

# Curso de Estatística e Probabilidade

DPAA-2.339 - Estatística e Probabilidade

Prof. Thiago VedoVatto

[thiago.vedovatto@ifg.edu.br](mailto:thiago.vedovatto@ifg.edu.br)

[thiagovedovatto.site](http://thiagovedovatto.site)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Campus de Goiânia

Data da Atualização: 13 de junho de 2021

## Informações Importantes!!!

Antes de prosseguir com essa disciplina é fundamental tomar conhecimento de todos os avisos contidos no link: **Plano de Curso e Outras Informações** que está no início da sala do curso de Probabilidade e Estatística no Moodle. Nesse link encontram-se informações sobre:

Ementa

Plano de Curso

Metodologia de Avaliação

Prazos para entrega das atividades

Bibliografia Básica

Horário das aulas síncronas

Controle de frequência

Horário de Atendimento

# Espaços Amostrais e Eventos

### Variável de interesse

É a variável observada em um experimento.

### Experimento aleatório

É qualquer ação cujo resultado (valor da variável de interesse) não pode ser previsto.

Um experimento aleatório é também dito não determinístico.

### Experimento determinístico

É qualquer ação cujo resultado (valor da variável de interesse) pode ser previsto.

Em um experimento é comum considerar mais de uma variável de interesse e, portanto um mesmo experimento pode ser aleatório ou não dependendo da variável de interesse observada.

## Espaço Amostral

É o conjunto de *todos os possíveis resultados* de um experimento aleatório. O espaço amostral é dito *enumerável* quando existir uma bijeção entre ele e os números naturais. Se tal bijeção não existir diremos que o espaço amostral é *não enumerável*.

**Espaço Amostral Discreto** Consiste em um conjunto finito ou infinito enumerável de resultados.

**Espaço Amostral Contínuo** Contém um intervalo (tanto finito como infinito) de números reais.

O espaço amostral será denotado por  $\Omega$ .

## Exemplo: Uma Câmera com Flash

Considere um experimento em que você seleciona uma câmera de um telefone celular e registra o tempo de recarga de um *flash* (o tempo necessário para aprontar a câmera para outro *flash*). Os valores possíveis para esse tempo dependem da resolução do temporizador e dos tempos máximo e mínimo de recarga. Há várias formas de definir o espaço amostral desse experimento:

Se o objetivo de estudo for estudar o tempo de recarga, podemos definir:

$$\Omega = \mathbb{R}^+ = \{t | t > 0\}$$

Se o objetivo de estudo for estudar o tempo de recarga e soubermos que ele sempre fica entre 1,5 e 5 segundos:

$$\Omega = \{t | 1,5 < t < 5\}$$

Se o objetivo de estudo consiste em verificar se o tempo é *baixo*, *médio* ou *alto*, então:

$$\Omega = \{\textit{baixo}, \textit{médio}, \textit{alto}\}$$

Se o objetivo é verificar se a câmera satisfaz os requisitos mínimos de tempo de recarga então:

$$\Omega = \{\textit{sim}, \textit{não}\}$$

---

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 15) (Adaptado).

### Evento

São os **subconjuntos** do espaço amostral  $\Omega$ .

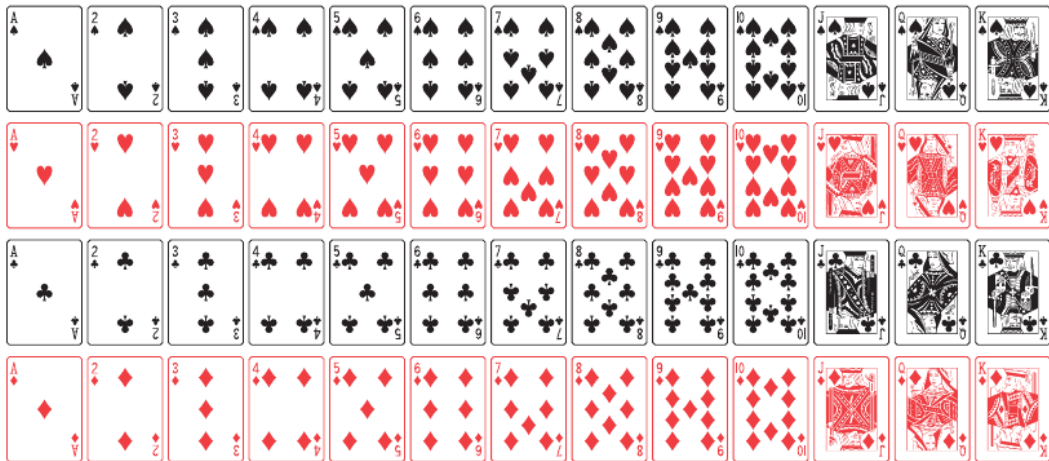
### Evento Nulo

É o evento associado a todo *subconjunto vazio* do espaço amostral  $\Omega$ .

### Produto Cartesiano

Sejam dois eventos  $A$  e  $B$ , o *produto cartesiano*  $A \times B$  será o conjunto de todos os pares ordenados cujo primeiro termo pertence à  $A$  e o segundo pertence à  $B$ .

$$A \times B = \{(a, b) \mid a \in A \wedge b \in B\}$$





O baralho inglês possui um total de 4 naipes que podem ser descritos pelo conjunto:

$$\mathcal{N} = \{\spadesuit, \diamondsuit, \clubsuit, \heartsuit\}.$$

Cada um dos naipes em  $\mathcal{N}$  o baralho inglês possui 13 elementos que podem ser descritos como:

$$\mathcal{E} = \{A, K, Q, J, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2\}.$$

Assim o baralho inglês possui um total de 52 cartas que podem ser descritas como:

$$\mathcal{C} = \mathcal{E} \times \mathcal{N} = \{(A, \spadesuit), (K, \spadesuit), \dots, (3, \heartsuit), (3, \heartsuit)\}$$

## Exemplo: Duas Câmeras com Flash

Estamos interessados em estudar os tempos de recarga de duas câmeras fotográficas.

Se não temos qualquer conhecimento sobre o mecanismo de funcionamento de uma câmera fotográfica podemos definir:

$$\begin{aligned}\Omega &= \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+ \\ &= \{(t_1, t_2) | t_1 > 0, t_2 > 0\}\end{aligned}$$

Se soubermos que o tempo de recarga de cada lâmpada sempre fica entre 1,5 e 5 segundos:

$$\begin{aligned}\Omega_1 &= \{t_1 | 1,5 < t_1 < 5\} \\ \Omega_2 &= \{t_2 | 1,5 < t_2 < 5\} \\ \Omega &= \Omega_1 \times \Omega_2 \\ &= \{(t_1, t_2) | t_1 \in \Omega_1, t_2 \in \Omega_2\}\end{aligned}$$

---

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 16) (Adaptado).

## Exemplo: Duas Câmeras com Flash

Estamos interessados em estudar os tempos de recarga de duas câmeras fotográficas, com o objetivo de verificar se as câmeras atendem aos requisitos mínimos de tempo de recarga.

Nesse caso reaproveitando os espaços amostrais anteriores

$$\Omega_1 = \{sim, não\}$$

$$\Omega_2 = \{sim, não\}$$

$$\Omega = \Omega_1 \times \Omega_2$$

$$= \{(não, não), (sim, não), (não, sim), (sim, sim)\}$$

---

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 16) (Adaptado).

## Exemplo: Duas Câmeras com Flash

Estamos interessados em estudar os tempos de recarga de duas câmeras fotográficas, com o objetivo de verificar o número de câmeras que atendem aos requisitos mínimos de tempo de recarga.

Nesse caso o espaço amostral será simplesmente

$$\Omega = \{0, 1, 2\}$$

---

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 16) (Adaptado).

## Exemplo: Uma Câmera com Flash

Estamos interessados em estudar a quantidade de disparos do flash até que a câmera pare de estar dentro das especificações mínimas de qualidade.

$$\Omega = \mathbb{Z}^* = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$$

---

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 16) (Adaptado).

Considere o experimento de sortear uma carta de um baralho comum de 52 cartas. Quais as cartas compõem os seguintes eventos?

- a Seleciona-se o rei de copas.
- b Seleciona-se um rei.
- c Seleciona-se uma carta de copas.
- d Seleciona-se uma carta de figura.

---

Fonte: Weiss (2012, p. 153) (Adaptado).

Considere os experimentos descritos abaixo. Defina um objetivo para cada um deles. Defina um espaço amostral e uma variável de interesse considerando o objetivo proposto. A variável de interesse é contínua ou discreta? Quais são experimentos aleatórios?

- a) Sorteamos um aluno da classe ao acaso e medimos o valor de sua altura.
- b) Jogamos um dado de uma determinada altura e observamos o tempo que gasta até chegar ao solo.
- c) Jogamos um dado e observamos o número de vezes que ele quica até parar.
- d) Em uma escola de futebol observamos um jogador cobrar faltas e contamos a quantidade de vezes que ele acerta.
- e) Colocamos um litro de água no fogo e medimos a sua temperatura após vinte minutos.
- f) Jogamos uma moeda e verifica-se o seu valor.
- g) Olho pela janela do meu quarto e conto a quantidade de carros que passam na rua pela próxima hora.

---

Fonte: Bussab & Morettin (2013, p. 108) (Adaptado).

Para cada um dos experimentos abaixo, defina um objetivo, apresente um espaço amostral adequado e conte seus eventos elementares.

- a) Uma moeda é lançada duas vezes e observam-se as faces obtidas.
- b) Um dado é lançado duas vezes e a ocorrência de face par ou ímpar é observada.
- c) Uma urna contém 10 bolas azuis e 10 vermelhas com dimensões rigorosamente iguais. Três bolas são selecionadas ao acaso com reposição e as cores são anotadas.
- d) Dois dados são lançados simultaneamente e estamos interessados na soma das faces observadas.
- e) Em uma cidade, famílias com 3 crianças são selecionadas ao acaso, anotando-se o sexo de cada uma.
- f) Uma máquina produz 20 peças por hora, escolhe-se um instante qualquer e observa-se o número de defeituosas na próxima hora.
- g) Uma moeda é lançada consecutivamente até o lançamento da primeira cara.

---

Fonte: Magalhães & Lima (2015, p. 52) (Adaptado).



## União de eventos

Sejam  $A$  e  $B$  eventos de um mesmo espaço amostral  $\Omega$ . O evento  $A \cup B$  denota a *união* dos eventos  $A$  e  $B$ , ou seja, a ocorrência de ao menos um deles. Em notação de conjuntos:

$$A \cup B = \{\omega \in \Omega \mid \omega \in A \vee \omega \in B\}.$$

A operação de união também é chamada de reunião



## Comutatividade da união de eventos

Sejam dois eventos  $A$  e  $B$  quaisquer em  $\Omega$ . Então:

$$A \cup B = B \cup A.$$

Demonstração:

$$\begin{aligned} A \cup B &= \{\omega \in \Omega \mid \omega \in A \vee \omega \in B\} \\ &= \{\omega \in \Omega \mid \omega \in B \vee \omega \in A\} \\ &= B \cup A \end{aligned}$$

Comutatividade do operador lógico  $\vee$   
união de eventos

E assim fica justificada a comutatividade da união.

## Interseção de eventos

Sejam  $A$  e  $B$  eventos de um mesmo espaço amostral  $\Omega$ . O evento  $A \cap B$  denota a *interseção* dos eventos  $A$  e  $B$ , ou seja, a ocorrência simultânea desses eventos. Em notação de conjuntos:

$$A \cap B = \{\omega \in \Omega \mid \omega \in A \wedge \omega \in B\}.$$



## Comutatividade da interseção de eventos

Sejam dois eventos  $A$  e  $B$  quaisquer em  $\Omega$ . Então:

$$A \cap B = B \cap A.$$

A demonstração é análoga ao que já fizemos para a união de eventos.

## Distributividade da união relativa a interseção

Sejam três eventos  $A$ ,  $B$  e  $C$  quaisquer em  $\Omega$ . Então:

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C).$$

( $\implies$ ) Vamos mostrar primeiramente que:

$$\omega \in A \cup (B \cap C) \implies \omega \in (A \cup B) \cap (A \cup C). \quad (1)$$

Assuma que  $\omega \in A \cup (B \cap C)$ , deste modo há dois casos a considerar:

- i Se  $\omega \in A$ , então  $\omega \in A \cup B$  e  $\omega \in A \cup C$  e, portanto,  $\omega \in (A \cup B) \cap (A \cup C)$ .
- ii Se  $\omega \notin A$ , então  $\omega \in B \cap C$  e, conseqüentemente,  $\omega \in B$  e  $\omega \in C$ , e desses dois fatos concluímos que  $\omega \in A \cup B$  e  $\omega \in A \cup C$  e, finalmente,  $\omega \in (A \cup B) \cap (A \cup C)$ .

Dessa forma, a condição (1) está provada.

(  $\Leftarrow$  ) Agora vamos provar a recíproca:

$$\omega \in (A \cup B) \cap (A \cup C) \implies \omega \in A \cup (B \cap C). \quad (2)$$

Seja  $\omega \in (A \cup B) \cap (A \cup C)$ , então  $\omega \in A \cup B$  e  $\omega \in A \cup C$ . Novamente, temos dois casos à considerar:

- ❶ Se  $\omega \in A$ , então é fácil ver que  $\omega \in A \cup (B \cap C)$ .
- ❷ Se  $\omega \notin A$ , então  $\omega \in B$  e  $\omega \in C$ , consequentemente,  $\omega \in B \cap C$  e, finalmente,  $\omega \in A \cup (B \cap C)$ .

Mostra-se aqui a condição (2). E assim fica justificada a comutatividade da união. A prova é semelhante para o caso da comutatividade da interseção.

## Distributividade da interseção relativa à união

Sejam três eventos  $A$ ,  $B$  e  $C$  quaisquer em  $\Omega$ . Então:

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C).$$

A demonstração desse resultado é análoga ao que fizemos para a distributividade da união relativa a interseção.

### Eventos elementares

São os *elementos* do espaço amostral que não podem ser expressos como união de outros dois eventos não vazios de  $\Omega$ .

### Cardinal de um conjunto

Seja um evento  $A$ . O cardinal de  $A$  é número de eventos elementares de  $A$ .

### Cardinal do produto

Sejam os conjuntos  $A$  e  $B$ . O cardinal do produto cartesiano de dois conjuntos é o produto dos cardinais dos conjuntos individuais:

$$n(A \times B) = n(A)n(B).$$



## Diferença de eventos

Sejam  $A$  e  $B$  eventos de um mesmo espaço amostral  $\Omega$ . O evento  $A - B$  denota a *diferença* do evento  $A$  em relação ao evento  $B$ , ou seja, a ocorrência exclusiva de  $A$ . Em notação de conjuntos:

$$A - B = \{\omega \in \Omega \mid \omega \in A \wedge \omega \notin B\}.$$

$$A - B = A \cap \overline{B}$$

 $\Omega$ 

$$B - A = B \cap \overline{A}$$

 $\Omega$

## Diferença simétrica

Sejam  $A$  e  $B$  eventos de um mesmo espaço amostral  $\Omega$ . O evento  $A\Delta B$  denota a *diferença simétrica* entre os eventos  $A$  e  $B$ , ou seja, a ocorrência exclusiva de ao menos um dos eventos. Em notação de conjuntos:

$$A\Delta B = \{\omega \in \Omega \mid \omega \in (A - B) \wedge \omega \in (B - A)\}.$$

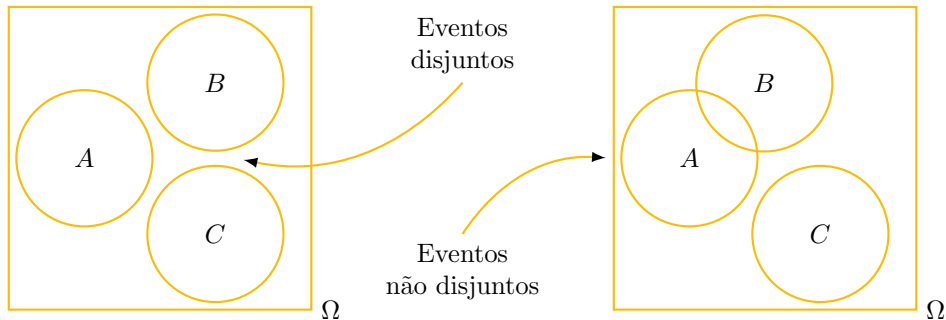


## Eventos Disjuntos

Os eventos  $A_1, \dots, A_n$  são **disjuntos** (mutuamente excludentes) se

$$A_i \cap A_j = \emptyset$$

para quaisquer  $i$  e  $j$  distintos.



## Eventos Complementares

Dois eventos  $A$  e  $B$  no espaço amostral  $\Omega$  são **complementares** se:

①  $A \cap B = \emptyset$

②  $A \cup B = \Omega$

O complementar de  $A$  será denotado por  $\bar{A}$ .

As notações para o evento complementar de  $A$  costumam variar entre  $\bar{A}$ ,  $A'$  e  $A^c$ .



## Outras propriedades operacionais dos eventos

Sejam dois eventos  $A$  e  $B$  quaisquer em  $\Omega$ . Então:

①  $\overline{\emptyset} = \Omega$

②  $A \cap \emptyset = \emptyset$

③  $A \cap \Omega = A$

④  $A \cup \emptyset = A$

⑤  $A \cup \Omega = \Omega$

⑥  $A \cap \bar{A} = \emptyset$

⑦  $A \cup \bar{A} = \Omega$

⑧  $A - B = A \cap \bar{B}$

⑨  $B = (A \cap B) \cup (\bar{A} \cap B)$

## Leis de Morgan

Sejam dois eventos  $A$  e  $B$  quaisquer em  $\Omega$ . Então:

$$\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}$$

e

$$\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}.$$

Sendo  $A$  e  $B$  eventos de um mesmo espaço amostral, “traduza” para a linguagem da Teoria dos Conjuntos, as seguintes situações:

- ① Pelo menos um dos eventos ocorre.
- ② O evento  $A$  ocorre mas  $B$  não.
- ③ Nenhum deles ocorre.
- ④ Exatamente um dos eventos ocorre.

---

Fonte: Magalhães & Lima (2015, p. 53)

No experimento de sortear aleatoriamente uma carta de um baralho, considere os eventos:

- A Selecciona-se o rei de copas.
- B Selecciona-se um rei.
- C Selecciona-se uma carta de copas.
- D Selecciona-se uma carta de figura.

Determine adequadamente os eventos:

- a  $A \cap B$
- b  $A \cup B$
- c  $A - B$
- d  $B - A$
- e  $\bar{D}$
- f  $B \cap C$
- g  $B \cup C$
- h  $C \cap D$



No experimento de selecionar aleatoriamente uma carta de um baralho comum, considere os eventos:

- A seleciona-se uma carta de copas;
- B seleciona-se uma figura;
- C seleciona-se um Ás;
- D seleciona-se um oito;
- E seleciona-se um dez ou um valete

Qual das seguintes coleções de eventos são disjuntos:

- a  $C$  e  $D$ ;
- b  $D$ ,  $E$  e  $A$ ;
- c  $C$  e  $E$ ;
- d  $D$ ,  $E$ ,  $A$  e  $B$ ;
- e  $D$  e  $E$

# Técnicas de Contagem

## Princípio Fundamental da Contagem (PFC)

Suponhamos que uma ação seja constituída de  $k$  etapas sucessivas. A 1ª etapa pode ser realizada de  $n_1$  maneiras distintas. A 2ª etapa pode ser realizada de  $n_2$  maneiras distintas para cada uma das  $n_1$  maneiras de completar a 1ª etapa. A  $k$ -ésima etapa pode ser realizada de  $n_k$  maneiras distintas para cada uma das  $n_{k-1}$  maneiras de completar a  $(k - 1)$ -ésima etapa. Então o número de maneiras de se efetuar a ação completa é  $n_1 \cdot n_2 \cdot \dots \cdot n_k$ .

### Exemplo: Projeto de um site da internet

O projeto de um site na internet consiste em quatro cores, três fontes e três posições para uma imagem. Quantos projetos diferentes são possíveis?

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 19) (Adaptado).

Pelo PFC o número de projetos diferentes será

$$4 \cdot 3 \cdot 3 = 36.$$

Ou seja 36 projetos.

## Fatorial de um número natural

Dado um número natural  $n$ ,  $n \geq 2$ , o **fatorial de  $n$**  (denota-se por  $n!$ ) é o produto dos  $n$  primeiros números naturais positivos, escritos desde  $n$  até 1, isto é:

$$n! = n \cdot (n - 1) \cdot (n - 2) \cdot \dots \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1$$

Fatoriais de alguns números:

$$0! = 1$$

$$1! = 1$$

$$2! = 2 \cdot 1 = 2$$

$$3! = 3 \cdot 2 \cdot 1 = 6$$

$$4! = 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 24$$

$$5! = 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 120$$

$$6! = 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 720$$

$$7! = 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 5040$$

## Arranjo

Dado um conjunto com  $n$  elementos distintos, chama-se **arranjo dos  $n$  elementos tomados  $k$  a  $k$** , a qualquer **sequência ordenada** de  $k$  elementos distintos escolhidos entre os  $n$  existentes.

## Número de arranjos

Seja um conjunto com  $n$  elementos distintos. O número  $A_k^n$  de arranjos de  $n$  elementos tomados  $k$  à  $k$  é:

$$A_k^n = \frac{n!}{(n-k)!}, \quad n \geq k.$$

### Exemplo: Placa de circuito impresso

Uma placa de circuito impresso tem oito localizações diferentes em que um componente pode ser colocado. Se quatro componentes diferentes forem colocados na placa, quantos projetos diferentes serão possíveis?

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 19) (Adaptado).

Cada projeto consiste em selecionar uma localização das oito localizações para o primeiro componente, uma localização das sete resultantes para o segundo componente, uma localização das seis resultantes para o terceiro componente e uma localização das cinco resultantes para o quarto componente. Portanto,

$$A_4^8 = \frac{8!}{4!} = 1680$$

Logo temos 1680 projetos diferentes possíveis.

## Anagrama

Um **anagrama** de uma palavra é obtido quando trocamos a ordem das suas letras, sem repeti-las, de modo que se forma uma nova sequência de letras, com ou sem sentido.

## Permutação

Dado um conjunto com  $n$  elementos **distintos**, chama-se **permutação dos  $n$  elementos** todo arranjo desses  $n$  elementos tomados  $n$  à  $n$ .

## Número de permutações

Seja um conjunto com  $n$  elementos distintos, o número  $P_n$  de permutações dos  $n$  elementos é:

$$P_n = A_n^n = \frac{n!}{(n-n)!} = \frac{n!}{0!} = n!$$



## Exemplo: Anagramas da palavra AZUL

Qual é a quantidade de anagramas da palavra AZUL?

O cálculo do número de anagramas de uma palavra (que não tenha letras repetidas) pode ser entendido como um problema de cálculo do número de permutações dos elementos de um conjunto. Note que a palavra azul pode ser interpretada como um conjunto de quatro letras. Desse modo o número total de anagrama será

$$P_4 = 4! = 24$$

Ou seja temos 24 anagramas para a palavra AZUL.

## Número de permutações com elementos repetidos

O número de permutações de  $n = n_1 + n_2 + \dots + n_k$  objetos dos quais  $n_1$  são do tipo 1,  $n_2$  são do tipo 2,  $\dots$  e  $n_k$  são do tipo  $k$  é:

$$P_n^{n_1, n_2, \dots, n_k} = \frac{n!}{n_1! n_2! \dots n_k!}.$$

## Exemplo: Programação de um hospital

Um centro cirúrgico de um hospital necessita programar três cirurgias de joelho e duas cirurgias de quadris em um dia. Denominamos uma cirurgia de joelhos e de quadris como  $j$  e  $q$ , respectivamente. Qual o número de sequências possíveis das três cirurgias de joelho e das duas cirurgias de quadris?

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 19) (Adaptado).

Note que nesse caso podemos interpretar a cirurgia como um conjunto de 5 elementos (cirurgias) sendo duas de um tipo (cirurgia de joelho) e três de outro (cirurgia de quadril). Desse modo se trata de um problema de permutações com elementos repetidos.

$$P_5^{2,3} = \frac{5!}{2!3!} = 10.$$

É possível enumerar as sequências:

$$\{jjjqj, jjqqj, jqqjj, jqqjj, jqqjj, jqqjj, jqqjj, jqqjj, jqqjj, jqqjj\}$$

## Combinação

Uma **combinação** é todo subconjunto de tamanho  $k$  de um conjunto de tamanho  $n \geq k$  com elementos **distintos**.

## Número de combinações

O número  $C_k^n$  de combinações de tamanho  $k$  que podem ser selecionadas a partir de um conjunto de  $n$  elementos distintos é

$$C_k^n = \binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}.$$

### Exemplo: Disposição de Placa de Circuito Impresso

Um componente pode ser colocado em oito localizações diferentes em uma placa de circuito impresso. Se cinco componentes idênticos forem colocados na placa quantos projetos diferentes serão possíveis?

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 20) (Adaptado).

Cada projeto é um subconjunto de oito localizações que devem conter os componentes, portanto se trata de um problema de combinação.

$$C_5^8 = \frac{8!}{5!3!} = 56.$$

Temos ao todo 56 projetos diferentes.

### Exemplo: Amostragem sem reposição

Um silo com 50 itens fabricados contém três itens defeituosos e 47 itens não defeituosos. Uma amostra de seis itens é selecionada a partir dos 50 itens. Os itens selecionados não são repostos. Ou seja, cada item pode ser somente selecionado uma única vez e a amostra é um subconjunto dos 50 itens. Quantas amostras diferentes existem, de tamanho seis, que contêm exatamente dois itens defeituosos?

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 20) (Adaptado).

Um subconjunto contendo exatamente dois itens defeituosos pode ser formado escolhendo primeiro os dois itens defeituosos a partir dos três itens defeituosos. Portanto, um problema de combinação:

$$C_2^3 = \binom{3}{2} = \frac{3!}{2!1!} = 3$$

Na segunda etapa sorteamos os quatro itens não defeituosos dentre os 47 não defeituosos. Novamente um problema de combinação:

$$C_4^{47} = \binom{47}{4} = \frac{47!}{4!43!} = 178365$$

Aplicando agora o TFC temos que quantidade de amostras que contêm exatamente dois itens defeituosos será

$$3 \cdot 178365 = 535095$$

Considere um polígono regular de  $n$  lados. Mostre que a quantidade de diagonais é dada por:

$$\frac{n(n-3)}{2}$$

Quantos múltiplos de 3, compostos de 3 algarismos distintos, podem ser formados com os algarismos 2, 3, 4, 5 e 7?

Fonte: Gelson Iezzi et al. (2002, p. 374) (Adaptado).



Uma determinada área de pesquisa contém doze estudantes orientandos. O professor orientador dessa área deseja dividir os estudantes em três grupos de estudos de mesmo tamanho. De quantos modos diferentes esse professor pode dividir esses doze estudantes?

Uma pessoa quer comprar 6 empadas numa lanchonete. Há empadas de camarão, frango, legumes e palmito. Sabendo-se que podem ser compradas de zero a 6 empadas de cada tipo, de quantas maneiras diferentes essa compra pode ser feita?

---

Fonte: Gelson Iezzi et al. (2002, p. 374) (Adaptado).

O historiador judeu *Flavius Josephus*, que viveu no século 1º, figura como personagem de um problema clássico da computação. Neste problema, as pessoas estão em um círculo esperando para serem assassinadas. A contagem para definir a próxima pessoa a ser assassinada começa em um ponto especificado no círculo, e prossegue ao redor do círculo em uma direção especificada. Depois que um determinado número de pessoas é ignorado, a próxima pessoa é assassinada. O procedimento é repetido com as pessoas restantes, começando com a próxima pessoa, indo na mesma direção e pulando o mesmo número de pessoas, até que apenas uma pessoa permaneça e seja libertada. Neste problema,  $n$  denota o número de pessoas no círculo inicial, e  $k$  denota a contagem para cada etapa, ou seja,  $k - 1$  pessoas são ignoradas e o  $k$ -ésimo é assassinado. Considerando que as pessoas no círculo são numeradas de 1 à  $n$ , a posição inicial sendo 1 e a contagem sendo inclusiva com  $k = 2$ , em qual posição do círculo de 153 pessoas deveria estar alguém para que seja libertada?

Pretende-se selecionar quatro pessoas de um grupo constituído de três professores e cinco alunos, para tirar uma fotografia. Se pelo menos um dos professores deve aparecer na foto, de quantos modos poderá ser feita a seleção?

---

Fonte: Gelson Iezzi et al. (2002, p. 372) (Adaptado).

Suponha que você criou uma senha que contém três letras seguidas de quatro algarismos. Por algum motivo você esqueceu sua senha. Você somente lembra que a senha tem uma única letra “A” e, na última posição tem o algarismo “5”. No pior caso, quantas combinações você terá que fazer até achar sua senha correta? (Considere as 26 letras e os 10 algarismos)

Maria acabou de aprender que computadores entendem apenas códigos binários (sequências de 0 e 1). João desafiou Maria à calcular quantas strings binárias, de 100 algarismos, possuem 4 ou menos 1's. Sabendo que Maria acertou o desafio, qual valor foi calculado por Maria ?

Uma pessoa deseja criar uma senha que é um número natural de quatro dígitos e que possui pelo menos dois dígitos iguais e, conseqüentemente, o primeiro algarismo dessa senha é diferente de zero. Quantas senhas distintas essa pessoa pode criar, satisfazendo essas condições apresentadas?

# Definições de Probabilidade



## Definição frequentista de probabilidade

Considere o número limite de frequências relativas como o valor da probabilidade. Seja  $n_A$  o número de ocorrências do evento  $A$  em  $n$  repetições independentes do experimento em questão. Então:

$$\mathbb{P}(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_A}{n}.$$

Essa definição nos permite interpretar a probabilidade como **frequência relativa**.

**Probabilidade não existe!!!** A probabilidade não se trata de um grandeza física que pode ser mensurável por meio de alguma “régua” ou “balança”.

### Definição clássica de probabilidade

Seja um espaço amostral  $\Omega$  composto por um número **finito** de eventos elementares **equiprováveis**:

$$\Omega = \{\omega_1, \dots, \omega_n\}.$$

A probabilidade de ocorrência do evento  $A \subset \Omega$  é dada por:

$$\mathbb{P}(A) = \frac{n(A)}{n(\Omega)},$$

onde  $n(A)$  é o número de eventos elementares contidos em  $A$  e  $n(\Omega)$  é o número de eventos elementares no espaço amostral.

O caso onde o espaço amostral possui um número **infinito** de elementos (enumerável ou não) não será foco desse curso introdutório.

Em caso de um número **infinito enumerável** de eventos usamos limites para obter essa probabilidade e no caso de um espaço amostral composto por um número **infinito não enumerável** de eventos elementares será preciso associar o cálculo das probabilidades à medidas de intervalos, áreas e volumes.

Nesse caso teremos a chamada **probabilidade geométrica** que não será focada desse curso.

## Exemplo: Diodos a laser

Considere que 30% dos diodos a *laser* em uma batelada de 100 satisfazem os requerimentos mínimos de potência de um consumidor específico. Se um diodo à *laser* for selecionado ao acaso, isto é, se cada diodo a *laser* for igualmente provável de ser selecionado, nosso sentimento intuitivo será de que a probabilidade de satisfazer os requerimentos do consumidor é 0,30. Seja  $E$  o evento em que o diodo selecionado satisfaça os requerimentos do consumidor. Então  $E$  é o subconjunto de 30 diodos que satisfaz os requerimentos do consumidor. Visto que  $E$  contém 30 resultados e cada um deles tem probabilidade igual a 0,01, concluimos que a probabilidade de  $E$  é 0,3. A conclusão coincide com a nossa intuição.

---

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 21) (Adaptado).

## Exemplo: Lançamento de Moedas

Três moedas são jogadas simultaneamente. Qual a probabilidade de:

- a) Obter exatamente 2 caras?
- b) Obter pelo menos 2 caras?

Para resolver esse exercício vamos construir inicialmente os espaços amostrais. Seja  $\Omega_1 = \{\text{cara, coroa}\}$  um espaço amostral para o lançamento de apenas uma moeda. Dessa forma no lançamento de três moedas podemos considerar o espaço amostral:

$$\begin{aligned}\Omega &= \Omega_1 \times \Omega_1 \times \Omega_1 \\ &= \{(\text{cara, cara, cara}), (\text{cara, cara, coroa}), (\text{cara, coroa, cara}), (\text{coroa, cara, cara}), \\ &\quad (\text{coroa, coroa, cara}), (\text{coroa, cara, coroa}), (\text{cara, coroa, coroa}), (\text{coroa, coroa, coroa})\}\end{aligned}$$

Note que  $\Omega$  é **finito** e todos os seus eventos elementares são **equiprováveis**.

- ① Considere o evento:  $A = \text{"Obter exatamente 2 caras?"}$ . Logo:  $\mathbb{P}(A) = \frac{n(A)}{n(\Omega)} = \frac{3}{8}$
- ② Considere o evento:  $B = \text{"Obter pelo menos 2 caras?"}$ . Logo:  $\mathbb{P}(B) = \frac{n(B)}{n(\Omega)} = \frac{4}{8} = \frac{1}{2}$

### Exemplo: Amostragem sem reposição

Um silo com 50 itens fabricados contém três itens defeituosos e 47 itens não defeituosos. Uma amostra de seis itens é selecionada a partir dos 50 itens. Os itens selecionados não são repostos. Ou seja, cada item pode ser somente selecionado uma única vez e a amostra é um subconjunto dos 50 itens. Qual a probabilidade da amostra selecionada conter exatamente dois itens defeituosos?

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 22) (Adaptado).

Inicialmente vamos definir

$$\Omega = \{\text{"Amostras de tamanho seis selecionadas a partir do total de 50 itens."}\}$$

Note que  $\Omega$  é **finito**, todos os seus eventos elementares são **equiprováveis** e além disso:

$$n(\Omega) = C_6^{50} = \binom{50}{6} = \frac{50!}{6! \cdot 44!} = 15.890.700$$

Seja o evento:

$$A = \{\text{"A amostra de seis itens contém exatamente dois defeituosos"}\}$$

Em aulas anteriores vimos que  $n(A) = 535.095$ . Portanto:

$$\mathbb{P}(A) = \frac{n(A)}{n(\Omega)} = \frac{535.095}{15.890.700} = \frac{33}{980}$$

Selecione-se aleatoriamente uma carta de um baralho comum. Qual a probabilidade da carta ser:

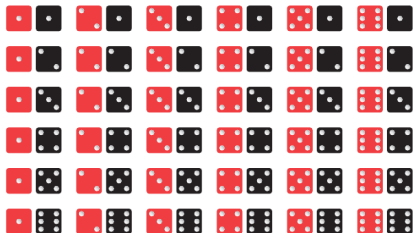
- a Um ás e vermelha?
- b Um ás ou vermelha?



Suponhamos que eu lance simultaneamente um tetraedro (dado de quatro faces) e uma moeda. Qual é a probabilidade de ocorrer uma face par no tetraedro e sair coroa na moeda?

Dois dados de cores diferentes são jogados simultaneamente.

- a Qual a probabilidade de que a soma deles seja maior que sete?
- b Qual a probabilidade de que o máximo seja maior ou igual à três?





De um grupo de  $n$  objetos escolhemos  $r$  ao acaso com reposição. Qual a probabilidade de não sortearmos objetos repetidos?

Uma moeda é lançada duas vezes, sucessivamente. Qual a probabilidade de observarmos 1 cara e 1 coroa?

Uma urna contém 10 bolas identificadas como  $B_1 \dots B_{10}$ . Qual a probabilidade de que a bola sorteada tenha índice par? E do índice ser primo?

Cinco homens e cinco mulheres estão dispostas em fila indiana. Qual a probabilidade de que:

- a A primeira pessoa da fila seja homem?
- b A primeira e a última pessoas da fila sejam homens?

Tomando-se, ao acaso, uma das retas determinadas pelos vértices de um pentágono regular. Qual a probabilidade de que a reta tomada ligue dois vértices consecutivos?

Considere um polígono regular de  $n$  lados. Tome uma das retas determinadas por dois vértices quaisquer. Qual a probabilidade de que a reta tomada ligue dois vértices consecutivos?

## Definição axiomática de probabilidade

Uma função  $\mathbb{P}(\cdot)$ , com domínio no espaço amostral  $\Omega$ , é denominada probabilidade se satisfaz as seguintes condições:

- 1  $\mathbb{P}(A) \geq 0, \quad \forall A \subset \Omega;$
- 2  $\mathbb{P}(\Omega) = 1;$
- 3  $\mathbb{P}\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n \mathbb{P}(A_i),$  com  $A_i \cap A_j = \emptyset$  sempre que  $i \neq j$ .

Essa definição não determina probabilidades; as probabilidades são atribuídas de acordo com o conhecimento que temos do contexto de aplicação.

## Consequências da definição

- $\Omega \cap \emptyset = \emptyset$ . Portanto, usando as propriedades 2 e 3,  $\mathbb{P}(\emptyset) = 0$ ;
- $A \subset B \implies \mathbb{P}(A) \leq \mathbb{P}(B)$  (Monotonicidade);
- E da monotonicidade vem naturalmente que  $0 \leq \mathbb{P}(A) \leq 1$ .

### Regra da Adição de Probabilidades

Sejam  $A_1, \dots, A_n$  eventos de  $\Omega$ , então:

$$\mathbb{P}\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n \mathbb{P}(A_i) - \sum_{i < j} \mathbb{P}(A_i \cap A_j) + \sum_{i < j < k} \mathbb{P}(A_i \cap A_j \cap A_k) - \dots + (-1)^{n-1} \mathbb{P}\left(\bigcap_{i=1}^n A_i\right)$$

### Regra da Adição - Dois Eventos

Sejam  $A$  e  $B$  dois eventos de  $\Omega$ , então:

$$\mathbb{P}(A \cup B) = \mathbb{P}(A) + \mathbb{P}(B) - \mathbb{P}(A \cap B)$$

### Regra da Adição - Três Eventos

Sejam  $A$ ,  $B$  e  $C$  três eventos de  $\Omega$ , então:

$$\mathbb{P}(A \cup B \cup C) = \mathbb{P}(A) + \mathbb{P}(B) + \mathbb{P}(C) - \mathbb{P}(A \cap B) - \mathbb{P}(A \cap C) - \mathbb{P}(B \cap C) + \mathbb{P}(A \cap B \cap C)$$



## Exemplo: Pastilhas de supercondutores - parte 1

A tabulação a seguir lista a história de 940 pastilhas em um processo de fabricação de semicondutores.

Contaminação	Localização na Ferramenta		Total
	Centro	Borda	
Baixa	514	68	582
Alta	112	246	358
Total	626	314	940

Qual a probabilidade da pastilha ter um alto grau de contaminação?

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 23) (Adaptado).

Seja  $\Omega$  o espaço amostral composto por todas as pastilhas e  $H$  o evento no qual a pastilha contém altos níveis de contaminação. Note que o espaço amostral  $\Omega$  é finito e todas as pastilhas tem a mesma probabilidade de ser sorteadas. Desse modo podemos aplicar a DCP.

$$\mathbb{P}(H) = \frac{n(H)}{n(\Omega)} = \frac{358}{940} = \frac{179}{470}.$$

## Exemplo: Pastilhas de supercondutores - parte 2

A tabulação a seguir lista a história de 940 pastilhas em um processo de fabricação de semicondutores.

Contaminação	Localização na Ferramenta		Total
	Centro	Borda	
Baixa	514	68	582
Alta	112	246	358
Total	626	314	940

Qual a probabilidade da pastilha estar localizada no centro da ferramenta?

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 23) (Adaptado).

Seja  $\Omega$  o espaço amostral composto por todas as pastilhas e  $C$  o evento no qual a pastilha esta localizada no centro da ferramenta. Note que o espaço amostral  $\Omega$  é finito e todas as pastilhas tem a mesma probabilidade de ser sorteadas. Desse modo podemos aplicar a DCP.

$$\mathbb{P}(C) = \frac{n(C)}{n(\Omega)} = \frac{626}{940} = \frac{313}{470}.$$

### Exemplo: Pastilhas de supercondutores - parte 3

A tabulação a seguir lista a história de 940 pastilhas em um processo de fabricação de semicondutores.

Contaminação	Localização na Ferramenta		Total
	Centro	Borda	
Baixa	514	68	582
Alta	112	246	358
Total	626	314	940

Qual a probabilidade da pastilha ter um alto grau de contaminação e estar localizada no centro da ferramenta?

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 23) (Adaptado).

$$\mathbb{P}(C \cap H) = \frac{n(C \cap H)}{n(\Omega)} = \frac{112}{940} = \frac{28}{235}.$$

## Exemplo: Pastilhas de supercondutores - parte 4

A tabulação a seguir lista a história de 940 pastilhas em um processo de fabricação de semicondutores.

Contaminação	Localização na Ferramenta		Total
	Centro	Borda	
Baixa	514	68	582
Alta	112	246	358
Total	626	314	940

Qual a probabilidade da pastilha ter um alto grau de contaminação ou estar localizada no centro da ferramenta?

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 23) (Adaptado).

$$\mathbb{P}(C \cup H) = \mathbb{P}(C) + \mathbb{P}(H) - \mathbb{P}(C \cap H) = \frac{313}{470} + \frac{179}{470} - \frac{28}{235} = \frac{218}{235}$$

Dois dados são lançados simultaneamente. Qual a probabilidade de se obter:

- a Soma dos pontos igual a oito?

Resp.:  $\frac{5}{36}$

- b Dois números iguais?

Resp.:  $\frac{1}{6}$

- c Soma dos pontos igual a oito ou dois números iguais (Use a regra da adição)?

Resp.:  $\frac{5}{18}$

Sejam  $A$  e  $B$  eventos em um dado espaço amostral  $\Omega$ , tais que  $\mathbb{P}(A) = 2/5$  e  $\mathbb{P}(A \cup B) = 4/5$ . Determine  $\mathbb{P}(B)$  tais que  $A$  e  $B$  sejam disjuntos.

Sejam  $A$  e  $B$  eventos em um dado espaço amostral  $\Omega$ , tais que  $\mathbb{P}(A) = 1/5$ ,  $\mathbb{P}(B) = p$ ,  $\mathbb{P}(A \cup B) = 1/2$  e  $\mathbb{P}(A \cap B) = 1/10$ . Determine o valor de  $p$ .

Resp.:  $p = 2/5$

---

Magalhães & Lima (2015, p. 53) (Adaptado)

Sejam  $A$  e  $B$  eventos em um espaço amostral  $\Omega$ , onde  $B$  é três vezes mais provável que  $A$ . Sabendo que  $\mathbb{P}(A \cup B) = 4/5$  determine  $\mathbb{P}(A)$  e  $\mathbb{P}(B)$  quando:

- a  $A$  e  $B$  são disjuntos
- b  $\mathbb{P}(A \cap B) = 1/8$ .



Um torneio é disputado por 4 times  $A$ ,  $B$ ,  $C$  e  $D$ . É três vezes mais provável que  $A$  vença do que  $B$ , 2 vezes mais provável que  $B$  vença do que  $C$  e é 3 vezes mais provável que  $C$  vença do que  $D$ . Quais as probabilidades de cada time vencer?

Resp.:  $\mathbb{P}(A) = 9/14$ ,  $\mathbb{P}(B) = 3/14$ ,  $\mathbb{P}(C) = 3/28$  e  $\mathbb{P}(D) = 1/28$

---

Morgado et al. (1991, p. 143) (Adaptado)

Um número entre 1 e 200 é escolhido aleatoriamente. Calcular a probabilidade de que seja divisível por 5 ou por 7. Resp.:  $\frac{63}{200}$

Considere os dados tabulados referentes a preferencia esportiva de 285 pessoas entre brasileiros e estrangeiros.

	Brasileiro	Estrangeiro	Total
Futebol	70	15	85
Vôlei	25	30	55
Queimada	10	50	60
Natação	15	70	85
Total	120	165	285

Se uma pessoa for sorteada ao acaso qual a probabilidade de:

- a ser brasileira?
- b preferir futebol?
- c ser estrangeira e preferir natação?
- d ser estrangeira ou preferir queimada?

## Regra dos Complementares

Para quaisquer eventos  $A$  e  $B$ :

- 1  $\mathbb{P}(A) = 1 - \mathbb{P}(\overline{A})$
- 2  $\mathbb{P}(A \cap B) = 1 - \mathbb{P}(\overline{A} \cup \overline{B})$
- 3  $\mathbb{P}(\overline{A} \cap B) = \mathbb{P}(B) - \mathbb{P}(A \cap B)$

Demonstrações:

- 1 Note que  $A$  e  $\overline{A}$  são eventos disjuntos e  $A \cup \overline{A} = \Omega$ . Aplicando a segunda e a terceira propriedades das funções de probabilidade:

$$\mathbb{P}(A \cup \overline{A}) = \mathbb{P}(A) + \mathbb{P}(\overline{A})$$

$$\mathbb{P}(\Omega) = \mathbb{P}(A) + \mathbb{P}(\overline{A})$$

$$\mathbb{P}(A) = 1 - \mathbb{P}(\overline{A}).$$

- 2 Note que  $\overline{A} \cup \overline{B} = \overline{A \cap B}$ , logo  $A \cap B$  e  $\overline{A} \cup \overline{B}$  são complementares, logo esse resultado decorre diretamente do resultado 1.
- 3 Note que  $B = (A \cap B) \cup (\overline{A} \cap B)$ , mas  $A \cap B$  e  $\overline{A} \cap B$  são disjuntos, logo  $\mathbb{P}(B) = \mathbb{P}(A \cap B) + \mathbb{P}(\overline{A} \cap B)$ .

## Exemplo: Probabilidade de Eventos

Um experimento aleatório pode resultar em um dos resultados  $\{a, b, c, d\}$  com probabilidades 0,1; 0,3; 0,5 e 0,1, respectivamente. Seja  $A$  o evento  $\{a, b\}$ , seja  $B$  o evento  $\{a, b, c\}$  e seja  $C$  o evento  $\{d\}$ . Então,

$$\mathbb{P}(A) = 0,1 + 0,3 = 0,4$$

$$\mathbb{P}(B) = 0,3 + 0,5 + 0,1 = 0,9$$

$$\mathbb{P}(C) = 0,1$$

Além disso aplicando a **Regra dos Complementares**

$$\mathbb{P}(\bar{A}) = 0,6$$

$$\mathbb{P}(\bar{B}) = 0,1$$

$$\mathbb{P}(\bar{C}) = 0,9$$

## Exemplo: Amostragem sem reposição

Um silo com 50 itens fabricados contém três itens defeituosos e 47 itens não defeituosos. Uma amostra de seis itens é selecionada a partir dos 50 itens. Os itens selecionados não são repostos. Ou seja, cada item pode ser somente selecionado uma única vez e a amostra é um subconjunto dos 50 itens. Qual a probabilidade da amostra selecionada conter no máximo dois itens defeituosos? Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 22) (Adaptado).

Inicialmente vamos definir o espaço amostral:

$$\Omega = \{\text{"Amostras de tamanho seis selecionadas a partir do total de 50 itens."}\}$$

Note que  $\Omega$  é **finito**, todos os seus eventos elementares são **equiprováveis** e além disso:

$$n(\Omega) = C_6^{50} = \binom{50}{6} = \frac{50!}{6! \cdot 44!} = 15.890.700$$

Sejam os eventos:

$A = \{\text{"A amostra de seis itens contêm exatamente três defeituosos"}\}$

$B = \{\text{"A amostra de seis itens contêm no máximo dois defeituosos"}\}$

Note que  $B = \bar{A}$ . Além disso:

$$n(A) = C_3^{47} = \binom{47}{3} = \frac{47!}{3! \cdot 44!} = 16.215$$

Portando:

$$\mathbb{P}(A) = \frac{n(A)}{n(\Omega)} = \frac{16.215}{15.890.700} = \frac{1}{980}$$

Aplicando a **Regra dos Complementares** obtemos que:

$$\mathbb{P}(B) = 1 - \mathbb{P}(A) = 1 - \frac{1}{980} = \frac{979}{980}$$

Dois dados são lançados independentemente. Qual a probabilidade de não obtermos dois números ímpares? (Dica.: Use a regra dos complementares)

Resp.:  $3/4$



Considere duas urnas tais que a primeira contenha bolas numeradas de 1 até 1000 e a segunda contenha bolas numeradas de 10 até 500. Uma bola é sorteada de cada uma das urnas. Qual a probabilidade de não obtermos dois números ímpares? (Dica.: Use a regra dos complementares)

Numa classe de 55 alunos, 21 praticam vôlei e basquete, 39 praticam vôlei e 33 praticam basquete. Um aluno da classe é escolhido ao acaso. Qual a probabilidade de o aluno escolhido praticar um e somente um desses esportes?

Considere o espaço amostral

$$\Omega = \{\text{"Todos os alunos na classe"}\}$$

Note que  $\Omega$  é finito e assumamos que os alunos têm igual probabilidade de serem sorteados e os eventos.

$$B = \{\text{"O aluno escolhido pratica basquete"}\}$$

$$V = \{\text{"O aluno escolhido pratica vôlei"}\}$$

Pelo enunciado temos que:  $n(\Omega) = 55$ ,  $n(B \cap V) = 21$ ,  $n(V) = 39$  e  $n(B) = 33$ .

Desejamos determinar:

$$\mathbb{P}(B \Delta V) = \mathbb{P}[(B \cap \bar{V}) \cup (\bar{B} \cap V)]$$

Veja que os eventos  $(B \cap \bar{V})$  e  $(\bar{B} \cap V)$  são eventos disjuntos, portanto podemos aplicar a **Definição Axiomática de Probabilidade**

$$\mathbb{P}(B \Delta V) = \mathbb{P}(B \cap \bar{V}) + \mathbb{P}(\bar{B} \cap V)$$

A **Regra dos Complementares** estabelece que:

$$\mathbb{P}(B \cup \bar{V}) = \mathbb{P}(B) - \mathbb{P}(B \cap V) \quad \text{e} \quad \mathbb{P}(\bar{B} \cup V) = \mathbb{P}(V) - \mathbb{P}(B \cap V).$$

Portanto:

$$\mathbb{P}(B \Delta V) = \mathbb{P}(B) + \mathbb{P}(V) - 2\mathbb{P}(B \cap V).$$

Aplicando a Definição Clássica de Probabilidade:

$$\mathbb{P}(B) = \frac{n(B)}{n(\Omega)} = \frac{33}{55} = \frac{3}{5}$$

$$\mathbb{P}(V) = \frac{n(V)}{n(\Omega)} = \frac{39}{55}$$

$$\mathbb{P}(B \cap V) = \frac{n(B \cap V)}{n(\Omega)} = \frac{21}{55}$$

Portanto:

$$\mathbb{P}(B \triangle V) = \frac{3}{5} + \frac{39}{55} - 2 \cdot \frac{21}{55} = \frac{6}{11}$$

Uma universidade tem 10 mil alunos dos quais 4 mil são considerados esportistas. Temos, ainda, que 500 alunos são do curso de biologia diurno, 700 da biologia noturno, 100 são esportistas e da biologia diurno e 20 são esportistas e da biologia noturno. Um aluno é escolhido, ao acaso, e pergunta-se a probabilidade de:

- ① Ser esportista.
- ② Ser esportista e aluno da biologia e noturno.
- ③ Não ser da biologia.
- ④ Ser esportista ou aluno da biologia.
- ⑤ Não ser esportista, nem aluno da biologia.

---

Magalhães & Lima (2015, p. 53)

Uma moeda é jogada 6 vezes. Sabendo-se que no primeiro lançamento deu coroa, calcular a probabilidade condicional de que o número de caras nos seis lançamentos supere o número de coroas. Resp.:  $3/2^4$

Um dado é lançado três vezes sucessivamente. Qual a probabilidade de não ocorrerem três números iguais?

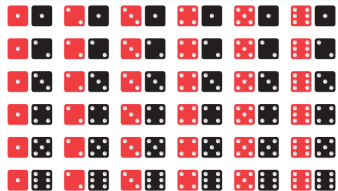
Dentre os estudantes João, Gabriela e Manuel, o professor escolhe ao acaso um deles para fazer uma pergunta. Se cinco perguntas forem feitas, qual a probabilidade:

- a De manuel nunca ser escolhido? Resp.:  $(2/3)^5$
- b De um (qualquer) dos estudantes não ser solicitado a responder sequer uma pergunta? Resp.:  $\frac{2^5}{3^4}$



Em um jogo de dados são jogados dois dados honestos de seis faces. Considere os eventos:

- A A soma das faces é 7;
- B A soma das faces é 11;
- C A soma das faces é 2;
- D A soma das faces é 3;
- E A soma das faces é 12;
- F A soma das faces é 8;
- G As faces são iguais.
- a Determine a probabilidade de todos os eventos.
- b O jogador vence esse jogo na primeira rodada se a soma dos dados for 7 ou 11. Calcule a probabilidade desse evento.
- c O jogador perde esse jogo na primeira rodada se a soma dos dados for 2, 3 ou 12. Calcule a probabilidade desse evento.
- d Qual a probabilidade das faces serem diferentes?
- e Qual a probabilidade da soma ser 8 ou das faces serem iguais?



Weiss (2012, p. 147)

Considere os dados tabulados referentes a preferencia esportiva de 285 pessoas entre brasileiros e estrangeiros.

	Brasileiro	Estrangeiro	Total
Futebol	70	15	85
Vôlei	25	30	55
Queimada	10	50	60
Natação	15	70	85
Total	120	165	285

Se uma pessoa for sorteada ao acaso qual a probabilidade de:

- 1 não ser brasileira e preferir de futebol?
- 2 não ser estrangeira e nem preferir de vôlei?
- 3 não ser estrangeira ou não preferir de queimada?

Uma caixa contém nove peças das quais três são defeituosas. Sorteamos duas peças. Qual a probabilidade de não escolhermos duas peças defeituosas?

## Chance de um evento

A chance de um evento  $A$  é definida como:

$$\mathbb{C}h(A) = \frac{\mathbb{P}(A)}{1 - \mathbb{P}(A)}.$$

Existe uma confusão muito grande entre os conceitos de *chance* (em inglês *odds*) e *probabilidade*, o senso comum trata esses dois conceitos como sinônimos, mas não o são.

A chance e a probabilidade são medidas que assumem valores em intervalos diferentes:

$$\begin{aligned}\mathbb{P}(A) &\in [0, 1] \\ \mathbb{C}h(A) &\in [0, \infty)\end{aligned}$$

## Desigualdade entre Chance e Probabilidade

Para todo evento  $A$ :

$$\mathbb{C}h(A) \geq \mathbb{P}(A).$$

Sabendo que a chance de um evento  $A$  é definida como:

$$\mathbb{C}h(A) = \frac{\mathbb{P}(A)}{1 - \mathbb{P}(A)}.$$

Mostre que:

$$\mathbb{P}(A) = \frac{\mathbb{C}h(A)}{1 + \mathbb{C}h(A)}.$$

## Exemplo: Lançamento de um dado

Considere o experimento de lançarmos um dado e observarmos a face que ficou voltada pra cima. Seja  $A$  o evento no qual a face  $\square$  fica voltada para cima. A chance de ocorrer o evento  $A$  é de 1 para 5, ou seja, o evento  $A$  possui 5 eventos elementares contrários  $\{\square, \square, \square, \square, \square\}$  e 1 evento elementar favorável  $\{\square\}$ . Portanto nesse caso:

$$\mathbb{C}h(A) = 0,2 \quad \text{e} \quad \mathbb{P}(A) = 1/6 \approx 0.1666 \dots$$

## Exemplo: Apostas Esportivas

Em um site de apostas esportivas é dito que a chance da seleção brasileira de futebol vencer a seleção espanhola é de 3 para 1. Qual a probabilidade da seleção brasileira vencer?

Considere o evento:

$A = \text{“A seleção brasileira vence a seleção espanhola.”}$

Se a chance da seleção brasileira de futebol vencer a seleção espanhola são de 3 para 1 então

$$\mathbb{C}h(A) = \frac{3}{1} = 3$$

## Exemplo: Amostragem sem reposição

Um silo com 50 itens fabricados contém três itens defeituosos e 47 itens não defeituosos. Uma amostra de seis itens é selecionada a partir dos 50 itens. Os itens selecionados não são repostos. Ou seja, cada item pode ser somente selecionado uma única vez e a amostra é um subconjunto dos 50 itens. Qual a probabilidade e a chance da amostra selecionada não conter itens defeituosos?

---

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 22) (Adaptado).



A probabilidade de um cavalo vencer três ou menos corridas é de 58%; a probabilidade de ele vencer três ou mais corridas é de 71%.

- 1 Qual é a probabilidade do cavalo vencer exatamente três corridas?

Resp.:29%

- 2 Qual é a chance do cavalo vencer exatamente três corridas?

Resp.:As chances são de aproximadamente 41 para 100.

# Probabilidade Condicional e Independência

## Probabilidade Condicional

Dados os eventos  $A$  e  $B$  a **probabilidade condicional** de  $A$  dado  $B$ ,  $\mathbb{P}(A|B)$ , é definida como:

$$\mathbb{P}(A|B) = \begin{cases} \frac{\mathbb{P}(A \cap B)}{\mathbb{P}(B)}, & \mathbb{P}(B) > 0 \\ \mathbb{P}(A), & \mathbb{P}(B) = 0 \end{cases}$$

$\mathbb{P}(B)$  é a probabilidade à **priori**

$\mathbb{P}(A|B)$  é a probabilidade à **posteriori**

## Regra do Produto de Probabilidades

Dados os eventos  $A$  e  $B$ :

$$\mathbb{P}(A \cap B) = \mathbb{P}(B)\mathbb{P}(A|B)$$

## Exemplo: Falhas e defeitos na superfície

A tabela fornece um exemplo de 400 itens classificados por falhas na superfície e como defeituosos (funcionalmente). Sejam os eventos:

$$D = \{\text{"O item é defeituoso"}\}$$

$$F = \{\text{"O item tem falhas na superfície"}\}$$

	Com Falhas	Sem Falhas	Total
Defeituoso	10	18	28
Não Defeituoso	30	342	372
Total	40	360	400

Qual a probabilidade condicional de  $D$  dado  $F$  e de  $D$  dado  $\bar{F}$ ? É sugerida alguma relação entre os eventos  $D$  e  $F$ ? Qual? Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 25) (Adaptado).

Note que  $\mathbb{P}(F) > 0$ . Desse modo temos que:

$$\mathbb{P}(D|F) = \frac{10}{40} = 0,25 = 25\% \quad \text{e} \quad \mathbb{P}(D|\bar{F}) = \frac{18}{360} = 0,05 = 5\%$$

Pelo resultado obtido fica sugerida uma possível relação entre falhas na superfície e itens funcionalmente defeituosos que deveria ser investigada. Há indícios de que a presença de falhas na superfície aumenta a probabilidade do item ser defeituoso.

Considere os dados tabulados referentes a preferencia esportiva de 285 pessoas entre brasileiros e estrangeiros.

	Brasileiro	Estrangeiro	Total
Futebol	70	15	85
Vôlei	25	30	55
Queimada	10	50	60
Natação	15	70	85
Total	120	165	285

Se que uma pessoa for sorteada ao acaso qual a probabilidade de:

- a) sabendo que a pessoa é estrangeira, prefira futebol?
- b) sabendo que a pessoa prefere vôlei, seja estrangeira?
- c) sabendo que a pessoa não prefere queimada, seja brasileira?
- d) sabendo que a pessoa não é estrangeira, prefira futebol? Que conclusão você pode tirar comparando esse item com o item a)?

## Exemplo: Estágios de Usinagem

A probabilidade de que o primeiro estágio de uma operação numericamente controlada, de usinagem para pistões com alta rpm atenda as especificações é igual à 0,90. Falhas são causadas por variações no metal, alinhamento de acessórios, condição de lâmina de corte, vibração e condições ambientais. Dado que o primeiro estágio atende as especificações, a probabilidade de que o segundo estágio atenda as especificações é de 0,95. Qual é a probabilidade de ambos os estágios atenderem as especificações?

---

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 26) (Adaptado).

Considere os eventos:

$A = \{\text{"O primeiro estágio atende as especificações"}\}$

$B = \{\text{"O segundo estágio atende as especificações"}\}$

Pelo enunciado do problema temos que:  $\mathbb{P}(A) = 0,9$  e  $\mathbb{P}(B|A) = 0,95$ . Desejamos encontrar  $\mathbb{P}(A \cap B)$ . Note que a regra do produto estabelece que:

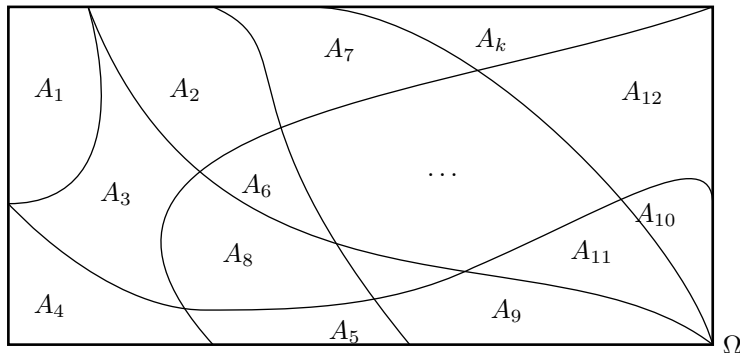
$$\mathbb{P}(A \cap B) = \mathbb{P}(A)\mathbb{P}(B|A) = 0,9 \cdot 0,95 = 0,855$$

## Partição do Espaço Amostral

O conjunto  $\mathcal{P} = \{A_1, A_2 \dots A_n\}$  de eventos do espaço amostral  $\Omega$  é uma partição do espaço amostral se:

①  $\bigcup_{i=1}^n A_i = \Omega$

②  $A_i \cap A_j = \emptyset, \forall i \neq j$



Sejam  $\mathcal{P}_1 = \{A_1, A_2 \dots A_n\}$  e  $\mathcal{P}_2 = \{B_1, B_2 \dots B_m\}$  duas partições de  $\Omega$ . Podemos esquematizar as probabilidades associadas aos eventos que compõem as partições  $\mathcal{P}_1$  e  $\mathcal{P}_2$  por um diagrama de árvores. No caso particular onde  $\mathcal{P}_1 = \{A, \bar{A}\}$  e  $\mathcal{P}_2 = \{B, \bar{B}\}$ , um diagrama adequado seria:





## Exemplo: Falhas e defeitos na superfície

A tabela fornece um exemplo de 400 itens classificados por falhas na superfície e como defeituosos (funcionalmente). Sejam os eventos:

$$D = \{\text{"O item é defeituoso"}\}$$

$$F = \{\text{"O item tem falhas na superfície"}\}$$

	Com Falhas	Sem Falhas	Total
Defeituoso	10	18	28
Não Defeituoso	30	342	372
Total	40	360	400

Qual a probabilidade condicional de  $D$  dado  $F$  e de  $D$  dado  $\bar{F}$ ? É sugerida alguma relação entre os eventos  $D$  e  $F$ ? Qual?

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 25) (Adaptado).





## Eventos independentes

Dois eventos  $A$  e  $B$  são **independentes** se, e somente se:

$$\mathbb{P}(A \cap B) = \mathbb{P}(A)\mathbb{P}(B)$$

Intuitivamente dois eventos são independentes quando a ocorrência de um não altera a probabilidade de ocorrência do outro, ou seja:

$$\mathbb{P}(A|B) = \mathbb{P}(A) \iff \mathbb{P}(B|A) = \mathbb{P}(B)$$

## Independência dos complementares

Se dois eventos  $A$  e  $B$  são independentes seus complementares também serão.

$$\mathbb{P}(A \cap B) = \mathbb{P}(A)\mathbb{P}(B) \iff \mathbb{P}(\bar{A} \cap \bar{B}) = \mathbb{P}(\bar{A})\mathbb{P}(\bar{B})$$

## Três eventos independentes

Três eventos  $A$ ,  $B$  e  $C$  são **independentes** se, e somente se:

- 1  $\mathbb{P}(A \cap B) = \mathbb{P}(A)\mathbb{P}(B)$
- 2  $\mathbb{P}(A \cap C) = \mathbb{P}(A)\mathbb{P}(C)$
- 3  $\mathbb{P}(B \cap C) = \mathbb{P}(B)\mathbb{P}(C)$
- 4  $\mathbb{P}(A \cap B \cap C) = \mathbb{P}(A)\mathbb{P}(B)\mathbb{P}(C)$

Se apenas as três primeiras condições forem satisfeitas os eventos são **mutuamente independentes**.

### Exemplo: Amostragem **com** reposição

Um silo com 50 itens fabricados contém três itens defeituosos e 47 itens não defeituosos. Uma amostra de dois itens é selecionada a partir dos 50 itens. **Os itens selecionados são repostos.** Ou seja, cada item pode ser sorteado mais de uma vez.

- a Qual a probabilidade do segundo item selecionado ser defeituoso, dado que o primeiro item a ser selecionado é defeituoso?
- b Qual a probabilidade de que ambas as peças sejam defeituosas?

---

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 22) (Adaptado).

Considere os eventos:

$$A = \{\text{"O primeiro item é defeituoso"}\} \quad \text{e} \quad B = \{\text{"O segundo item é defeituoso"}\}$$

Precisamos determinar  $\mathbb{P}(B|A)$  e  $\mathbb{P}(A \cap B)$ . Num sorteio com reposição os sucessivos sorteios sempre ocorrem nas mesmas condições, portanto  $\mathbb{P}(A) = \mathbb{P}(B) = \mathbb{P}(B|A) = 3/50$ . E pela Regra do Produto temos que:

$$\mathbb{P}(A \cap B) = \mathbb{P}(B|A) \cdot \mathbb{P}(A) = \frac{3}{50} \cdot \frac{3}{50} = \frac{9}{2500}$$

Em uma cesta, temos oito bombons de morango, dez bombons de maracujá e quatro bombons de uva. Determine a probabilidade de retiramos sucessivamente com reposição, três bombons de maracujá. E se as retiradas forem sem reposição? (Faça um diagrama de árvores)

Em uma gaveta temos 12 camisas, das quais, quatro são de gola polo e o restante, de gola normal. Retirando duas camisas sucessivamente ao acaso e sem reposição, qual é a probabilidade de as duas camisas serem de gola polo? E se retirarmos com reposição? (Faça um diagrama de árvores)



Dados os eventos  $A$ ,  $B$  e  $C$  em um mesmo espaço amostral, mostre que as chamadas *regras da cadeia* de probabilidades

$$\mathbb{P}(A \cap B \cap C) = \mathbb{P}(A|B \cap C)\mathbb{P}(B|C)\mathbb{P}(C)$$

e

$$\mathbb{P}(A \cap B \cap C) = \mathbb{P}(B|A \cap C)\mathbb{P}(A|C)\mathbb{P}(C).$$

## Exemplo: Circuito em Série

O seguinte circuito opera se houver uma rota de dispositivos funcionais da esquerda para a direita. Considere os eventos:

$A$  = “O dispositivo  $A$  funcionou normalmente”

$B$  = “O dispositivo  $B$  funcionou normalmente”

Sabe-se que  $\mathbb{P}(A) = 8/9$  e  $\mathbb{P}(B) = 9/10$ . Qual a probabilidade do circuito operar?



Assuma que o funcionamento do dispositivo  $A$  é independente do dispositivo  $B$ . Há somente uma rota que depende do funcionamento de ambos os dispositivos. Então a probabilidade do circuito operar é:

$$\mathbb{P}(A \cap B) = \mathbb{P}(A) \cdot \mathbb{P}(B) = \frac{8}{9} \cdot \frac{9}{10} = \frac{72}{90} = \frac{4}{5}.$$

## Exemplo: Circuito em Paralelo

O seguinte circuito opera se houver uma rota de dispositivos funcionais da esquerda para a direita. Considere os eventos:

$A$  = “O dispositivo  $A$  funcionou normalmente”

$B$  = “O dispositivo  $B$  funcionou normalmente”

Sabe-se que  $\mathbb{P}(A) = 8/9$  e  $\mathbb{P}(B) = 9/10$ . Qual a probabilidade do circuito operar?



Assuma que o funcionamento do dispositivo  $A$  é independente do dispositivo  $B$ . Nesse caso haverá uma rota se ao menos um dos dispositivos funcionar, ou seja o circuito opera quando o evento  $A \cup B$  ocorre, então a probabilidade do circuito operar é  $\mathbb{P}(A \cup B)$ , mas não é tão simples calcular essa probabilidade diretamente. Lembre-se que da **Regra dos Complementares** e das **Leis de Morgan** temos que:

$$\mathbb{P}(A \cup B) = 1 - \mathbb{P}(\overline{A \cup B}) \quad \text{e} \quad \overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B}$$

Deste modo temos que:

$$\mathbb{P}(A \cup B) = 1 - \mathbb{P}(\overline{A \cup B}) = 1 - \mathbb{P}(\bar{A} \cap \bar{B})$$

Mas se os eventos  $A$  e  $B$  são independentes os seus complementares também serão, portanto:

$$\mathbb{P}(A \cup B) = 1 - \mathbb{P}(\bar{A}) \cdot \mathbb{P}(\bar{B})$$

Note que  $\mathbb{P}(A) = 8/9 \implies \mathbb{P}(\bar{A}) = 1/9$  e  $\mathbb{P}(B) = 9/10 \implies \mathbb{P}(\bar{B}) = 1/10$ . Portanto:

$$\mathbb{P}(A \cup B) = 1 - \frac{1}{9} \cdot \frac{1}{10} = \frac{89}{90}$$

Portando o circuito opera com probabilidade  $89/90$ .

## Exemplo: Circuito “Avançado”

O seguinte circuito opera se houver uma rota de dispositivos funcionais da esquerda para a direita. Considere os eventos:

$A$  = “O dispositivo  $A$  funcionou normalmente”

$B$  = “O dispositivo  $B$  funcionou normalmente”

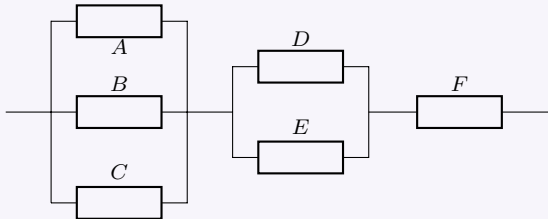
$C$  = “O dispositivo  $C$  funcionou normalmente”

$D$  = “O dispositivo  $D$  funcionou normalmente”

$E$  = “O dispositivo  $E$  funcionou normalmente”

$F$  = “O dispositivo  $F$  funcionou normalmente”

Sabe-se que  $\mathbb{P}(A) = 6/7$ ,  $\mathbb{P}(B) = 4/5$ ,  $\mathbb{P}(C) = 2/3$ ,  $\mathbb{P}(D) = 5/6$ ,  $\mathbb{P}(E) = 7/8$  e  $\mathbb{P}(F) = 9/10$ . Qual a probabilidade do circuito operar?



Assuma que o funcionamento de todos os dispositivos seja independente. Para resolver esse problema é necessário separar o circuito em módulos. Vamos definir o módulo  $M_1$  como sendo formado pelos componentes  $A$ ,  $B$  e  $C$ . O módulo  $M_2$  como sendo formado pelos componentes  $D$ ,  $E$ . Note que os módulos  $M_1$  e  $M_2$  e a componente  $F$  formam um circuito em série.



Portanto a solução desse exercício será composta de três etapas:

- ➊ Analisar a probabilidade do módulo  $M_1$  funcionar;
- ➋ Analisar a probabilidade do módulo  $M_2$  funcionar;
- ➌ Analisar a probabilidade do circuito formado pelos módulos  $M_1$  e  $M_2$  e a componente  $F$  operar.

Note que o módulo 1 é composto por três componentes em paralelo e, portanto irá funcionar se o evento  $M_1 = A \cup B \cup C$  ocorrer.



Lembre-se que da **Regra dos Complementares** e das **Leis de Morgan** temos que:

$$\mathbb{P}(A \cup B \cup C) = 1 - \mathbb{P}(\overline{A \cup B \cup C}) \quad \text{e} \quad \overline{A \cup B \cup C} = \bar{A} \cap \bar{B} \cap \bar{C}$$

Deste modo temos que:

$$\mathbb{P}(M_1) = \mathbb{P}(A \cup B \cup C) = 1 - \mathbb{P}(\overline{A \cup B \cup C}) = 1 - \mathbb{P}(\bar{A} \cap \bar{B} \cap \bar{C})$$

Mas se os eventos  $A$ ,  $B$  e  $C$  são independentes os seus complementares também serão:

$$\mathbb{P}(M_1) = \mathbb{P}(A \cup B \cup C) = 1 - \mathbb{P}(\bar{A}) \cdot \mathbb{P}(\bar{B}) \cdot \mathbb{P}(\bar{C})$$

Note que  $\mathbb{P}(A) = 6/7 \implies \mathbb{P}(\bar{A}) = 1/7$ ,  $\mathbb{P}(B) = 4/5 \implies \mathbb{P}(\bar{B}) = 1/5$  e  $\mathbb{P}(C) = 2/3 \implies \mathbb{P}(\bar{C}) = 1/3$ .

Portanto:

$$\mathbb{P}(M_1) = 1 - \frac{1}{7} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} = \frac{104}{105}.$$

Note que o módulo 2 é composto por duas componentes em paralelo e, portanto irá funcionar se o evento  $M_2 = D \cup E$  ocorrer.



Lembre-se que da **Regra dos Complementares** e das **Leis de Morgan** temos que:

$$\mathbb{P}(D \cup E) = 1 - \mathbb{P}(\overline{D \cup E}) \quad \text{e} \quad \overline{D \cup E} = \bar{D} \cap \bar{E}$$

Deste modo temos que:

$$\mathbb{P}(D \cup E) = 1 - \mathbb{P}(\overline{D \cup E}) = 1 - \mathbb{P}(\bar{D} \cap \bar{E})$$

Mas se os eventos  $D$  e  $E$  são independentes os seus complementares também serão, portanto:

$$\mathbb{P}(M_2) = 1 - \mathbb{P}(\bar{D}) \cdot \mathbb{P}(\bar{E})$$

Note que  $\mathbb{P}(D) = 5/6 \implies \mathbb{P}(\bar{D}) = 1/6$  e  $\mathbb{P}(E) = 7/8 \implies \mathbb{P}(\bar{E}) = 1/8$ . Portanto:

$$\mathbb{P}(M_2) = 1 - \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{8} = \frac{47}{48}.$$





Como comentado anteriormente os módulos  $M_1$  e  $M_2$  e a componente  $F$  formam um circuito em série. Dessa forma temos que o circuito funcionará se o evento  $M_1 \cap M_2 \cap F$  ocorrer. Portanto:

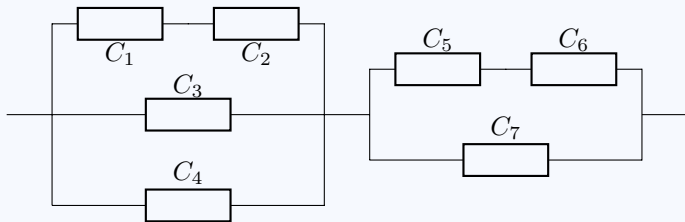
$$\mathbb{P}(M_1 \cap M_2 \cap F) = \mathbb{P}(M_1) \cdot \mathbb{P}(M_2) \cdot \mathbb{P}(F) = \frac{104}{105} \cdot \frac{47}{48} \cdot \frac{9}{10} = \frac{611}{700}$$

Logo o circuito funcionará com probabilidade  $\frac{611}{700} \approx 0.872857 \dots$

O seguinte circuito opera se houver uma rota de dispositivos funcionais da esquerda para a direita. Considere os eventos:

$C_i = \text{"A componente } i \text{ funcionou normalmente"}$

Sabe-se que  $\mathbb{P}(C_i) = \frac{100 - i}{100}$ . Qual a probabilidade do circuito operar?



Um juiz de futebol possui três cartões no bolso. Um é todo amarelo, outro é todo vermelho e o terceiro é vermelho de um lado e amarelo do outro. Num determinado lance, o juiz retira ao acaso, um cartão do bolso mostrando-o a um jogador. Qual é a probabilidade de a face que o juiz vê ser vermelha, e de a outra face mostrada ao jogador, ser amarela? (Faça um diagrama de probabilidades)

Em uma urna há 5 bolas amarelas, 3 verdes e 2 roxas. Sorteamos 3 bolas uma após a outra. Qual a probabilidade de obtermos a sequência amarela-verde-roxa considerando que:

- a o sorteio é sem reposição (Faça um diagrama de probabilidades)
- b o sorteio é com reposição (Faça um diagrama de probabilidades)

Treze cartas são escolhidas de um baralho comum de 52 cartas. Seja  $A$  o evento “O ás de copas está entre as treze cartas” e  $B$  o evento “As treze cartas são do mesmo naipe”. Verifique se  $A$  e  $B$  são independentes.

Morgado et al. (1991, p 166)



Um jogador deve enfrentar, em um torneio, dois outros  $A$  e  $B$ . Os resultados dos jogos são independentes e as probabilidades dele ganhar de  $A$  e de  $B$  são  $1/3$  e  $2/3$  respectivamente. O jogador vencerá o torneio se vencer dois jogos consecutivos, de uma série de três. Que série de jogos é mais favorável ao jogador ABA ou BAB?

Morgado et al. (1991, p 169)

Resp.: Surpreendentemente é a sequência ABA!!!

Numa prova há 7 perguntas do tipo V ou F. Calcular a probabilidade de acertarmos todas as sete se:

- a) escolhermos aleatoriamente as sete respostas;
- b) escolhermos aleatoriamente as respostas sabendo que há mais respostas “verdadeiro” do que “falso”.

---

Morgado et al. (1991, p 157)

Marina quer enviar uma carta à Verônica. A probabilidade de que Marina escreva a carta é de  $\frac{8}{10}$ . A probabilidade de que o correio não a perca é de  $\frac{9}{10}$ . A probabilidade de que o carteiro a entregue é de  $\frac{9}{10}$ . Dado que Verônica não recebeu a carta, qual é a probabilidade condicional de que Marina não a tenha escrito?

Morgado et al. (1991, p 162)

Resp.:  $\frac{25}{44}$



## Teorema da Probabilidade Total

## Teorema da Probabilidade Total

Seja  $B$  um evento contido numa união de eventos disjuntos  $A_1, A_2, \dots, A_n$  em um espaço amostral  $\Omega$  tais que  $\mathbb{P}(A_1) > 0, \mathbb{P}(A_2) > 0, \dots, \mathbb{P}(A_n) > 0$ . Então:

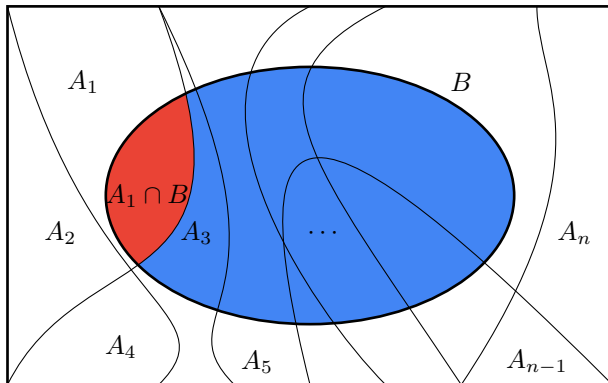
$$\mathbb{P}(B) = \sum_{i=1}^n \mathbb{P}(A_i) \mathbb{P}(B|A_i)$$

Caso o evento  $B$  esteja numa união de apenas dois eventos disjuntos  $A$  e  $\bar{A}$ , então:

$$\mathbb{P}(B) = \mathbb{P}(A) \mathbb{P}(B|A) + \mathbb{P}(\bar{A}) \mathbb{P}(B|\bar{A})$$

Dessa forma se  $\mathbb{P}(B|A) = \mathbb{P}(B|\bar{A}) = p$  então  $\mathbb{P}(B) = p$  e, conseqüentemente, os eventos  $A$  e  $B$  são independentes, pois  $\mathbb{P}(B) = \mathbb{P}(B|A)$

Para demonstrarmos o Teorema da Probabilidade Total note que  $B$  pode ser expresso como uma união disjunta de eventos em  $\Omega$  da seguinte forma:



$$B = (A_1 \cap B) \cup (A_2 \cap B) \cup \dots \cup (A_n \cap B)$$

Aplicando o terceiro axioma da probabilidade:

$$\begin{aligned}\mathbb{P}(B) &= \mathbb{P}(A_1 \cap B) \cup (A_2 \cap B) \cup \dots \cup (A_n \cap B) \\ &= \mathbb{P}(A_1 \cap B) + \mathbb{P}(A_2 \cap B) + \dots + \mathbb{P}(A_n \cap B)\end{aligned}$$

Aplicando o teorema da multiplicação de probabilidades:

$$\mathbb{P}(B) = \mathbb{P}(A_1)\mathbb{P}(B|A_1) + \mathbb{P}(A_2)\mathbb{P}(B|A_2) + \dots + \mathbb{P}(A_n)\mathbb{P}(B|A_n)$$

Portando o teorema da probabilidade total está demonstrado:

$$\mathbb{P}(B) = \sum_{i=1}^n \mathbb{P}(A_i)\mathbb{P}(B|A_i)$$

O evento  $B$  está contido numa união de eventos disjuntos compostos por  $A$  e  $\bar{A}$ .



$$B = (\textcolor{red}{A} \cap \textcolor{red}{B}) \cup (\textcolor{blue}{\bar{A}} \cap \textcolor{blue}{B})$$

## Exemplo: Contaminação de Semicondutores

Considere a tabulação que relaciona o nível de contaminação com suas respectivas probabilidades de falha do nível correspondente. A informação é resumida aqui:

Probabilidade de Falha	Nível de Contaminação	Probabilidade do Nível
0,1	Alto	0,2
0,005	Não Alto	0,8

Qual a probabilidade do item falhar?

Sejam os eventos:

$$A = \{\text{"O chip é exposto a altos níveis de contaminação"}\} \quad \text{e} \quad F = \{\text{"O chip falha"}\}$$

Pela tabulação acima temos as seguintes probabilidades:  $\mathbb{P}(F|A) = 0,1$ ,  $\mathbb{P}(F|\bar{A}) = 0,005$ ,  $\mathbb{P}(A) = 0,2$  e  $\mathbb{P}(\bar{A}) = 0,8$ .



O Teorema da Probabilidade Total nos permite escrever:

$$\mathbb{P}(F) = \mathbb{P}(F|A)\mathbb{P}(A) + \mathbb{P}(F|\bar{A})\mathbb{P}(\bar{A}) = 0,1 \cdot 0,2 + 0,005 \cdot 0,8 = 0,024$$

Note que esse valor coincide com a média ponderada das duas probabilidades de falha.

## Exemplo: Amostragem sem reposição

Um silo com 50 itens fabricados contém três itens defeituosos e 47 itens não defeituosos. Uma amostra de dois itens é selecionada a partir dos 50 itens. Os itens selecionados não são repostos. Ou seja, cada item pode ser somente selecionado uma única vez e a amostra é um subconjunto dos 50 itens. Sejam os eventos:

$A$  = “O primeiro item sorteado é defeituoso”

$B$  = “O segundo item sorteado é defeituoso”

Determine a probabilidade de que o segundo item selecionado seja defeituoso.

---

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 28) (Adaptado).

Desejamos encontrar  $\mathbb{P}(B)$ . Note que o evento  $B$  é dependente do evento  $A$ , ou seja  $\mathbb{P}(B|A) \neq \mathbb{P}(B|\bar{A})$ . Pelo Teorema da Probabilidade Total temos que:

$$\mathbb{P}(B) = \mathbb{P}(A)\mathbb{P}(B|A) + \mathbb{P}(\bar{A})\mathbb{P}(B|\bar{A})$$





Desse modo:

$$\mathbb{P}(B) = \frac{3}{50} \cdot \frac{2}{49} + \frac{47}{50} \cdot \frac{3}{49} = \frac{144}{1225} \approx 0.11755102 \dots$$

Um piloto de fórmula 1 tem 50% de probabilidade de vencer determinada corrida, quando esta se realiza sob chuva. Caso não chova durante a corrida, sua probabilidade de vitória é de 25%. Se o serviço de Meteorologia estimar em 30% a probabilidade de que chova durante a corrida, qual é a probabilidade deste piloto ganhar a corrida? (Faça um diagrama de árvores)

Resp.: 0,325

Uma companhia de seguros acredita que as pessoas podem ser divididas em duas classes: As que já sofreram algum acidente e as que não. Dados estatísticos mostram que uma pessoa que já tenha sofrido algum acidente tem 0,4 de probabilidade de sofrer um novo acidente num período de um ano. As pessoas que nunca sofreram acidente tem 0,2 de probabilidade de sofrer seu primeiro acidente num período de um ano. (Faça um diagrama de árvores)

- a Sabendo que 30% da população já sofreu algum acidente, qual é a probabilidade de que um indivíduo escolhido aleatoriamente sofra um acidente no período de um ano? Resp.: 0,26
- b Supondo que um indivíduo aleatório sofrerá um acidente no período de um ano. Qual a probabilidade desse ser seu primeiro acidente? Resp.: 0,54

---

Ross (2010, p. 66)

Três candidatos: João, Maria e Leonel, disputam a presidência do diretório de estudantes de uma universidade. Uma prévia eleitoral mostra que suas chances de vencer são respectivamente 0,5; 0,3 e 0,2. As probabilidades de que eles venham a promover um festival de música se eles forem eleitos são 0,7; 0,6 e 0,9, respectivamente. Qual é a probabilidade de que um festival de música sejam promovido depois da eleição? (Faça um diagrama de árvores) Resp.: 0,71

Ross (2010, p. 66)

Suponha que um fabricante de sorvetes recebe 20% de todo o leite que utiliza de uma fazenda  $F_1$ , 30% de uma fazenda  $F_2$  e 50% de  $F_3$ . Um órgão de fiscalização inspecionou as fazendas de surpresa e observou que 20% do leite produzido por  $F_1$  estava adulterado por adição de água, enquanto que para  $F_2$  e  $F_3$ , essa proporção era de 5% e 2% respectivamente. Na indústria de sorvete os galões de leite são armazenados em refrigeradores sem identificação das fazendas. Para um galão escolhido ao acaso, Qual a probabilidade do leite estar adulterado? (Faça um diagrama de árvores) Resp.: 6,5%

---

Magalhães & Lima (2015, p. 58)

Sabe-se que 80% dos pênaltis marcados a favor do Brasil são cobrados por jogadores da Jataiense. A probabilidade de um pênalti ser convertido é de 40% se o jogador for da Jataiense e de 70% caso contrário. Um pênalti a favor do Brasil acabou de ser marcado. Qual a probabilidade do pênalti ser cobrado por um jogador da Jataiense e ser convertido? (Faça um diagrama de árvores) Resp.: 0,32.

---

Morgado et al. (1991, p 159)

Durante o mês de agosto a probabilidade de chuva em um dia determinado é de  $\frac{4}{10}$ . Uma equipe de futebol ganha um jogo em um dia de chuva com probabilidade  $\frac{6}{10}$  e em um dia sem chuva com probabilidade de  $\frac{4}{10}$ . Qual a probabilidade da equipe ganhar? (Faça um diagrama de árvores) Resp.: 0,48

---

Morgado et al. (1991, p. 164)

# Teorema de Bayes



## Teorema de Bayes

Se  $B$  é um evento contido numa união de eventos disjuntos  $A_1, \dots, A_n$  e  $\mathbb{P}(A_1) > 0, \dots, \mathbb{P}(A_n) > 0$ . Então:

$$\mathbb{P}(B) = \sum_{i=1}^n \mathbb{P}(A_i) \mathbb{P}(B|A_i).$$

Nessas condições, se  $\mathbb{P}(B) > 0$ , então, para  $i = 1, \dots, n$ :

$$\mathbb{P}(A_i|B) = \frac{\mathbb{P}(A_i \cap B)}{\mathbb{P}(B)} = \frac{\mathbb{P}(A_i) \mathbb{P}(B|A_i)}{\sum_{i=1}^n \mathbb{P}(A_i) \mathbb{P}(B|A_i)}$$



Pelo fato de um novo procedimento médico ter se mostrado efetivo na detecção prévia de uma doença, propôs-se um rastreamento médico da população. A probabilidade de o teste identificar corretamente alguém com a doença, dando positivo, é 0,99, e a probabilidade de o teste identificar corretamente alguém sem a doença, dando negativo, é de 0,95. A incidência da doença na população em geral é 0,0001. Você fez o teste e o resultado foi positivo. Qual a probabilidade de você ter a doença?

---

Fonte: Montgomery & Runger (2018, p. 30) (Adaptado).

Sabe-se que 80% dos pênaltis marcados a favor do Brasil são cobrados por jogadores da Jataiense. A probabilidade de um pênalti ser convertido é de 40% se o jogador for da Jataiense e de 70% caso contrário. Um pênalti a favor do Brasil acabou de ser marcado: (Faça um diagrama de árvores)

- a Qual a probabilidade do pênalti ser convertido? Resp.: 0,46.
- b Um pênalti a favor do Brasil acabou de ser perdido. Qual a probabilidade do jogador que cobrou o pênalti tenha sido da Jataiense? Resp.: 0,88.

---

Morgado et al. (1991, p 159)

Suponha que o tratamento do doutor Silva é tal que existe uma chance de que o seu paciente morra, ainda que seu diagnóstico tenha sido correto. A chance de que seu diagnóstico esteja errado é de 10%. A chance de que o paciente morra se o diagnóstico está errado é de 90% e, caso contrário, é de 5%. Sabe-se que um paciente do doutor Silva morreu hoje. Qual a probabilidade de que tenha ocorrido um erro no diagnóstico? (Faça um diagrama de árvores)

Resp.:  $2/3$

Considere três eventos  $A$ ,  $B$  e  $C$  tais que  $\mathbb{P}(A) > 0$ ,  $\mathbb{P}(B) > 0$  e  $\mathbb{P}(C) > 0$ . Demonstre o **Teorema de Bayes com condicionamento**:

$$\mathbb{P}(A|B \cap C) = \frac{\mathbb{P}(B|A \cap C)\mathbb{P}(A|C)}{\mathbb{P}(B|C)}.$$

Num exame há 3 respostas para cada pergunta e apenas uma delas é a certa. Portanto, para cada pergunta, um aluno tem probabilidade  $1/3$  de escolher a resposta certa se ele está adivinhando a resposta e probabilidade 1 se sabe a resposta. Um estudante sabe 30% das perguntas do exame. (Faça um diagrama de árvores)

- a Qual a probabilidade do aluno acertar uma questão em particular? R.:  $8/15$
- b Se ele deu a resposta correta para uma das perguntas, qual é a probabilidade de que a adivinhou? R.: 0,44

---

Morgado et al. (1991, p. 165)

Três urnas *I*, *II* e *III* contêm respectivamente 1 bola branca e 2 pretas, 2 brancas e 1 preta e 3 brancas e 2 pretas. Uma urna é escolhida ao acaso e dela é retirada uma bola, que é branca. Qual é a probabilidade condicional de que a urna escolhida foi a urna *I*? (Faça um diagrama de árvores) R.:  $\frac{5}{24}$



Em uma certa comunidade, 36% das famílias possuem um cachorro e 22% das famílias que possuem um cachorro também possuem um gato. Sabendo que 30% das famílias possuem um gato determine:

- a A probabilidade de que uma família selecionada aleatoriamente possua um gato e um cachorro? R.: 0,0792
- b A probabilidade condicional de que uma família selecionada aleatoriamente possua um cachorro dado que já possui um gato. R.: 0,264

(Faça um diagrama de árvores)

---

Ross (2010, p. 102)

Duas máquinas  $A$  e  $B$  produzem 3 mil peças em um dia. A máquina  $A$  produz mil peças, das quais 3% são defeituosas. A máquina  $B$  produz as restantes 2 mil, das quais 1% são defeituosas. Da produção total de um dia uma peça é escolhida ao acaso e, examinando-a, constata-se que é defeituosa. Qual é a probabilidade de que a peça tenha sido produzida pela máquina  $A$ ? (Faça um diagrama de árvores) R.:  $\frac{3}{5}$

Um geólogo tem em seu laboratório dez amostras de solo tipo  $A$  e dez amostras de solo tipo  $B$ . Para um experimento ele seleciona ao acaso 15 amostras para serem analisadas.

- a) Quais os possíveis valores para o número de amostras do tipo  $B$  que são selecionadas e quais suas probabilidades. R.:  $X \in \{5, \dots, 10\}$
- b) Qual a probabilidade de que a seleção contenha todas as dez amostras do tipo  $A$  ou todas as dez amostras do tipo  $B$ ? R.: 0,0326
- c) Qual a probabilidade de que o número de amostras tipo  $B$  selecionadas diste não mais que um desvio padrão da média? R.: 0,6966

Durante o mês de agosto a probabilidade de chuva em um dia determinado é de  $\frac{4}{10}$ . Uma equipe de futebol ganha um jogo em um dia de chuva com probabilidade  $\frac{6}{10}$  e em um dia sem chuva com probabilidade de  $\frac{4}{10}$ . (Faça um diagrama de árvores)

- a Qual a probabilidade da equipe ganhar? Resp.: 0,48
- b Sabendo que essa equipe ganhou um jogo em um dia do mês de agosto, qual a probabilidade de que choveu nesse dia? Resp.:  $\frac{1}{2}$

---

Morgado et al. (1991, p. 164)

Um estudante resolve um teste com questões do tipo verdadeiro-falso. Ele sabe dar a solução correta para 40% das questões. Quando ele responde uma questão cuja solução conhece ele dá a resposta correta, e nos outros casos decide na cara ou coroa. Se uma questão foi respondida corretamente, qual é a probabilidade de que ele saiba a resposta? (Faça um diagrama de árvores) R.:  $\frac{4}{7}$

Os colégios  $A$ ,  $B$  e  $C$  têm as seguintes porcentagens de rapazes, respectivamente: 40%, 20% e 10%. Um desses colégios é selecionado ao acaso e oito alunos são escolhidos, com reposição. Se a sequência de escolhidos for  $RRRMMMMM$  ( $R$  para rapaz e  $M$  para moça), qual é a probabilidade de ter sido selecionado o colégio  $C$ ? (Faça um diagrama de árvores). Resp.: 0,072

---

Bussab & Morettin (2013, p. 128)

Uma moeda é jogada 6 vezes. Sabendo-se que o número de caras superou o de coroas, calcule a probabilidade de que no primeiro lançamento tenhamos obtido uma coroa. (Construa um diagrama de árvores)

Consideremos dois dados: um deles equilibrado e outro viciado com  $\mathbb{P}\{1\} = 1/2$  e  $\mathbb{P}\{2\} = \mathbb{P}\{3\} = \mathbb{P}\{4\} = \mathbb{P}\{5\} = \mathbb{P}\{6\} = 1/10$ . Escolhe-se um dos dados ao acaso e se efetuam dois lançamentos, obtendo-se dois uns. Qual a probabilidade condicional de que o dado escolhido tenha sido o viciado?

Resp.:  $9/10$

Morgado et al. (1991, p 161)



Duas lâmpadas queimadas foram acidentalmente misturadas com seis lâmpadas boas. Se vamos testando as lâmpadas, uma por uma, até encontrar duas defeituosas, qual é a probabilidade de que a última defeituosa seja encontrada no quarto teste?

---

Bussab & Morettin (2013, p. 126)

Em um teste de múltipla escolha se o estudante não souber a resposta de uma questão ele marca aleatoriamente uma das alternativas. Suponha que cada questão tenha  $n$  alternativas e que a probabilidade do estudante saber a resposta de uma questão é  $p$ . Qual a probabilidade do estudante saber a resposta de uma questão se ele a respondeu corretamente?

$$\text{R.: } \frac{np}{1 + (n - 1)p}$$

Ross (2010, p. 67)

Num programa de TV, o objetivo é ganhar um carro como prêmio. O apresentador do programa mostra a você três portas,  $A$ ,  $B$  e  $C$ : atrás de uma porta há um carro e das demais não há nada. Ele pede a você para escolher uma porta, você escolhe  $A$ , mas essa não é aberta de imediato. Então, o apresentador abre a porta  $C$  e ela está vazia (ele sabe onde está o carro!). Então ele pergunta se você quer mudar sua escolha. O que você faria?

Selvin et al. (1975)



Considere  $k$  pessoas numa sala.

- 1 Qual a probabilidade de que pelo menos duas pessoas façam aniversário no mesmo dia e mês?
- 2 A partir de qual valor de  $k$  essa probabilidade é maior que 0,5?

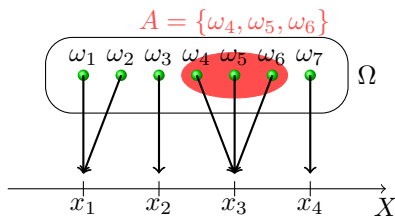
Mckinney (1966)



# Variáveis Aleatórias Discretas

## Variável Aleatória

Seja  $\Omega$  um espaço amostral definido para um determinado experimento aleatório. Uma **variável aleatória** associada à esse experimento é uma função real com domínio em  $\Omega$ .



A figura acima define um espaço amostral  $\Omega$  composto por sete eventos elementares:

$$\Omega = \{\omega_1, \dots, \omega_7\}.$$

Também define uma variável aleatória  $X$  que associa um número real a cada um desses eventos elementares de  $\Omega$ .

A associação feita é a seguinte:

$$\{\omega_1, \omega_2\} \rightarrow x_1$$

$$\{\omega_3\} \rightarrow x_2$$

$$A = \{\omega_4, \omega_5, \omega_6\} \rightarrow x_3$$

$$\{\omega_7\} \rightarrow x_4$$

Portanto:

$$\mathbb{P}(X = x_1) = \mathbb{P}(\omega_1 \cup \omega_2)$$

$$\mathbb{P}(X = x_2) = \mathbb{P}(\omega_3)$$

$$\mathbb{P}(X = x_3) = \mathbb{P}(\omega_4 \cup \omega_5 \cup \omega_6) = \mathbb{P}(A)$$

$$\mathbb{P}(X = x_4) = \mathbb{P}(\omega_7)$$

## Variável Aleatória Discreta

Uma variável aleatória é discreta quando seu conjunto de valores possíveis (que apresentam probabilidade positiva) é **finito** ou **enumerável**.

## Função de Distribuição de Probabilidade (FDP)

Seja  $X$  uma variável aleatória discreta assumindo valores num conjunto finito ou enumerável  $\{x_1, x_2, \dots\}$ . Uma **função de distribuição de probabilidade** (FDP) para  $X$  é qualquer função  $f(x_i) = \mathbb{P}(X = x_i)$  onde:

①  $0 \leq f(x_i) \leq 1$  para todo  $x_i$

②  $\sum_i f(x_i) = 1$

## Função de Distribuição Acumulada (FDA)

Associada essa mesma variável aleatória  $X$  define-se a **função de distribuição acumulada** (FDA) como:

$$F(x) = \mathbb{P}(X \leq x), \quad x \in \mathbb{R}.$$



## Exercício Canal Digital

Há uma chance de que um *bit* transmitido por meio de um canal de transmissão digital seja recebido com um erro. Seja  $X$  o número de *bits* com erro nos quatro próximos bits transmitidos. Os valores possíveis para  $X$  são  $\{0, 1, 2, 3, 4\}$ . Baseando-se em um modelo para os erros (que será apresentado na seção seguinte), as probabilidades para esses valores serão determinadas. Suponha que as probabilidades sejam:

$$\mathbb{P}(X = 0) = 0,6561$$

$$\mathbb{P}(X = 1) = 0,2916$$

$$\mathbb{P}(X = 2) = 0,0486$$

$$\mathbb{P}(X = 3) = 0,0036$$

$$\mathbb{P}(X = 4) = 0,0001$$

Qual a FDP da variável aleatória  $X$  e sua FDA? Faça um gráfico para cada uma dessas funções.

### Exemplo: Tempo de recarga de *flash*

O tempo para recarregar o *flash* é testado em três câmeras de celulares. A probabilidade de uma câmera passar no teste é de  $\frac{4}{5}$ ; as câmeras trabalham independentemente. Seja a variável aleatória  $X$  como sendo a quantidade de câmeras que passam no teste. O espaço amostral para o experimento e as probabilidades associadas são mostrados à seguir:

Câmera	Câmera	Câmera	Probabilidade	$X$
Passa	Passa	Passa	0,512	3
Passa	Passa	Falha	0,128	2
Falha	Passa	Passa	0,128	2
Passa	Falha	Passa	0,128	2
Passa	Falha	Falha	0,032	1
Falha	Passa	Falha	0,032	1
Falha	Falha	Passa	0,032	1
Falha	Falha	Falha	0,008	0

A última coluna da tabela mostra os possíveis valores assumidos pela variável aleatória  $X$ . Qual a FDP da variável aleatória  $X$  e sua FDA? Faça um gráfico para cada uma dessas funções.

Suponha o experimento de jogar três moedas honestas. Seja  $X$  o número de caras que apareceram ao final dos três lançamentos. Defina um espaço amostral para esse experimento aleatório e calcule  $\mathbb{P}(X = i)$  para  $i \in \mathbb{R}$ .

Ross (2010, p. 117)

Suponha o experimento de jogar três moedas tais que a probabilidade de sair cara é  $p$ . Seja  $X$  o número de caras que apareceram ao final dos três lançamentos. Defina um espaço amostral para esse experimento aleatório e calcule  $\mathbb{P}(X = i)$  para  $i \in \mathbb{R}$ . Faça um gráfico para a FDP e FDA de  $X$  assumindo que  $p = 1/2$ .

Duas bolas são retiradas aleatoriamente sem reposição de uma urna contendo 8 bolas numeradas de 1 à 8. Determine a FDP da variável aleatória:

$$X = \text{“Maior número sorteado.”}$$

Se fizermos uma aposta que ao menos uma das bolas tenha um número maior ou igual à 6, qual é a probabilidade de vencermos essa aposta, ou seja  $\mathbb{P}(X \geq 6)$ ? Repita o exercício assumindo sorteio com reposição.

Um experimento consiste em jogar sucessivamente uma moeda honesta até a ocorrência da primeira cara ou até o  $n$ -ésimo lançamento da moeda. Seja  $X$  o total de lançamentos feitos nesse experimento. Determine:

- a  $\mathbb{P}(X = 1)$
- b  $\mathbb{P}(X = k), \quad k < n$
- c  $\mathbb{P}(X = n)$

Um experimento consiste em jogar sucessivamente uma moeda com probabilidade de sair cara igual à  $p$  até a ocorrência da primeira cara ou até o  $n$ -ésimo lançamento da moeda. Seja  $X$  o total de lançamentos feitos nesse experimento. Determine:

- a  $\mathbb{P}(X = 1)$
- b  $\mathbb{P}(X = k), \quad k < n$
- c  $\mathbb{P}(X = n)$

Duas bolas são simultaneamente sorteadas de uma urna contendo 3 bolas azuis, 3 vermelhas e 5 amarelas. Suponha que eu ganhe \$1 por cada bola azul sorteada e perca \$1 por cada bola vermelha. Seja  $X$  o ganho obtido com a retirada de duas bolas dessa urna. Determine:

- a Os possíveis valores que a variável aleatória  $X$  pode assumir.
- b As probabilidades de que  $X$  assuma cada um desses valores.
- c Determine a FDP e a FDA da variável aleatória  $X$
- d Faça o gráfico da FDP e da FDA.

---

Ross (2010, p. 119)



Duas bolas são simultaneamente sorteadas de uma urna contendo 8 bolas brancas, 4 pretas e 2 laranjas. Suponha que eu ganhe \$2 por cada bola preta sorteada e perca \$1 por cada bola branca. Seja  $X$  o ganho obtido com a retirada de duas bolas dessa urna. Determine:

- a Os possíveis valores que a variável aleatória  $X$  pode assumir.
- b As probabilidades de que  $X$  assumira cada um desses valores.
- c Determine a FDP e a FDA da variável aleatória  $X$
- d Faça o gráfico da FDP e da FDA.

Dois dados honestos são jogados. Seja  $X$  o produto das duas faces obtidas. Calcule  $\mathbb{P}(X = i)$  para  $i \in \{1, \dots, 36\}$ .

---

Ross (2010, p. 172)

Verifique se as funções a seguir são FDPs e ilustre seus gráficos:

$$\text{a) } f(x) = \begin{cases} 1/8 & \text{se } x = 1 \\ 3/8 & \text{se } x = 2 \\ 1/4 & \text{se } x = 3 \\ 1/4 & \text{se } x = 4 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\text{b) } f(x) = \begin{cases} 1/3 & \text{se } x = 1 \\ 2/3 & \text{se } x = 0 \\ 1/3 & \text{se } x = 2 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\text{c) } f(x) = \begin{cases} 1/2^x & \text{se } x = 1, 2, 3, \dots \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\text{d) } f(x) = \begin{cases} 2/3^x & \text{se } x = 1, 2, 3, \dots \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\text{e) } f(x) = \begin{cases} 1/2^x & \text{se } x = 1, 2, 3, \dots \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Existe  $k$  para que as funções a seguir sejam FDPs?

- a  $f(x) = \begin{cases} k/4 & \text{se } x = 10 \\ k/2 & \text{se } x = 12 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$
- b  $f(x) = \begin{cases} kx^2 & \text{se } x = 3, \dots, 6 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$
- c  $f(x) = \begin{cases} k/2 & \text{se } x = 0 \\ -k/3 & \text{se } x = 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$

---

(Rathie & Zörnig, 2012, p. 102)

Obter a FDA para as FDPs à seguir e ilustrar os seus gráficos:

$$\text{a) } f(x) = \begin{cases} 1/4 & \text{se } x = -1 \\ 1/4 & \text{se } x = 0 \\ 2/4 & \text{se } x = 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\text{b) } f(x) = \begin{cases} 0,2 & \text{se } x = -15 \\ 0,4 & \text{se } x = -10 \\ 0,3 & \text{se } x = 0 \\ 0,1 & \text{se } x = 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\text{c) } f(x) = \begin{cases} 1/2^x & \text{se } x = 1, 2, 3, \dots \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\text{d) } f(x) = \begin{cases} \frac{2}{3} \left(\frac{1}{3}\right)^{x-1} & \text{se } x = 1, 2, 3, \dots \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Com os dados do último censo, a assistente social de um Centro de Saúde constatou que para as famílias da região, 20% não têm filhos, 30% têm um filho, 35% têm dois e as restantes se dividem igualmente entre três, quatro ou cinco filhos. Suponha que uma família será escolhida, aleatoriamente, nessa região e o número de filhos averiguado. Qual a FDP da variável aleatória número de filhos?

---

(Magalhães & Lima, 2015, p. 70)

Considere um jogo onde se lançam dois tetraedros (dados de quatro faces, com faces enumeradas de 1 à 4) distintos e não-viciados. Suponha que nesse jogo você ganhe R\$5,00 quando a soma dos dados for superior à 6. Ganhe R\$3,00 quando a soma for 5 ou 6 e perca R\$4,00 quando a soma for menor que 5. Qual é a distribuição dos ganhos possíveis?

Considere os experimentos aleatórios:

- A Lançar três moedas distintas e observar o número de caras.
- B Sortear duas bolas em uma urna contendo 3 bolas azuis, 4 bolas verdes e 5 bolas roxas e observar o número de bolas azuis.
- C Lançar dois tetraedros (dados de quatro faces, com faces enumeradas de 1 à 4) distintos e não-viciados e observar a soma das faces.

Determine a FDP:

- a Do número de caras no experimento A?
- b Do número de bolas azuis no experimento B considerando que o sorteio é:
  - i com reposição;
  - ii sem reposição
- c Da soma das faces que saem para cima no experimento C?



Na construção de um certo prédio, as fundações devem atingir 15 metros de profundidade e, para cada 5 metros de estacas colocadas, o operador anota se houve alteração no ritmo de perfuração previamente estabelecido. Essa alteração é resultado de mudanças para mais ou para menos, na resistência do subsolo. Nos dois casos, medidas corretivas serão necessárias, encarecendo o custo da obra. Com base em evidências geológicas admite-se que a probabilidade de ocorrência de alterações é de 0,1 para cada 5 metros. O custo básico inicial é de 100UPCs (unidade padrão de construção) e será acrescido de  $50k$ , com  $k$  representando o número de alterações observadas. Assumindo que as alterações ocorrem independentemente entre cada um dos três intervalos de 5 metros, qual a função de distribuição de probabilidade da variável custo das obras de fundação?

---

Magalhães & Lima (2015, p. 71)

Considere dois lançamentos independentes de uma moeda equilibrada. Defina  $X$  como o número de caras nos dois lançamentos. Quais são as FDP e FDA associadas a essa variável aleatória? Exiba os gráficos correspondentes.

Uma população de 1000 crianças foi analisada num estudo para determinar a efetividade de uma vacina contra um tipo de alergia. No estudo, as crianças recebiam uma dose de vacina e, após um mês, passavam por um novo teste. Caso ainda tivessem alguma reação alérgica, recebiam outra dose da vacina. Ao fim de 5 doses todas as crianças foram consideradas imunizadas. Os resultados completos estão na tabela a seguir.

Doses	1	2	3	4	5
freq.	245	288	256	145	66

Determine a FDP e a FDA para a variável aleatória número de doses recebidas. Qual a probabilidade de uma criança receber:

- a) três doses?
- b) no máximo duas doses?
- c) no mínimo três doses?

(Magalhães & Lima, 2015, p. 75)

## Valor esperado e variância de uma variável aleatória discreta

### Valor esperado de uma variável aleatória discreta

Seja  $X$  uma variável aleatória discreta com uma FDP  $f(x)$ . Sua média ou valor esperado é dado por:

$$\mathbb{E}(X) = \sum_x x f(x).$$

### Valor esperado de uma função de uma variável aleatória discreta

Seja  $X$  uma variável aleatória discreta com FDP  $f(x)$  e  $h(x)$  uma função qualquer. A média ou valor esperado da variável transformada  $h(X)$  é dado por:

$$\mathbb{E}[h(X)] = \sum_x h(x) f(x).$$

## Variância de uma variável aleatória discreta

Seja  $X$  uma variável aleatória discreta com FDP  $f(x)$ :

$$\text{var}(X) = \sum_x [x - \mathbb{E}(X)]^2 f(x)$$

## Desvio padrão de uma variável aleatória discreta

O desvio padrão de  $X$  é dado por:

$$dp(X) = \sqrt{\text{var}(X)}$$

## Variância de uma variável aleatória discreta

SE  $X$  é variável aleatória discreta, então:

$$\text{var}(X) = \mathbb{E}(X^2) - \mathbb{E}^2(X)$$

## Variância de uma variável aleatória discreta

Se  $X$  for uma variável aleatória discreta e  $h(X) = aX + b$ , onde  $a$  e  $b$  são constantes, então:

a  $\mathbb{E}(aX + b) = a\mathbb{E}(X) + b$

b  $\text{var}(aX + b) = a^2\text{var}(X)$

Há uma chance de que um *bit* transmitido por meio de um canal de transmissão digital seja recebido com um erro. Seja  $X$  o número de *bits* com erro nos quatro próximos bits transmitidos. Os valores possíveis para  $X$  são  $\{0, 1, 2, 3, 4\}$ . Baseando-se em um modelo para os erros, as probabilidades para esses valores serão determinadas. Suponha que as probabilidades sejam:

$$\mathbb{P}(X = 0) = 0,6561$$

$$\mathbb{P}(X = 1) = 0,2916$$

$$\mathbb{P}(X = 2) = 0,0486$$

$$\mathbb{P}(X = 3) = 0,0036$$

$$\mathbb{P}(X = 4) = 0,0001$$

Calcule a média e a variância de  $X$ .

---

Montgomery & Runger (2018, p. 37)



Dois novos projetos de um produto devem ser comparados, baseando-se no seu potencial de retorno. O setor de comercialização (*marketing*) sente que o retorno do Projeto A pode ser previsto bem acuradamente como US\$ 3 milhões de dólares. O potencial de retorno do Projeto B é mais difícil de estimar. O setor de comercialização conclui que há uma probabilidade de 0,3 de que o retorno do Projeto B seja de US\$ 7 milhões de dólares, mas há uma probabilidade de igual à 0,7 de que o retorno seja de apenas US\$ 2 milhões.

- a Calcule a média e a variância do retorno de cada um dos projetos.
- b Qual a interpretação para a média e a variância nesse problema?
- c Qual projeto é o mais “arriscado”?
- d Suponha que os retornos possíveis para o projeto B tenha sido recalculados e reduzidos em 15%. Como ficam as novas medidas da média e da variância nesse caso?

---

Montgomery & Runger (2018, p. 37)

Obter  $\mathbb{E}(X)$ ,  $\mathbb{E}(X^2)$ ,  $\mathbb{E}|X|$ ,  $\mathbb{E}(3X - 5)$ ,  $\text{var}(X)$ ,  $\text{var}(3X - 5)$  para a função de distribuição de probabilidades:

$$f(x) = \begin{cases} 1/4 & \text{se } x = -1 \\ 1/4 & \text{se } x = 0 \\ 2/4 & \text{se } x = 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Obter  $\mathbb{E}(X)$ ,  $\mathbb{E}(X^2)$ ,  $\mathbb{E}|X|$ ,  $\mathbb{E}(3X - 5)$ ,  $\text{var}(X)$ ,  $\text{var}(3X - 5)$  para a função de distribuição de probabilidades:

$$f(x) = \begin{cases} 0,2 & \text{se } x = -15 \\ 0,4 & \text{se } x = -10 \\ 0,3 & \text{se } x = 0 \\ 0,1 & \text{se } x = 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Obter  $\mathbb{E}(X)$ ,  $\mathbb{E}(X^2)$ ,  $\mathbb{E}|X|$ ,  $\mathbb{E}(3X - 5)$ ,  $\text{var}(X)$ ,  $\text{var}(3X - 5)$  para a função de distribuição de probabilidades:

$$f(x) = \begin{cases} 1/2^x & \text{se } x = 1, 2, 3, \dots \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Obter  $\mathbb{E}(X)$ ,  $\mathbb{E}(X^2)$ ,  $\mathbb{E}|X|$ ,  $\mathbb{E}(3X - 5)$ ,  $\text{var}(X)$ ,  $\text{var}(3X - 5)$  para a função de distribuição de probabilidades:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2}{3} \left(\frac{1}{3}\right)^{x-1} & \text{se } x = 1, 2, 3, \dots \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Considere  $X$  como o número de caras obtidas no lançamento de quatro moedas, onde cada uma delas foi cunhada de modo que a probabilidade de dar cara seja quatro vezes menor do que de dar coroa. Determine:

- a A função de distribuição de probabilidade para  $X$ .
- b A função de distribuição acumulada para  $X$ .
- c A probabilidade de obtermos
  - i exatamente uma cara;
  - ii pelo menos uma cara;
  - iii no máximo três caras.
- d A probabilidade de que  $X$  não diste mais de um desvio padrão em torno da média.

Um florista fez estoque de uma flor que lhe custa R\$0,50 e que ele vende à R\$1,50 no primeiro dia em que a flor está na loja. Toda flor que não é vendida nesse primeiro dia não serve mais e é jogada fora. Seja  $X$  a variável aleatória que denota o número de flores que os fregueses compram em um dia casualmente escolhido. O florista descobriu que a FDP de  $X$  é dada pela tabela abaixo:

$k$	0	1	2	3
$\mathbb{P}(X = k)$	0,1	0,4	0,3	0,2

Quantas flores o florista deveria ter em estoque a fim de maximizar o seu lucro? R.:  
2 flores

Seja  $X$  uma variável aleatória que assuma apenas os valores  $-1$ ,  $0$  e  $1$ . Sabendo que  $\mathbb{P}(X = -1) = 1/5$  e  $\mathbb{P}(X = 0) = 1/2$ . Determine:

- a  $\mathbb{P}(X = 1)$
- b  $\mathbb{E}(X^2)$
- c  $\mathbb{P}(X = 1|X > 0)$

---

Ross (2010, p. 66)



Considere o experimento de lançar três moedas distintas (cada moeda é lançada apenas uma vez) e observar o número de caras. Encontre a FDP a FDA a média e a variância para a variável número de caras.

Considere o experimento de sortear (sem reposição) duas bolas em uma urna contendo 3 bolas azuis, 4 bolas verdes e 5 bolas roxas e observar o número de bolas azuis. Encontre a FDP a FDA a média e a variância para a variável número de bolas azuis obtidas. Refaça o exercício assumindo sorteio com reposição e compare os valores das médias. A que conclusão você chega?

Considere o experimento de lançar dois tetraedros (dados de quatro faces, com faces enumeradas de 1 à 4) distintos e não-viciados e observar a soma das faces. Encontre a FDP a FDA a média e a variância para a variável soma das faces dos tetraedros.

Uma moeda honesta é lançada três vezes. Considere as seguintes variáveis aleatórias observadas nesse experimento:

- Ⓐ número de caras
- Ⓑ número de sequências de resultados iguais consecutivos

Calcule os valores esperados de  $A$ ,  $B$  e  $A + B$ .

---

Carvalho (2016, p. 19)

Um vendedor de equipamento pesado pode visitar, num dia, um ou dois clientes, com probabilidade de  $1/3$  ou  $2/3$ , respectivamente. De cada contato pode resultar a venda de um equipamento por R\$50.000,00 (com probabilidade  $1/10$ ) ou nenhuma venda (com probabilidade  $9/10$ ).

- a Qual a FDP do número de vendas diárias?
- b Qual o valor médio do número de vendas?
- c Qual a variância e o desvio padrão do número de vendas?

Um empresário pretende estabelecer uma firma para montagem de um produto composto de uma esfera e um cilindro. As partes são adquiridas em fábricas diferentes, e a montagem consistirá em juntar as duas partes e pintá-las. O produto acabado deve ter o comprimento (definido pelo cilindro) e a espessura (definido pela esfera) dentro de certos limites, e isso só poderá ser verificado após a montagem. O empresário quer ter uma ideia da distribuição do lucro por peça montada. Cada componente pode ser classificado como bom, longo ou curto, conforme sua medida esteja dentro da especificação, maior ou menor que a especificada, respectivamente. Cada componente tem custo igual à R\$5,00. As probabilidades de cada componente ter as características bom, longo e curto estão tabuladas abaixo. Se no produto final algum componente tiver a característica curto este será vendido como sucata por R\$5,00. Cada componente longo poderá ser recuperado a um custo adicional de R\$5,00. O preço de venda de cada unidade é R\$25,00. Seja  $X$  o valor do lucro por conjunto montado. (Bussab & Morettin, 2013, p. 133)

Produto	Cilindro	Esfera
bom (B)	0,80	0,70
longo (L)	0,10	0,20
curto (C)	0,10	0,10

- a Como seria a distribuição de frequência do lucro por conjunto montado?
- b Encontre a FDA correspondente e calcule  $\mathbb{P}(X \leq 13)$  e  $\mathbb{P}(X \geq 7)$ .
- c Obtenha a média, a variância e o desvio padrão para a variável lucro por conjunto montado no problema do empresário?
- d Suponha que nesse problema tenha ocorrido uma alteração em todos os preços orçados, todos passam a custar o triplo acrescidos de R\$2,00. Qual será a nova esperança de lucro do empresário? E a nova distribuição do lucro?

## Exercício

Ref.:M1K4

Em um famoso jogo popular, o acertador deve apontar um dentre 25 resultados possíveis para um sorteio. Se acertar, ele recebe 18 vezes o valor apostado.

- Qual é o lucro (ou prejuízo) médio diário que deve ser esperado por alguém que aposte diariamente 1 real nesse jogo por um longo período de tempo?
- Qual deveria ser o valor mínimo a ser recebido ao acertar uma aposta, para que o valor esperado fosse positivo?

01  AVESTRUZ 01 02 03 04	02  ÁGUIA 05 06 07 08	03  BURRO 09 10 11 12	04  BORBOLETA 13 14 15 16	05  CACHORRO 17 18 19 20
06  CABRA 21 22 23 24	07  CARNEIRO 25 26 27 28	08  CAMELO 29 30 31 32	09  COBRA 33 34 35 36	10  COELHO 37 38 39 40
11  CAVALO 41 42 43 44	12  ELEFANTE 45 46 47 48	13  GALO 49 50 51 52	14  GATO 53 54 55 56	15  JACARÉ 57 58 59 60
16  LEÃO 61 62 63 64	17  MACACO 65 66 67 68	18  PORCO 69 70 71 72	19  PAVÃO 73 74 75 76	20  PERU 77 78 79 80
21  TOURO 81 82 83 84	22  TIGRE 85 86 87 88	23  URSO 89 90 91 92	24  VEADO 93 94 95 96	25  VACA 97 98 99 00

Carvalho (2016, p. 18)

Um geólogo tem em seu laboratório dez amostras de solo tipo  $A$  e dez amostras de solo tipo  $B$ . Para um experimento ele seleciona ao acaso 15 amostras para serem analisadas.

- a) Quais os possíveis valores para o número de amostras do tipo  $B$  que são selecionadas e quais suas probabilidades. R.:  $X \in \{5, \dots, 10\}$
- b) Qual a probabilidade de que a seleção contenha todas as dez amostras do tipo  $A$  ou todas as dez amostras do tipo  $B$ ? R.: 0,0326
- c) Qual a probabilidade de que o número de amostras tipo  $B$  selecionadas diste não mais que um desvio padrão da média? R.: 0,6966



Um poema de um autor desconhecido possui frases intrigantes. Este autor usa apenas 5 palavras do dicionário para compor as estrofes de seu poema, são elas  $\{“a”, “da”, “dama”, “cama”, “ela”\}$  com as probabilidades de ocorrências em uma estrofe  $\mathbb{P}(“a”) = 0,3$ ;  $\mathbb{P}(“da”) = \mathbb{P}(“dama”) + \mathbb{P}(“cama”)$  ;  $\mathbb{P}(“dama”) = 0,15$  ;  $\mathbb{P}(“cama”) = 0,1$ . Qual o número médio de caracteres que cada palavra de uma estrofe deste poema possui ?

## Referências

- Bussab, W. O. & P. A. Morettin (2013). *Estatística Básica*. São Paulo: Saraiva.
- Carvalho, P. C. P. (2016). O valor esperado de uma quantidade aleatória. *Revista do Professor de Matemática* (89), 18–23.
- Feller, W. (1968). *An Introduction to Probability and its Applications*, Volume 1. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Gelson Iezzi, Osvaldo Dolce, & David Degenszajn ans Roberto Périgo (2002). *Matemática - Volume único* (2 ed.). Atual.
- Magalhães, M. N. (2011). *Probabilidade e Variáveis Aleatórias* (3 ed.). São Paulo: EdUSP.
- Magalhães, M. N. & A. C. P. Lima (2015). *Noções de Probabilidade e Estatística* (7 ed.). São Paulo: EdUSP.
- Mckinney, E. H. (1966). Generalized birthday problem. *The American Mathematical Monthly* 73(4), 385–387.
- Montgomery, D. C. & G. C. Runger (2018). *Applied Statistics and Probability for Engineers* (7th ed.). Wiley.
- Morgado, A. C., J. B. P. Carvalho, P. C. P. Carvalho, & P. Fernandez (1991). *Análise Combinatória e Probabilidade* (9 ed.). Coleção do Professor de Matemática. SBM.

Peixoto, C. (2014). Álbum oficial da copa do mundo. *Revista do Professor de Matemática* (85), 46–48.

Rathie, P. N. & P. Zörnig (2012). *Teoria da Probabilidade*. Editora UnB.

Ross, S. M. (2010). *A First Course in Probability* (8 ed.). New York: Pearson Hall.

Selvin, S., M. Bloxham, A. I. Khuri, M. Moore, R. Coleman, G. R. Bryce, J. A. Hagans, T. C. Chalmers, E. A. Maxwell, & G. N. Smith (1975). Letters to the editor. *The American Statistician* 29(1), 67–71.

Weiss, N. A. (2012). *Introductory Statistics* (9 ed.). Addison-Wesley.