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes. Ela busca ajustar uma equação linear aos dados, permitindo quantificar como mudanças nas variáveis independentes influenciam a variável dependente [6]. Essa técnica é amplamente empregada para identificar padrões e fazer previsões em diversos contextos.

2) *Análise de Componentes Principais (PCA)*: A Análise de Componentes Principais (PCA) é uma técnica estatística que reduz a dimensionalidade dos dados ao transformá-los em componentes não correlacionados que retêm a maior parte da variância original. Essa abordagem facilita a análise e a interpretação de conjuntos de dados multivariados [7].

III. METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido com base em uma abordagem experimental de pesquisa, envolvendo testes controlados e monitoramento contínuo para examinar como as condições ambientais afetam o desempenho das baterias de notebooks. A investigação parte da hipótese de que fatores ambientais, como temperatura e umidade, exercem influência significativa sobre o consumo e a durabilidade da bateria.

O objetivo do trabalho é analisar e descrever a relação entre variáveis ambientais e o desempenho energético, fornecendo uma compreensão detalhada desses fenômenos e suas implicações para o uso eficiente de notebooks. Para alcançar esse propósito, foram realizados experimentos sistemáticos em diferentes cenários ambientais.

A seguir, descreve-se a metodologia empregada para coletar, registrar e analisar os dados obtidos.

A. Coleta de Dados

A coleta de dados foi planejada e organizada em um pipeline eficiente que integra medições do consumo de bateria, dados ambientais e o processamento para gerar insights e gráficos analíticos. Esse pipeline é ilustrado na Figura 1 e detalhado a seguir:

- 1) *Monitoramento do Consumo da Bateria*: Scripts em Shell e PowerShell registraram a carga da bateria dos notebooks a cada cinco minutos, desde 100% até 0%, criando um histórico detalhado.
- 2) *Registro de Dados Ambientais*: Sensores Bluetooth da marca Xiaomi (modelo LYWSD03MMC) capturaram

temperatura e umidade em intervalos regulares, sincronizados com os dados de consumo.

- 3) *Integração dos Dados*: Os dados de bateria e condições ambientais foram integrados em um banco de dados único, correlacionando as variáveis para facilitar as análises.
- 4) *Análise dos dados*: As informações foram analisadas para identificar padrões, utilizando técnicas como regressão linear e PCA, com resultados visualizados em gráficos.

A coleta dos dados da bateria foi realizada para cada notebook em diferentes momentos, medindo consistentemente a taxa de descarga da bateria naquele dispositivo específico.

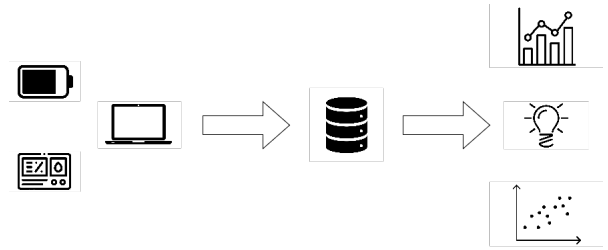


Fig. 1. Diagrama do pipeline de coleta e análise, ilustrando a integração entre dados ambientais e de bateria.

B. Planejamento do Experimento

A escolha dos notebooks foi feita por conveniência, considerando a dificuldade de encontrar múltiplos dispositivos disponíveis para uso experimental. O experimento foi planejado para abranger diferentes marcas, sistemas operacionais e condições ambientais, garantindo a representatividade dos resultados. Foram utilizados seis notebooks, incluindo modelos das marcas Dell, Lenovo e Avell operando nos sistemas Windows e Linux, a tabela I mostra a relação entre notebooks testados, marca e sistema operacional.

Todos os notebooks começaram os testes com a carga completa e permaneceram em operação até que a bateria se esgotasse. Durante esse período, os únicos processos em execução nos dispositivos eram os scripts em PowerShell ou shell, responsáveis pela coleta dos dados de consumo.

TABELA I
NOTEBOOKS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO E SUAS ESPECIFICAÇÕES.

	Marca	Sistema Operacional	Capacidade da Bateria
Notebook 1	Dell	Windows	36Wh
Notebook 2	Lenovo	Windows	50Wh
Notebook 3	Dell	Windows	48Wh
Notebook 4	Dell	Windows	39Wh
Notebook 5	Dell	Linux	32Wh
Notebook 6	Avell	Linux	42Wh

C. Cenário da Coleta

Para a Coleta dos Dados do consumo da bateria procurou-se reproduzir cenários reais, onde os notebooks são frequentemente utilizados em ambientes domésticos. Ademais foram

realizadas várias coletas no mesmo dispositivo para capturar a variação da descarga da bateria em diferentes momentos. Durante a coleta, os notebooks operaram apenas com o sistema operacional e os scripts em PowerShell ou Shell responsáveis pela coleta dos dados de consumo, eliminando a interferência de outros processos ou softwares em segundo plano.

IV. PREPARAÇÃO DOS DADOS

Os dados brutos foram coletados por meio de scripts automatizados que registravam o nível de carga da bateria, acompanhado da data e hora da medição, em intervalos de cinco minutos. Um exemplo de como os dados brutos foram estruturados está na tabela II.

TABELA II
EXEMPLO DE DADOS BRUTOS COLETADOS DURANTE O EXPERIMENTO.

Carga	Data e Hora
100	11/09/24 15:35
95	11/09/24 15:40
...	...
0	11/09/24 17:35

Cada linha representa um ponto de medição ao longo do tempo, começando com a bateria em 100% de carga e se esgotando até 0%. Essas medições foram então processadas para determinar o tempo total de descarga, que corresponde ao intervalo de tempo entre a primeira e a última medição.

Além disso, durante o período de coleta, as condições ambientais (temperatura e umidade) foram controladas e registradas manualmente em intervalos regulares. Para cada experimento, a média da temperatura e da umidade ao longo do processo foi calculada e associada aos dados de cada notebook.

Os dados brutos foram transformados em um formato consolidado para facilitar a análise. Cada experimento foi resumido em uma linha que contém as seguintes informações:

Amostra: Identificação única do experimento.

Tempo de Descarga (minutos): Total de tempo que a bateria levou para descarregar de 100% até 0%.

Temperatura Média (°C): Média das temperaturas registradas durante o experimento.

Umidade Média (%): Média dos níveis de umidade registrados durante o experimento.

TABELA III
EXEMPLO DE DADOS CONSOLIDADOS PARA A ANÁLISE.

Amostra	Tempo de Descarga	Temperatura Média	Umidade Média
1	120	25	60
2	115	28	80
...	...	...	...

V. ANÁLISE DOS DADOS

A. Objetivo

O objetivo desta análise é determinar como as variáveis ambientais, especificamente a temperatura e a umidade, influenciam a duração da bateria dos notebooks. Avaliamos se há correlações significativas entre as condições ambientais e

o nível da bateria, permitindo identificar padrões e formular recomendações para otimizar o desempenho dos dispositivos em diferentes ambientes.

B. Análise

Foram criadas duas hipóteses principais para a análise dos dados:

- 1) Temperaturas mais altas aceleram o gasto da bateria?
- 2) Níveis elevados de umidade influenciam negativamente a duração das baterias?

Os dados coletados serão analisados utilizando os seguintes métodos de análise: regressão linear e análise de componentes principais (PCA).

C. Regressão Linear

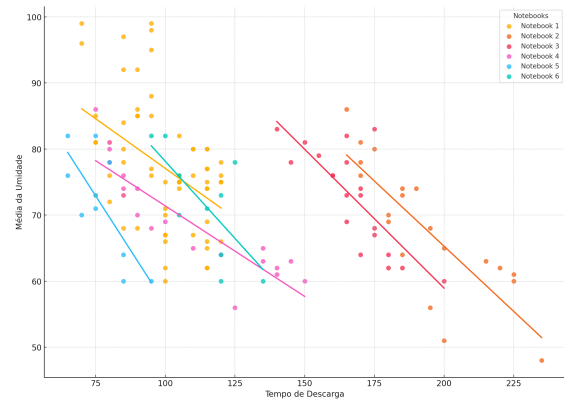


Fig. 2. Gráfico de Regressão Linear com os dados coletados entre o Tempo de Descarga e a Média da Umidade.

A regressão linear sugere que, para a maioria dos notebooks, a umidade tem um impacto moderado no tempo de descarga. Em geral, tempos de descarga mais curtos tendem a ocorrer em níveis alto de umidade. Os notebooks apresentaram uma leve redução no tempo de descarga à medida que a umidade aumenta. Umidades acima de 70% mostraram relação com tempos de descarga mais curtos, enquanto entre 50% e 70%, houve maior estabilidade no tempo de descarga. Não teve nenhuma coleta em umidade abaixo de 50%, logo não podemos tirar nenhum tipo de conclusões para umidades baixas.

Há uma clara relação negativa entre temperatura e tempo de descarga para os notebooks. Temperaturas mais altas estão consistentemente associadas a tempos de descarga mais curtos. Pode-se concluir que temperaturas acima de 28°C resultam consistentemente em tempos de descarga reduzidos para os notebooks. Temperaturas entre 20°C e 25°C parecem ser ideais para o desempenho da bateria, com tempos de descarga mais longos.

No geral, a temperatura mostrou impacto mais consistente, enquanto a umidade apresenta maior variabilidade. Enquanto a relação entre tempo de descarga e temperatura é negativa, o impacto da umidade varia mais entre os notebooks, sendo mais significativo em níveis extremos.

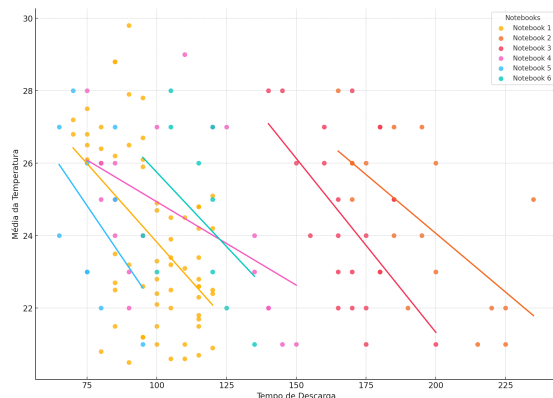


Fig. 3. Gráfico de Regressão Linear com os dados coletados entre o Tempo de Descarga e a Média da Temperatura.

D. Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para identificar os padrões mais relevantes entre as variáveis analisadas. Essa abordagem busca reduzir a complexidade dos dados e, ao mesmo tempo, destacar como as variáveis interagem e influenciam umas às outras.

O Primeiro Componente Principal (PCA1) capturou 52,56% da variação total dos dados e reflete a relação entre a média da temperatura e o tempo de descarga. Altos valores de PCA1 estão associados a temperaturas elevadas e tempos de descarga menores, indicando que notebooks expostos a altas temperaturas tendem a perder carga mais rapidamente.

O Segundo Componente Principal (PCA2) explicou 29,53% da variância total e reflete a média da umidade. Valores extremos de PCA2 sugerem que ambientes muito úmidos ou muito secos podem ter um impacto no desempenho da bateria.

A PCA revelou que combinações de alta temperatura e alta umidade podem amplificar os impactos negativos no desempenho energético, levando a tempos de descarga mais curtos. Por outro lado, condições moderadas (temperatura e umidade dentro de faixas intermediárias) estão associadas a melhores tempos de descarga.

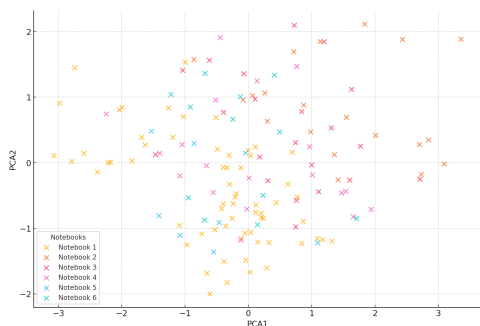


Fig. 4. Gráfico de Análise de Componentes Principais.

No gráfico representado na figura 4 Cada ponto representa um notebook com base na combinação de temperatura, umidade e tempo de descarga. Os notebooks foram separados em

regiões distintas do espaço PCA, mostrando como variáveis ambientais afetam seu desempenho energético.

A temperatura é o fator predominante, a PCA confirma que variações de temperatura impactam mais o tempo de descarga que a umidade, especialmente em temperaturas acima de 25°C. A umidade também desempenha um papel, embora secundária, a umidade em níveis elevados influencia negativamente a bateria. Segundo a análise de componente principais as condições ideais para a bateria são temperaturas entre 20°C e 25°C e uma faixa de umidade moderada (50-70%) estão associadas aos melhores tempos de descarga.

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho analisou o impacto de variáveis ambientais, como temperatura e umidade, no desempenho energético de notebooks, com foco no tempo de descarga das baterias. Por meio de análises estatísticas, foi possível identificar padrões que contribuem para compreender como essas condições afetam o consumo de energia.

Os resultados indicaram que a temperatura desempenha um papel importante na duração da bateria. Temperaturas acima de 28°C estão associadas a uma redução no tempo de descarga, enquanto a faixa de 20°C a 25°C apresentou melhores resultados. A umidade também mostrou influência, especialmente em níveis acima de 70%, que tendem a reduzir o tempo de descarga. Em contrapartida, faixas moderadas de umidade, entre 50% e 70%, estiveram associadas a maior estabilidade.

A análise de componentes principais demonstrou que a interação entre alta temperatura e alta umidade pode potencializar os impactos negativos no desempenho energético. Apesar disso, as condições ambientais intermediárias apresentaram resultados mais favoráveis para a maioria dos dispositivos testados.

Embora os resultados mostrem padrões consistentes, a falta de dados em níveis de umidade abaixo de 50% limitou algumas conclusões. Pesquisas futuras podem abordar essas lacunas e considerar a inclusão de outras variáveis ambientais para ampliar a análise. As descobertas podem orientar fabricantes e usuários a adotar práticas que promovam o uso eficiente de notebooks em diferentes condições ambientais.

REFERÊNCIAS

- [1] D. Andrea, *Lithium-Ion Batteries and Applications: A Practical and Comprehensive Guide to Lithium-Ion Batteries and Arrays, from Toys to Towns*, vol. 1. Norwood, MA: Artech House, 2020.
- [2] T. Youngleson and S. Rajakaruna, "Building a Low-Cost Climate Chamber to Test Lithium Ion Batteries under Site Conditions," in *Proc. 31st Australasian Univ. Power Eng. Conf. (AUPEC)*, Perth, Australia, 2021, pp. 1-6.
- [3] W. Keyoonwong, K. Phiphuannok, K. Janesawatpong, K. Seeboonrueang, N. Amnuaysap, and T. Puttawong, "Study impedance and temperature behavior of LFP battery as function of relative humidity and temperature under various conditions," in *Proc. 10th Int. Conf. Eng. Appl. Sci. Technol. (ICEAST)*, Luang Prabang, Laos, 2024, pp. 41-44.
- [4] S. Lv, X. Wang, W. Lu, J. Zhang, and H. Ni, "The Influence of Temperature on the Capacity of Lithium Ion Batteries with Different Anodes," *Energies*, vol. 15, no. 1, p. 60, 2022.

- [5] T. Adiono, M. Y. Fathany, S. Fuada, I. G. Purwanda, and S. F. Anindya, "A portable node of humidity and temperature sensor for indoor environment monitoring," in *Proc. 3rd Int. Conf. Intell. Green Build. Smart Grid (IGBSG)*, Yilan, Taiwan, 2018, pp. 1-5.
- [6] Montgomery, D.C., Peck, E.A., Vining, G.G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis*. Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ.
- [7] Jolliffe, I. T. (2010). *Principal Component Analysis* (2nd ed.). Springer.