

## 1.1.2 Terminologia Importante sobre Baterias

O objetivo é apresentar a terminologia de base fundamental que forma o alicerce para o estudo de células eletroquímicas. Embora à primeira vista possa parecer que estamos simplesmente criando uma lista de definições, o propósito mais profundo é estabelecer uma linguagem comum e compartilhada. Este vocabulário preciso é absolutamente essencial para que possamos descrever e discutir, com exatidão e especificidade, todos os tópicos complexos relativos a células e pacotes de bateria. Esta lição fundamental fornece o léxico necessário para compreender plenamente os princípios qualitativos de como as baterias funcionam, que serão explorados mais tarde, e, eventualmente, os modelos matemáticos quantitativos que nos proporcionarão uma compreensão ainda maior de sua operação.

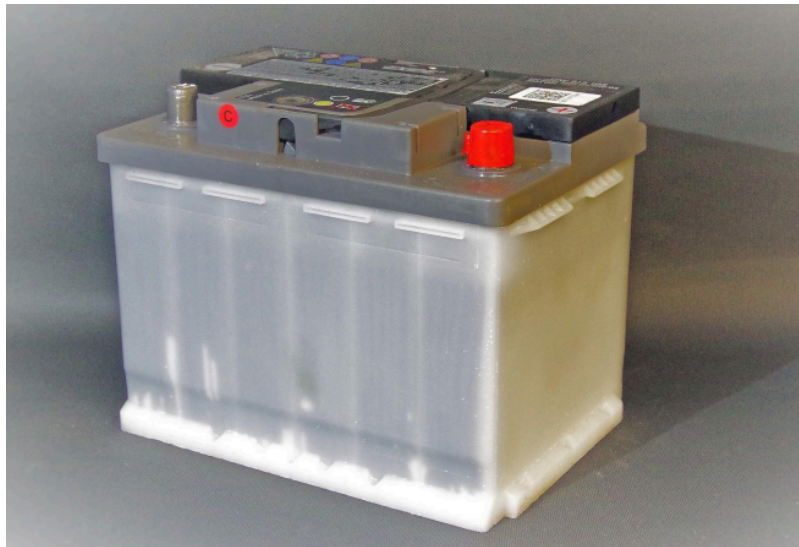
### Unidades Essenciais: Célula vs. Bateria

Começamos definindo os componentes mais fundamentais que constituem qualquer sistema de bateria, fazendo uma distinção técnica clara e importante.

- Uma **célula** é definida como a menor unidade eletroquímica indivisível. É o bloco de construção básico e único que, através de suas reações químicas internas, gera uma tensão. Essa tensão pode então ser aproveitada para alimentar uma carga elétrica.



- Uma **bateria**, em termos técnicos estritos, é um componente construído a partir de mais de uma célula, que são conectadas entre si de alguma forma.



Essa distinção é de importância primordial para a precisão na engenharia. Embora na conversação comum do dia a dia os termos "célula" e "bateria" sejam frequentemente e casualmente usados como se fossem intercambiáveis, este material seguirá consistentemente estas definições técnicas precisas para evitar ambiguidades. Portanto, um componente individual será sempre referido como uma **célula** ou **célula de bateria**, enquanto um conjunto maior de células interconectadas será denominado **bateria** ou **pacote de bateria**.

Além disso, todas as células são categorizadas com base em seu ciclo de vida pretendido e reutilização:

- **Células primárias** são projetadas para uso único. Uma vez que sua energia química armazenada se esgota, elas não podem ser recarregadas e devem ser descartadas ou recicladas adequadamente.
- **Células secundárias** são projetadas para serem recarregáveis. Suas reações químicas são reversíveis, permitindo que sejam usadas, recarregadas e usadas novamente por muitos ciclos.

Também é importante reconhecer que nem sempre se pode distinguir de forma confiável uma célula de uma bateria simplesmente observando sua embalagem externa. Uma bateria de carro de chumbo-ácido padrão de 12 volts, por exemplo, parece uma única unidade monolítica. No entanto, tecnicamente é uma **bateria**, pois sua carcaça contém seis células individuais de chumbo-ácido de 2 volts conectadas em série. Da mesma forma, algumas "células" de íon-lítio de altíssima capacidade vendidas para diversas aplicações são, na realidade, pequenas **baterias**, contendo múltiplas células menores conectadas em paralelo dentro de seu invólucro selado para atingir a capacidade nominal desejada.

# Características Elétricas Fundamentais

Para descrever, analisar e comparar cientificamente diferentes células, um conjunto padrão de características elétricas é empregado. Essas especificações quase sempre estão impressas diretamente na carcaça ou no rótulo da célula.



- **Tensão Nominal:** A tensão de uma célula de bateria não é um valor fixo e constante. Ela flutua dinamicamente dependendo de seu estado de carga atual, da carga elétrica que está sendo aplicada a ela e de sua temperatura. Devido a essa variabilidade, a **tensão nominal** é estabelecida como um valor de tensão padronizado, típico ou médio. Ela serve como um ponto de referência para representar a classe de tensão da célula. Esse valor geralmente se situa entre a tensão da célula totalmente carregada e a sua tensão totalmente descarregada. Por exemplo, células alcalinas primárias comuns (como AA ou AAA) têm uma tensão nominal de cerca de 1,5V (ou 1,2V para versões recarregáveis). A maioria das células modernas baseadas em lítio, tanto primárias quanto secundárias, opera em um potencial mais alto, com uma tensão nominal geralmente acima de 3V. A célula de celular usada como exemplo tem uma tensão nominal impressa de **3,7V**.
- **Capacidade (Capacidade Total de Carga):** Este parâmetro crucial especifica a quantidade total de carga elétrica que uma célula é classificada para armazenar e, subsequentemente, entregar quando totalmente carregada. A unidade oficial do SI para carga é o Coulomb, mas é uma unidade impraticavelmente pequena para caracterizar baterias; uma célula típica armazena muitos milhares de Coulombs. Consequentemente, a unidade padrão da indústria para capacidade é o **Ampere-hora (Ah)** ou, para células menores, o **miliampere-hora (mAh)**. Uma capacidade de 1 Ah significa que a célula pode, teoricamente, fornecer uma corrente contínua de um ampere por uma hora antes de se

descarregar completamente. A célula do exemplo tem uma capacidade nominal de **1900 mAh** (o que equivale a 1,9 Ah). É importante lembrar que este é um valor *nominal*. Uma célula nova geralmente terá uma capacidade real ligeiramente maior, que inevitável e gradualmente diminuirá ao longo de sua vida útil devido a processos de envelhecimento. Para células recarregáveis, o "fim de vida" é frequentemente definido como o ponto em que sua capacidade real degradou permanentemente para 70% ou 80% de seu valor nominal inicial.

- **Taxa C (C-Rate):** O efeito de uma quantidade específica de corrente — digamos, um ampere — é drasticamente diferente em uma célula minúscula em comparação com uma muito grande. Para criar uma forma padronizada de discutir a corrente em relação ao tamanho de uma célula, utiliza-se a **taxa C**. É uma medida normalizada de corrente, dimensionada em proporção direta à capacidade da célula. Uma taxa de **1C** é definida como a corrente constante que, teoricamente, descarregaria toda a capacidade nominal da célula em exatamente uma hora. Para calcular a corrente correspondente a 1C, basta pegar o valor da capacidade da célula em Ampere-horas e mudar a unidade para Amperes. Para a célula de exemplo de 1,9 Ah, a taxa de 1C é **1,9 A**. Uma taxa de 2C seria o dobro dessa corrente (3,8 A) e descarregaria a célula em aproximadamente meia hora. Inversamente, uma taxa de C/10 seria um décimo da corrente de 1C (0,19 A) e descarregaria a célula ao longo de aproximadamente dez horas. A taxa C fornece uma linguagem universal para que engenheiros especifiquem protocolos de carga e descarga aplicáveis a qualquer célula, independentemente de seu tamanho absoluto.

## Energia e Potência

Embora frequentemente confundidos na conversação casual, energia e potência são dois conceitos distintos e fundamentais, essenciais para a compreensão do desempenho da bateria.

- **Energia** representa a quantidade total de trabalho que uma célula de bateria pode realizar. É a quantidade finita de potencial armazenado na química da célula. A energia é medida em unidades de **Watt-horas (Wh)** ou, para pacotes muito grandes de veículos e em escala de rede elétrica, **quilowatt-horas (kWh)**. Uma aproximação útil e comum para o armazenamento total de energia nominal de uma célula é calculada multiplicando sua **tensão nominal por sua capacidade nominal**. Para a célula de exemplo da aula:  $3,7\text{ V} \times 1,9\text{ Ah} = \mathbf{7,03\text{ Wh}}$ . Pense na energia como a quantidade total de água armazenada em um reservatório.
- **Potência** é a *taxa* na qual essa energia é entregue ou consumida. É uma medida de quão rapidamente o trabalho está sendo realizado. A potência

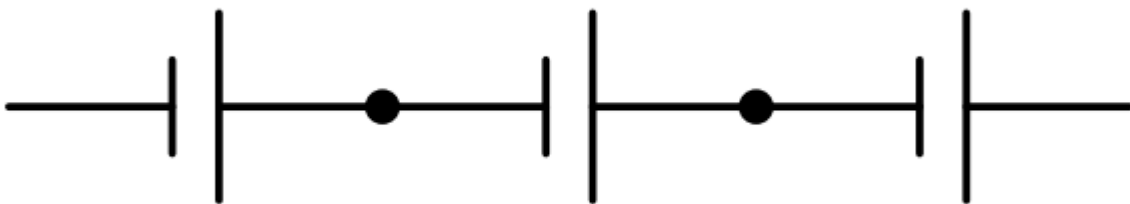
é medida em **Watts (W)** ou **quilowatts (kW)**. Uma bateria pode ser projetada para ter um armazenamento de energia muito alto, mas ser limitada em sua potência de saída (pode funcionar por muito tempo a uma taxa baixa), ou pode ter menos energia, mas ser capaz de uma imensa potência de saída (pode funcionar a uma taxa muito alta, mas por um curto período). Na analogia do reservatório, a potência corresponde à velocidade com que se abrem as comportas para deixar a água fluir.

## Construção de Pacotes de Bateria: Conexões em Série e em Paralelo

Raramente uma única célula possui a tensão ou a capacidade necessária para uma aplicação exigente como um veículo elétrico. Para atender a esses requisitos, células individuais são conectadas em configurações maiores para formar um pacote de bateria. Os dois métodos fundamentais de conexão, em série e em paralelo, têm efeitos muito diferentes nas características elétricas gerais do pacote.

### Conexões em Série

Quando as células são conectadas em **série**, elas são dispostas em uma cadeia, com o terminal positivo de uma célula conectado ao terminal negativo da seguinte. O objetivo principal desta configuração é aumentar a tensão.



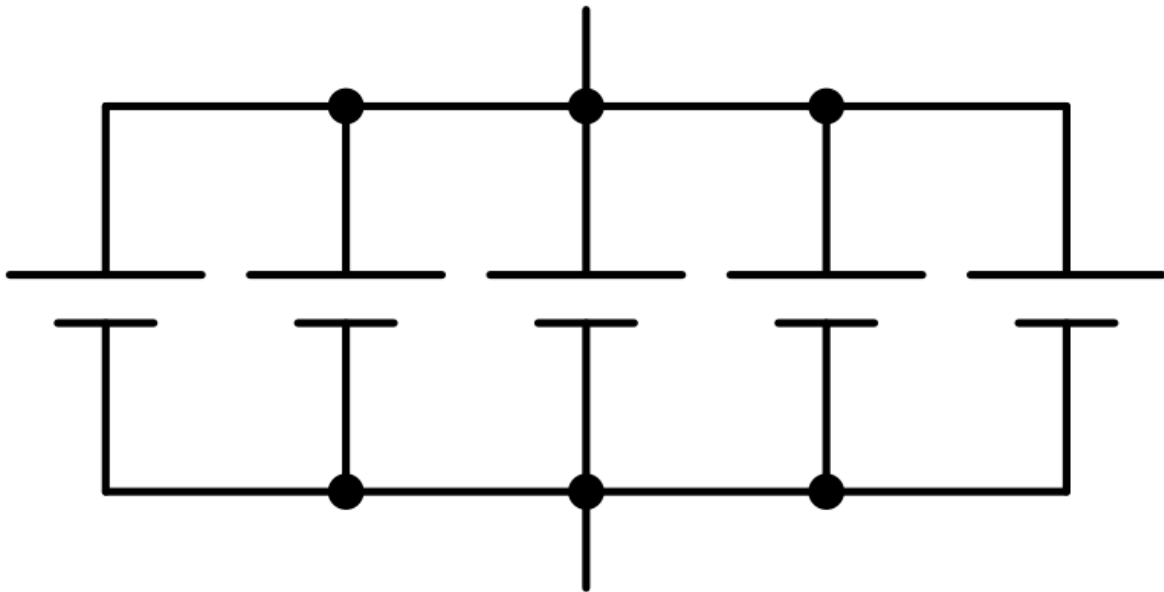
- **Tensão:** A tensão total do pacote de bateria torna-se a **soma** das tensões de todas as células individuais.
- **Capacidade:** A capacidade total do pacote permanece **igual** à capacidade da única célula de menor capacidade na cadeia. Isso ocorre porque a mesma corrente elétrica deve fluir através de cada célula, de modo que todo o pacote é limitado pelo seu elo mais fraco.
- **Energia:** A energia total é a soma da energia de cada célula, que pode ser facilmente calculada como a nova tensão total mais alta do pacote multiplicada pela capacidade original de uma única célula.

*Exemplo:* Se você conectar três células de 3V e 20Ah em série, criará um pacote de bateria único com uma tensão nominal combinada de **9V** (3V + 3V +

3V), mas com uma capacidade que permanece em **20Ah**. A energia total seria  $9V \times 20Ah = 180Wh$ .

## Conexões em Paralelo

Quando as células são conectadas em **paralelo**, todos os seus terminais positivos são conectados a um ponto comum, e todos os seus terminais negativos são conectados a outro ponto comum. O objetivo principal desta configuração é aumentar a capacidade.



- **Tensão:** A tensão total do pacote de bateria permanece **igual** à tensão de uma única célula. A lei das tensões de Kirchhoff dita que os componentes em paralelo devem compartilhar a mesma tensão.
- **Capacidade:** A capacidade total do pacote torna-se a **soma** das capacidades de todas as células individuais. Isso ocorre porque a corrente de carga total é dividida entre as células em paralelo, com cada célula precisando fornecer apenas uma fração do total.
- **Energia:** A energia total é novamente a soma da energia de cada célula, calculada como a tensão original de uma única célula multiplicada pela nova e maior capacidade total do pacote.

*Exemplo:* Se você conectar cinco células de 3V e 20Ah em paralelo, a tensão nominal do pacote de bateria resultante permanece em **3V**, mas sua capacidade se torna **100Ah** ( $20Ah \times 5$ ). A energia total seria  $3V \times 100Ah = 300Wh$ .