

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL DE MAIRINQUE - ETEC
CURSO TÉCNICO DE QUÍMICA INTEGRADO AO ENSINO MÉDIO

ELETROQUÍMICA- A REALIZAÇÃO DE UMA BATERIA EM MEIO SALINO E METAL

EMILYN VIEIRA DE CAMPOS
FERNANDO FERREIRA NUNES DA COSTA
JÚLIA PEREIRA RIBEIRO
MARIA LAURA OLIVEIRA DE SOUZA
MATEUS MORAES SILVA
SÉRGIO LUIZ ARENA AZZINI

MAIRINQUE - SP

2025

EMILYN VIEIRA DE CAMPOS
FERNANDO FERREIRA NUNES DA COSTA
JÚLIA PEREIRA RIBEIRO
MARIA LAURA OLIVEIRA DE SOUZA
MATEUS MORAES SILVA
SÉRGIO LUIZ ARENA AZZINI

ELETROQUÍMICA- A REALIZAÇÃO DE UMA BATERIA EM MEIO SALINO E METAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Técnico em Química
Integrado ao Ensino Médio da Escola Estadual de Mairinque – ETEC.

Orientador(a): Prof.(a)

MAIRINQUE - SP

2025

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DAS BATERIAS ELETROQUÍMICAS.....	6
2.1 CONCEITOS BÁSICOS DE ELETROQUÍMICA	6
2.2 BATERIAS DE SAL E METAL: PRINCÍPIOS E FUNCIONAMENTO.....	7
2.2.1 BATERIAS DE SAL FUNDIDO.....	7
2.2.2 POSSÍVEL INTERPRETAÇÃO: BATERIAS COM METAL E SAL.....	8
2.2.3 APLICAÇÃO DOS CONCEITOS ELETROQUÍMICOS.....	8
2.3 PROPRIEDADES DO METAL E SAL EM BATERIAS ELETROQUÍMICAS.....	8
2.3.1 DESAFIOS TÉCNICOS E CIENTÍFICOS NA PESQUISA DE BATERIAS DE SAL: EFICIÊNCIA E ESTABILIDADE.....	12
2.3.2 IMPLEMENTAÇÃO DE BATERIAS DE SAL E METAL EM NAÇÕES EM DESENVOLVIMENTO: ACESSO SUSTENTÁVEL À ELETRICIDADE EM ÁREAS RURAIS E REMOTAS	16
2.4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS MATERIAIS UTILIZADOS.....	18
2.4.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	18
2.4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	19
2.4.3 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE TENSÃO, CORRENTE E EFICIÊNCIA DA BATERIA.....	20
2.4.4 VARIÁVEIS EXPERIMENTAIS.....	21
2.5 AVALIAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA SUBSTITUIR O SAL NA BATERIA DE AGUA E METAL.....	23
2.5.1 ACESSIBILIDADE E CUSTO DAS BATERIAS DE SAL E METAL EM COMUNIDADES DE BAIXA RENDA.	25
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
3.1 RESULTADOS OBTIDOS.....	26
3.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	26
3.3 APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES.....	28
3.3.1 POTENCIAIS USOS DA ELETROQUÍMICA EM DISPOSITIVOS DE BAIXO CONSUMO, SISTEMAS DE ENERGIA SUSTENTÁVEL E COMO ALTERNATIVA EM EMERGÊNCIAS.....	28
3.3.2 LIMITAÇÕES EM COMPARAÇÃO COM BATERIAS COMERCIAIS E SUGESTÕES DE MELHORIAS.....	29
3.4 DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA ESCALABILIDADE DA TECNOLOGIA...29	
3.4.1 DESAFIOS.....	30
3.4.2 OPORTUNIDADES.....	30
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31

REFERENCIAS.....	31
------------------	----

1 INTRODUÇÃO

A **eletroquímica** é um ramo da Físico-Química que investiga os processos em que ocorrem reações químicas com envolvimento de corrente elétrica e diferença de potencial, envolvendo transferência de elétrons, conhecidas como reações de oxirredução ou redox, isso de acordo com Edson Antônio, em **Eletroquímica: Princípios e Aplicações Vol. 17**. Essas transformações são fundamentais para o funcionamento de células eletroquímicas, como pilhas e baterias, bem como para processos de eletrólise, na qual uma corrente elétrica força reações não espontâneas.

A crescente demanda global por fontes de energia sustentáveis e acessíveis tem impulsionado a pesquisa por alternativas mais econômicas, ecológicas e adaptáveis às diversas realidades socioeconômicas. Em especial, a busca por sistemas de armazenamento de energia que não dependam de materiais caros ou processos industriais complexos se torna cada vez mais relevante, principalmente em regiões de difícil acesso ou com infraestrutura energética precária. Nesse contexto, o presente trabalho propõe a construção e a análise de uma bateria eletroquímica de baixo custo, feita a partir de materiais simples e amplamente disponíveis, como sal (cloreto de sódio), água, metais e fios condutores.

A proposta do projeto é investigar os princípios fundamentais das baterias eletroquímicas a partir de uma abordagem experimental e aplicada, utilizando como base uma bateria caseira construída com água e sal. Essa escolha se justifica por diversos fatores: o sal, por sua capacidade de dissociação iônica em solução aquosa, contribui significativamente para a condutividade elétrica; a água, por sua função na regulação da temperatura e na manutenção da estabilidade da célula eletroquímica, além de permitir o controle térmico em experimentos de curta duração. A combinação desses dois elementos cria um ambiente propício à condução de íons, essencial para o funcionamento de uma bateria.

O projeto se baseia em fundamentos da eletroquímica, como as reações de oxirredução, o papel do ânodo e do cátodo, e a função dos eletrólitos. Também são abordadas as particularidades das baterias de sal e gelo, suas propriedades e os principais desafios técnicos, além do potencial de aplicação em regiões isoladas que carecem de acesso a tecnologias convencionais de armazenamento de energia.

Apresenta-se a metodologia experimental, com a descrição dos materiais utilizados, o procedimento de montagem da bateria e as variáveis controladas, como concentração de sal, temperatura do gelo e tipo de metal. Também são avaliadas substâncias alternativas ao sal, como ácido cítrico, bicarbonato de sódio, ácido acético e ácido sulfúrico diluído, buscando melhorias na condutividade elétrica e na sustentabilidade.

Os resultados experimentais serão analisados, com discussão sobre tensão gerada, corrente elétrica, eficiência e os fatores que mais influenciaram o desempenho da bateria. Além disso, examinam-se suas possíveis aplicações em dispositivos de baixo consumo, limitações em comparação com baterias comerciais e escalabilidade.

Este trabalho busca não apenas compreender o funcionamento das baterias eletroquímicas, mas também propor uma solução acessível e adaptável a comunidades de baixa renda. A bateria de sal e gelo surge como uma alternativa promissora para promover o acesso à energia em regiões com pouca infraestrutura, incentivando práticas mais sustentáveis e inclusivas.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DAS BATERIAS ELETROQUÍMICAS

2.1 CONCEITOS BÁSICOS DE ELETROQUÍMICA

A eletroquímica é o ramo da química que estuda as reações de oxidação-redução (redox), caracterizadas pela transferência de elétrons entre reagentes. Na oxidação, ocorre perda de elétrons, enquanto na redução, há ganho desses elétrons. Tais processos, quando acoplados, permitem a conversão de energia química em energia elétrica, base de funcionamento das baterias.

As células eletroquímicas — ou baterias — compreendem dois eletrodos: o **ânodo**, onde ocorre a oxidação, que libera elétrons; e o **cátodo**, onde ocorre a redução, que recebe elétrons. O movimento de elétrons do ânodo ao cátodo, por um circuito externo, gera corrente elétrica. Entretanto, para manter o equilíbrio de cargas dentro do sistema, é essencial a presença de um **eletrólito**. Esse meio condutor iônico permite o deslocamento de íons entre os eletrodos e atua na neutralização das cargas, assegurando a continuidade das reações redox.

Assim temos a existência de diferentes tipos de células eletroquímicas. São elas as **células galvânicas (voltaicas)** que convertem espontaneamente energia química em elétrica, como em pilhas comuns. O ânodo é negativo e o cátodo, positivo. **Eletrolíticas**: requerem energia elétrica externa para ocorrer uma reação não espontânea (como na eletrólise).

Na célula galvânica, a reação ocorre em meias reações — cada uma em um eletrodo — e o caminho iônico entre elas pode ser mantido por ponte salina ou membrana porosa, essenciais para equilibrar as cargas. O exemplo clássico é a célula de Daniell (zinco e cobre), cujas meias reações são:

- **Ânodo (oxidação):** $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2 \text{e}^-$
- **Cátodo (redução):** $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$

O potencial elétrico gerado é denominado força eletromotriz (f.e.m.) e resulta da diferença entre potenciais padrão de redução dos eletrodos. Sua variação com condições não ideais (como concentrações diferentes da padrão) é calculada por meio da **Equação de Nernst**.

Portanto, as baterias são classificadas como **primárias**—não recarregáveis, como as pilhas secas, que empregam eletrodos de zinco e dióxido de manganês com eletrólito

ácido ou salino, gerando cerca de 1,5 V e, também, as **secundárias**—recarregáveis, como as baterias chumbo-ácido, níquel-cádmio ou íon-lítio. Por exemplo, a chumbo-ácido utiliza como eletrodos o chumbo metálico (ânodo) e dióxido de chumbo (cátodo), com eletrólito de ácido sulfúrico, e pode ser recarregada revertendo as reações.

O desempenho de uma bateria é influenciado pela natureza dos materiais dos eletrodos, pela condutividade iônica do eletrólito, e parâmetros como densidade energética, vida útil e segurança.

2.2 BATERIAS DE SAL E METAL: PRINCÍPIOS E FUNCIONAMENTO

As **baterias de sal e metal** representam uma proposta emergente e experimental em sistemas de armazenamento energético, baseando-se em reações eletroquímicas em ambientes de baixas temperaturas.

2.2.1 BATERIAS DE SAL FUNDIDO

Esse tipo de bateria usa eletrólitos derivados de sais fundidos, geralmente com sódio como componente principal. Operam em altas temperaturas (tipicamente entre 400 °C e 700 °C), o que confere alta densidade de energia e potência devido à elevada condutividade do meio íon-condutor. Um exemplo é a tecnologia ZEBRA, usada em veículos, operando em temperaturas mais baixas (245–350 °C), mas ainda requer aquecimento constante para manter os sais fundidos, sob pena de solidificação — que dificulta o uso imediato até que o sistema aqueça novamente (pode levar dias para atingir a temperatura operacional).

A pesquisa nessa área também inclui sistemas alternativas baseadas em magnésio-antimônio com sal como eletrólito, demonstrando boa eficiência ($\approx 69\%$), alta capacidade de armazenamento e baixas perdas por vazamento, sendo promissora para armazenamento estacionário de energia.

Embora não envolvam literalmente "gelo", essas baterias ilustram o uso de sal como meio condutor em matriz sólida ou pastosa, com significativa relevância em contextos exigentes.

2.2.2 POSSÍVEL INTERPRETAÇÃO: BATERIAS COM METAL E SAL

A expressão "baterias de sal e gelo" pode referir-se a técnicas experimentais que exploram **água contendo sais dissolvidos** como matriz eletrolítica em baixas temperaturas, visando gerar condução iônica mesmo em estado semissólido. Embora o gelo puro seja isolante elétrico, impurezas e canais cristalinos podem permitir mobilidade iônica limitada, emitindo potencial para aplicações específicas em ambientes congelantes (por exemplo, sondas polares ou espaciais). Essas ideias ainda se encontram em estágio conceitual ou em pesquisa inicial, sem ampla documentação formal publicada.

2.2.3 APLICAÇÃO DOS CONCEITOS ELETROQUÍMICOS

Nos sistemas de sal fundido, as reações redox ainda ocorrem nos eletrodos — com ânodo, cátodo e eletrólito — obedecendo aos mesmos princípios básicos da galvanicidade. O diferencial está no comportamento físico e químico do eletrólito, que mantém elevada condutividade iônica em formato fundido, ao contrário dos sistemas convencionais líquidos ou gelatinosos.

A consequência é um sistema robusto com alta potência e densidade energética, porém de difícil manuseio devido à necessidade de calor constante, desafios de segurança e complexidade térmica.

2.3 PROPRIEDADES DO METAL E SAL EM BATERIAS ELETROQUÍMICAS

A combinação entre sais e metais como base para sistemas eletroquímicos tem despertado interesse crescente no campo das tecnologias alternativas de armazenamento energético. As baterias formadas a partir dessa interação utilizam sais como eletrólitos capazes de dissociar-se em íons móveis, enquanto metais como magnésio, alumínio, ferro ou sódio atuam como eletrodos responsáveis pelas reações de oxirredução. Essa dinâmica possibilita a circulação de corrente elétrica e a conversão de energia química em energia elétrica utilizável.

O princípio de funcionamento dessas baterias está associado à dissociação iônica do sal quando dissolvido em água ou outro solvente. Com a separação em cátions e ânions,

torna-se possível o fluxo de cargas entre os eletrodos, garantindo a operação eletroquímica. A eficiência do sistema depende diretamente da mobilidade iônica, da pureza do eletrólito, da reatividade do metal e da resistência interna formada durante o uso. Quanto maior a dissociação e mais constante o fluxo de íons, maior será o rendimento energético.

Uma das principais vantagens do sistema sal-metal está na disponibilidade dos materiais utilizados. Sais como NaCl, CaCl_2 ou KCl são substâncias de baixo custo, amplamente distribuídas e de fácil manipulação, enquanto os metais empregados também apresentam abundância natural. Esse conjunto faz com que a tecnologia seja economicamente viável e ambientalmente mais limpa em comparação com sistemas convencionais, especialmente baterias de íons de lítio, que dependem de extração de minerais escassos e processos industriais altamente energéticos.

Além disso, baterias sal-metal apresentam maior segurança operacional, uma vez que não utilizam solventes inflamáveis nem compostos altamente reativos sujeitos à combustão espontânea. Em cenários onde segurança, simplicidade estrutural e custo reduzido são prioridades, esses modelos se destacam como alternativas promissoras. Em muitos casos, sua operação pode ocorrer sem necessidade de controle térmico sofisticado, sendo apropriada para dispositivos de baixa potência, sensores remotos e aplicações de uso cotidiano.

2.3.1 DESAFIOS TÉCNICOS E CIENTÍFICOS NA PESQUISA DE BATERIAS DE SAL E METAL: EFICIÊNCIA E ESTABILIDADE

Embora apresente vantagens relevantes, a tecnologia sal-metal ainda se encontra em estágio de desenvolvimento e enfrenta desafios físicos, químicos e estruturais importantes. Um dos maiores entraves é a ****corrosão eletroquímica dos eletrodos metálicos****, que ocorre devido à interação direta entre o metal e o eletrólito salino. Com o tempo, essa corrosão degrada o material ativo, provoca perda de massa e reduz a

eficácia da bateria. Esse processo compromete a vida útil e aumenta a necessidade de substituição contínua dos componentes.

Além disso, a reação entre sal e metal pode gerar ****camadas passivadoras**** na superfície do eletrodo. Esses depósitos, embora retardem a corrosão, dificultam o fluxo iônico, elevam a resistência interna e reduzem a capacidade de carga. O equilíbrio entre proteção superficial e manutenção da condutividade ainda é um desafio complexo e exige estudos de composição e engenharia de superfície.

A condutividade do eletrólito também representa um ponto crítico. Sais diferentes apresentam níveis distintos de dissociação e solubilidade, impactando de forma direta a mobilidade iônica. A baixa condutividade resulta em energia limitada, dificultando aplicações em dispositivos de maior demanda. Para superar esse problema, pesquisas têm buscado eletrólitos híbridos, combinações multissalinas, aditivos que favorecem o transporte de íons e solventes alternativos capazes de melhorar o desempenho eletroquímico.

Por fim, o processo de ciclagem — repetição de carga e descarga — ainda apresenta desgaste acelerado nos sistemas sal–metal. A perda gradativa de eficiência, mesmo em poucas dezenas de ciclos, mostra que a estabilidade química do conjunto ainda precisa ser aprimorada. O sucesso dessa tecnologia depende do desenvolvimento de soluções capazes de estabilizar a interface sal–metal, reduzir reações secundárias e prolongar sua durabilidade operacional.

2.3.2 IMPLEMENTAÇÃO DE BATERIAS DE SAL E METAL EM NAÇÕES EM DESENVOLVIMENTO: ACESSO SUSTENTÁVEL À ELETRICIDADE EM ÁREAS RURAIS E REMOTAS

O potencial das baterias à base de sal e metal é particularmente relevante quando aplicado ao contexto de países em desenvolvimento. Nessas regiões, o acesso à energia ainda é limitado em muitas áreas rurais e periféricas, seja por falta de infraestrutura

elétrica, alto custo de instalação ou distâncias que tornam a manutenção inviável. Nesse cenário, o uso de materiais amplamente disponíveis torna o sistema energeticamente acessível, estimulando autonomia e inclusão tecnológica.

A produção local dessas baterias reduz custos logísticos, incentiva a capacitação comunitária e permite que populações isoladas dominem o processo de montagem, utilização e manutenção. Além disso, sua segurança operacional e baixa toxicidade reduzem riscos ambientais e de saúde pública, tornando-as adequadas para uso doméstico, escolar e institucional mesmo sem supervisão técnica constante.

Essas baterias podem ser integradas a sistemas descentralizados de geração de energia renovável, como painéis solares e pequenas turbinas hidráulicas. Suas aplicações incluem iluminação básica, carregamento de dispositivos essenciais, sistemas de comunicação, refrigeração de medicamentos, abastecimento de bombas de água e suporte a laboratórios e salas de aula. Dessa forma, contribuem diretamente para o bem-estar e desenvolvimento social de comunidades afastadas.

A relevância dessa tecnologia vai além do campo energético e se amplia para educação e economia local. Projetos baseados na fabricação e uso de baterias sal-metal promovem aprendizado técnico, autonomia comunitária, inclusão digital e oportunidades de micronegócio. Com desenvolvimento científico contínuo, otimizações estruturais e políticas de incentivo, essas baterias podem tornar-se importantes ferramentas de transformação social e energética

2.4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS MATERIAIS UTILIZADOS

2.4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Descrição detalhada dos materiais: sal, gelo, metais (como cobre e zinco), fios condutores, multímetro, lâmpada LED etc.

- Água;
- Led vermelho de 4mm;

- NaCl (sal de cozinha);
- 1 Forminha de gelo;
- Fio de cobre descascado;
- 12 parafusos galvanizados;
- Multímetro.

Para a realização do experimento foi escolhidos materiais de fácil acesso e que apresentam propriedades adequadas para a ocorrência das reações eletroquímica e a verificação dos resultados. Foi utilizado o fio de cobre que tem a função de conectar o circuito da bateria, sendo um fio condutor por onde os elétrons iram passar. Os parafusos galvanizados foram selecionados por possuírem uma camada de zinco que geram energia elétrica por meio da reação de oxidação liberando elétrons. A água foi utilizada para a dissolução e transporte de íons, assumindo o papel de eletrólito. O sal faz com que a água se torne uma ótima condutora. O led vermelho de 4mm foi escolhido devido a sua fácil visualização e baixa necessidade de energia. A forma de gelo permite organizar os eletrólitos, garantindo que fique bem distribuído. O multímetro foi utilizado para medir a voltagem da bateria.

2.4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Passo a passo para a montagem da bateria de sal e gelo.

- 1 Preparação da solução eletrolítica. Cada compartimento da forminha de gelo foi preenchido com água e, cloreto de sódio (NaCl) até a dissolução, formando a solução condutora eletrólito.
- 2 Inserção dos eletrodos. No interior de cada espaço da forminha, junto ao eletrólito, foi colocado um parafuso galvanizado (como eletrodo negativo) e um pedaço de fio de cobre descascado (como eletrodo positivo), mantendo uma distância para evitar contato direto.
- 3 Interligação das células - As seções foram conectadas em série, ligando o fio de cobre de um compartimento ao parafuso galvanizado do compartimento seguinte, de modo a somar as diferenças de potencial.

- 4 Completação da bateria - O último fio de cobre livre e o último parafuso galvanizado foram deixados como polos positivo e negativo, visando a conexão do circuito externo.
- 5 Teste com multímetro - Utilizou-se o multímetro para medir a tensão elétrica gerada pela bateria caseira, registrando a voltagem.
- 6 Acendimento do LED - Em seguida, conectou-se o LED vermelho de 4 mm aos polos da bateria. Observou-se o acendimento do dispositivo de acordo com a voltagem, confirmando o funcionamento da bateria caseira.
- 7 Registro das observações - Foram registrados a intensidade do brilho do LED, o tempo de duração do acendimento e a tensão registrada pelo multímetro, possibilitando análises seguintes.

2.4.3 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE TENSÃO, CORRENTE E EFICIÊNCIA DA BATERIA.

A análise do desempenho de uma bateria requer a utilização de métodos adequados para a medição de suas grandezas elétricas fundamentais: tensão, corrente e eficiência.

•**Medição de Tensão:** a forma mais comum de avaliar a tensão é utilizando um multímetro, que permite obter a diferença de potencial entre os polos positivo e negativo da bateria em tempo real. Esse procedimento corresponde ao método de tensão em circuito aberto (OCV), quando realizado sem carga conectada, fornecendo uma estimativa do estado de carga (SOC) da bateria.

•**Medição de Corrente:** para avaliar a corrente elétrica fornecida, o multímetro pode ser conectado em série ao circuito. Esse método fornece valores instantâneos, mas, pode ser complementado pela contagem de Coulomb, que consiste em incorporar a corrente ao longo do tempo para calcular a carga que entrou e saiu da bateria.

•**Medição de Eficiência:** a eficiência de uma bateria está relacionada à razão entre a energia precisamente entregue e a energia total armazenada. Em experimentos acadêmicos, essa relação pode ser aproximada comparando a tensão e a correntes medidas na descarga em relação àsquelas observadas durante a carga. Ainda que métodos avançados utilizem modelos matemáticos ou filtros de estimativa, no caso de

uma bateria de água, o acompanhamento por meio de multímetro já é suficiente para avaliar tendências de eficiência.

2.4.4 VARIÁVEIS EXPERIMENTAIS

Como diferentes concentrações de sal e a temperatura do gelo afetam o desempenho da bateria.

O desempenho da bateria caseira de forma de gelo é significativamente influenciado pela concentração de sal e pela temperatura da água utilizada. O sal (NaCl) atua, juntamente com a água, como eletrólito, fornecendo íons que permitem a condução elétrica entre os eletrodos. Concentrações inadequadas de sal podem comprometer a eficiência da bateria, seja por insuficiência de íons ou por problemas como cristalização do eletrólito. Ademais, a temperatura da água afeta a mobilidade dos íons e a estabilidade da solução, impactando a geração de energia elétrica.

Concentração de sal

A concentração de sal na solução influencia a quantidade de íons atribuído para a condução elétrica. Concentrações muito baixas geram poucos íons, resultando em corrente reduzida e baixa tensão. De outro modo, concentrações muito altas ocasionam a cristalização do eletrólito e prejudica o desempenho da bateria. Porém, ao atingir concentrações elevadas de sal, é possível obter soluções que se comportam como sais fundidos hidratados à temperatura ambiente, aumentando a estabilidade eletroquímica e permitindo um desempenho mais eficaz da bateria.

Temperatura da água

A temperatura da água utilizada na preparação da bateria também desempenha um papel importante. A água em temperatura mais baixa resulta em menor mobilidade dos íons, reduzindo a eficiência da reação eletroquímica. Por outro lado, temperaturas mais altas podem aumentar a mobilidade iônica, mas também apresentam riscos, como a evaporação rápida da água e alterações na densidade do eletrólito, o que pode comprometer a estabilidade da solução. Sendo assim, é essencial a água utilizada estar em temperatura ambiente para um bom desempenho da bateria.

A geração de energia elétrica em dispositivos como baterias caseiras é altamente influenciada pelos metais utilizados como eletrodos. Esses metais determinam a eficiência da condução de elétrons, fator essencial para a produção de corrente elétrica. Entre as propriedades mais relevantes, destaca-se a condutividade elétrica, que indica a capacidade de um material permitir a passagem de corrente. Quanto maior a condutividade, mais eficiente será o fluxo de elétrons e, conseqüentemente, maior será a energia elétrica gerada.

Metais como prata (Ag), cobre (Cu), ouro (Au) e alumínio (Al) apresentam diferentes níveis de condutividade elétrica. A prata possui a maior condutividade, seguida pelo cobre, ouro e alumínio. No entanto, fatores como custo, resistência à corrosão e disponibilidade também influenciam a escolha do material para aplicações práticas. Por exemplo, apesar de a prata ser o melhor condutor, seu alto custo limita seu uso em larga escala. O cobre, no entanto, possui alta condutividade e preço acessível, tornando-se amplamente utilizado em fios, cabos e eletrodos de baterias. O alumínio apresenta menor condutividade, mas oferece leveza e resistência à oxidação, sendo excelente para linhas de transmissão de energia elétrica.

Em baterias caseiras, como as de forma de gelo, a escolha do metal para os eletrodos impacta diretamente a corrente gerada e a eficiência do dispositivo. Metais de alta condutividade permitem maior movimentação de elétrons, resultando em tensão mais estável e corrente maior. Além disso, a resistência à corrosão influencia a durabilidade da bateria, pois metais suscetíveis à oxidação podem perder eficiência rapidamente ao longo do tempo. Por exemplo, o ouro apresenta excelente resistência à oxidação, mas devido ao seu custo elevado, é reservado para usos essenciais.

Portanto, para melhorar o desempenho de baterias caseiras, é essencial equilibrar condutividade elétrica, custo-benefício, resistência à corrosão e disponibilidade do metal. O cobre apresenta excelente desempenho em termos de condução elétrica e durabilidade, sendo a escolha mais comum em experimentos educacionais e domésticos. O entendimento dessas propriedades permite não apenas a construção de baterias mais eficientes, mas também o desenvolvimento de dispositivos elétricos e energéticos mais confiáveis e seguros.

2.5 AVALIAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA SUBSTITUIR O SAL NA BATERIA DE AGUA E METAL.

A utilização de soluções salinas em experimentos de baterias caseiras é uma prática bastante popularizado, já que o sal (cloreto de sódio) apresenta boa capacidade de dissociação iônica em água, favorecendo a condução elétrica. Entretanto, a busca por alternativas mais sustentáveis, acessíveis ou até mesmo mais eficientes em termos de condutividade, leva à investigação de outros compostos capazes de executar função semelhante. Entre os concorrentes que se destacam, encontramos o ácido cítrico, o bicarbonato de sódio, o ácido acético e o ácido sulfúrico diluído. Sobre os seguintes compostos podemos dar início ao debate e comparação entre eles.

Ácido Cítrico - O ácido cítrico, presente naturalmente em frutas como o limão e a laranja, é um ácido orgânico fraco, mas de ampla aplicação em alimentos, fármacos e produtos de limpeza. Em solução aquosa, suas moléculas ionizam parcialmente, liberando íons que podem transportar carga elétrica. Essa característica garante ao ácido cítrico uma condutividade elétrica suficiente para viabilizar seu uso como eletrólito em baterias caseiras, como a nossa.

De acordo com experimentos descritos em manuais didáticos de física e química, o ácido cítrico pode ser utilizado para acender pequenas lâmpadas em montagens experimentais, embora sua eficiência dependa diretamente da concentração da solução. Em comparação ao sal de cozinha, o ácido cítrico tende a apresentar condutividade mais baixa, justamente pela sua ionização parcial, mas destaca-se como uma opção sustentável e segura, considerando que é um composto biodegradável e de baixo risco ambiental.

Bicarbonato de Sódio - O bicarbonato de sódio (NaHCO_3) é um sal resultante da reação entre ácido carbônico e hidróxido de sódio, amplamente conhecido por seu uso culinário e medicinal. Quando dissolvido em água, sofre dissociação parcial, liberando íons bicarbonato (HCO_3^-) e sódio (Na^+), o que possibilita a condução elétrica. Segundo registros experimentais, a condutividade da solução de bicarbonato é relativamente inferior à do cloreto de sódio, mas ainda assim suficiente para gerar corrente elétrica em montagens. Uma vantagem importante é a segurança no manuseio: trata-se de um

composto atóxico e facilmente encontrado em residências, o que favorece sua utilização em baterias experimentais voltadas ao ensino de conceitos de eletroquímica.

Ácido Acético - O ácido acético (CH_3COOH), principal componente do vinagre, é um ácido orgânico fraco que apresenta ionização limitada em solução aquosa. Essa característica restringe sua condutividade elétrica, tornando-o menos eficiente em comparação ao cloreto de sódio ou mesmo ao ácido cítrico. Estudos sobre condutividade elétrica de soluções aquosas destacam que, mesmo com a baixa concentração de íons livres, há circulação de corrente suficiente para demonstrar o princípio de funcionamento de uma célula eletroquímica. Dessa forma, sua relevância está mais ligada ao caráter didático e ao incentivo à experimentação do que à busca por máxima eficiência energética.

Ácido Sulfúrico Diluído - Entre os compostos analisados, o ácido sulfúrico (H_2SO_4) em solução aquosa diluída é o que apresenta maior potencial condutor. Diferentemente dos ácidos orgânicos, trata-se de um ácido forte, que se dissocia quase completamente em água, liberando íons H^+ e SO_4^{2-} . Isso garante uma elevada condutividade elétrica, característica que justifica sua ampla utilização em baterias comerciais, como as de chumbo-ácido, presentes em automóveis.

Apesar da alta eficiência, o uso do ácido sulfúrico em experimentos com baterias de gelo e água envolve riscos significativos. Trata-se de uma substância corrosiva e de difícil manuseio seguro fora de ambientes controlados, o que limita sua aplicação em contextos educacionais. Assim, embora apresente melhor desempenho técnico, seu emprego exige cuidados rigorosos de segurança e descarte ambiental adequado.

Concluindo, a substituição do sal por outros compostos em baterias de água e gelo revela uma diversidade de possibilidades, cada qual com suas vantagens e limitações. Enquanto o ácido cítrico e o bicarbonato de sódio se destacam pela segurança e sustentabilidade, o ácido acético, embora menos eficiente, oferece acessibilidade e caráter didático. Já o ácido sulfúrico diluído, apesar da superioridade em condutividade, apresenta riscos de manuseio que restringem sua aplicação em contextos simples.

Essa análise reforça a importância de equilibrar eficiência, acessibilidade e impacto ambiental ao pensar em alternativas ao uso do sal em baterias experimentais.

2.5.1 ACESSIBILIDADE E CUSTO DAS BATERIAS DE SAL E METAL EM COMUNIDADES DE BAIXA RENDA.

A procura por outras fontes energéticas tem ganhado cada vez mais visibilidade, principalmente quando se trata de comunidades economicamente e geograficamente em situação de vulnerabilidade. Em locais isolados, como por exemplo, comunidades Ribeirinhas da Amazônia, onde o acesso à energia é escasso, para não dizer inexistente. É nesse sentido que tecnologias simples e acessíveis, como a bateria de água e sal, surgem como alternativas mais viáveis e sustentáveis, afim de garantir o acesso à energia a cidadãos em situações de maior vulnerabilidade.

Utilizamos como exemplo o Instituto Mamirauá, no Amazonas, que movem máquinas de gelo através da energia solar em comunidades isoladas, mostrando como é possível combinar inovação tecnológica com simplicidade operacional. Onde durante o dia, os painéis alimentam as máquinas, que produzem até 30 kg de gelo cada, por ciclo, permitindo a conservação de alimentos e pescados, que são essenciais para a segurança alimentar e para a geração de renda da comunidade local.

Embora a Instituição não desenvolva baterias no sentido tradicional, o sistema que eles criaram funciona, sim, como uma maneira de armazenar energia. Essa abordagem é especialmente eficaz em contextos onde o custo e a manutenção de baterias químicas se tornaram inviáveis, seja pelo preço, dificuldade de descarte ambiental correto ou até mesmo o tempo de vida útil.

Temos também estudos e iniciativas que vêm propondo o uso de baterias feitas com água e sal (como o cloreto de sódio, abundante e de baixo custo) como alternativa às baterias de lítio. Essas baterias, apesar de apresentarem menor densidade energética, oferecem vantagens como segurança, sustentabilidade ambiental e fácil fabricação. Além disso, o uso de materiais não tóxicos permite que sejam montadas de maneira mais simples, até mesmo em oficinas comunitárias, promovendo autonomia tecnológica e redução de custos operacionais.

O grande desafio, no entanto, está na escalabilidade e na adaptação dessas tecnologias à realidade local. Embora protótipos de baterias de sal já existam, ainda há necessidade de pesquisa e desenvolvimento para tornar esses dispositivos plenamente funcionais em ambientes remotos e com pouca infraestrutura técnica. Mesmo assim, sua

lógica de produção em pequena escala e com insumos acessíveis torna esse tipo de solução extremamente atrativa para comunidades de baixa renda. No projeto Mamirauá, por exemplo, a autonomia da comunidade na operação do sistema de gelo solar foi essencial para sua continuidade e sucesso. O mesmo princípio se aplica ao uso de baterias alternativas: quanto mais simples for o seu funcionamento e manutenção, maior será a chance de adoção e impacto positivo duradouro. Portanto, a combinação entre tecnologias acessíveis, baixo impacto ambiental e foco na autossuficiência energética oferece um caminho promissor. Seja através do armazenamento térmico via gelo, seja com baterias de sal de fabricação simples, o mais importante é adaptar as soluções às realidades locais — respeitando os saberes das comunidades e promovendo inclusão social através do acesso à energia.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RESULTADOS OBTIDOS

O presente trabalho teve como objetivo geral montar uma bateria eletroquímica fazendo o uso de uma forma de gelo como alternativa simples e acessível. Buscando assim avaliar a tensão e a corrente produzidas comparando com as baterias convencionais encontradas no mercado e outras também geradas com a eletroquímica. Nossos objetivos foram todos cumpridos graças a metodologia experimental, que ao criar uma bateria eletroquímica conseguimos alcançar as metas que foram preestabelecidas para esse projeto.

3.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao compararmos nossa bateria eletroquímica com algumas pilhas que são vendidas no mercado não há diferença significativa na voltagem. As pilhas AA e AAA possuem uma voltagem de 1,5 Volts e a bateria produzida a partir desse experimento resultou em uma voltagem de 1,69 Volts, porem a tensão dessa bateria teve uma variação até chegar a essa voltagem pois ela não é infinita. O zinco se desgasta com o tempo até chegar ao final fazendo com que essa bateria pare de funcionar completamente, pois é o Zinco quem libera elétrons na solução salina ali presente.

FIGURA1:



Fonte: Autor

Assim conseguimos atingir nosso objetivo que seria produzir e avaliar sua capacidade de uso para regiões de baixa infraestrutura.

Comparando com outra bateria eletroquímica desse mesmo modelo temos a que foi produzida pelo Youtuber brasileiro Iberê Thenório, responsável pelo canal “Manual do mundo”. Em um dos vídeos produzidos por Iberê, ele produz uma “bateria de forminha de gelo” utilizando uma forma de gelo com 14 nichos para produção de gelo, 13 parafusos galvanizados, fios de cobre, sal, água e para provar que a bateria funcionava, ele utilizou um led. Após ele realizar a montagem dessa bateria e medir a voltagem, com o multímetro, resultou um total de 9,6 Volts, assim, acendendo o led. Se compararmos com o resultado da nossa bateria há uma grande diferença na voltagem, isso podendo ser explicado pela montagem da bateria produzida por nosso grupo. Fizemos a utilização de uma forma de gelo com a capacidade de produção de 12 gelos, 2 a menos da que foi utilizada por Iberê, além da concentração salina que foi utilizada em seu vídeo. Iberê, ao fazer a solução salina utilizou uma colher de chá para cada espaço da forma de gelo, tendo em vista que uma colher de chá tem aproximadamente 6 gramas de sal, resultando em 84 gramas totais de sal. Após analisar essas diferenças concluímos que a concentração salina e a quantidade de espaços para criar a bateria são as influências mais significativas em nosso projeto.

Outro comparativo possível seria com a pilha de Daniell, que também é uma pilha que converte energia de reações químicas em energia elétrica. Um dos diferenciais dessa pilha pela pilha criada por nós é a montagem da mesma, pois a pilha de Daniell envolve um eletrodo de zinco. Que fica imerso em uma solução de sulfato de zinco. No outro compartimento, um eletrodo de cobre está imerso em solução de sulfato de cobre. Há uma ligação entre esses compartimentos que é feita por uma ponte salina e os eletrodos metálicos são ligados por um fio condutor externo. Assim o eletrodo de zinco irá sofrer oxidação, fornecendo elétrons que resultará na redução de íons cobre da solução sobre o eletrodo de cobre. Sendo o potencial-padrão da pilha de Daniell de 1,10 V, se mostrando mais ineficiente diante a pilha produzida por nós.

Ao contrário das pilhas convencionais, que para serem descartadas corretamente é necessário leva-las a um ponto de coleta específico, geralmente em lojas, supermercados ou eco pontos, é importante ressaltar que o descarte de pilhas eletroquímicas deve ser feito da mesma maneira que outros resíduos de laboratório. De acordo com o Manual de Descarte de Produtos Químicos – Seduc – CE, o descarte de soluções usadas para realizar a produção de uma pilha de eletroquímica deve ser feita através de uma instalação de resíduos perigosos e o precipitado resultante deverão ser descartados como resíduo químico sólido.

3.3 APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES

3.3.1 POTENCIAIS USOS DA ELETROQUÍMICA EM DISPOSITIVOS DE BAIXO CONSUMO, SISTEMAS DE ENERGIA SUSTENTÁVEL E COMO ALTERNATIVA EM EMERGÊNCIAS

Dispositivos de baixo consumo - os dispositivos de baixo consumo energético representam uma categoria de equipamentos que precisam de fontes compactas, duráveis e eficientes para seu funcionamento. Sendo assim, a eletroquímica é essencial, pois permite o aprimoramento de baterias e pilhas que guardam e liberam energia por meio de processos eletroquímicos controlados.

Essas tecnologias são empregadas em aparelhos eletrônicos portáteis, como relógios, notebooks, controles remotos, e celulares. A credibilidade e a autonomia desses aparelhos dependem do desempenho das baterias. Podem destacar as baterias de íon-

lítico, abundantemente aplicadas devido à sua grande densidade energética, estabilidade e ciclo de vida prolongado, o que acaba possibilitando o funcionamento contínuo e seguro dos dispositivos em uso diário.

Sistemas de energia sustentável - a aflição crescente com a sustentabilidade e a redução de impactos ambientais tem incentivado o desenvolvimento de sistemas de geração e armazenamento de energia limpa, cuja eletroquímica desempenha um papel importante. As células a combustível, por exemplo, tornam a energia química em energia elétrica, utilizando o oxigênio e o hidrogênio como reagentes e soltando apenas vapor d'água como subproduto, tornando-se uma tecnologia promissora para aplicações veiculares e estacionárias.

Além disso, a ascensão em baterias de nova geração, como as de estado sólido, Metal-Ar e de fluxo, tem tido mais oportunidades de armazenamento eficiente de energia renovável, como solar e eólica. Essas tecnologias auxiliam para a estabilidade do fornecimento energético, superando limitações inerentes à intermitência dessas fontes, e criando sistemas energéticos mais resistentes e descentralizados.

Alternativas em emergências - se ocorrer falhas no fornecimento de energia elétrica, a eletroquímica tem soluções essenciais para garantir o funcionamento de sistemas críticos. Bancos de baterias e acumuladores eletroquímica são utilizados para continuar operando os equipamentos vitais em hospitais, centro de dados, sistemas de segurança e comunicação, operando também dispositivos médicos portáteis em áreas remotas ou em operações de emergência.

A confiança nesses sistemas é importante para garantir a continuidade dos serviços e proteger vidas, destacando-se a essencialidade da eletroquímica na elaboração de soluções energéticas autônomas e seguras para situações de contingência.

3.3.2 LIMITAÇÕES EM COMPARAÇÃO COM BATERIAS COMERCIAIS E SUGESTÕES DE MELHORIAS

Mesmo com o seu grande potencial, as tecnologias eletroquímicas apresentam limitações quando comparadas às baterias comerciais convencionais. Dando destaque em:

- Densidade de energia inferior: a maioria dessas soluções ainda não alcançam a capacidade das baterias de íon-lítico, limitando sua autonomia;
- Vida útil reduzida: em algumas dessas baterias, o número de ciclos de carga e descarga é menor, o que acaba comprometendo sua durabilidade;
- Impactos ambientais: quando descartadas de forma incorreta, pilhas e baterias liberam metais pesados como zinco, chumbo e manganês, que podem contaminar solo, água e causar sérios danos à saúde humana.

Como forma de otimização, é sugerido melhorias como o desenvolvimento de materiais alternativos menos tóxicos, a criação de eletrólitos mais estáveis, a adoção de processos de reciclagem eficazes e a implementação de sistemas inteligentes da gestão de baterias, capazes de prolongar o desempenho e aumentar a segurança do uso.

3.4 DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA ESCALABILIDADE DA TECNOLOGIA

A criação de baterias alternativas, como as de sal e gelo, mostram um grande potencial de inovação no setor de armazenamento de energia. Contudo, sua viabilidade em larga escala ainda apresenta vários obstáculos consideráveis.

3.4.1 DESAFIOS

Eficiência energética limitada: os protótipos atuais mostram uma menor densidade de energia em comparação com as baterias comerciais, limitando sua aplicação em dispositivos que exigem menor autonomia.

- Custos de produção: a fabricação em larga escala ainda não é economicamente competitiva, devido à falta de processos industriais consolidados e de infraestrutura especializada;
- Durabilidade e estabilidade: é necessário estudar sobre o desempenho a longo prazo dessas baterias, já que fatores ambientais, como variação de temperatura, podem comprometer sua eficiência;

- Aceitação do mercado: tecnologias diferentes das já consolidadas no mercado enfrentam uma resistência por parte dos clientes.

3.4.2 OPORTUNIDADES

Mesmo com os desafios, as baterias de sal e gelo também oferecem vantagens e oportunidades que podem tornar realidade a sua adoção no futuro:

- A utilização de matérias abundantes e de menor custo, que podem reduzir a dependência de metais críticos e raros, como o lítio e o cobalto;
- O menor impacto ambiental, já que os componentes utilizados são menos nocivos e podem facilitar no processo de reciclagem;
- Aplicações em meios específicos, como em emergência ou em sistemas descentralizados de geração de energia sustentável;
- Potencial integração com energias renováveis, permitindo o armazenamento em pequena escala para comunidades isoladas ou em regiões com a infraestrutura limitada.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escalabilidade das baterias de sal e metal irá depender principalmente dos avanços tecnológicos que aumentem sua eficiência e reduza os custos de produção. Ademais, políticas de incentivo, investimentos em pesquisas e parcerias entre os centros de inovação e a indústria podem acelerar sua viabilidade comercial. Trata-se, portanto, de uma oportunidade estratégica para diversificar o portfólio energético, promovendo soluções mais sustentáveis e acessíveis.

REFERENCIAS:

BRASIL ESCOLA. Bicarbonato de sódio. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/bicarbonato-de-sodio.htm>. Acesso em: 20 ago. 2025.

EDUCMBLOG. A condutividade elétrica do ácido cítrico. 2016. Disponível em: <https://educmblog.blogspot.com/2016/11/a-condutividade-eletrica-do-acido.html>. Acesso em: 20 ago. 2025.

LICEE PAD NOBRE. Atividades práticas – Condutividade elétrica. 2020. Disponível em: <https://liceepadnobre.wordpress.com/atividades-praticas/condutividade-eletrica/>. Acesso em: 20 ago. 2025.

MUNDO EDUCAÇÃO. Ácido sulfúrico. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/acido-sulfurico.htm>. Acesso em: 20 ago. 2025.

RESPONDE AÍ. Por que o H_2SO_4 aquoso é condutor eletrolítico? Disponível em: <https://www.respondeai.com.br/conteudo/equilibrio-ionico/exercicios/aquoso-condutor-eletrolitico-puro-estado-liquido-justifique-resposta-7369>. Acesso em: 20 ago. 2025.

TODA MATÉRIA. Ácido acético. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/acido-acetico/>. Acesso em: 20 ago. 2025.

UNESP. Condutividade elétrica – ácido cítrico. Experimentos de Física. Disponível em: <https://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele02.htm>. Acesso em: 20 ago. 2025.

UFJF. Condutividade elétrica de soluções aquosas. 2022. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/quimica/wp-content/uploads/sites/357/2022/11/Aula-08-condutividade-eletrica.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2025.

411ANSWERS. O ácido cítrico conduz eletricidade? 2023. Disponível em: <https://pt.411answers.com/a/o-acido-citrico-conduz-eletricidade.html>. Acesso em: 20 ago. 2025.

<https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/>