Segurança Computacional

Criptografia simétrica

Prof. Carlos Maziero

DInf UFPR, Curitiba PR

Julho de 2019

Conteúdo

Conceitos básicos

Criptografia

Origem da palavra:

- **Cryptos**: escondido, oculto
- **Graphos**: escrita

Técnicas para garantir a confidencialidade de dados

Também podem prover integridade e autenticidade

Não confundir com **esteganografia**!

Criptografia

Áreas de estudo:

- **Criptografia**: técnicas para codificar informações
- **Criptanálise**: técnicas para "quebrar" codificações
- **Criptologia**: área geral (criptografia + criptanálise)
- **Criptossistema**: conjunto de algoritmos para um tipo específico de criptografia

Criptografia

Elementos básicos:

- **Texto aberto**: informação a codificar (x)
- **Texto cifrado**: informação codificada (x')
- **Chave**: informação complementar secreta (k)
- **Cifrar**: transformar o texto aberto em cifrado ($x \xrightarrow{k} x'$)
- **Decifrar**: transformar o texto cifrado em aberto ($x' \xrightarrow{k} x$)
- **Cifrador**: mecanismo para cifrar/decifrar a informação

Notação matemática

Cifrar um texto aberto x usando uma chave k:

$$x' = \{x\}_k$$

Decifrar um texto cifrado x' usando uma chave k:

$$x = \{x'\}_k^{-1}$$

Cifragem e decifragem

O cifrador de César

Usado por Júlio César para se comunicar com seus generais

Cifrador de César com chave k

Cada caractere do texto aberto é substituído pelo k-ésimo caractere sucessivo no alfabeto

Exemplo:

Msg aberta m:	`Reunir todos os generais para o ataque`
m' com $k = 1$:	`Sfvojs upept pt hfofsbjt qbsb p bubrvf`
m' com $k = 2$:	`Tgwpkt vqfqu qu igpgtcku rctc q cvcswg`
m' com $k = 3$:	`Uhxqlu wrgrv rv jhqhudlv sdud r dwdtxh`

O cifrador de César

Para decifrar uma mensagem é necessário:

- A mensagem cifrada m'
- O valor de k usado para cifrar m (*chave criptográfica*)

ou:

- testar todos os valores possíveis para k
- Análise exaustiva (*brute force analysis*)

Espaço de chaves

Keyspace: número de chaves possíveis em um cifrador

O espaço de chaves do cifrador de César é 26 (alfabeto)

A análise de força bruta é trivial!

Princípio de Kerckhoffs (1883)

O segredo de uma técnica criptográfica não deve residir no algoritmo em si, mas no **espaço de chaves** que ele provê

Espaço de chaves

A criptografia moderna:

- se baseia em algoritmos públicos bem avaliados
- usa espaços de chaves MUITO grandes
- torna inviável a análise exaustiva

Exemplo: AES com chaves de 128 bits: 2^{128} chaves possíveis

340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456 chaves!

Testando um bilhão (10^9) de chaves por segundo, precisaremos de **10 sextilhões de anos** para testar todas as chaves!

O cifrador de Vernam-Mauborgne

Inventado por Gilbert Vernam e Joseph Mauborgne em 1917

Também conhecido como “One-Time Pad”

Princípio:

- operação XOR ($\oplus$) entre o texto aberto e uma chave
- o texto e a chave devem ter o mesmo tamanho t
- espaço de chaves: 2^t

O cifrador de Vernam-Mauborgne

Seja uma mensagem x e uma chave k, ambas com t bytes:

Operação de **cifragem**:

$$x' = x \oplus k, \text{ ou seja, } \forall i \in [1...t], x'_i = x_i \oplus k_i$$

Operação de **decifragem**:

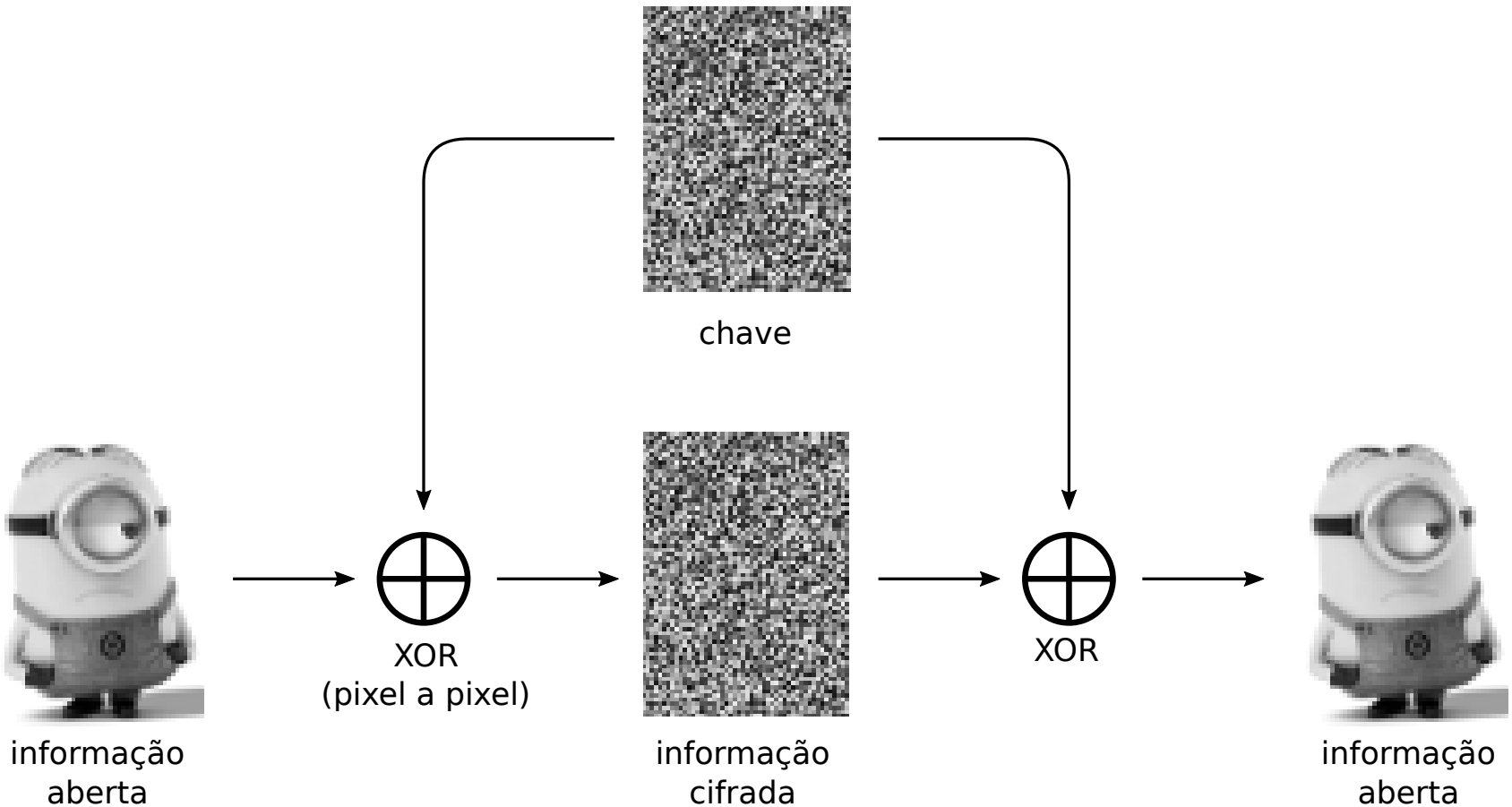
$$x = x' \oplus k, \text{ ou seja, } \forall i \in [1...t], x_i = x'_i \oplus k_i$$

Exemplo com m="TOMATE" e k="ABCEDF"

x (texto) k (chave)	T A	O B	M C	A D	T E	E F
x (ASCII) k (ASCII)	84 65	79 66	77 67	65 68	84 69	69 70
x (bin) k (bin)	01010100 01000001	01001111 01000010	01001101 01000011	01000001 01000100	01010100 01000101	01000101 01000110
$x' = x \oplus k$ x' (ASCII)	00010101 21	00001101 13	00001110 14	00000101 5	00010001 17	00000011 3

x' k (chave)	00010101 01000001	00001101 01000010	00001110 01000011	00000101 01000100	00010001 01000101	00000011 01000110
$x' \oplus k$ (ASCII) (texto)	01010100 84 T	01001111 79 O	01001101 77 M	01000001 65 A	01010100 84 T	01000101 69 E

O cifrador de Vernam-Mauborgne



O cifrador de Vernam-Mauborgne

É o único cifrador realmente “inquebrável”!

Requisitos da chave:

- ser realmente aleatória
- ser mantida secreta
- **ter o mesmo tamanho da informação a cifrar**
- **nunca ser reutilizada**

Pouco usado, devido a essas restrições

Algoritmos simétricos

Algoritmos simétricos

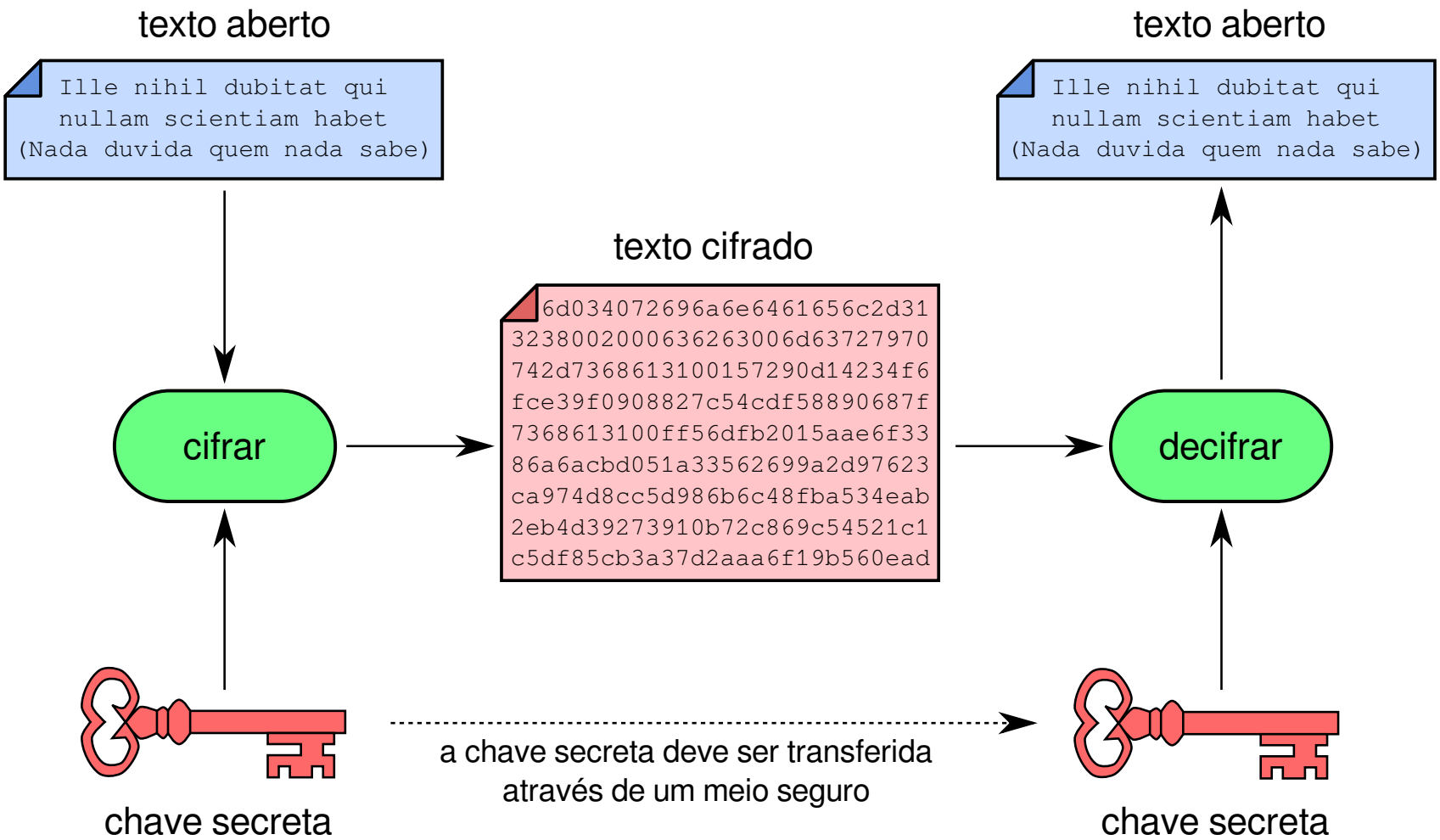
A mesma chave k é usada para cifrar e decifrar a informação:

$$\{ \{ x \}_k \}_{k'}^{-1} = x \iff k' = k$$

ou

$$x \xrightarrow{k} x' \xrightarrow{k} x$$

Algoritmos simétricos



Exemplos de algoritmos simétricos

- Cifradores de César e de Vernam-Mauborgne
- DES (*Data Encryption Standard*)
  - criado pela IBM nos anos 1970
  - usa chaves de 56 bits
- 3-DES: variante do DES com chaves de 168 bits
- AES (*Advanced Encryption Standard*):
  - padrão de segurança do governo americano (2002)
  - usa chaves de 128, 192 ou 256 bits
  - Muito usado na Internet e em cifragem de disco
- A5/1, A5/2, A5/3:
  - usados em telefonia celular GSM (cifragem de áudio)

Tipos de algoritmos simétricos

Quanto à estratégia de cifragem:

- Cifradores de **substituição**
  - Monoalfabéticos ou Polialfabéticos
  - Monográficos ou Poligráficos
- Cifradores de **transposição**

Quanto ao agrupamento dos dados:

- Cifradores de **fluxo**
- Cifradores de **bloco**

Cifradores de substituição

- Bytes da mensagem são substituídos usando regras
- Visam aumentar a *confusão* dos dados (Shannon)
- Podem ser mono- ou polialfabéticos
- Exemplos: Cesar cipher, Vigenère, Alien language (Futurama)

Cifradores monoalfabéticos

Exemplo: *Alien Language* AL1 (série Futurama)

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 ! “ ” ' - . : ;

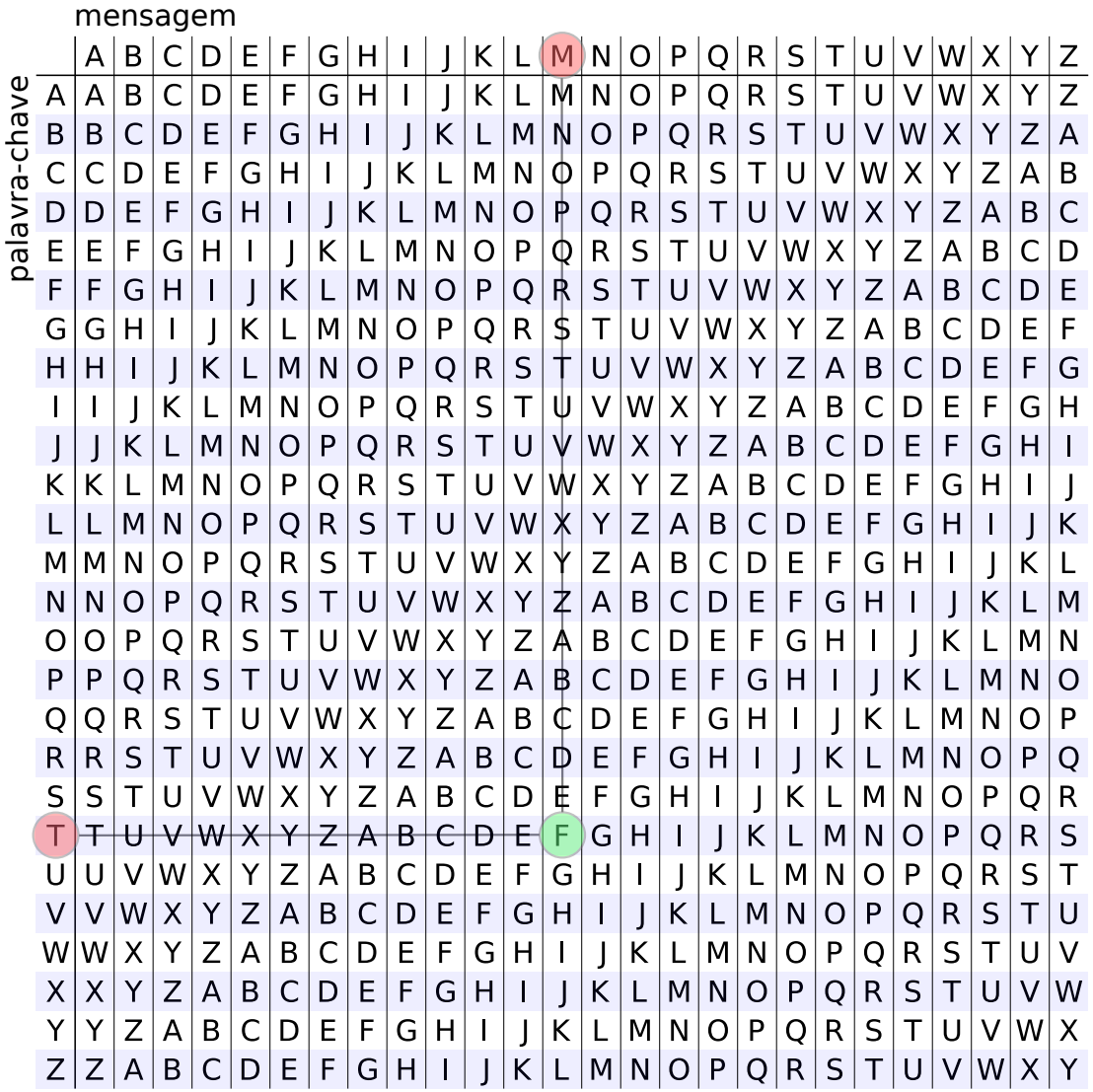
Cifradores polialfabéticos

Usam mais de uma tabela de substituição (“alfabeto”)

Exemplo clássico: cifrador de Vigenère

- Proposto por Giovan Battista Bellaso em 1553
- Refinado por Blaise de Vigenère no século XIX
- Combina vários cifradores de César em sequência
- Usa uma tabela chamada *tabula rasa*

O cifrador de Vigenère



O cifrador de Vigenère

Passos:

1. Escolher uma palavra-chave qualquer (`BICICLETA`)
2. Repetir a chave até ter o mesmo comprimento da msg
3. Para cada caractere da mensagem:
   1. escolher linha da tabela indicada pela letra da chave
   2. Codificar o caractere da mensagem usando aquela linha

Exemplo:

Palavra-chave	`BICICLE T AB IC ICLETABIC IC LETAB ICICL`
Texto aberto	`ATACARE M OS AO AMANHECER DE SEXTA-FEIRA`
Texto cifrado	`BBCKCCI F OT IQ IOLRAEDMT LG DIQTB-NGQTL`

Cifradores de transposição

- Partes da mensagem são trocados entre si usando regras
- Visam aumentar a *difusão* dos dados (Shannon)

Exemplo: Cifragem “Rail Fence”

Texto aberto: WEAREDISCOVEREDFLEEATONCE

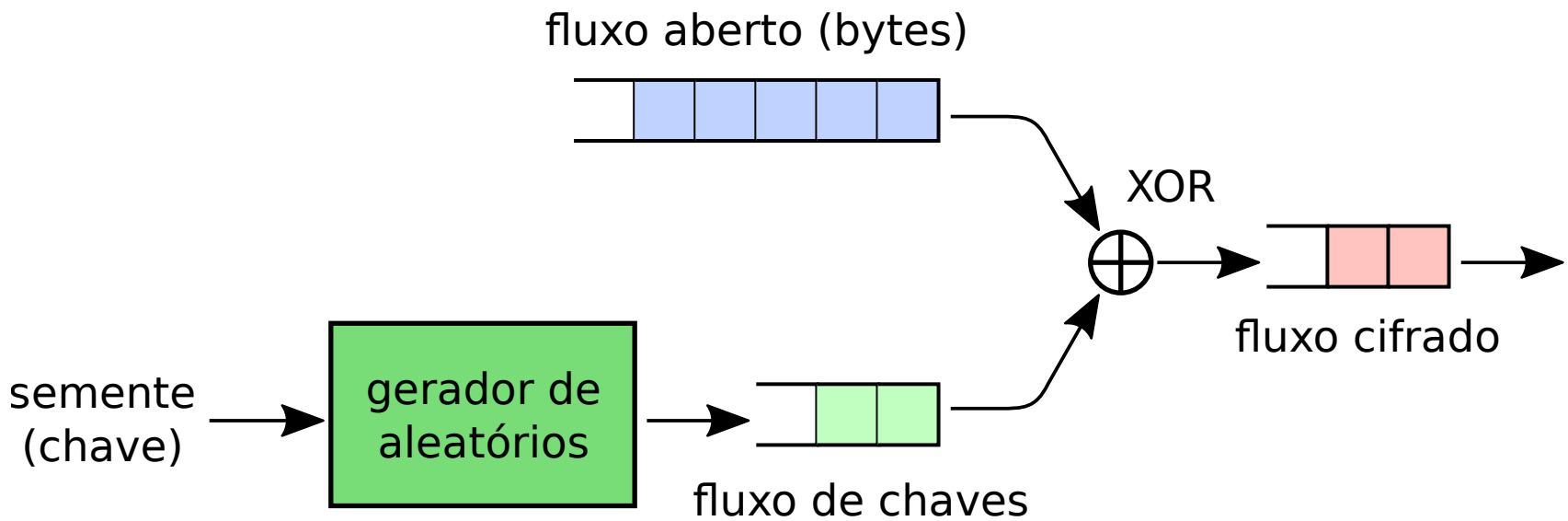
```
W . . . E . . . C . . . R . . . L . . . T . . . E
. E . R . D . S . O . E . E . F . E . A . O . C .
. . A . . . I . . . V . . . D . . . E . . . N . .
```

Texto cifrado ($k = 3$): WECRLTEERDSOEEFEAOCAIVDEN

Cifradores de fluxo

- Cifram os dados byte a byte, em sequência
- Importantes para multimídia, VoIP, etc
- Inspirados do cifrador “one-time pad”
- Chave produzida por gerador pseudo-aleatório
- Exemplos: RC4, A5/1

Cifradores de fluxo

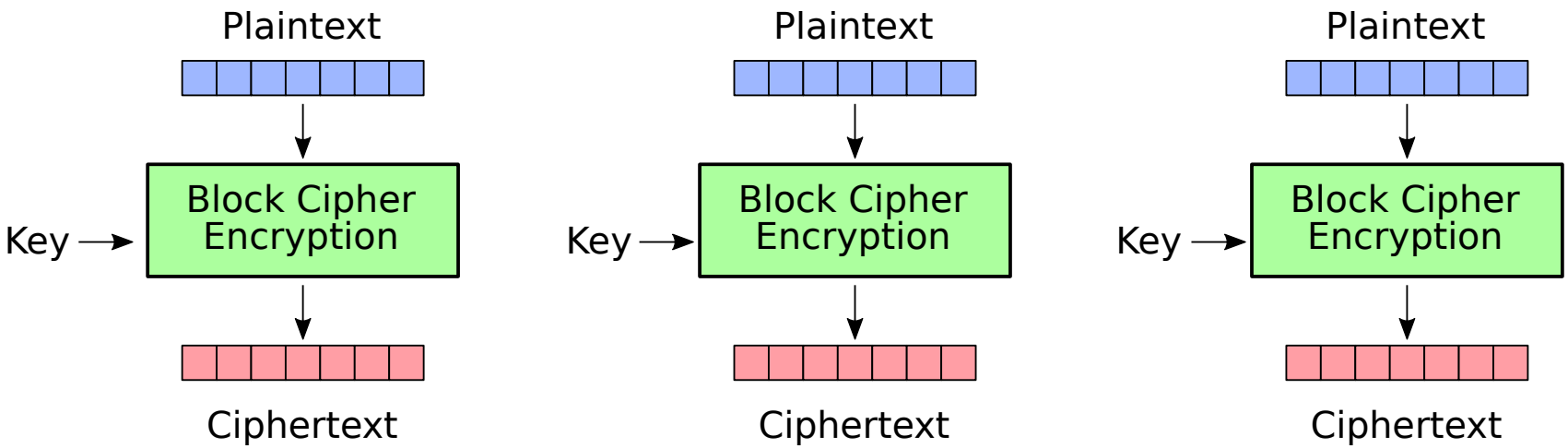


Cifradores de bloco

- Cifram os dados em blocos de mesmo tamanho
- Blocos usuais entre 64 e 128 bits
- Adequados para protocolos de rede, arquivos em disco
- Vários modos de operação: ECB, CBC, CFB, OFB, ...
- Exemplos: DES, 3DES, AES

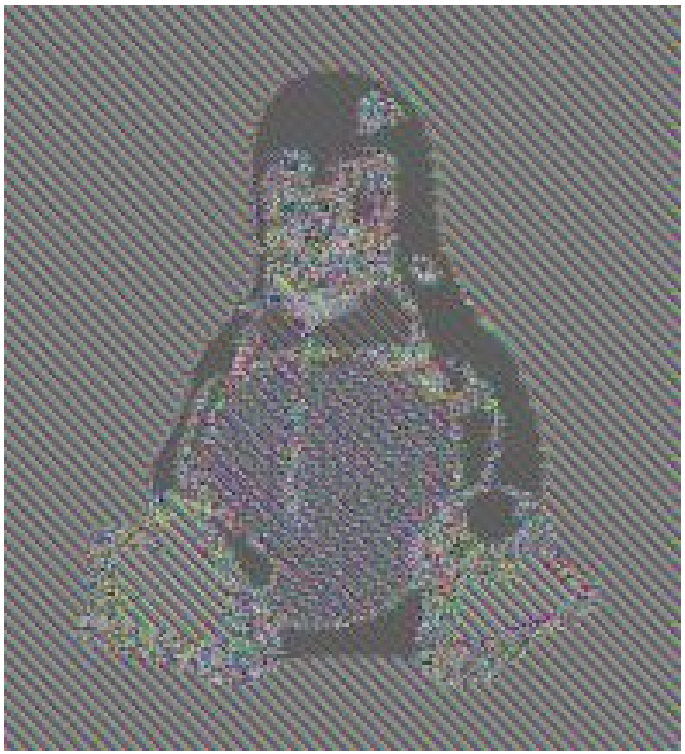
Cifradores de bloco

Modo ECB - *Electronic Codebook*



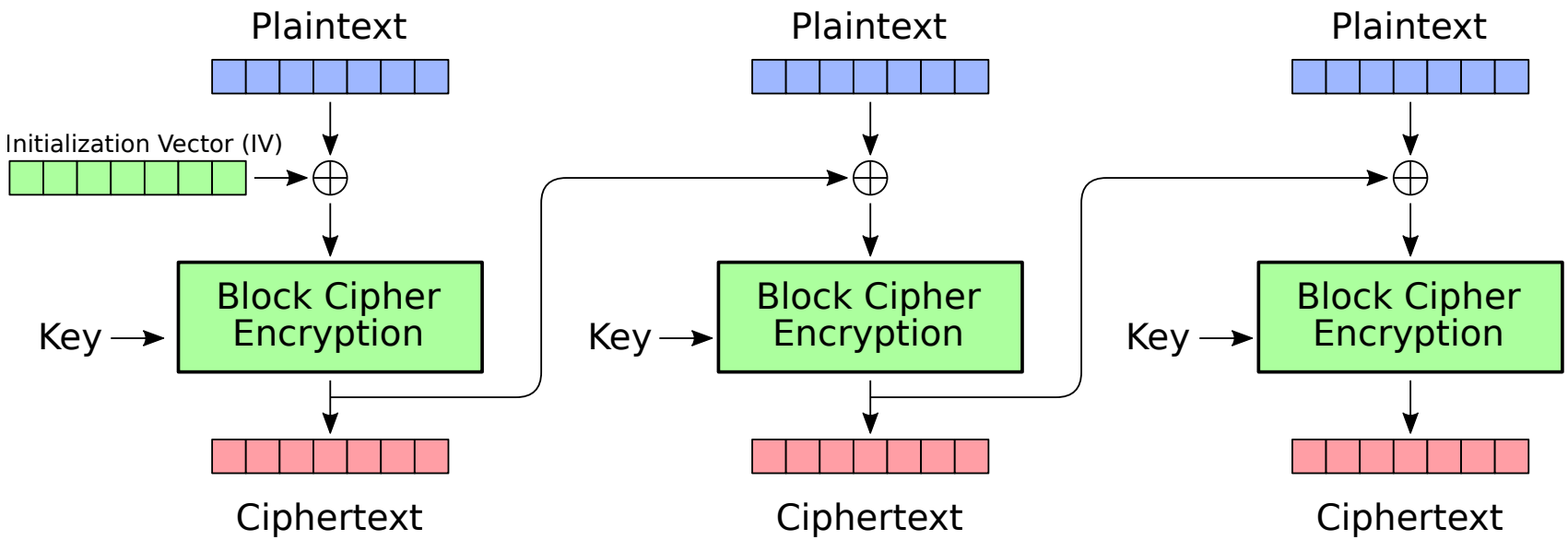
Algoritmos simétricos

Modo ECB - *Electronic Codebook*



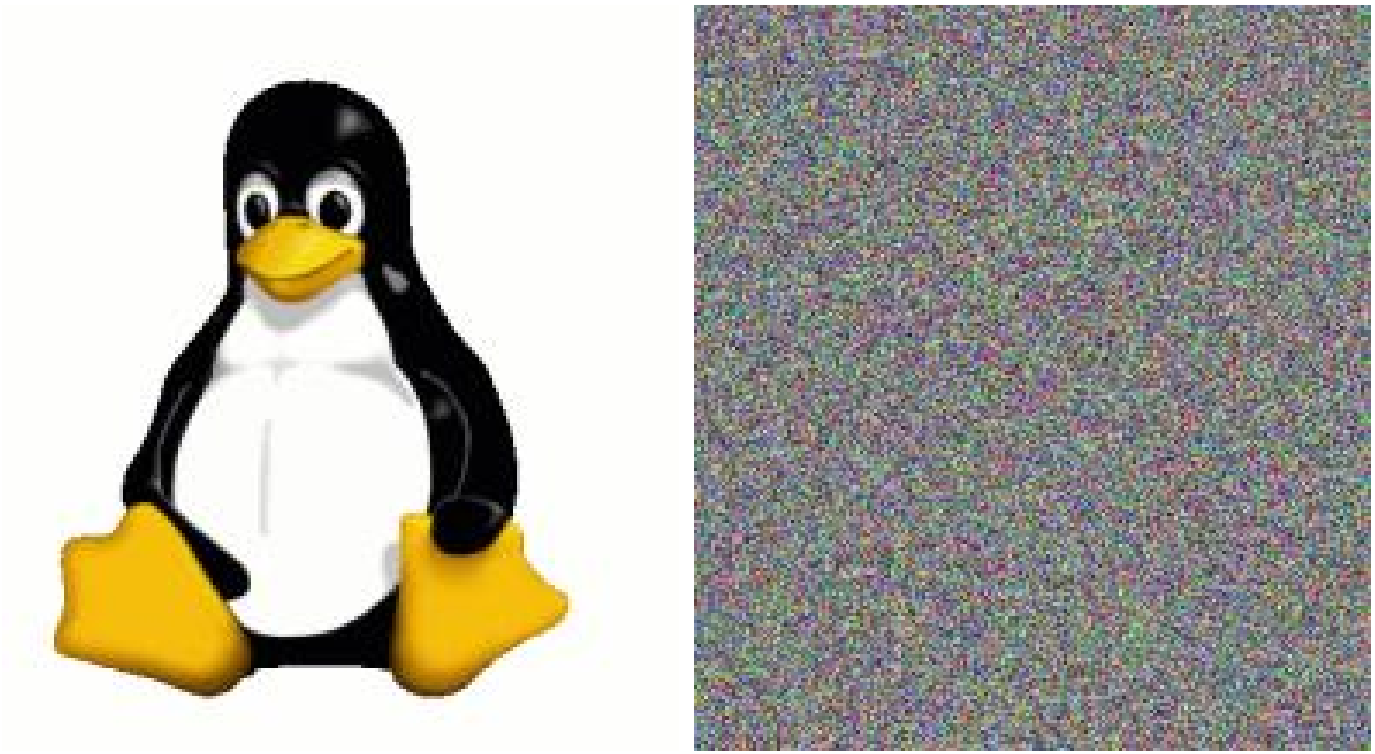
Algoritmos simétricos

Modo CBC - *Cipher Block Chaining*



Algoritmos simétricos

Modo CBC - *Cipher Block Chaining*



Algoritmos simétricos

Características:

- São geralmente muito rápidos
- Usam chaves pequenas (80-256 bits)
- Muito usados na cifragem de dados
  - arquivos em um disco
  - pacotes de rede
  - fluxos multimídia

Exemplos: AES, 3-DES, Serpent, Blowfish, ...

Problema: Como enviar a chave através da rede?