

# Análise de Algoritmos

CLRS 2.3, 4.1 e 4.2

Essas transparências foram adaptadas das transparências  
do Prof. Paulo Feofiloff, do Prof. José Coelho de Pina,  
e da Profa. Cristina G. Fernandes

# Divisão e conquista

Este paradigma envolve os seguintes passos:

**Divisão:** dividir a instância do problema em instâncias menores do problema.

**Conquista:** resolver o problema nas instâncias menores recursivamente (ou diretamente, se elas forem pequenas o suficiente).

**Combinação:** combinar as soluções das instâncias menores para gerar uma solução da instância original.

# Mergesort

Rearranja  $A[p \dots r]$ , com  $p \leq r$ , em ordem crescente.

Método: Divisão e conquista.

```
MERGESORT ( $A, p, r$ )  
1  se  $p < r$   
2    então  $q \leftarrow \lfloor (p + r)/2 \rfloor$   
3        MERGESORT ( $A, p, q$ )  
4        MERGESORT ( $A, q + 1, r$ )  
5        INTERCALA ( $A, p, q, r$ )
```

# Intercalação

**Problema:** Dados  $A[p \dots q]$  e  $A[q+1 \dots r]$  crescentes, rearranjar  $A[p \dots r]$  de modo que ele fique em ordem crescente.

Para que valores de  $q$  o problema faz sentido?

Entra:

	$p$				$q$				$r$
A	22	33	55	77	99	11	44	66	88

Sai:

	$p$				$q$				$r$
A	11	22	33	44	55	66	77	88	99

# Intercalação

INTERCALA ( $A, p, q, r$ )

```
0  ▷  $B[p..r]$  é um vetor auxiliar
1  para  $i \leftarrow p$  até  $q$  faça
2       $B[i] \leftarrow A[i]$ 
3  para  $j \leftarrow q + 1$  até  $r$  faça
4       $B[r + q + 1 - j] \leftarrow A[j]$ 
5   $i \leftarrow p$ 
6   $j \leftarrow r$ 
7  para  $k \leftarrow p$  até  $r$  faça
8      se  $B[i] \leq B[j]$ 
9          então  $A[k] \leftarrow B[i]$ 
10              $i \leftarrow i + 1$ 
11      senão  $A[k] \leftarrow B[j]$ 
12              $j \leftarrow j - 1$ 
```

O algoritmo INTERCALA consome tempo  $\Theta(n)$ .

# Mergesort

```
MERGESORT ( $A, p, r$ )  
1  se  $p < r$   
2    então  $q \leftarrow \lfloor (p + r)/2 \rfloor$   
3          MERGESORT ( $A, p, q$ )  
4          MERGESORT ( $A, q + 1, r$ )  
5          INTERCALA ( $A, p, q, r$ )
```

linha	consumo máximo na linha
1	$\Theta(1)$
2	$\Theta(1)$
3	$\leq T(\lceil n/2 \rceil)$
4	$\leq T(\lfloor n/2 \rfloor)$
5	$\Theta(n)$

$$T(n) \leq T(\lceil n/2 \rceil) + T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

# Mergesort

```
MERGESORT ( $A, p, r$ )  
1  se  $p < r$   
2    então  $q \leftarrow \lfloor (p + r)/2 \rfloor$   
3          MERGESORT ( $A, p, q$ )  
4          MERGESORT ( $A, q + 1, r$ )  
5          INTERCALA ( $A, p, q, r$ )
```

linha	consumo máximo na linha
1	$\Theta(1)$
2	$\Theta(1)$
3	$\leq T(\lceil n/2 \rceil)$
4	$\leq T(\lfloor n/2 \rfloor)$
5	$\Theta(n)$

$$T(n) = T(\lceil n/2 \rceil) + T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

# Mergesort

$T(n)$  := consumo de tempo máximo quando  $n = r - p + 1$

$$T(n) = T(\lceil n/2 \rceil) + T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

Solução:  $T(n)$  é  $\Theta(???)$ .

Receita:

- ▶ Substitua a notação assintótica por função da classe.
- ▶ Restrinja-se a  $n$  potência de 2.
- ▶ Estipule que na base o valor é 1.
- ▶ Use expansão ou árvore de recorrência para determinar um “chute” de solução.
- ▶ Confira se o chute está correto.



# Expansão

Para  $n$  potência de 2 e  $k = \lg n$ , temos que

# Expansão

Para  $n$  potência de 2 e  $k = \lg n$ , temos que

$$T(n) = 2T(n/2) + n$$

# Expansão

Para  $n$  potência de 2 e  $k = \lg n$ , temos que

$$\begin{aligned} T(n) &= 2T(n/2) + n \\ &= 2(2T(n/2^2) + n/2) + n = 2^2T(n/2^2) + 2n \end{aligned}$$

# Expansão

Para  $n$  potência de 2 e  $k = \lg n$ , temos que

$$\begin{aligned}T(n) &= 2T(n/2) + n \\&= 2(2T(n/2^2) + n/2) + n = 2^2T(n/2^2) + 2n \\&= 2^2(2T(n/2^3) + n/2^2) + 2n = 2^3T(n/2^3) + 3n\end{aligned}$$

# Expansão

Para  $n$  potência de 2 e  $k = \lg n$ , temos que

$$\begin{aligned}T(n) &= 2T(n/2) + n \\&= 2(2T(n/2^2) + n/2) + n = 2^2T(n/2^2) + 2n \\&= 2^2(2T(n/2^3) + n/2^2) + 2n = 2^3T(n/2^3) + 3n \\&= 2^3(2T(n/2^4) + n/2^3) + 3n = 2^4T(n/2^4) + 4n\end{aligned}$$

# Expansão

Para  $n$  potência de 2 e  $k = \lg n$ , temos que

$$\begin{aligned}T(n) &= 2T(n/2) + n \\&= 2(2T(n/2^2) + n/2) + n = 2^2 T(n/2^2) + 2n \\&= 2^2(2T(n/2^3) + n/2^2) + 2n = 2^3 T(n/2^3) + 3n \\&= 2^3(2T(n/2^4) + n/2^3) + 3n = 2^4 T(n/2^4) + 4n \\&= \dots = 2^k T(n/2^k) + kn\end{aligned}$$

# Expansão

Para  $n$  potência de 2 e  $k = \lg n$ , temos que

$$\begin{aligned}T(n) &= 2T(n/2) + n \\&= 2(2T(n/2^2) + n/2) + n = 2^2 T(n/2^2) + 2n \\&= 2^2(2T(n/2^3) + n/2^2) + 2n = 2^3 T(n/2^3) + 3n \\&= 2^3(2T(n/2^4) + n/2^3) + 3n = 2^4 T(n/2^4) + 4n \\&= \dots = 2^k T(n/2^k) + kn \\&= n + n \lg n = \Theta(n \lg n).\end{aligned}$$

Conclusão:

O MERGESORT consome  $O(n \lg n)$  unidades de tempo.

# Conferência

Para  $n$  potência de 2 e  $k = \lg n$ ,

$$T(n) = 2 T(n/2) + n \quad (\text{e, deixamos implícito, } T(1) = 1)$$

**Afirmção:**  $T(n) = n + n \lg n$ .



# Conferência

Para  $n$  potência de 2 e  $k = \lg n$ ,

$$T(n) = 2 T(n/2) + n \quad (\text{e, deixamos implícito, } T(1) = 1)$$

**Afirmção:**  $T(n) = n + n \lg n$ .

Prova por indução em  $k$ , onde  $k = \lg n$ .

# Conferência

Para  $n$  potência de 2 e  $k = \lg n$ ,

$$T(n) = 2 T(n/2) + n \quad (\text{e, deixamos implícito, } T(1) = 1)$$

**Afirmção:**  $T(n) = n + n \lg n$ .

Prova por indução em  $k$ , onde  $k = \lg n$ .

**Afirmção reescrita em termos de  $k$ :**  $T(2^k) = 2^k + k 2^k$ .

# Conferência

Para  $n$  potência de 2 e  $k = \lg n$ ,

$$T(n) = 2 T(n/2) + n \quad (\text{e, deixamos implícito, } T(1) = 1)$$

**Afirmção:**  $T(n) = n + n \lg n$ .

Prova por indução em  $k$ , onde  $k = \lg n$ .

**Afirmção reescrita em termos de  $k$ :**  $T(2^k) = 2^k + k 2^k$ .

Para  $k = 0$ , temos que  $T(2^0) = T(1) = 1 = 2^0 + 0 \cdot 2^0$ .

# Conferência

Para  $n$  potência de 2 e  $k = \lg n$ ,

$$T(n) = 2 T(n/2) + n \quad (\text{e, deixamos implícito, } T(1) = 1)$$

**Afirmção:**  $T(n) = n + n \lg n$ .

Prova por indução em  $k$ , onde  $k = \lg n$ .

**Afirmção reescrita em termos de  $k$ :**  $T(2^k) = 2^k + k 2^k$ .

Para  $k = 0$ , temos que  $T(2^0) = T(1) = 1 = 2^0 + 0 \cdot 2^0$ .

Para  $k \geq 1$ , suponha que  $T(2^{k-1}) = 2^{k-1} + (k-1)2^{k-1}$ .

# Conferência

Para  $n$  potência de 2 e  $k = \lg n$ ,

$$T(n) = 2 T(n/2) + n \quad (\text{e, deixamos implícito, } T(1) = 1)$$

**Afirmção:**  $T(n) = n + n \lg n$ .

Prova por indução em  $k$ , onde  $k = \lg n$ .

**Afirmção reescrita em termos de  $k$ :**  $T(2^k) = 2^k + k 2^k$ .

Para  $k = 0$ , temos que  $T(2^0) = T(1) = 1 = 2^0 + 0 \cdot 2^0$ .

Para  $k \geq 1$ , suponha que  $T(2^{k-1}) = 2^{k-1} + (k-1)2^{k-1}$ .

Então  $T(2^k) = 2 T(2^{k-1}) + 2^k$  pela recorrência.

# Conferência

Para  $n$  potência de 2 e  $k = \lg n$ ,

$$T(n) = 2 T(n/2) + n \quad (\text{e, deixamos implícito, } T(1) = 1)$$

**Afirmção:**  $T(n) = n + n \lg n$ .

Prova por indução em  $k$ , onde  $k = \lg n$ .

**Afirmção reescrita em termos de  $k$ :**  $T(2^k) = 2^k + k 2^k$ .

Para  $k = 0$ , temos que  $T(2^0) = T(1) = 1 = 2^0 + 0 \cdot 2^0$ .

Para  $k \geq 1$ , suponha que  $T(2^{k-1}) = 2^{k-1} + (k-1)2^{k-1}$ .

Então  $T(2^k) = 2 T(2^{k-1}) + 2^k$  pela recorrência.

$$\begin{aligned} \text{Logo } T(2^k) &= 2 (2^{k-1} + (k-1)2^{k-1}) + 2^k \\ &= 2^k + (k-1)2^k + 2^k = 2^k + k 2^k. \end{aligned}$$



# Resolução de recorrências

- ▶ Substitua a notação assintótica por função da classe.
- ▶ Restrinja-se a  $n$  potência de algo, se necessário.
- ▶ Estipule que na base o valor é 1.
- ▶ Use expansão ou árvore de recorrência para determinar um “chute” de solução.
- ▶ Confira se o chute está correto.

# Resolução de recorrências

- ▶ Substitua a notação assintótica por função da classe.
- ▶ Restrinja-se a  $n$  potência de algo, se necessário.
- ▶ Estipule que na base o valor é 1.
- ▶ Use expansão ou árvore de recorrência para determinar um “chute” de solução.
- ▶ Confira se o chute está correto.

## Exemplos:

- ▶  $T(n) = T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(1)$
- ▶  $T(n) = T(n-1) + \Theta(n)$
- ▶  $T(n) = 3T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$
- ▶  $T(n) = 2T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n^2)$



## Resolução de recorrências

$$T(n) = T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(1)$$

# Resolução de recorrências

$$T(n) = T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(1)$$

Versão simplificada da recorrência acima:

$T(1) = 1$  e  $T(n) = T(n/2) + 1$  para  $n \geq 2$  potência de 2.

# Resolução de recorrências

$$T(n) = T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(1)$$

Versão simplificada da recorrência acima:

$T(1) = 1$  e  $T(n) = T(n/2) + 1$  para  $n \geq 2$  potência de 2.

Por expansão:

$$\begin{aligned} T(n) &= T(n/2) + 1 \\ &= (T(n/2^2) + 1) + 1 = T(n/2^2) + 2 \\ &= (T(n/2^3) + 1) + 2 = T(n/2^3) + 3 \\ &= (T(n/2^4) + 1) + 3 = T(n/2^4) + 4 \\ &= \dots = T(n/2^k) + k \quad \text{para } k = \lg n \\ &= T(1) + \lg n = 1 + \lg n = \Theta(\lg n). \end{aligned}$$

## Resolução de recorrências

$$T(n) = T(n-1) + \Theta(n)$$

## Resolução de recorrências

$$T(n) = T(n-1) + \Theta(n)$$

Versão simplificada da recorrência acima:

$$T(1) = 1 \text{ e } T(n) = T(n-1) + n \text{ para } n \geq 2.$$

# Resolução de recorrências

$$T(n) = T(n-1) + \Theta(n)$$

Versão simplificada da recorrência acima:

$$T(1) = 1 \text{ e } T(n) = T(n-1) + n \text{ para } n \geq 2.$$

Por expansão:

$$\begin{aligned} T(n) &= T(n-1) + n \\ &= T(n-2) + (n-1) + n \\ &= T(n-3) + (n-2) + (n-1) + n \\ &= T(n-4) + (n-3) + (n-2) + (n-1) + n \\ &= \dots = T(1) + 2 + 3 + \dots + (n-2) + (n-1) + n \\ &= 1 + 2 + \dots + (n-1) + (n-2) + n = \frac{(n+1)n}{2} = \Theta(n^2). \end{aligned}$$

# Resolução de recorrências

Por expansão:

$$\begin{aligned}T(n) &= T(n-1) + n \\&= T(n-2) + (n-1) + n \\&= T(n-3) + (n-2) + (n-1) + n \\&= \dots = T(1) + 2 + 3 + \dots + (n-2) + (n-1) + n \\&= 1 + 2 + \dots + (n-1) + (n-2) + n = \frac{(n+1)n}{2} = \Theta(n^2).\end{aligned}$$

# Resolução de recorrências

Por expansão:

$$\begin{aligned}T(n) &= T(n-1) + n \\&= T(n-2) + (n-1) + n \\&= T(n-3) + (n-2) + (n-1) + n \\&= \dots = T(1) + 2 + 3 + \dots + (n-2) + (n-1) + n \\&= 1 + 2 + \dots + (n-1) + (n-2) + n = \frac{(n+1)n}{2} = \Theta(n^2).\end{aligned}$$

Note que não temos restrição no  $n$  neste caso.



$$T(n) = 3 T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

Versão simplificada da recorrência acima:

$$T(1) = 1$$

$$T(n) = 3 T(n/2) + n \text{ para } n \geq 2 \text{ potência de } 2.$$

$$T(n) = 3 T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

Versão simplificada da recorrência acima:

$$T(1) = 1$$

$$T(n) = 3 T(n/2) + n \text{ para } n \geq 2 \text{ potência de 2.}$$

Por expansão:

$$\begin{aligned} T(n) &= 3T\left(\frac{n}{2}\right) + n \\ &= 3\left(3T\left(\frac{n}{2^2}\right) + \frac{n}{2}\right) + n = 3^2T\left(\frac{n}{2^2}\right) + \frac{3}{2}n + n \\ &= 3^2\left(3T\left(\frac{n}{2^3}\right) + \frac{n}{2^2}\right) + \frac{3}{2}n + n = 3^3T\left(\frac{n}{2^3}\right) + \left(\frac{3}{2}\right)^2n + \frac{3}{2}n + n \end{aligned}$$

$$T(n) = 3 T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

Versão simplificada da recorrência acima:

$$T(1) = 1$$

$$T(n) = 3 T(n/2) + n \text{ para } n \geq 2 \text{ potência de 2.}$$

Por expansão:

$$\begin{aligned} T(n) &= 3T\left(\frac{n}{2}\right) + n \\ &= 3\left(3T\left(\frac{n}{2^2}\right) + \frac{n}{2}\right) + n = 3^2 T\left(\frac{n}{2^2}\right) + \frac{3}{2}n + n \\ &= 3^2\left(3T\left(\frac{n}{2^3}\right) + \frac{n}{2^2}\right) + \frac{3}{2}n + n = 3^3 T\left(\frac{n}{2^3}\right) + \left(\frac{3}{2}\right)^2 n + \frac{3}{2}n + n \\ &= 3^3\left(3T\left(\frac{n}{2^4}\right) + \frac{n}{2^3}\right) + \left(\frac{3}{2}\right)^2 n + \frac{3}{2}n + n \\ &= 3^4 T\left(\frac{n}{2^4}\right) + \left(\frac{3}{2}\right)^3 n + \left(\frac{3}{2}\right)^2 n + \frac{3}{2}n + n \end{aligned}$$

$$T(n) = 3 T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

Por expansão:

$$\begin{aligned} T(n) &= 3 T\left(\frac{n}{2}\right) + n = 3^2 T\left(\frac{n}{2^2}\right) + \frac{3}{2}n + n \\ &= 3^3 T\left(\frac{n}{2^3}\right) + \left(\frac{3}{2}\right)^2 n + \frac{3}{2}n + n \\ &= 3^4 T\left(\frac{n}{2^4}\right) + \left(\frac{3}{2}\right)^3 n + \left(\frac{3}{2}\right)^2 n + \frac{3}{2}n + n \\ &= \dots = 3^k T\left(\frac{n}{2^k}\right) + \left(\frac{3}{2}\right)^{k-1} n + \dots + \frac{3}{2}n + n \quad \text{para } k = \lg n \end{aligned}$$

$$T(n) = 3 T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

Por expansão:

$$\begin{aligned}
 T(n) &= 3 T\left(\frac{n}{2}\right) + n = 3^2 T\left(\frac{n}{2^2}\right) + \frac{3}{2}n + n \\
 &= 3^3 T\left(\frac{n}{2^3}\right) + \left(\frac{3}{2}\right)^2 n + \frac{3}{2}n + n \\
 &= 3^4 T\left(\frac{n}{2^4}\right) + \left(\frac{3}{2}\right)^3 n + \left(\frac{3}{2}\right)^2 n + \frac{3}{2}n + n \\
 &= \dots = 3^k T\left(\frac{n}{2^k}\right) + \left(\frac{3}{2}\right)^{k-1} n + \dots + \frac{3}{2}n + n \quad \text{para } k = \lg n \\
 &= 3^{\lg n} T(1) + \left( \sum_{i=0}^{\lg n - 1} \left(\frac{3}{2}\right)^i \right) n \\
 &= 3^{\lg n} + \left( \frac{\left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1}{\frac{3}{2} - 1} \right) n = 3^{\lg n} + 2 \left( \left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1 \right) n
 \end{aligned}$$

$$T(n) = 3 T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

$$\begin{aligned}
 T(n) &= 3 T\left(\frac{n}{2}\right) + n = 3^2 T\left(\frac{n}{2^2}\right) + \frac{3}{2}n + n \\
 &= \dots = 3^k T\left(\frac{n}{2^k}\right) + \left(\frac{3}{2}\right)^{k-1}n + \dots + \frac{3}{2}n + n \quad \text{para } k = \lg n \\
 &= 3^{\lg n} T(1) + \left( \sum_{i=0}^{\lg n - 1} \left(\frac{3}{2}\right)^i \right) n = 3^{\lg n} + \left( \frac{\left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1}{\frac{3}{2} - 1} \right) n \\
 &= 3^{\lg n} + 2 \left( \left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1 \right) n \\
 &= 3^{\lg n} + 2 \left( \frac{3^{\lg n}}{n} - 1 \right) n \\
 &= 3^{\lg n} + 2 (3^{\lg n} - n)
 \end{aligned}$$

$$T(n) = 3 T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

$$\begin{aligned}
 T(n) &= 3T\left(\frac{n}{2}\right) + n = 3^2 T\left(\frac{n}{2^2}\right) + \frac{3}{2}n + n \\
 &= \dots = 3^k T\left(\frac{n}{2^k}\right) + \left(\frac{3}{2}\right)^{k-1}n + \dots + \frac{3}{2}n + n \quad \text{para } k = \lg n \\
 &= 3^{\lg n} T(1) + \left(\sum_{i=0}^{\lg n - 1} \left(\frac{3}{2}\right)^i\right)n = 3^{\lg n} + \left(\frac{\left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1}{\frac{3}{2} - 1}\right)n \\
 &= 3^{\lg n} + 2 \left(\left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1\right)n \\
 &= 3^{\lg n} + 2 \left(\frac{3^{\lg n}}{n} - 1\right)n \\
 &= 3^{\lg n} + 2 (3^{\lg n} - n) \\
 &= 3^{\lg n} + 2 \cdot 3^{\lg n} - 2n
 \end{aligned}$$

$$T(n) = 3 T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

$$\begin{aligned}
 T(n) &= 3T\left(\frac{n}{2}\right) + n = 3^2 T\left(\frac{n}{2^2}\right) + \frac{3}{2}n + n \\
 &= \dots = 3^k T\left(\frac{n}{2^k}\right) + \left(\frac{3}{2}\right)^{k-1}n + \dots + \frac{3}{2}n + n \quad \text{para } k = \lg n \\
 &= 3^{\lg n} T(1) + \left(\sum_{i=0}^{\lg n - 1} \left(\frac{3}{2}\right)^i\right)n = 3^{\lg n} + \left(\frac{\left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1}{\frac{3}{2} - 1}\right)n \\
 &= 3^{\lg n} + 2\left(\left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1\right)n = 3^{\lg n} + 2\left(\frac{3^{\lg n}}{n} - 1\right)n \\
 &= 3^{\lg n} + 2(3^{\lg n} - n) \\
 &= 3^{\lg n} + 2 \cdot 3^{\lg n} - 2n \\
 &= 3 \cdot 3^{\lg n} - 2n
 \end{aligned}$$



$$T(n) = 3 T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

$$\begin{aligned}
 T(n) &= 3^{\lg n} T(1) + \left( \sum_{i=0}^{\lg n - 1} \left(\frac{3}{2}\right)^i \right) n = 3^{\lg n} + \left( \frac{\left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1}{\frac{3}{2} - 1} \right) n \\
 &= 3^{\lg n} + 2 \left( \left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1 \right) n = 3^{\lg n} + 2 \left( \frac{3^{\lg n}}{n} - 1 \right) n \\
 &= 3^{\lg n} + 2 (3^{\lg n} - n) \\
 &= 3^{\lg n} + 2 \cdot 3^{\lg n} - 2n \\
 &= 3 \cdot 3^{\lg n} - 2n
 \end{aligned}$$

$$T(n) = 3 T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

$$\begin{aligned}
 T(n) &= 3^{\lg n} T(1) + \left( \sum_{i=0}^{\lg n - 1} \left(\frac{3}{2}\right)^i \right) n = 3^{\lg n} + \left( \frac{\left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1}{\frac{3}{2} - 1} \right) n \\
 &= 3^{\lg n} + 2 \left( \left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1 \right) n = 3^{\lg n} + 2 \left( \frac{3^{\lg n}}{n} - 1 \right) n \\
 &= 3^{\lg n} + 2 (3^{\lg n} - n) \\
 &= 3^{\lg n} + 2 \cdot 3^{\lg n} - 2n \\
 &= 3 \cdot 3^{\lg n} - 2n \\
 &= 3 (2^{\lg 3})^{\lg n} - 2n
 \end{aligned}$$

$$T(n) = 3 T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

$$\begin{aligned}
 T(n) &= 3^{\lg n} T(1) + \left( \sum_{i=0}^{\lg n - 1} \left(\frac{3}{2}\right)^i \right) n = 3^{\lg n} + \left( \frac{\left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1}{\frac{3}{2} - 1} \right) n \\
 &= 3^{\lg n} + 2 \left( \left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1 \right) n = 3^{\lg n} + 2 \left( \frac{3^{\lg n}}{n} - 1 \right) n \\
 &= 3^{\lg n} + 2 (3^{\lg n} - n) \\
 &= 3^{\lg n} + 2 \cdot 3^{\lg n} - 2n \\
 &= 3 \cdot 3^{\lg n} - 2n \\
 &= 3 (2^{\lg n})^{\lg 3} - 2n \\
 &= 3 n^{\lg 3} - 2n
 \end{aligned}$$

$$T(n) = 3 T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n)$$

$$\begin{aligned}
 T(n) &= 3^{\lg n} T(1) + \left( \sum_{i=0}^{\lg n - 1} \left(\frac{3}{2}\right)^i \right) n = 3^{\lg n} + \left( \frac{\left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1}{\frac{3}{2} - 1} \right) n \\
 &= 3^{\lg n} + 2 \left( \left(\frac{3}{2}\right)^{\lg n} - 1 \right) n = 3^{\lg n} + 2 \left( \frac{3^{\lg n}}{n} - 1 \right) n \\
 &= 3^{\lg n} + 2 (3^{\lg n} - n) \\
 &= 3^{\lg n} + 2 \cdot 3^{\lg n} - 2n \\
 &= 3 \cdot 3^{\lg n} - 2n \\
 &= 3 (2^{\lg n})^{\lg 3} - 2n \\
 &= 3 n^{\lg 3} - 2n \\
 &= \Theta(n^{\lg 3}).
 \end{aligned}$$

## Resolução de recorrências

$$T(n) = 2T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n^2)$$

## Resolução de recorrências

$$T(n) = 2T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n^2)$$

Você consegue resolver?

# Resolução de recorrências

$$T(n) = 2T(\lfloor n/2 \rfloor) + \Theta(n^2)$$

Você consegue resolver?

Exercício!