Fundamentos de Segurança Informática (FSI)

2021/2022 - LEIC

Manuel Barbosa
mbb@fc.up.pt

Aula 14
Criptografia: Parte 1

Criptografia?

- Historicamente:
  - “arte” onde o segredo e o obscurantismo eram princípios fundamentais
  - principalmente utilizada em meios militares/estatais
- Hoje:
  - ciência => área multidisciplinar, princípios rigorosos
  - normas internacionais estabelecidas e públicas => escrutínio
  - utilização generalizada => **todas** as aplicações que usamos hoje em dia

Criptografia!

- É:
  - Uma ferramenta espantosa!
  - Um componente central em muitos mecanismos de segurança
- Não é:
  - A solução para todos os problemas (apenas uma parte da solução)
  - Fiável se não for bem implementada e corretamente utilizada
  - Algo que se possa fazer em modo DIY

Segurança da Informação

- Proteção da segurança da informação:
  - em trânsito: A => B, on-line/síncrono (e.g., HTTPS)
  - em trânsito: A => B, off-line/assíncrono (e.g., email)
  - em repouso: A => A, e.g., disk encryption

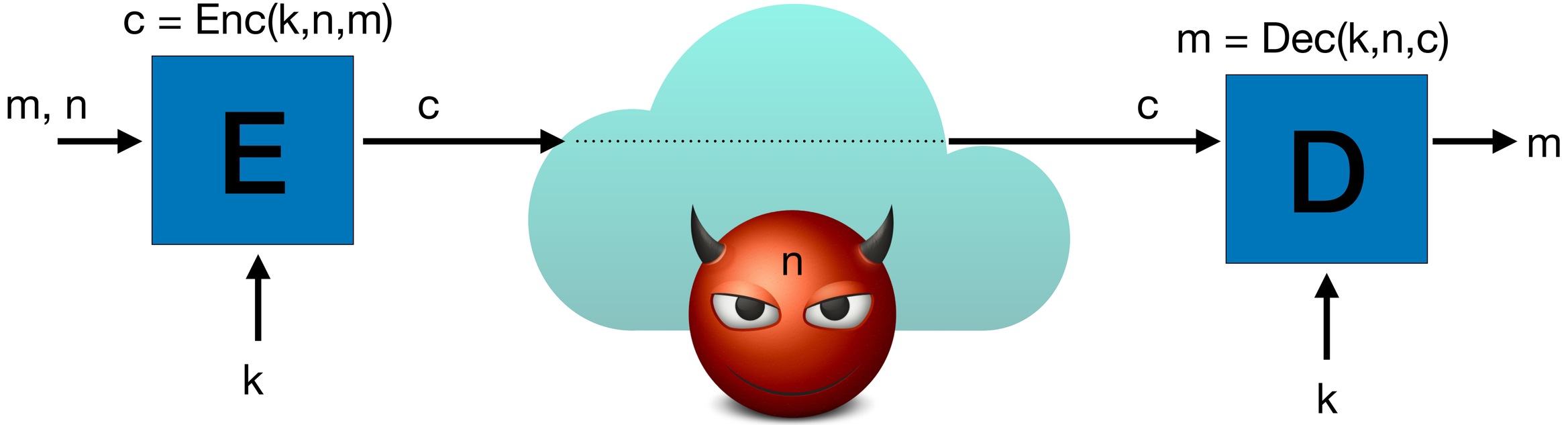
Segurança da Informação

- Proteção da segurança da informação:
  - Confidencialidade
    - informação acessível apenas a emissor A e recetor B (ou A)
    - cifras simétricas e assimétricas, acordos de chave
  - Autenticidade (e integridade)
    - recetor B (ou A) tem a certeza de que os dados vieram (sem alteração) de A
    - assinaturas, acordos de chave, MAC
  - Não-repúdio: assinaturas (emissor A não pode negar envio da mensagem)

Criptografia Moderna

1. Definições precisas e rigorosas de segurança: modelos matemáticos da realidade
2. Quando a segurança de uma construção criptográfica se baseia num pressuposto que não conseguimos provar:
    A. esse pressuposto deve ser simples e descrito de forma precisa.
    B. utilizam-se poucos destes pressupostos na criptografia moderna
    C. são escrutinados por toda a comunidade
3. As construções criptográficas devem ser justificadas formalmente:
    D. prova de que satisfaz definição de acordo com o princípio #1
    E. possivelmente, assumindo pressupostos enunciados de acordo com o princípio #2

Cifras Simétricas



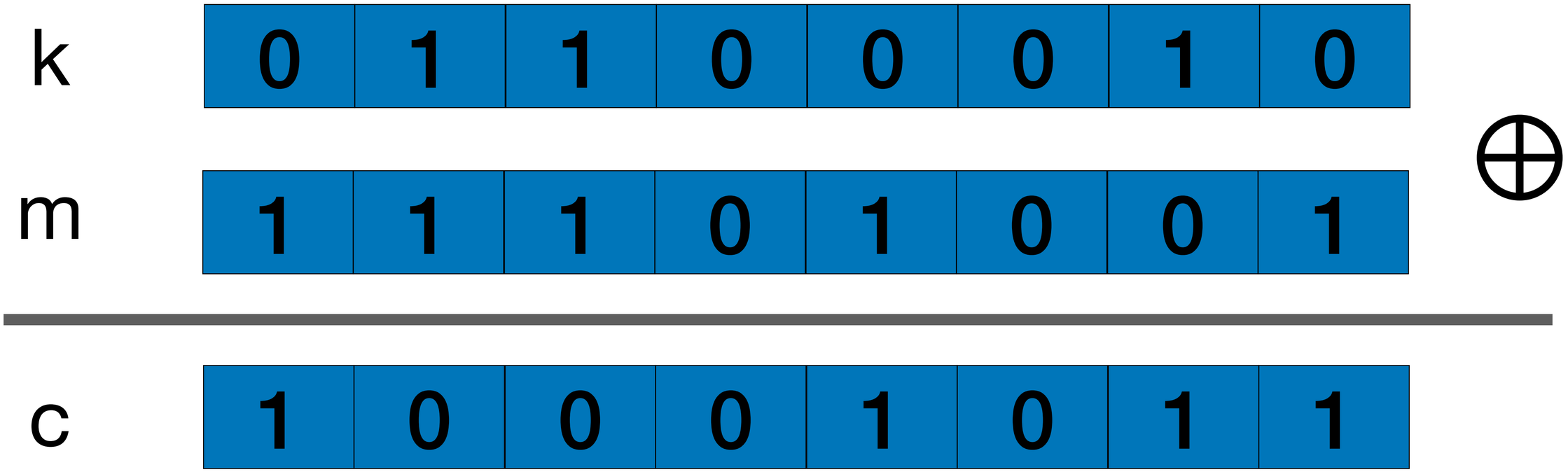
- E, D: algoritmos (encrypt, decrypt) => **públicos e standard!!!**
- k: chave secreta (hoje tipicamente 128 bits, porquê?)
- n, m, c: nonce (non-repeating, **público**), texto-limpo, criptograma

https://crypto.stackexchange.com/questions/13299/is-80-bits-of-key-size-considered-safe-against-brute-force-attacks

Casos de Uso

- Chave usada apenas uma vez (one-time key)
  - exemplo: email cifrado usa chave fresca para cada mensagem
  - nonce não é relevante: pode ser fixado a 0 por exemplo
- Chave usada muitas vezes (many-time key)
  - Exemplo: cifrar disco ou HTTPS/TLS
  - nonce não se pode repetir: número de sequência ou valor aleatório

Exemplo: One-Time Pad (Vernam, 1917)



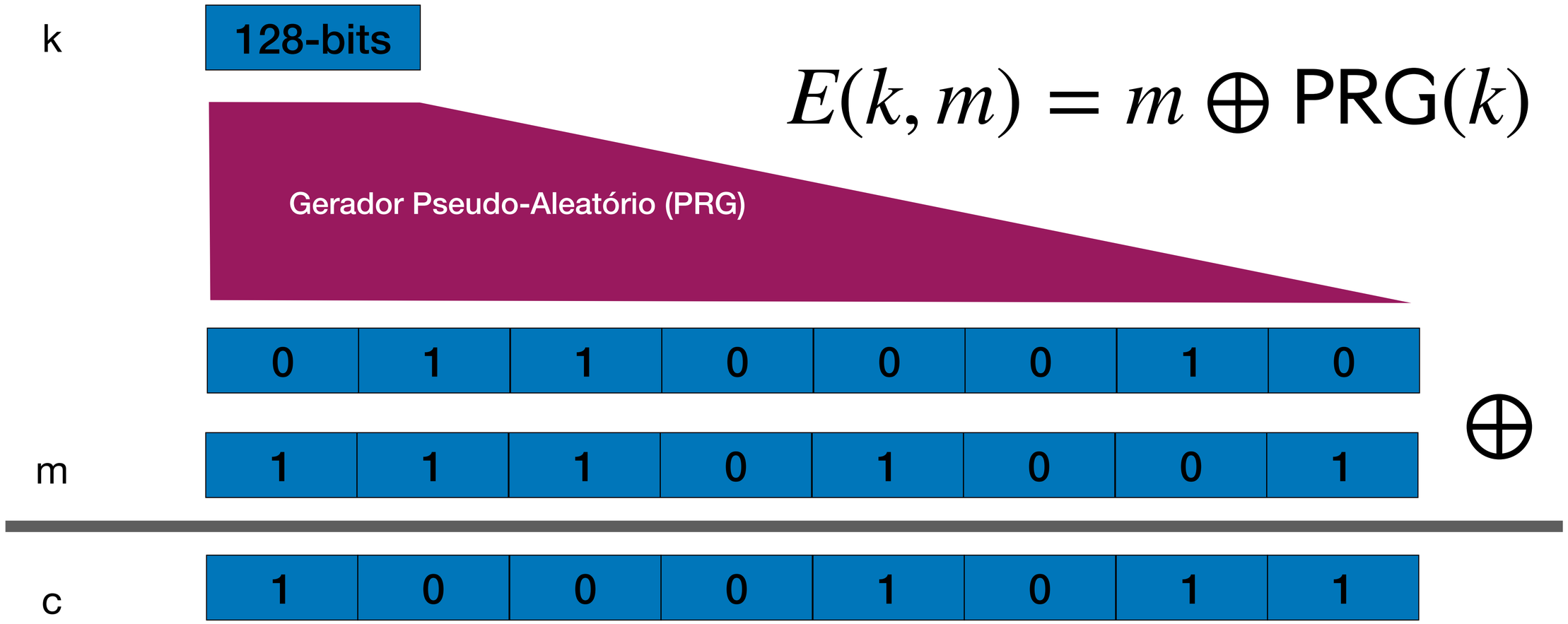
- Cifrar: $E(k, m) = m \oplus k$
- Decifrar: $D(k, c) = c \oplus k = (m \oplus k) \oplus k = m$

Segurança do One-Time-Pad

- Primeiro resultado formal para uma garantia de segurança (Sh49):
  - OTP garante **confidencialidade** contra “**eavesdroppers**”
  - formalmente: distribuição do criptograma totalmente aleatória
- Problema:
  - chave do tamanho do texto limpo!
  - chave usada apenas uma vez!

Cifras Sequenciais

- Solução para o comprimento da chave, mas ainda one-time



Cifras Sequenciais

- Perigos:
  - Se não houver nonce PRG(k) é sempre igual
  - Em duas cifrações com a mesma chave

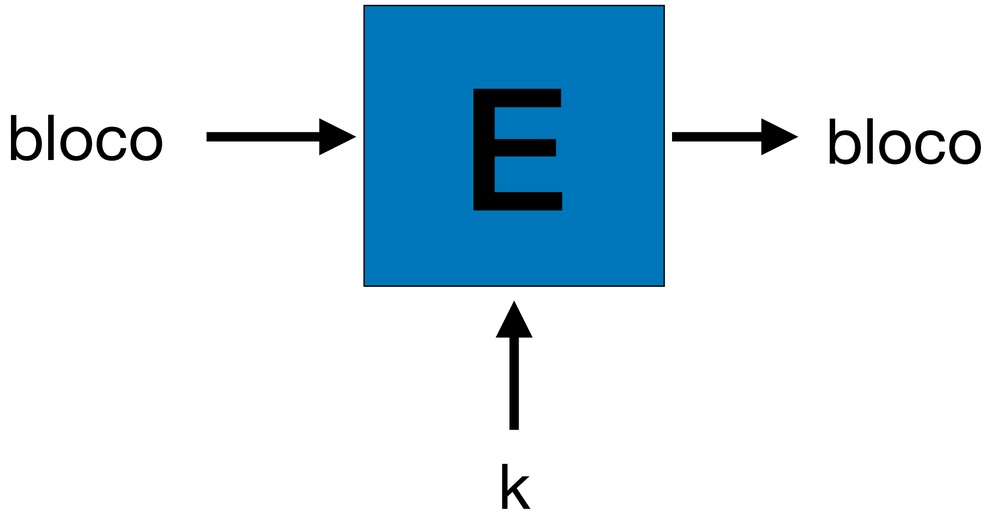
$$c_1 = m_1 \oplus \text{PRG}(k) \qquad c_2 = m_2 \oplus \text{PRG}(k)$$

  - Isto é totalmente inseguro! Porquê? ==> $c_1 \oplus c_2 = m_1 \oplus m_2$
- Solução:
  - PRG moderno permite usar nonce público (E.g., ChaCha20):

$$c_1 = m_1 \oplus \text{PRG}(k, n_1) \qquad c_2 = m_2 \oplus \text{PRG}(k, n_2)$$

Cifras de Bloco

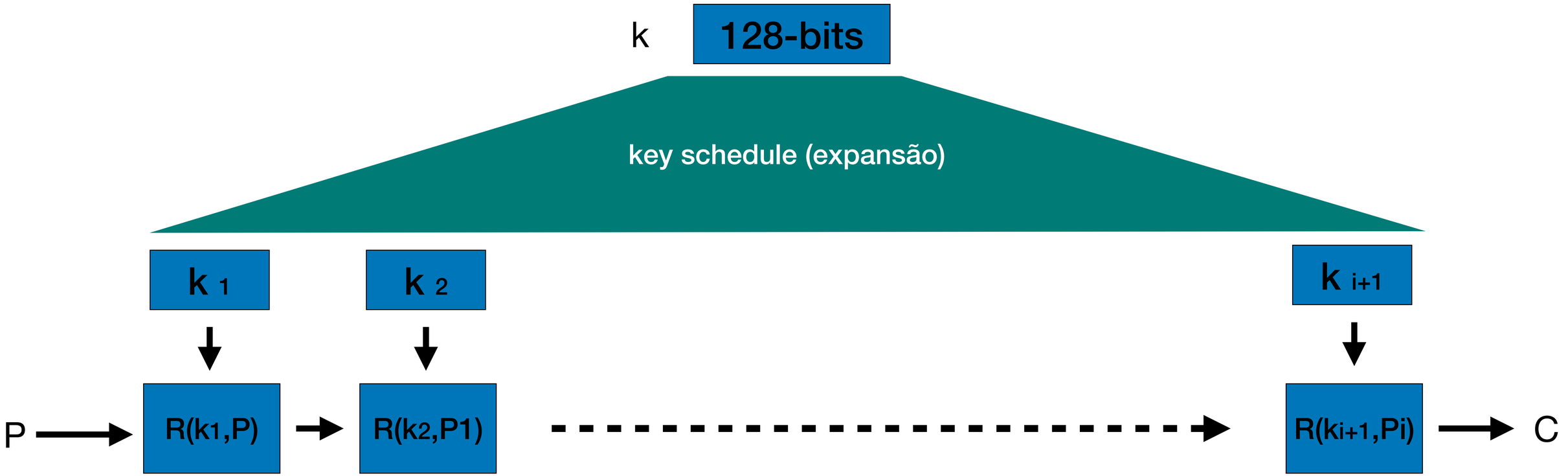
- Apesar do nome não são cifras => permitem construir cifras
- Usadas para muitas outras finalidades
- Exemplos:
  - DES (até 2000): bloco de 64 bits, chave de 56 bits
  - AES (desde 2000): bloco de 128 bits, chave de 128, 256, 512 bits



- Propriedade:
  - para k aleatório e secreto
  - E(k,B) parece aleatório
  - mesmo escolhendo B

Cifras de Bloco: Como Funcionam?

- Implementações pequenas e eficientes: iteração de uma transformação



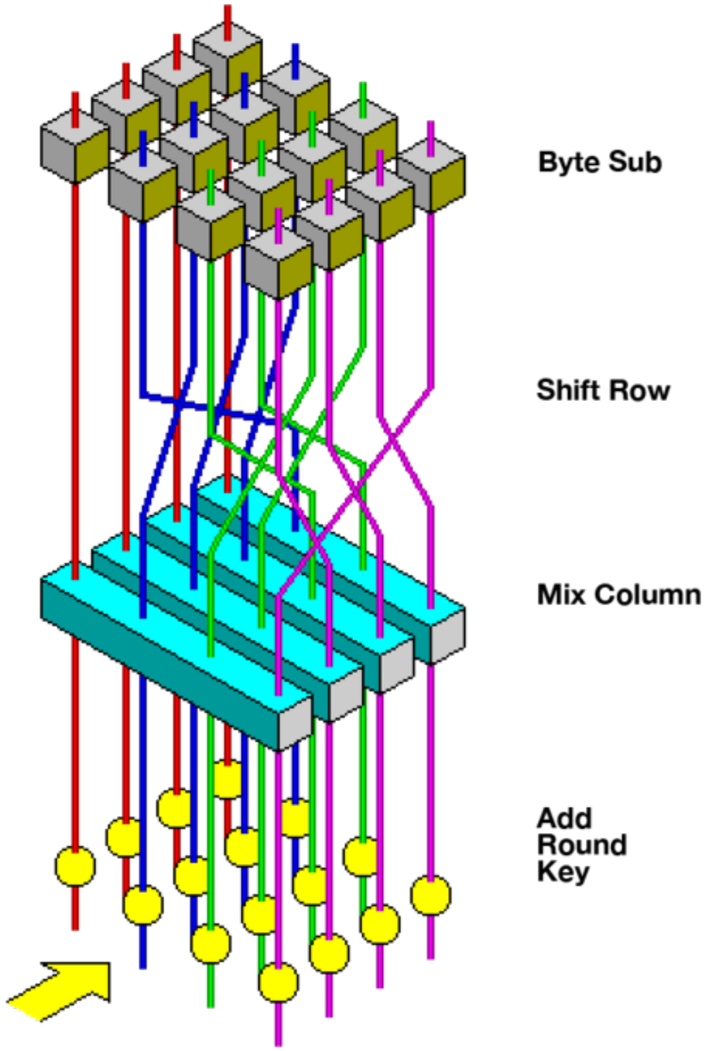
- R(k,P_i) => transformação de round (10 rounds no AES 128, 14 no AES 256)

Cifras de Bloco: AES

- AES (Advanced Encryption Standard)
- Provavelmente o algoritmo criptográfico mais utilizado
- Implementações disponíveis em hardware
- Os processadores mais utilizados (Intel, AMD, ARM) oferecem AES-NI
  - instruções para computar um round de AES
  - instruções para preparar a sequência de chaves para cada round
  - velocidade uma ordem de magnitude melhor que software
    (e mais seguro, porquê? ==> *side channels*)

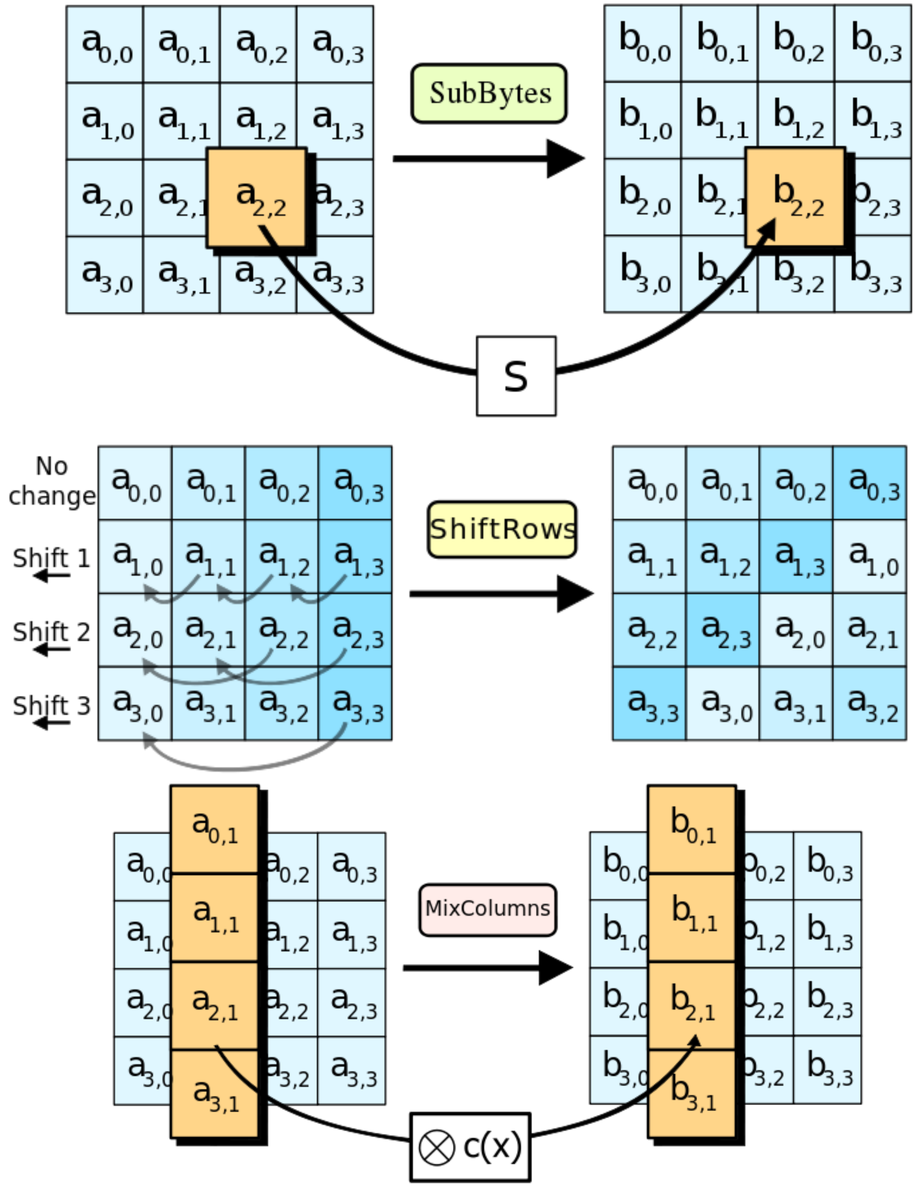
AES: Como funciona

- Estado = matriz 4x4 bytes
- Um round = 4 transformações:
  - AddRoundKey, MixColumn, ShiftRow, ByteSub
- Cada round usa uma chave derivada da chave da cifra => key schedule
- AES é seguro?
  - melhor ataque ~ $2^{|k|}$ operações



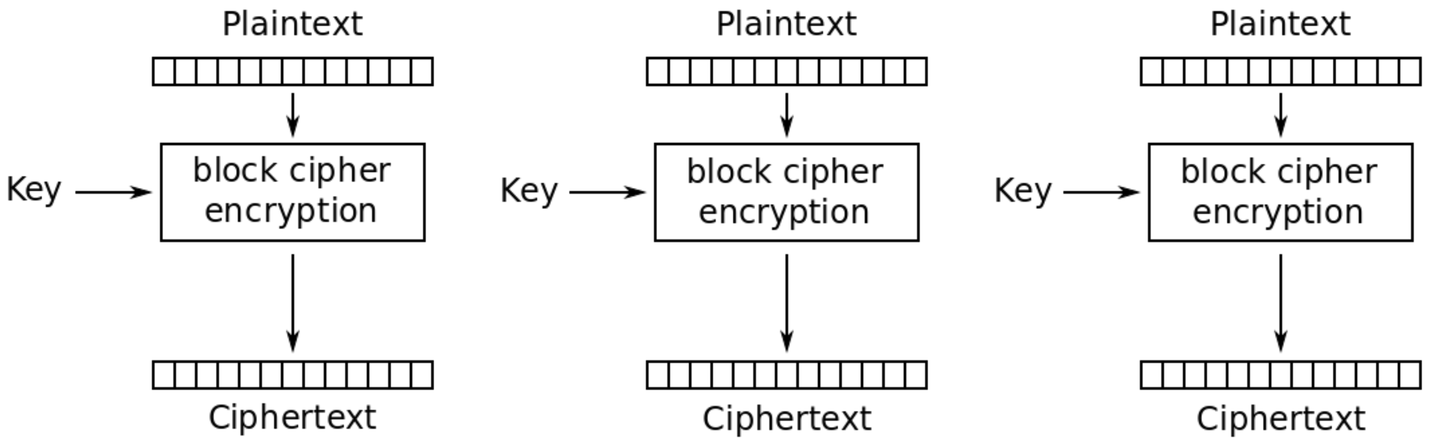
AES: Como funciona

- Estado = matriz 4x4 bytes
- Um round = 4 transformações:
  - AddRoundKey, MixColumn, ShiftRow, ByteSub
- Cada round usa uma chave derivada da chave da cifra => key schedule
- AES é seguro?
  - melhor ataque ~ $2^{|k|}$ operações



Cifra de Bloco ≠ Cifra Segura

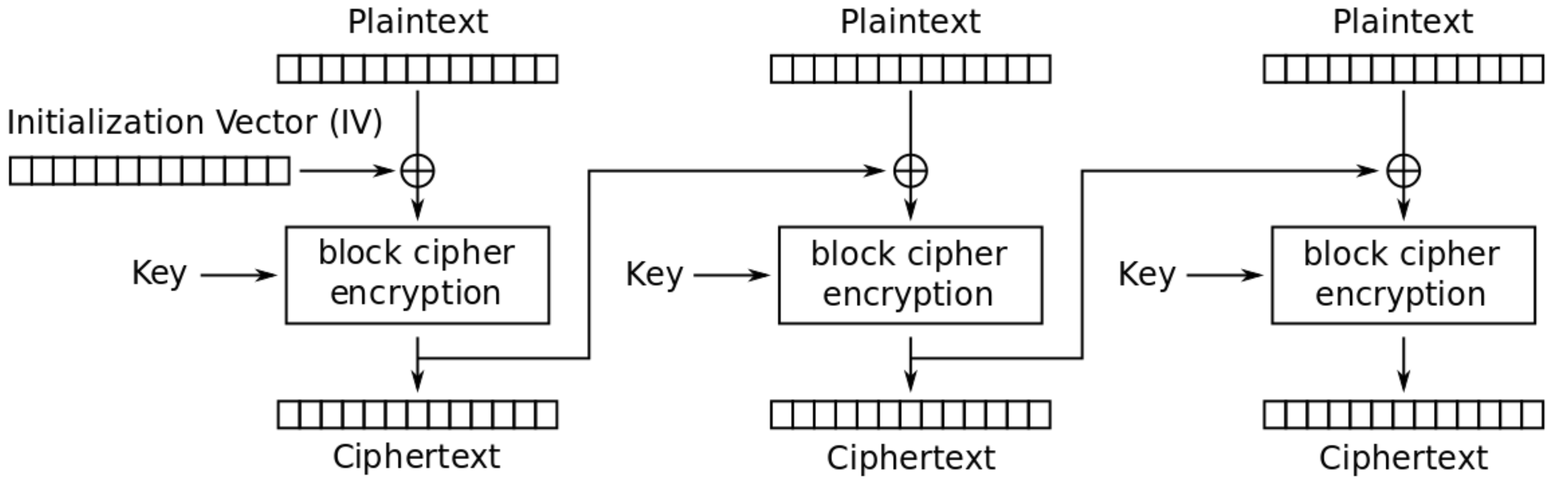
- Cifra de Bloco:
  - Bloco controlado por aplicação => bloco pseudo-aleatório
  - Como usar esta funcionalidade para cifrar, e.g., um ficheiro?
- Nem todas as maneiras são seguras:
  - Electronic Code Book (inseguro):
    - blocos do ficheiro iguais
    - blocos de criptograma iguais!



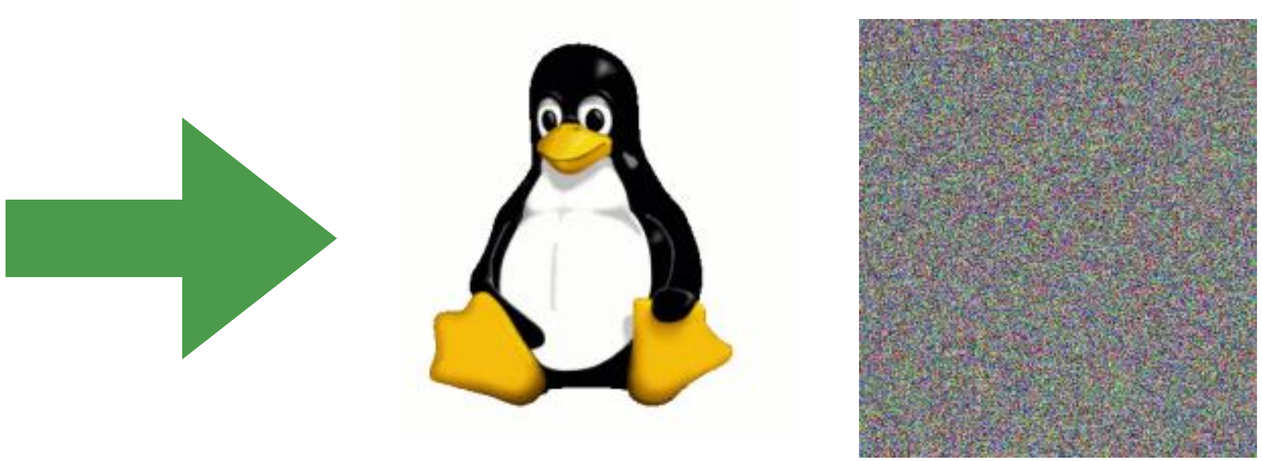
Electronic Codebook (ECB) mode encryption

Cifra de Bloco ⇒ Cifra Segura

- Cifra de Bloco:
  - Bloco controlado por aplicação => bloco pseudo-aleatório
  - Como usar esta funcionalidade para cifrar, e.g., um ficheiro?
- Algumas maneiras são seguras:
  - Cipher Block Chaining Mode (seguro)
  - Porquê? (Estudar criptografia => prova)
  - Intuição: plaintext não é aplicado a AES
    - aplica máscara a cada bloco: criptograma anterior
    - bloco 0: máscara = IV

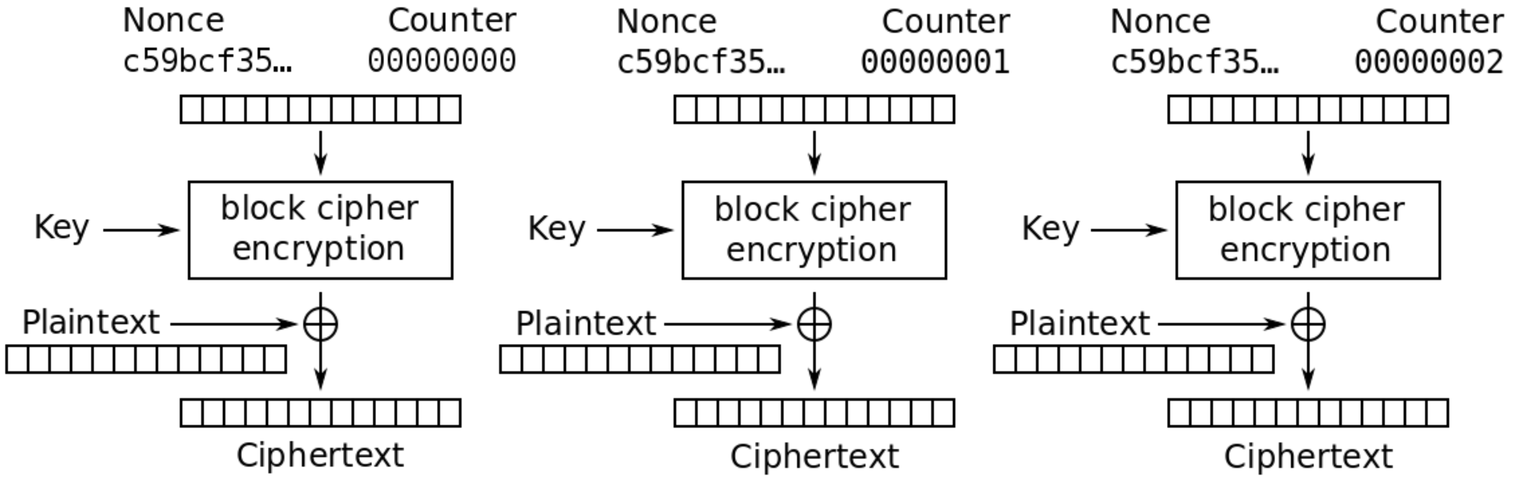


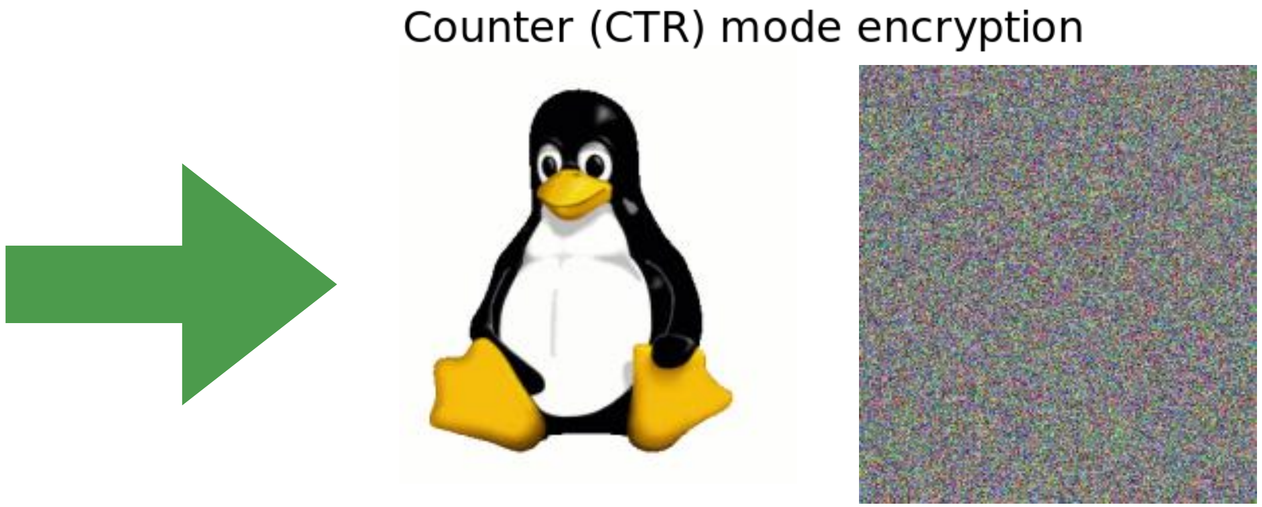
Cipher Block Chaining (CBC) mode encryption



Cifra de Bloco ⇒ Cifra Segura

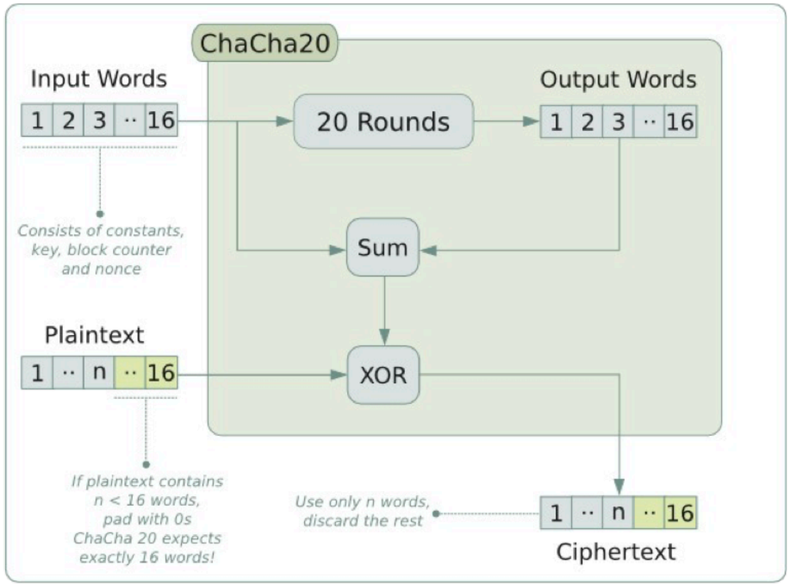
- Cifra de Bloco:
  - Bloco controlado por aplicação => bloco pseudo-aleatório
  - Como usar esta funcionalidade para cifrar, e.g., um ficheiro?
- Algumas maneiras são seguras:
  - **Counter Mode (seguro, mais usado)**
  - Porquê? (Estudar criptografia => prova)
  - Intuição: cifra sequencial com nonce
    - usa AES para construir PRG
    - contador inicial = nonce

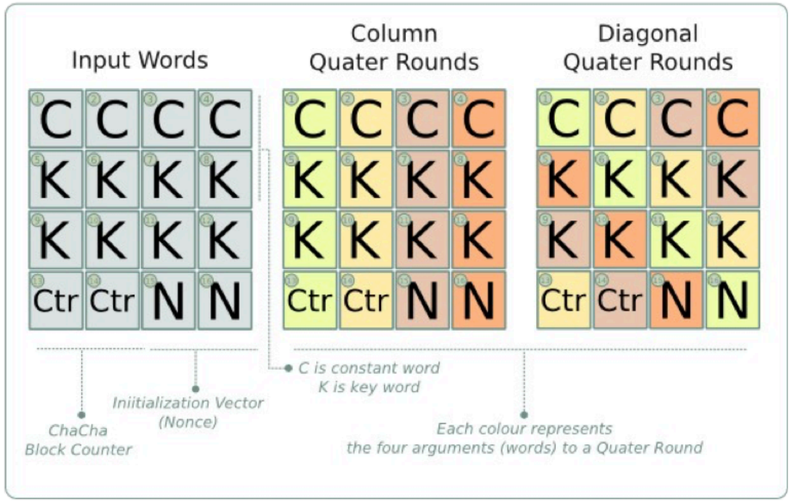




Outras cifras simétricas

- Nem todas as cifras simétricas começam no AES
- ChaCha20:
  - cifra sequencial com nonce
  - gerador pseudo-aleatório dedicado
  - estrutura parecida ao counter mode
  - componente central já assume counter e nonce no estado
  - popularidade crescente: eficiência em SW





https://www.adalabs.com/adalabs-chacha20poly1305.pdf