

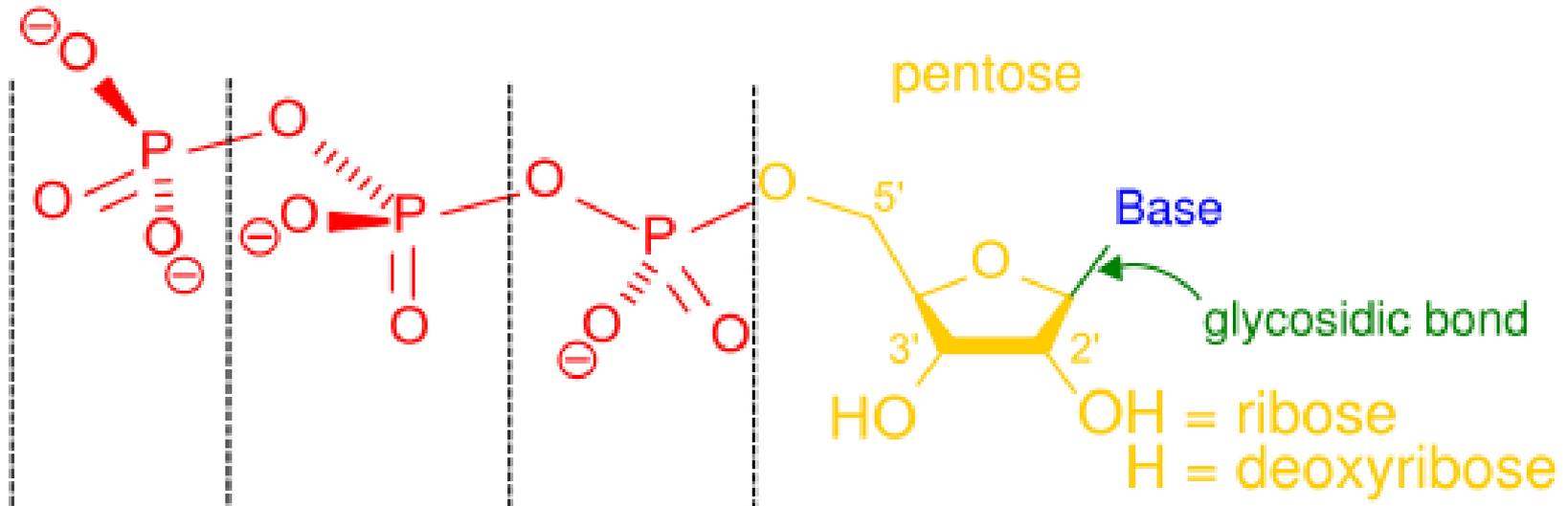
# Nucleotídeos e Ácidos Nucleicos

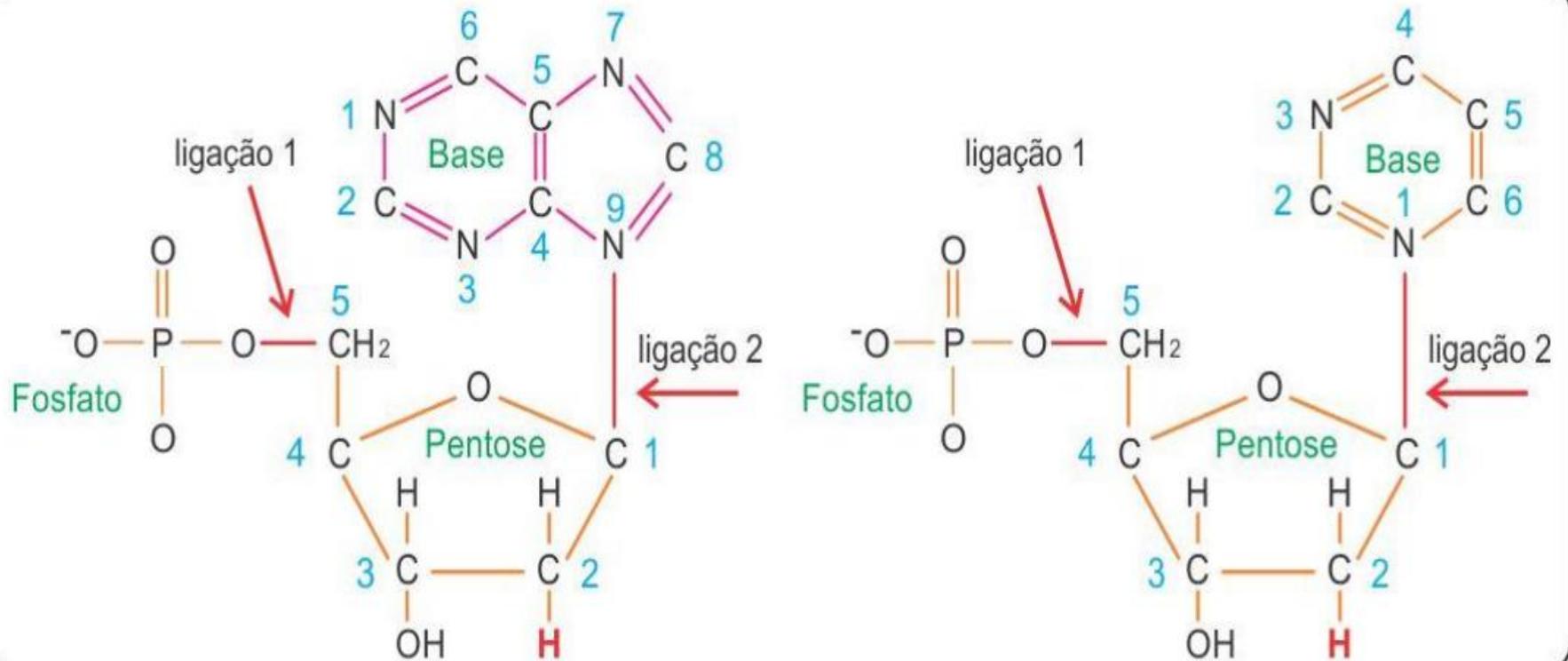
- Dois tipos de ácidos nucleicos: DNA e RNA
- Os ácidos nucleicos são polímeros
  - Formados por unidades monoméricas chamadas nucleotídeos
- Os nucleotídeos são formados por três grupamentos:
  - Fosfato(s)
    - Monofosfato
    - Difosfato
    - trifosfato
  - Pentose (açúcar de cinco carbonos)
    - Ribose (RNA)
    - Deoxiribose (DNA)
  - Base nitrogenada
    - Purina (adenina, guanina)
    - Pirimidina (citosina, uracila, timina)

# Estrutura Geral do Nucleotídeo

Os nucleotídeos se caracterizam pela presença de três componentes

- Uma pentose (açúcar de cinco carbonos)
- Fosfato(s)
- Uma base nitrogenada





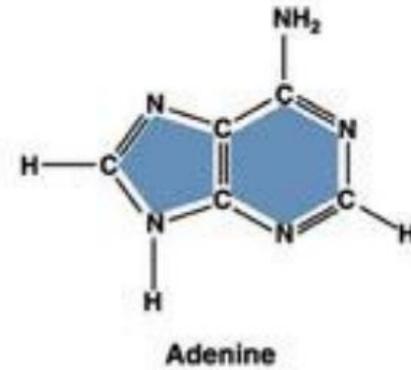
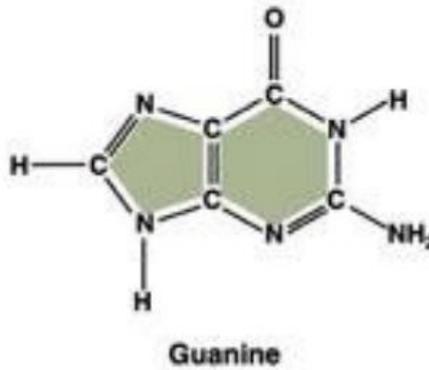
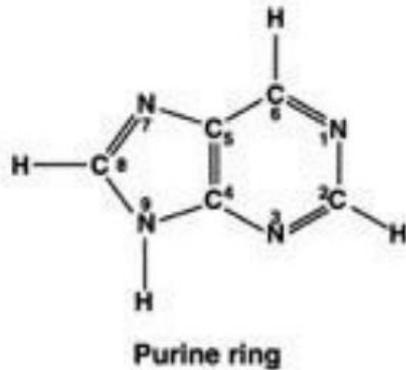
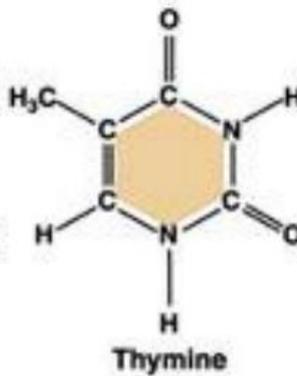
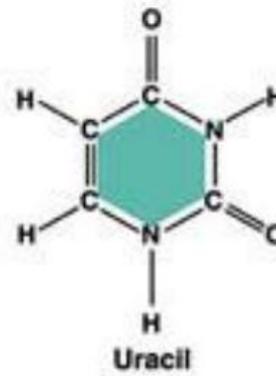
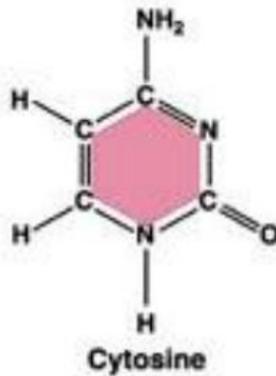
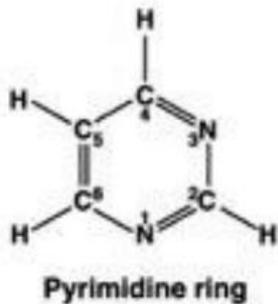
- **Ligação 1 – Ligação Fosfodiéster**

Fosfato + C5 da pentose

- **Ligação 2 – Ligação Glicosídica**

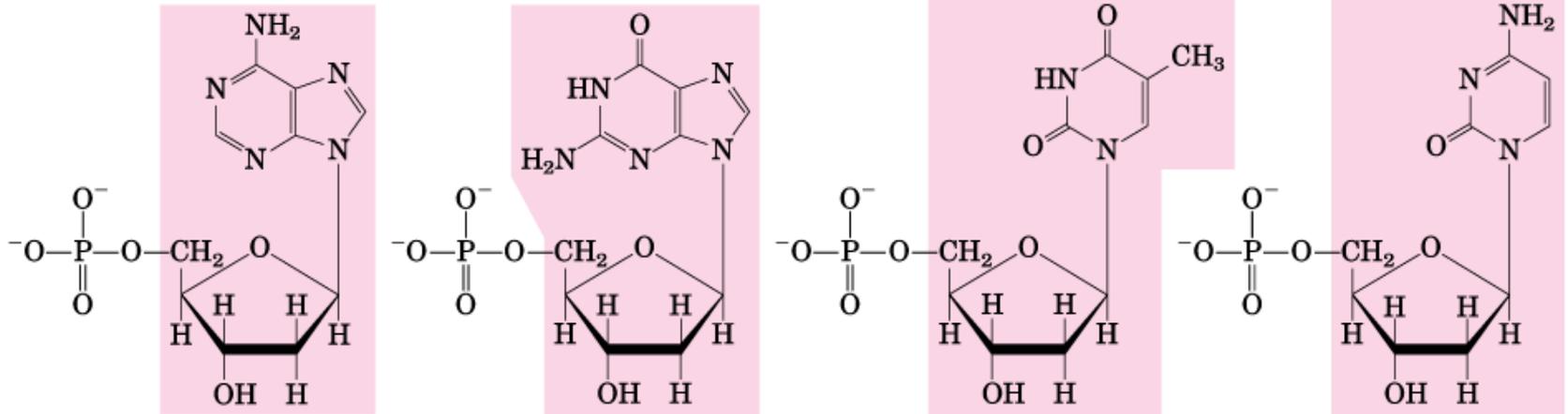
Base Nitrogenada + C1 da pentose

# As bases nitrogenadas



**Base nitrogenada:** composto cíclico contendo nitrogênio (grupo funcional  
**Purinas – possuem anel duplo / Pirimidinas – possuem anel simples**  
No DNA emparelham-se com as respectivas **bases complementares** ( $\neq$  tamanho)

# Estrutura geral dos quatro desoxirribonucleotídeos



**Nucleotídeo:** Desoxiadenuilato  
(5'-monofosfato de desoxiadenuosina)

**Símbolos:** A, dA, dAMP

**Nucleosídeo:** Desoxiadenuosina

**Nucleotídeo:** Desoxiguaniilato  
(5'-monofosfato de desoxiguanosina)

**Símbolos:** G, dG, dGMP

**Nucleosídeo:** Desoxiguanosina

**Nucleotídeo:** Desoxipiimidilato  
(5'-monofosfato de desoxipiimidina)

**Símbolos:** T, dT, dTMP

**Nucleosídeo:** Desoxipiimidina

**Nucleotídeo:** Desoxicitidilato  
(5'-monofosfato de desoxicitidina)

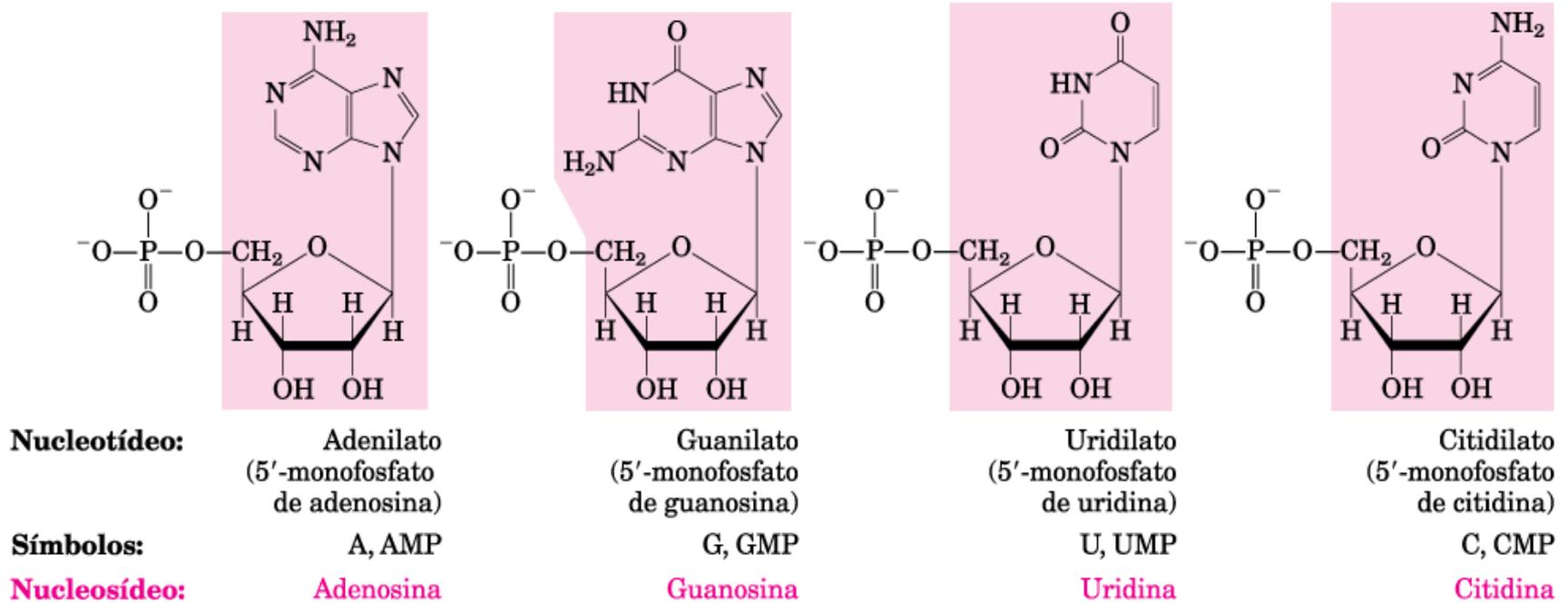
**Símbolos:** C, dC, dCMP

**Nucleosídeo:** Desoxicitidina

(a) Desoxirribonucleotídeos

A porção nucleosídica de cada molécula está sombreada em rosa.

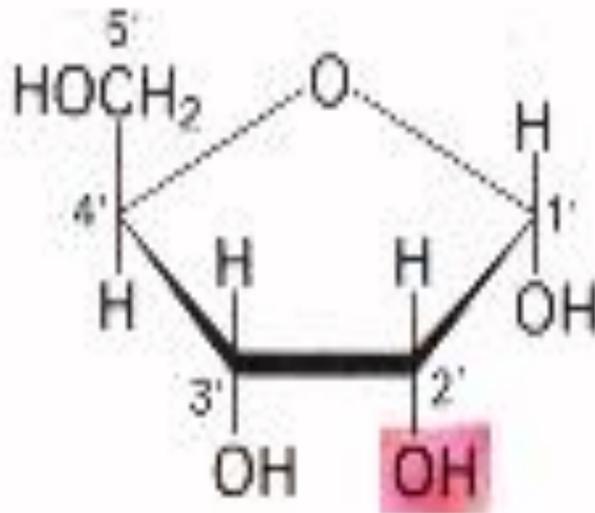
# Estrutura geral dos quatro ribonucleotídeos



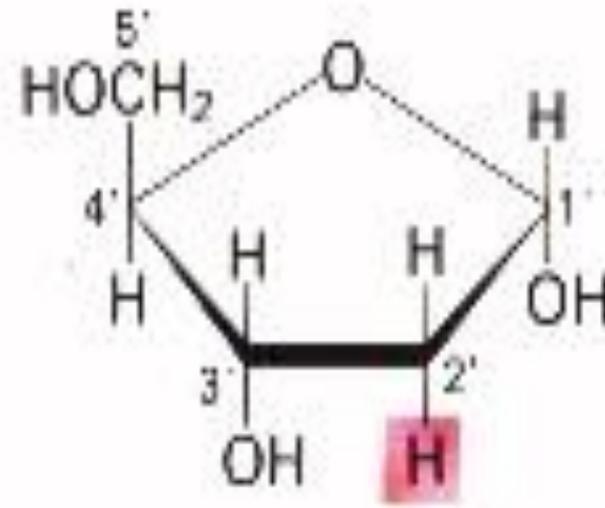
(b) Ribonucleotídeos

A porção nucleosídica de cada molécula está sombreada em rosa.

# As pentoses



Ribose

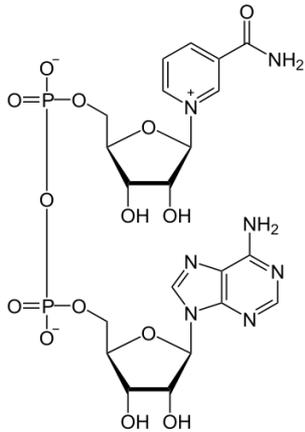


2-Deoxyribose

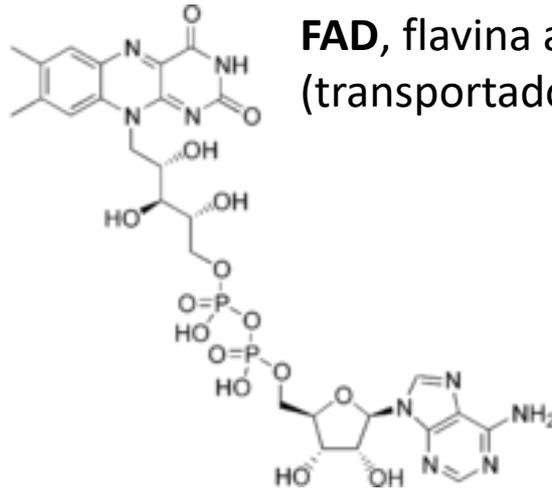
**Ribose = RNA**

**Desoxirribose = DNA**

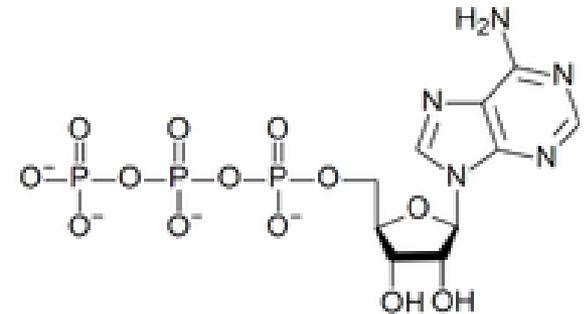
# Alguns nucleotídeos com importante atuação no metabolismo



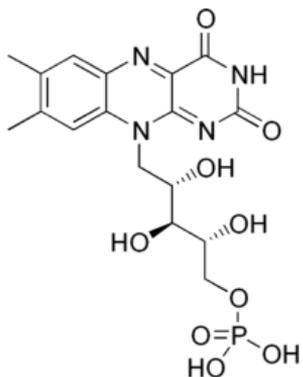
**NAD+**  
nicotinamida adenina dinucleotídeo  
(transportador de eletrons)



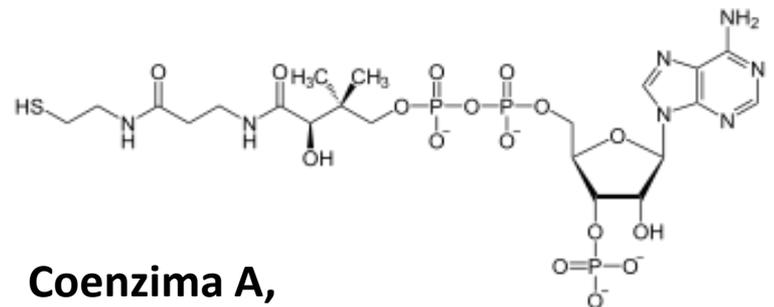
**FAD**, flavina adenina dinucleotídeo  
(transportador de eletrons)



**ATP**, adenosina trifosfato,  
transportador de energia química



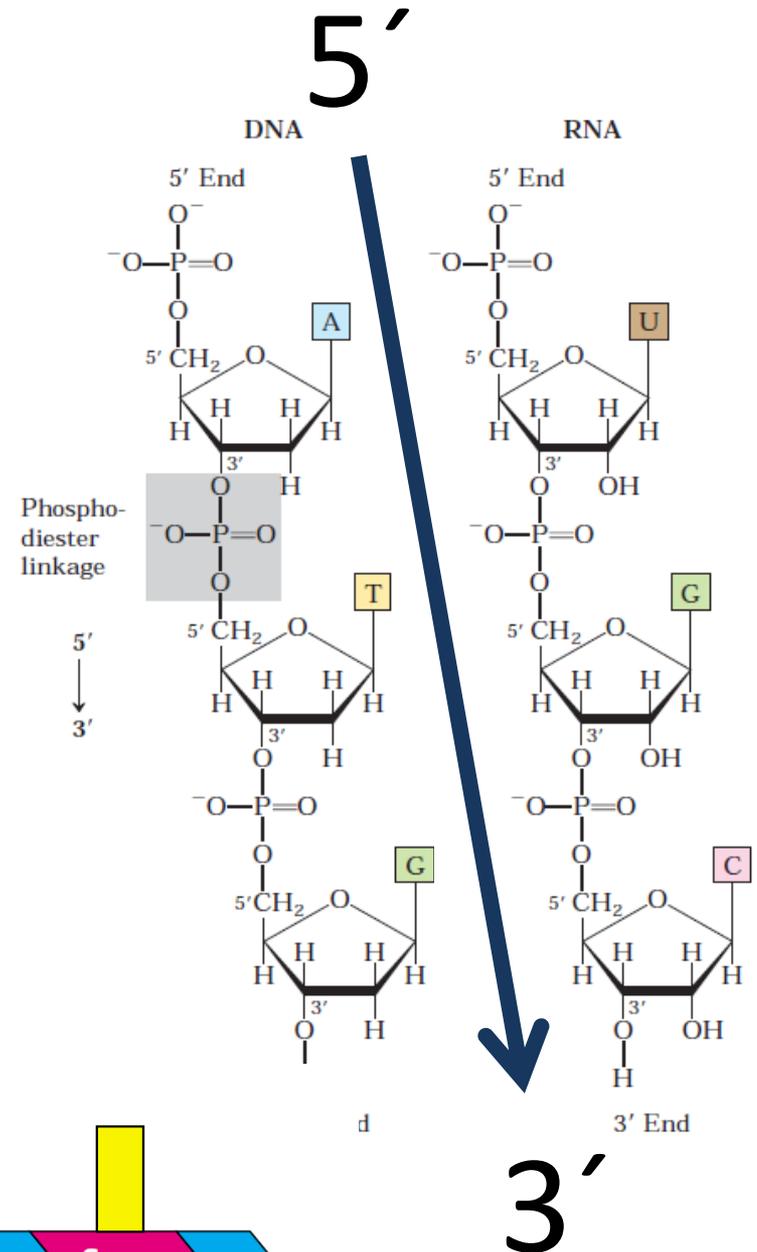
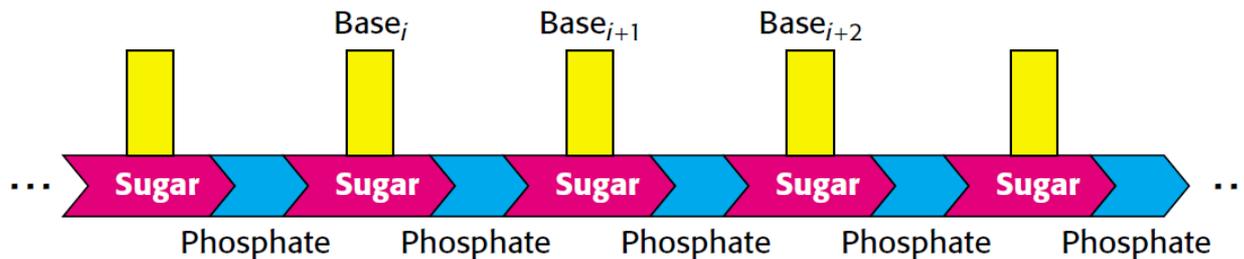
**FMN**,  
Flavina mononucleotídeo  
(grupamento prostético  
de várias oxidoredutases)

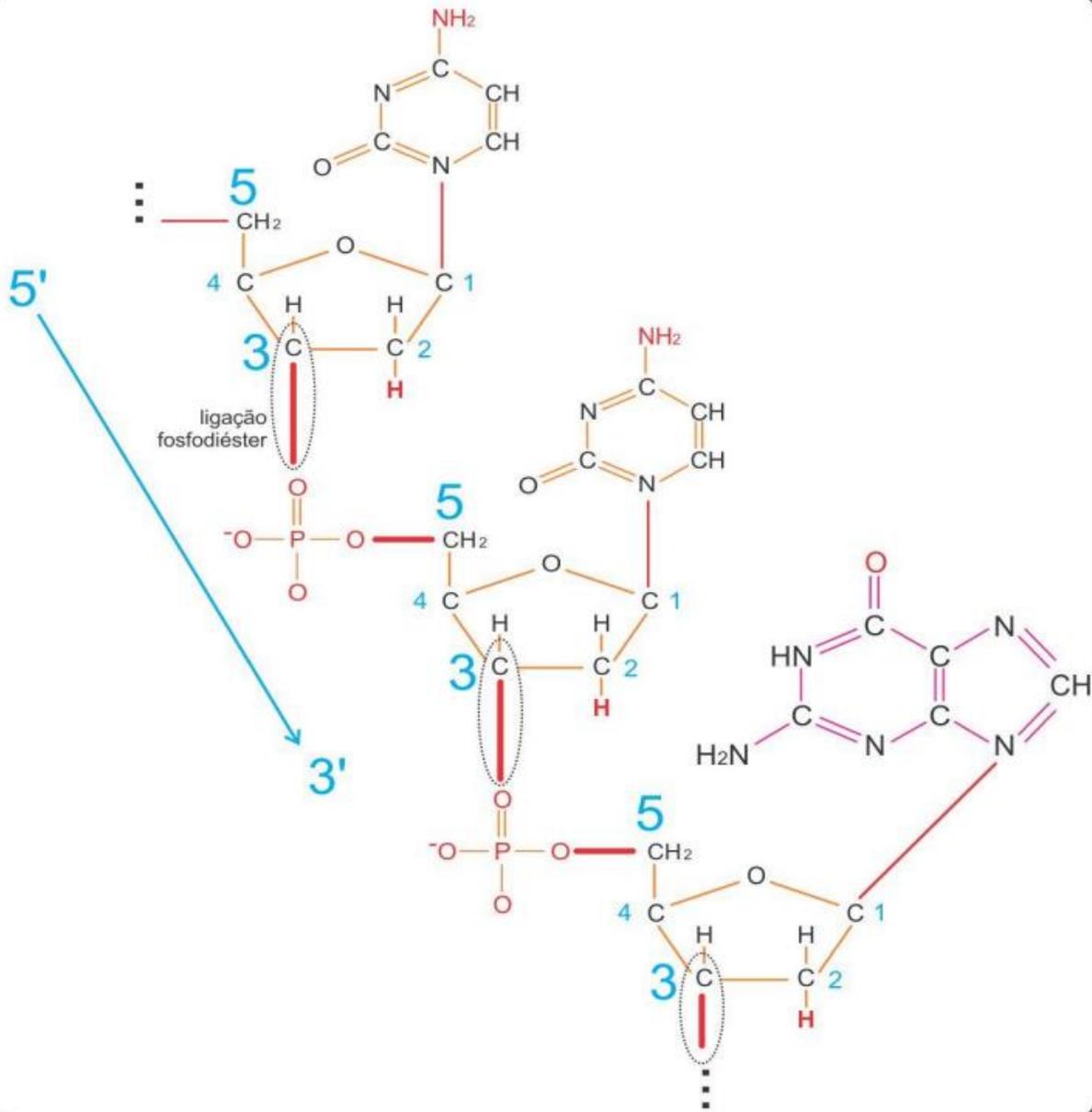


**Coenzima A**,  
transportador de grupamentos acil  
ex. Acetil-CoA

# Estrutura geral dos polinucleotídeos

- Numa extremidade temos um grupamento fosfato ligado ao carbono 5' da ribose.
- Na outra extremidade temos a hidroxila 3' da outra ribose,
- Isso estabelece uma polaridade 5' → 3' nas moléculas de ácidos nucleicos
- As bases ficam ligadas ao carbono 1' da ribose.
- As riboses se ligam por grupamentos fosfodiéster
- O “esqueleto” pentose-fosfato se repete monótonamente ao longo de toda molécula linear





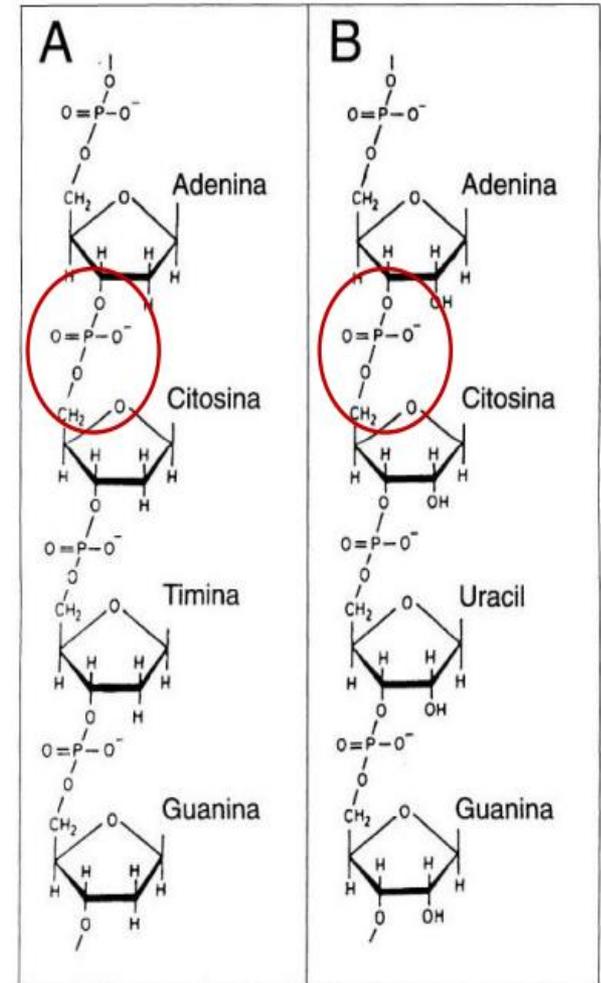
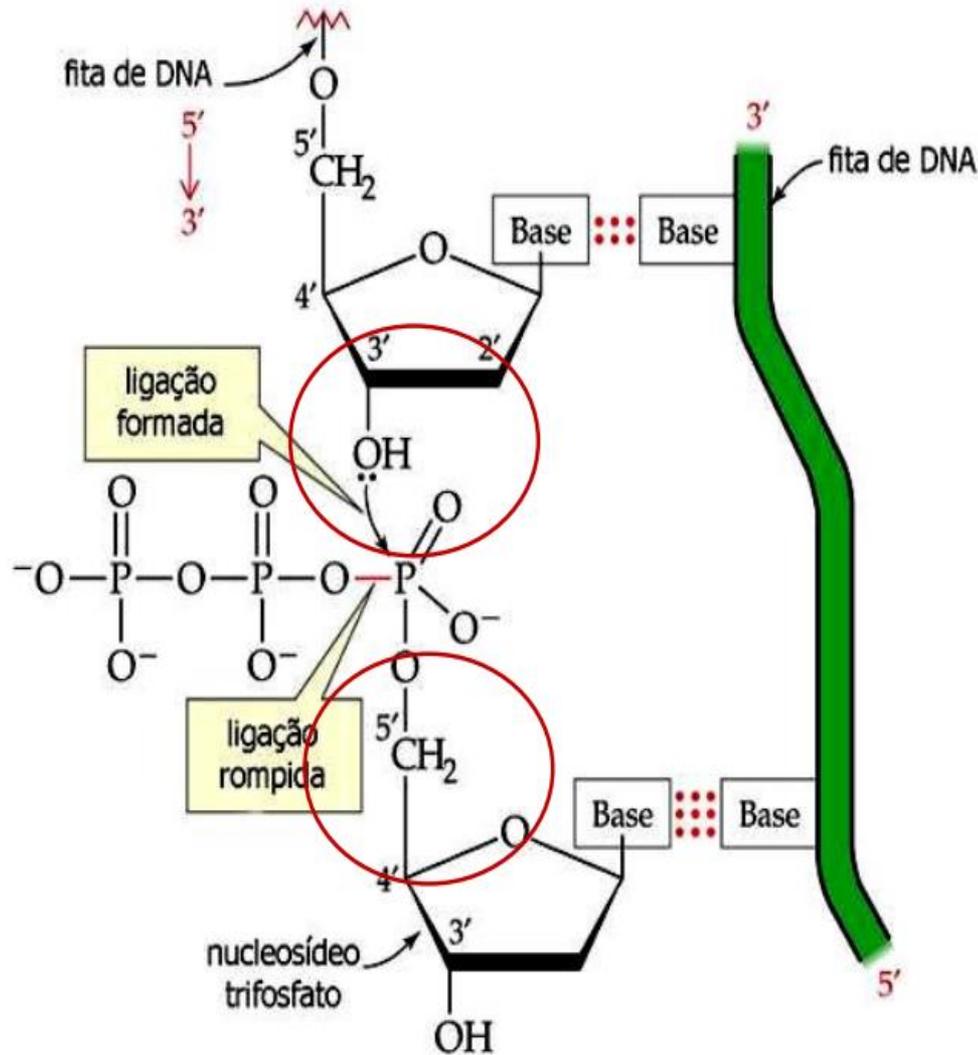
1º nucleotídeo: grupo fosfato em C5

Último nucleotídeo: grupo hidroxílico em C3

Próximo nucleotídeo é adicionado na extremidade 3'-OH

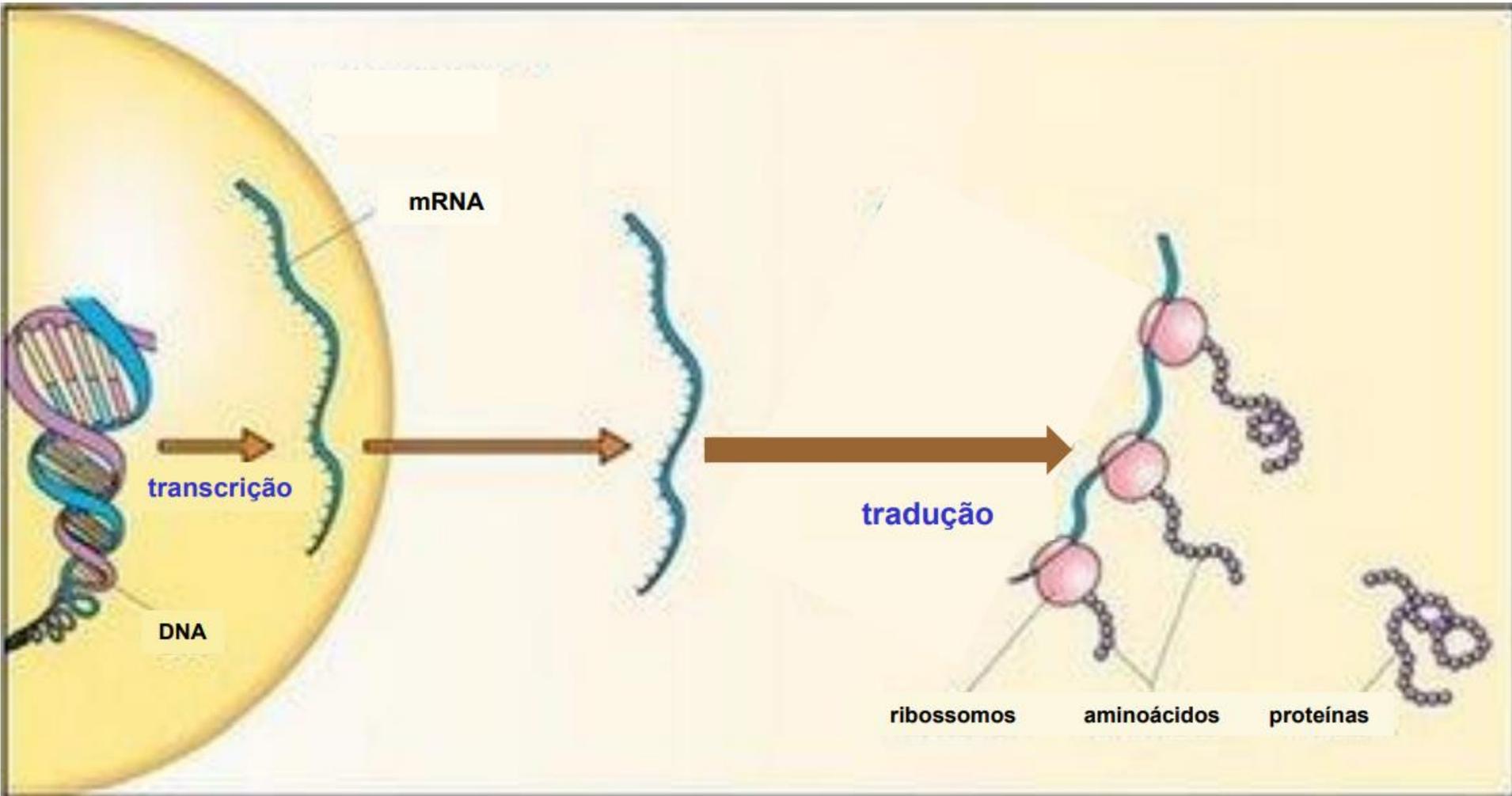
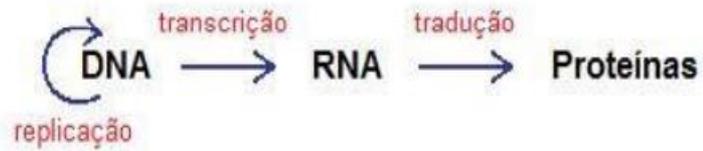
## Formação da ligação fosfodiéster

# Ligação fosfodiéster

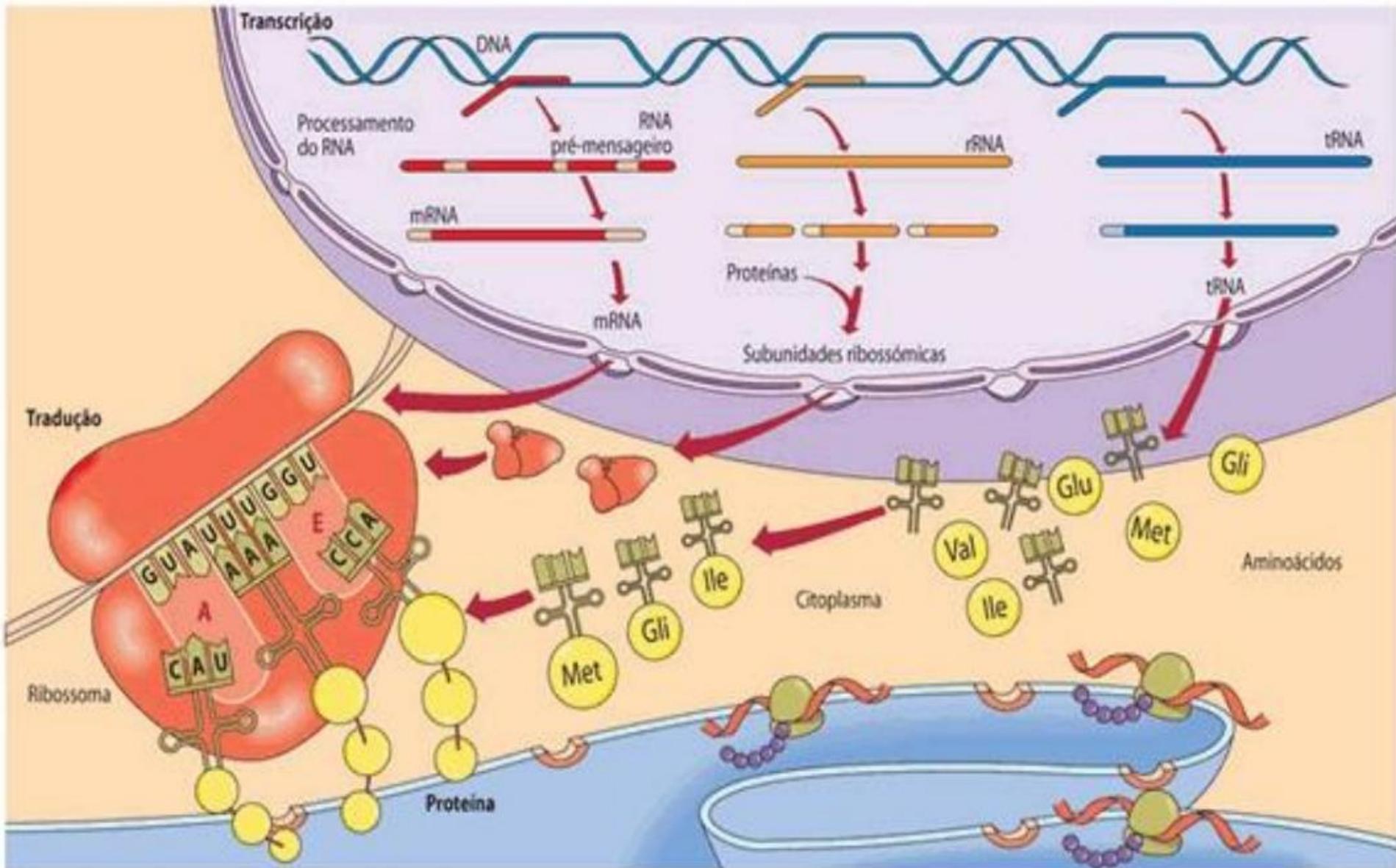


O grupo hidroxila do carbono-3 da pentose do primeiro nucleotídeo se liga ao grupo fosfato ligado a hidroxila do carbono-5 da pentose do segundo nucleotídeo através de uma ligação fosfodiéster.

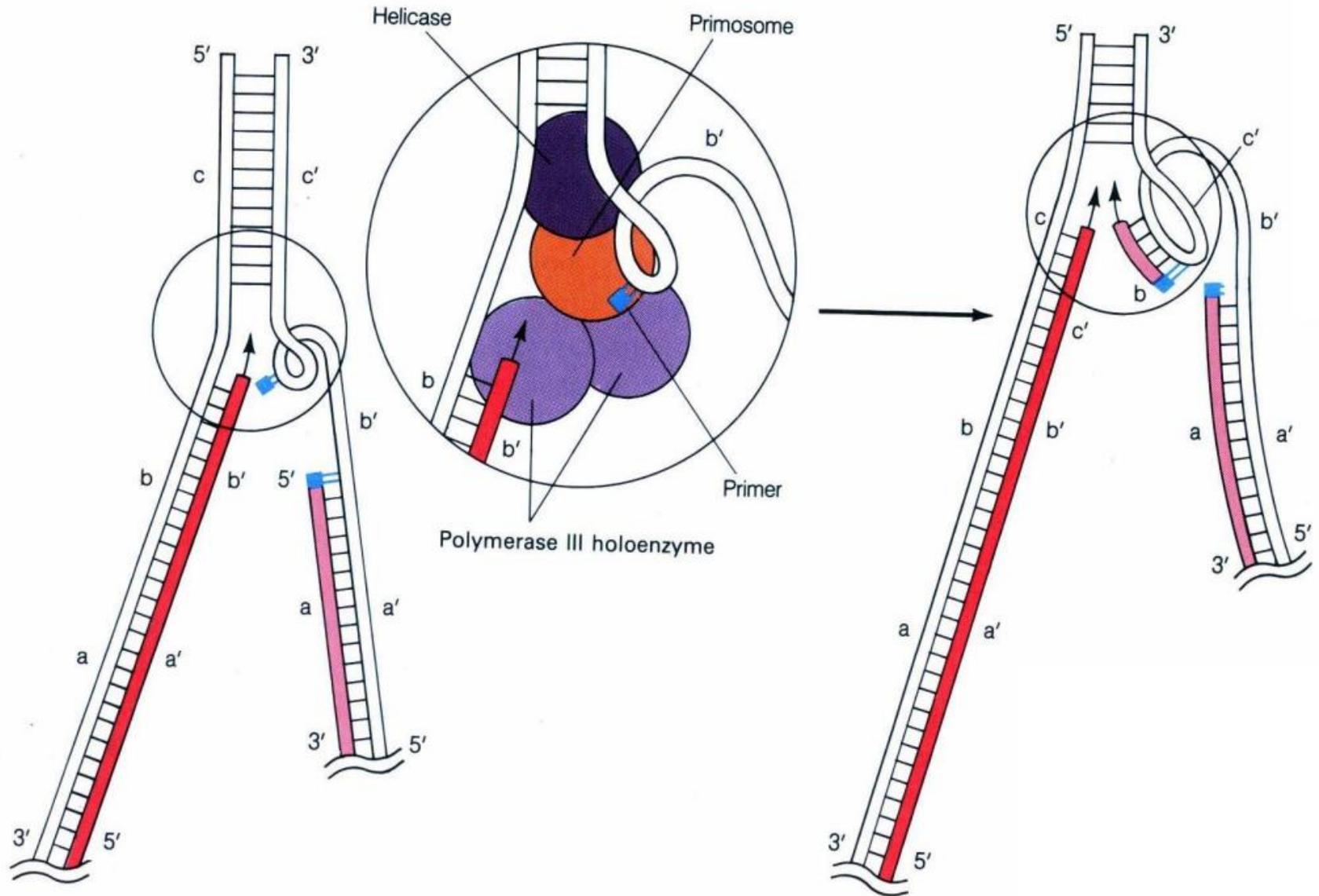
# Dogma da Biologia



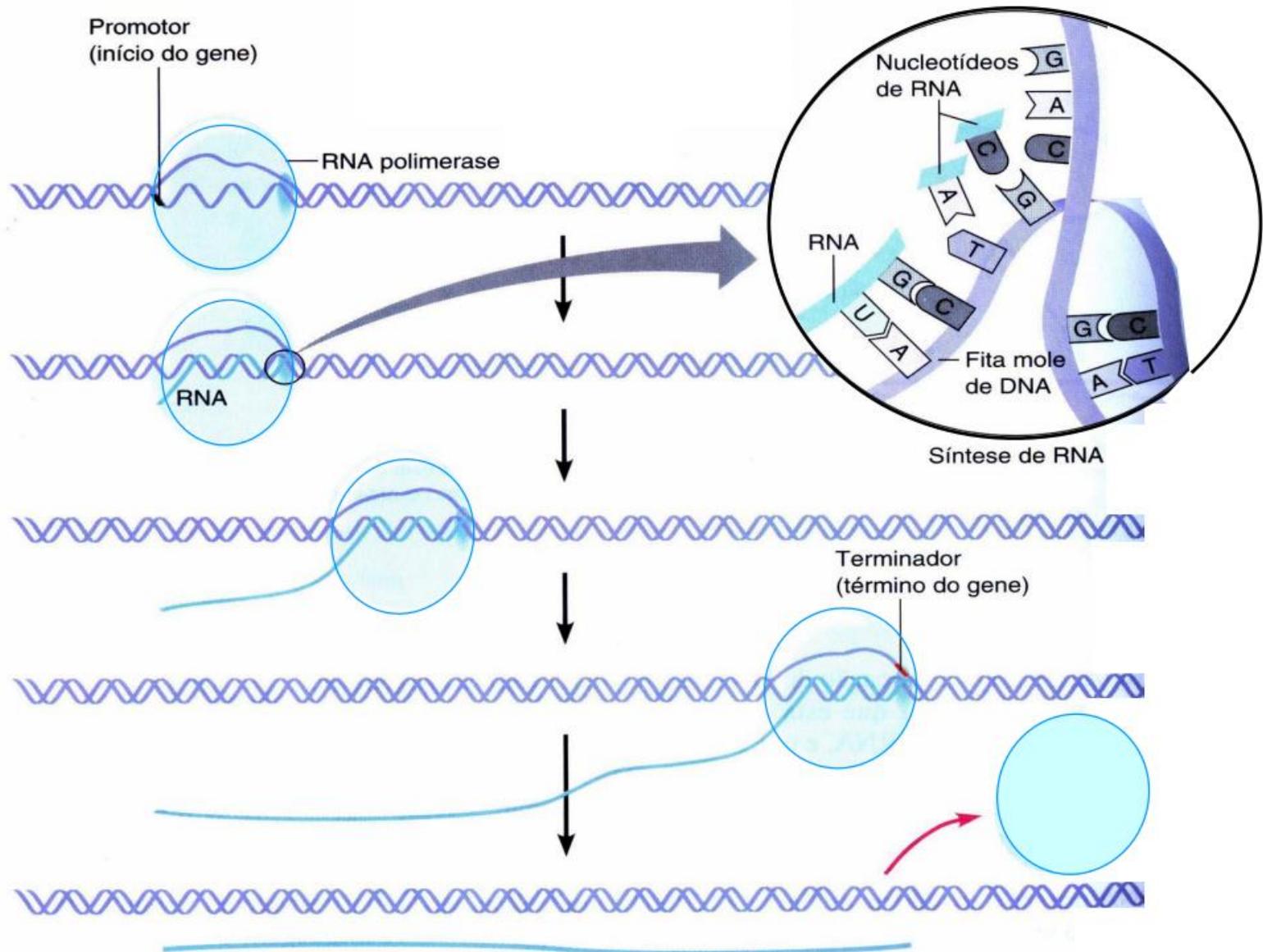
# Dogma da Biologia



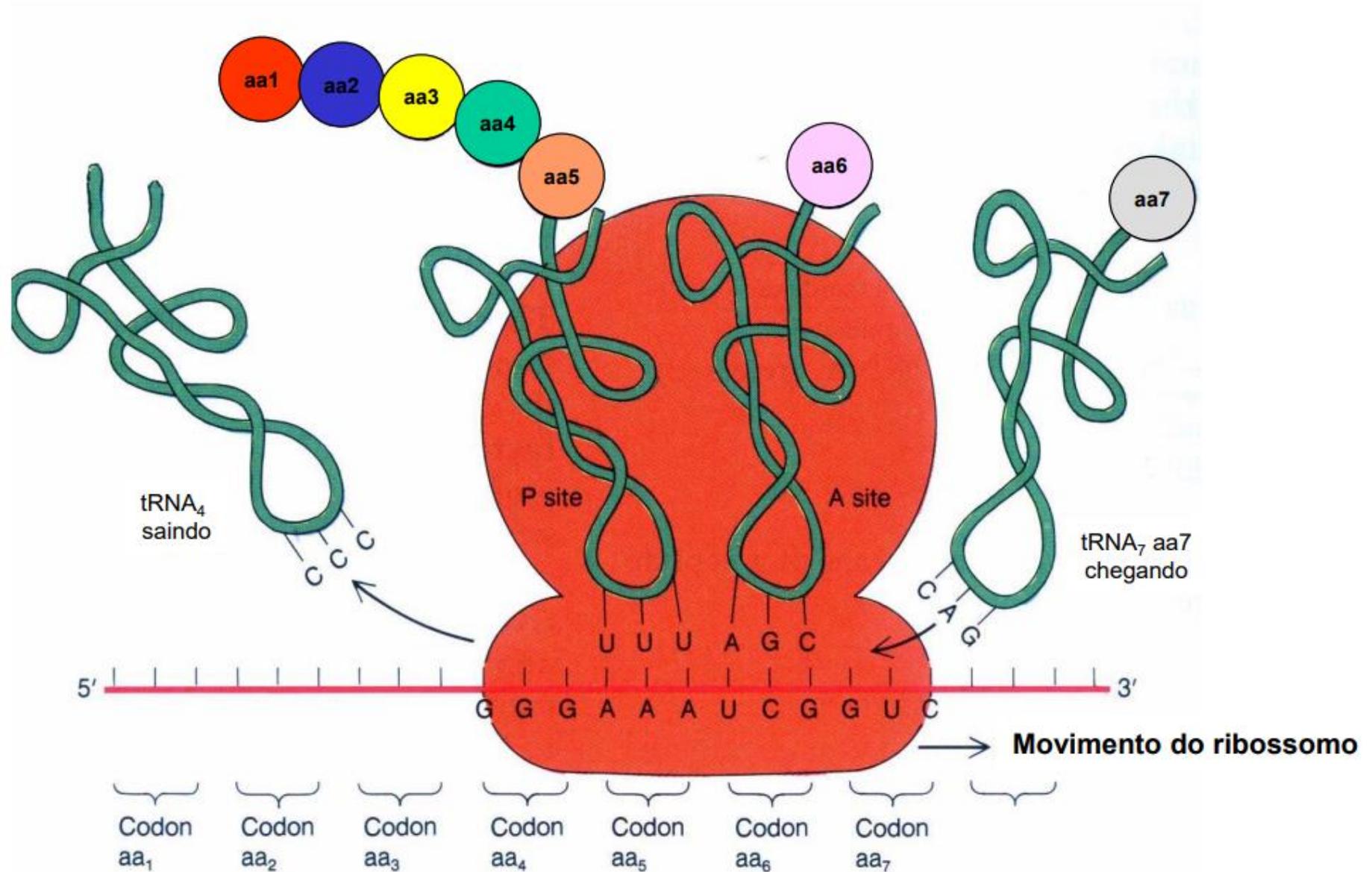
# Replicação – síntese de DNA

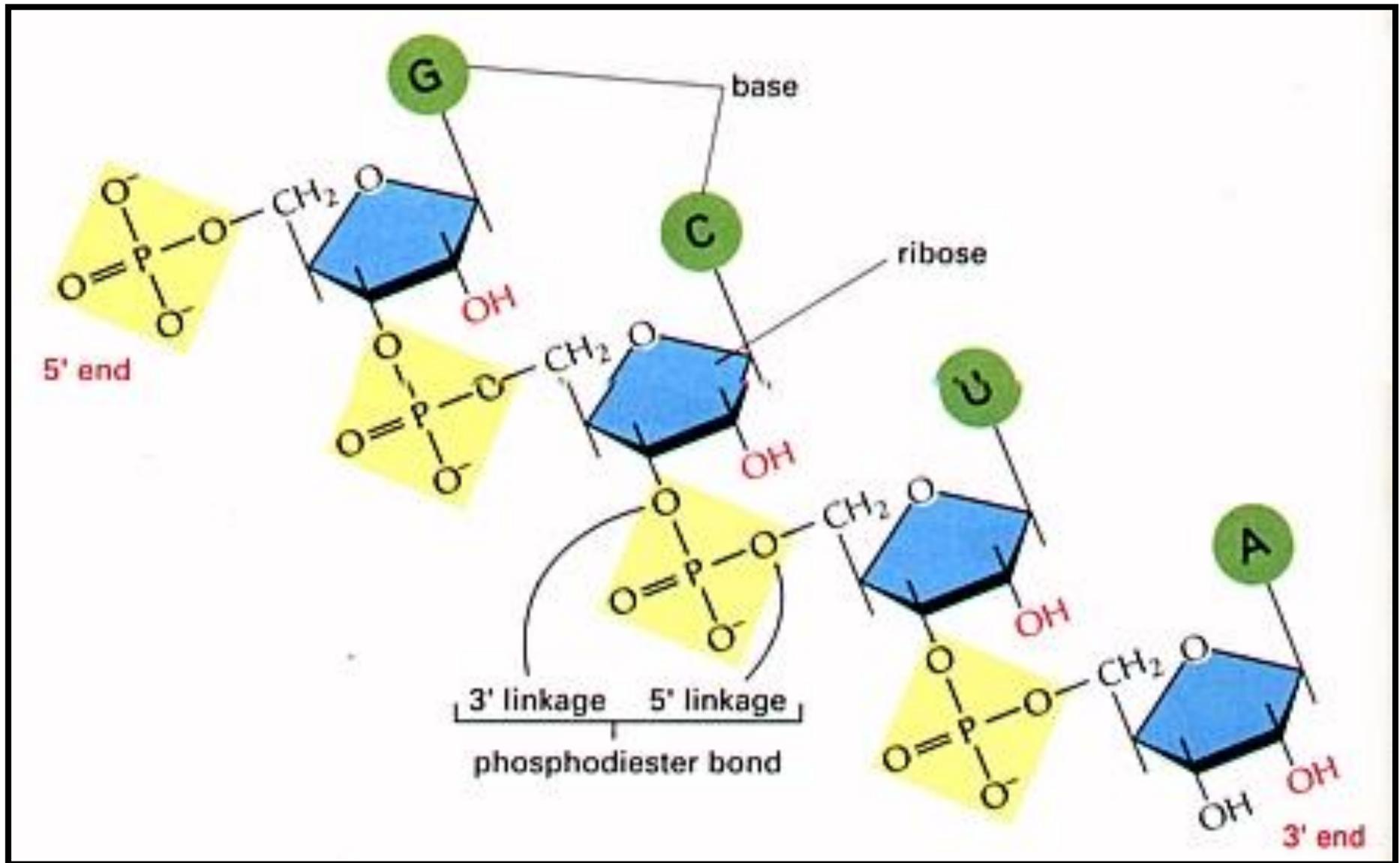


# Transcrição – síntese de RNA



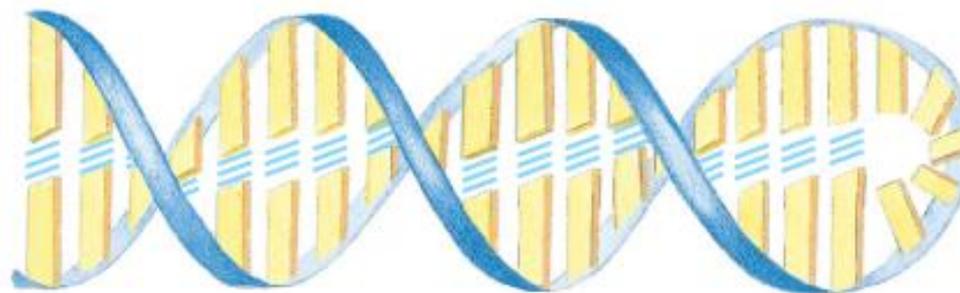
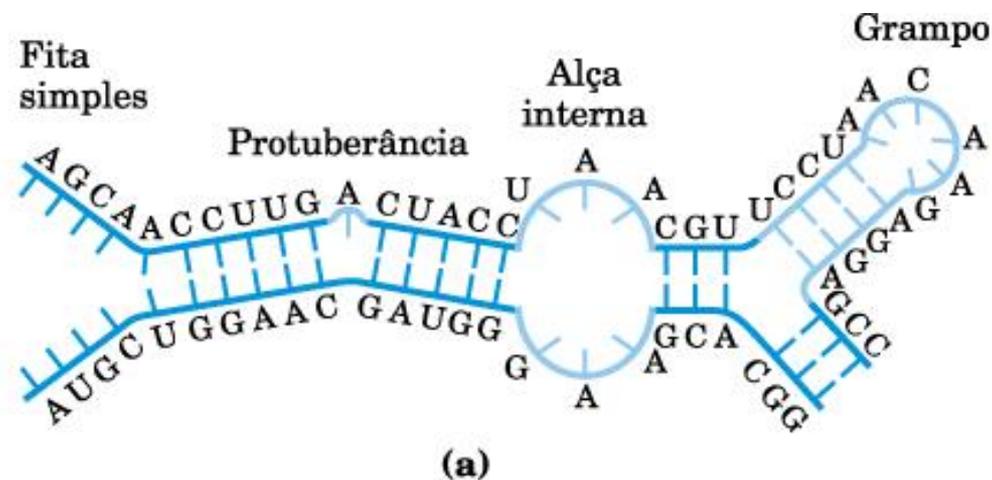
# Tradução – síntese de proteínas





Ligações açúcar-fosfato do RNA

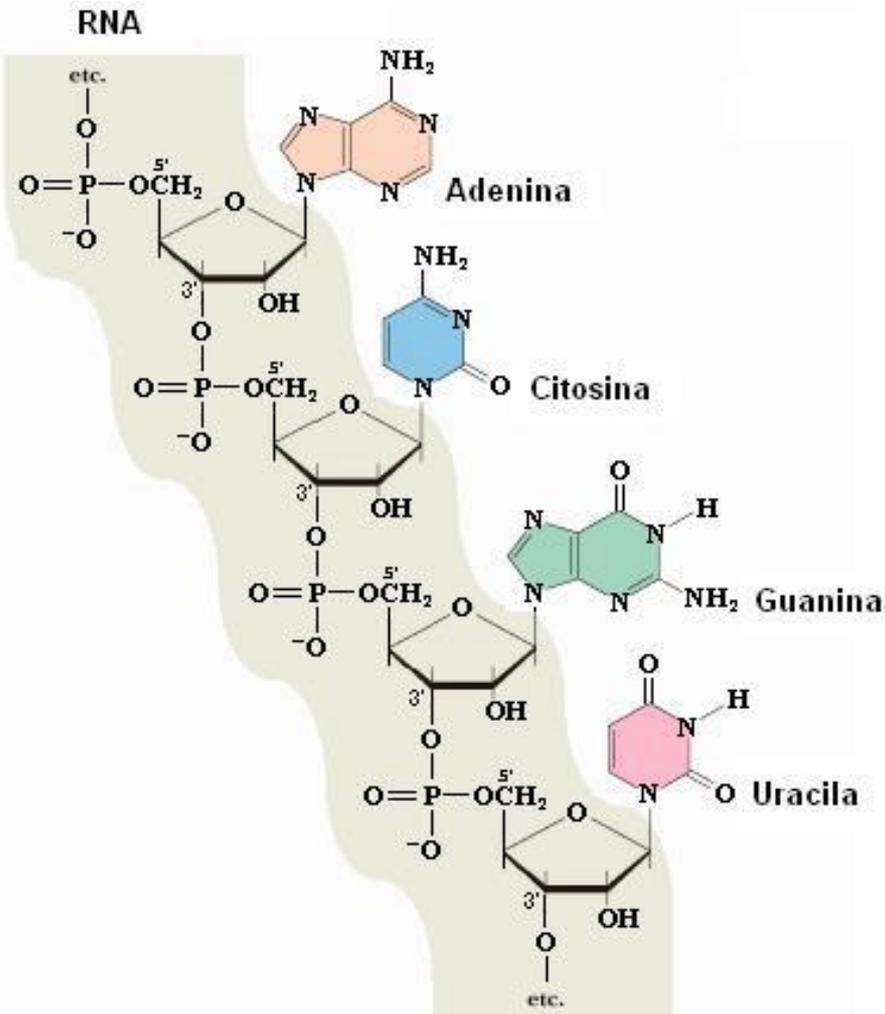
# Muitos RNAs possuem estruturas tridimensionais mais complexas



Hélice dupla em forma de grampo  
(b)

**FIGURA 8-23** Estrutura secundária de RNAs. (a) Protuberância, alça interna e grampo. (b) As regiões pareadas geralmente têm uma hélice direita na forma A, como mostrado para o grampo.

# RNA



## Tipos:

**.mRNAs (RNAs mensageiros):** veículo pelo qual a informação genética é transferida do DNA aos ribossomos para a síntese de cadeias polipeptídicas (1 a 5% do RNA total).

**.rRNAs (RNAs ribossômicos):** componentes estruturais dos ribossomos - catalisam a tradução de um mRNA em uma cadeia polipeptídica (75% do RNA total).

**.tRNAs (RNA transportador ou de transferência):** moléculas adaptadoras que traduzem a informação presente no mRNA em uma seqüência específica de aminoácidos (10 a 15% do RNA total).

# RNA

- snRNAs: RNAs nucleares pequenos
- scRNAs: RNAs citoplasmáticos pequenos
- snoRNAs: RNAs nucleolares pequenos

Manutenção básica  
do metabolismo da  
célula

RNAs não codificadores curtos:

- miRNAs: microRNAs
- siRNAs: RNAs de interferência
- piRNAs

RNAs não codificadores longos: funções  
regulatórias ainda não elucidadas

Envolvidos na  
regulação da  
expressão dos genes

# tRNA

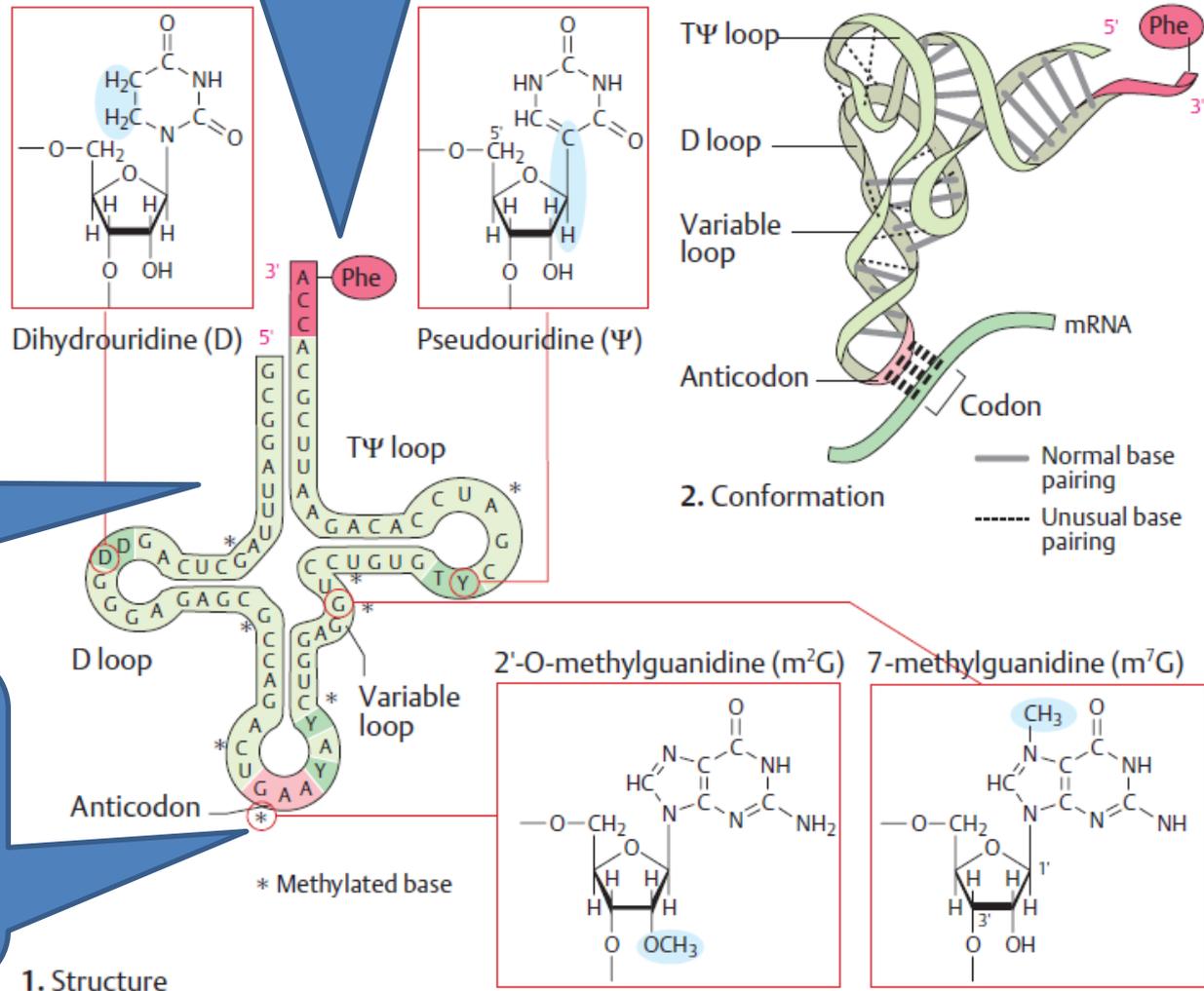
Bases modificadas:  
 D – dihidrouridina  
 Ψ – pseudouridina  
 m<sup>2</sup>G - 2-O-metilguanidina  
 m<sup>7</sup>G – 7-metilguanidina

Extremidade 3' ACC,  
 extremidade aceptora, onde  
 fica preso o aminoácido

Estrutura  
 terciária  
 em forma  
 de L

Estrutura  
 secundária  
 em  
 forma de trevo,  
 formada por  
 quatro "loops"

Anticodon, triplete de bases  
 complementares ao codon  
 (mRNA) que determina qual  
 aminoácido deve entrar  
 nessa posição

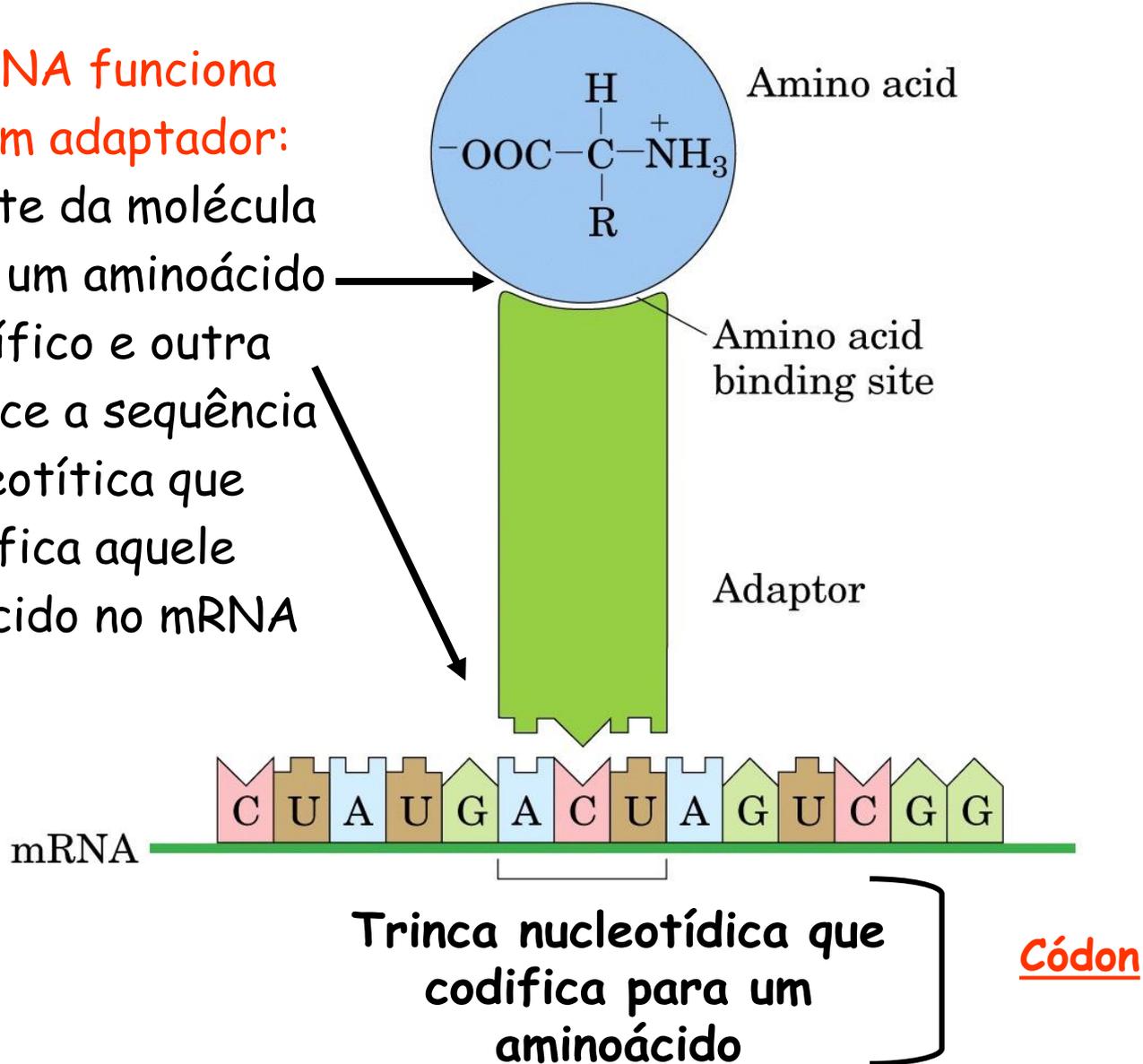


1. Structure

2. Conformation

## A hipótese do adaptador de Crick

Um tRNA funciona como um adaptador: uma parte da molécula se liga a um aminoácido específico e outra reconhece a sequência nucleotídica que codifica aquele aminoácido no mRNA

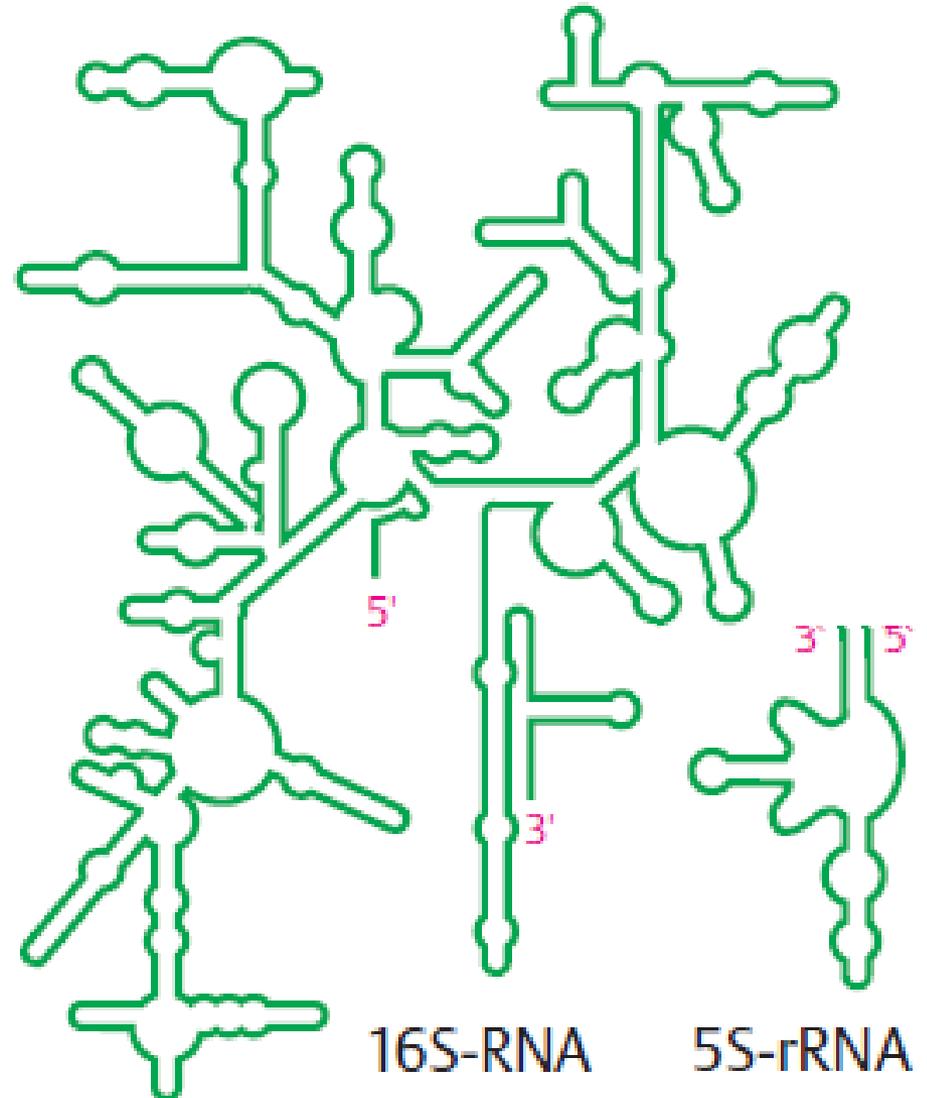


# O Código Genético

First position (5' end)	Second position				Third position (3' end)
	U	C	A	G	
U	Phe	Ser	Tyr	Cys	U
	Phe	Ser	Tyr	Cys	C
	Leu	Ser	Stop	Stop	A
	Leu	Ser	Stop	Trp	G
C	Leu	Pro	His	Arg	U
	Leu	Pro	His	Arg	C
	Leu	Pro	Gln	Arg	A
	Leu	Pro	Gln	Arg	G
A	Ile	Thr	Asn	Ser	U
	Ile	Thr	Asn	Ser	C
	Ile	Thr	Lys	Arg	A
	Met	Thr	Lys	Arg	G
G	Val	Ala	Asp	Gly	U
	Val	Ala	Asp	Gly	C
	Val	Ala	Glu	Gly	A
	Val	Ala	Glu	Gly	G

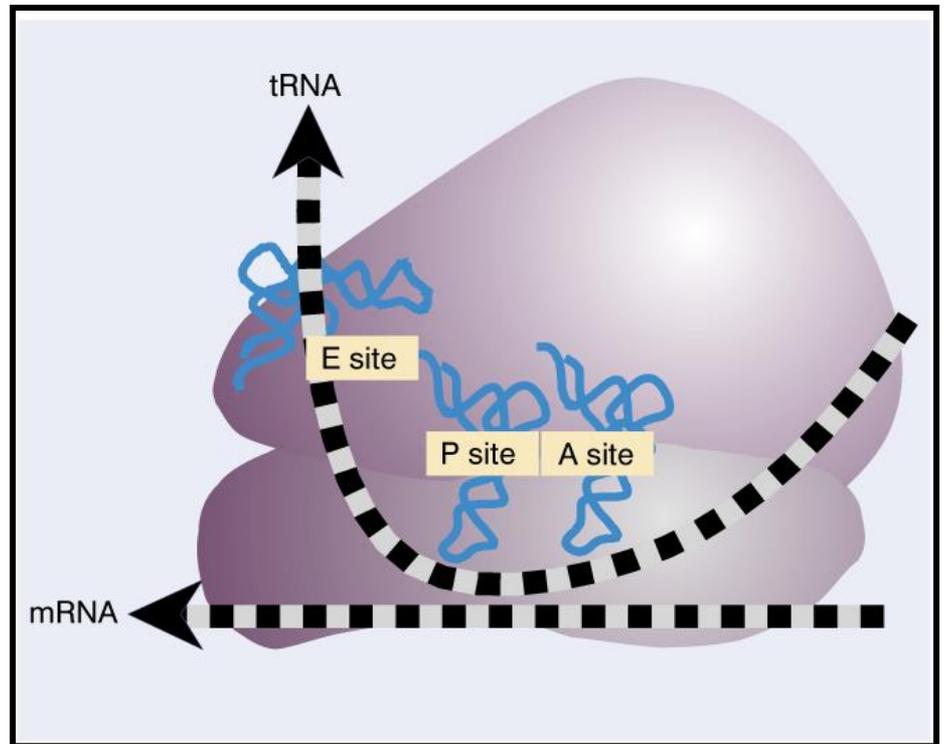
# O RNA ribossomal

- O rRNA 16S na figura ao lado, tem **1542 nucleotídeos** (nt), é um componente da subunidade pequena do ribossomo
- O rRNA 5S (118 nt) se localiza na subunidade maior
- Duas moléculas de rRNA, junto com aproximadamente 50 proteínas formam um ribossomo
- O rRNA é o RNA mais abundante na célula 80%
- Produzido pela transcrição do DNA no nucleolo
- O genoma possui centenas de cópias de genes para rRNA



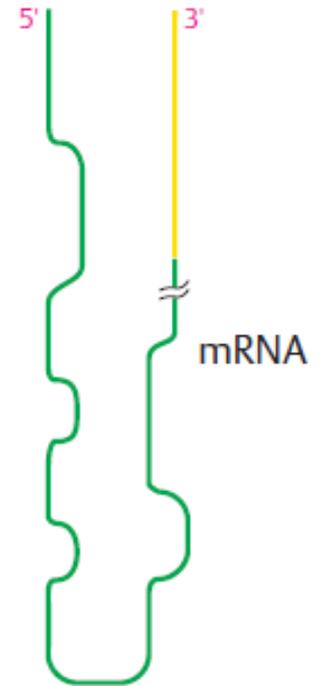
## O ribossomo acomoda dois tRNAs carregados

Ribossomos possuem 2 sítios de ligação de tRNA  
(**P** = peptidil e **A**= aminoacil)  
O sítio E é o sítio de liberação do tRNA (E= "exit")



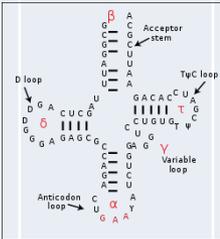
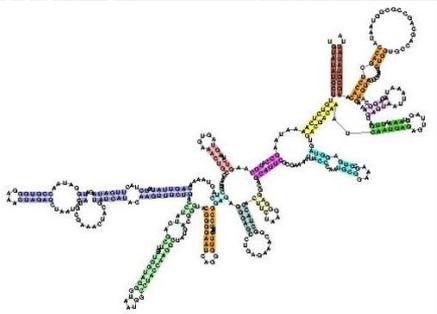
# O RNA mensageiro

- Tranfere a informação genética do DNA para o ribossomo
- Não formam estrutura terciária.
- Se liga a proteínas ligadoras de RNA para evitar isso.
- Varia muito em tamanho, conforma a proteína que codifica
- Tempo de vida curto, é rapidamente quebrado após sua leitura



Type	mRNA	
Species per cell	> 1000	
Length (b)	400 - 6000	
Proportion	5%	
Lifespan	Short	
Function	Translation	

# Três Tipos de ácidos ribonucleicos (RNAs)

Tipo	Sigla	Tamanho	Função	Características
Mensageiro	mRNA	Variam em tamanho de acordo com a proteína que codificam	Carregam a informação genética do gene (DNA) até o ribossomo	Vida muito curta, muito instáveis. Pelo menos 3.000 diferentes um para cada gene. 
Transportador	tRNA 	Em torno de 90 nucleotídeos	Adaptador, faz com que o aminoácido encaixe no seu códon durante a síntese de proteína	apresentam nucleotídeos modificados, estrutura secundária em trevo, estrutura terciária em L, Em torno de 50 por célula
Ribossomal	rRNA 	Subunidade 16S tem 1542 nucleotídeos.	Componente do Ribossoma, um complexo de 52 proteínas e duas moléculas de RNA que cataliza a síntese de proteínas	Estruturas secundária e terciária complexas. Regular em tamanho. Apenas dois por célula, um para cada subunidade ribossomal.

# Evidências de que o DNA era o material genético

## Regras de Chargaff (1940):

1. Composição de bases do DNA geralmente varia de uma espécie para outra;
2. Moléculas de DNA isoladas de diferentes tecidos da mesma espécie possuem a mesma composição de bases;
3. A composição de bases do DNA em uma dada espécie não se altera com a idade do organismo, o estado nutricional ou a modificação ambiental;
4. Em todos os DNAs celulares, independentemente da espécie, o número de resíduos de adenosina é igual ao de timidina ( $A=T$ ) e o número de resíduos de guanosina é igual ao número de citidina ( $G=C$ ). A partir dessas relações segue-se que a soma dos resíduos das purinas iguala-se à soma dos resíduos de pirimidina, ou seja:  $A + G = T + C$ .

# Regras de Chargaff

Chargaff e cols, quantificaram cada um dos tipos de base nitrogenada do DNA (adenina, timina, citosina e guanina) de várias espécies por cromatografia.

Organismo	Tecido	A	T	G	C	$\frac{A+T}{G+C}$
<i>E. coli</i>	-	26,0	23,9	24,9	25,2	1,00
<i>S. pneumoniae</i>	-	29,8	31,6	20,5	18,0	1,59
<i>M. tuberculosis</i>	-	15,1	14,6	34,9	35,4	0,42
Levedura	-	31,3	32,9	18,7	17,1	1,79
Ouriço do mar	esperma	32,8	32,1	17,7	18,4	1,85
Arenque	esperma	27,8	27,5	22,2	22,6	1,23
Rato	medula óssea	28,6	28,4	21,4	21,5	1,33
Homen	timo	30,9	29,4	19,9	19,8	1,52
Homen	figado	30,3	30,3	19,5	19,9	1,53
Homen	esperma	30,7	31,2	19,3	18,8	1,62



A razão entre os 4 nucleotídeos varia entre as espécies

O número de Adeninas é semelhante ao de Timinas em todas as espécies

O número de Citosinas é semelhante ao de Guaninas

A razão de purinas e pirimidinas é sempre aproximadamente 1 (purinas = pirimidinas)

a quantidade de pirimidina (T+C) era sempre igual a quantidade de purinas (A+G);

a quantidade de T era sempre igual a de A e a quantidade de G igual a de C e

que a quantidade de A+T não era necessariamente igual a de C+G.

# Pareamento de Watson e Crick e o conceito de complementaridade.

Fitas de DNA complementares:

5'-ATCGAT-3'

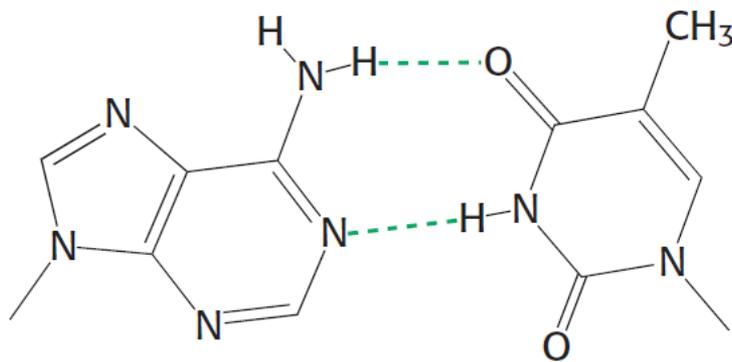
3'-TAGCTA-5'

RNAs complementares, (U em lugar de T).

5'-AUCGAU-3'

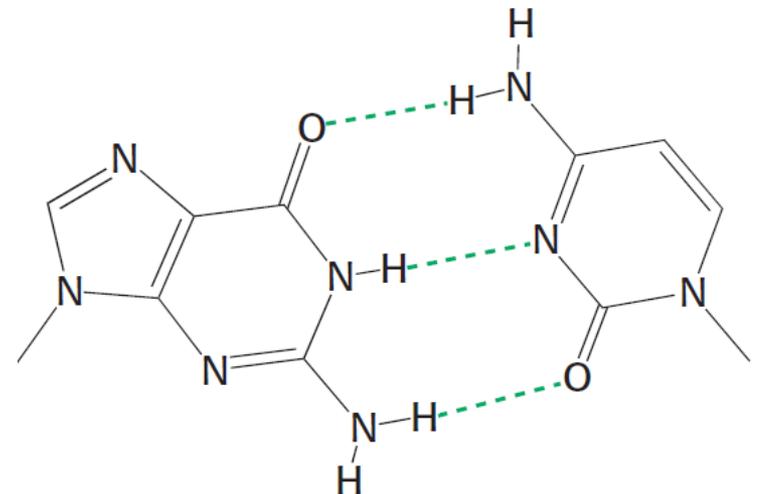
3'-UAGCUA-5'

Species	A:T	G:C	A:G
Human being	1.00	1.00	1.56
Salmon	1.02	1.02	1.43
Wheat	1.00	0.97	1.22
Yeast	1.03	1.02	1.67
<i>Escherichia coli</i>	1.09	0.99	1.05
<i>Serratia marcescens</i>	0.95	0.86	0.70



Adenine (A)

Thymine (T)



Guanine (G)

Cytosine (C)

## Química e estrutura do DNA



Rosalind Franklin e Maurice Wilkins estudaram a difração de raios X na molécula cristalizada de DNA e concluíram que a sua estrutura é helicoidal.



Em 1953, James Watson e Francis Crick propuseram um modelo tridimensional para a estrutura da molécula de DNA.



# O padrão de difração de raios X do DNA

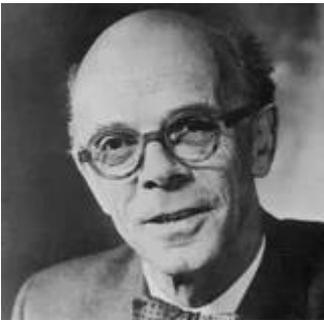
Rosalind Franklin & Maurice Wilkins (1950)



**FIGURA 8-12** Padrão de difração de raios X do DNA. As marcas formando uma cruz no centro demonstram a estrutura helicoidal. As bandas pesadas na esquerda e na direita originam-se das bases recorrentes.



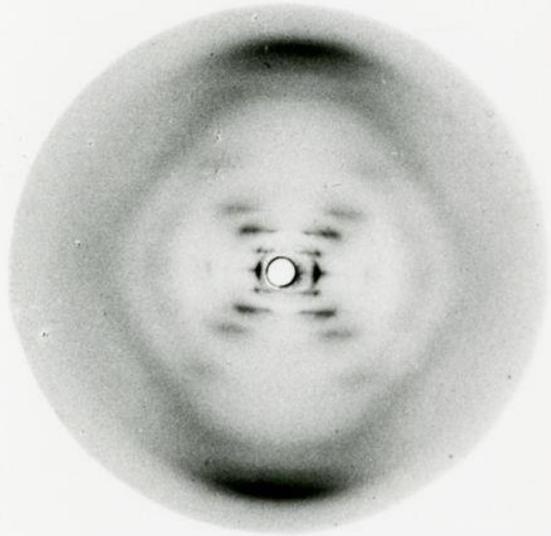
Rosalind Elsie Franklin  
(25 July 1920 – 16 April 1958)



Química e cristalógrafa de raio-X trabalhou nos estudos sobre a estrutura molecular do DNA e RNA, capsídeos virais, carvão e grafite.

Responsável pela elucidação da estrutura de raio-X do DNA

- Graduação (1941) – Ciências Naturais (Newnham College, Cambridge)
- Pesquisadora da British Coal Utilisation Research Association (BCURA) (1942)
- PhD em Cambridge (1945)
- Postdoctoral researcher - *Laboratoire Central des Services Chimiques de l'État* (1947) cristalografia de raio-X
- Research associate no King's College London (1951) – descoberta de propriedades chave do DNA (dupla hélice)
- Desavenças com o director John Randall, e seu colega Maurice Wilkins, levaram Franklin a ir para o Birkbeck College em 1953.



Nos arquivos da Universidade King's College London, no Reino Unido, está guardado o original de uma das fotos mais famosas da história da ciência.

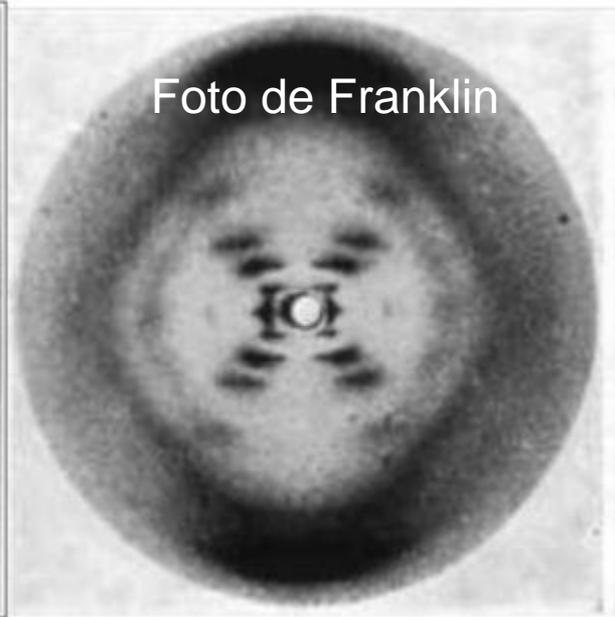
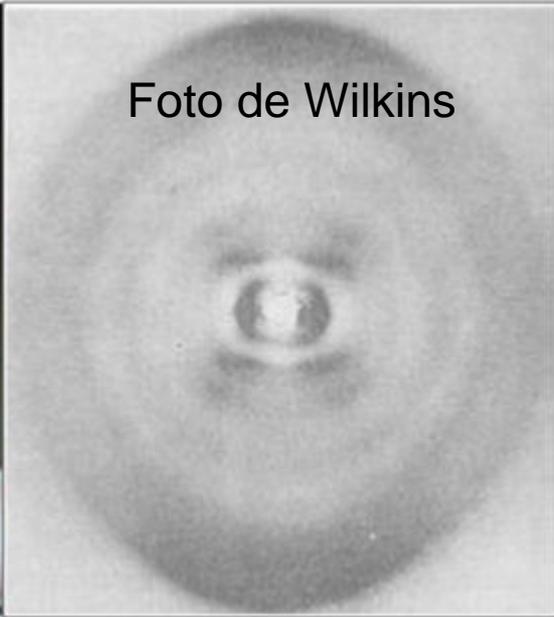
A foto 51 permitiu deduzir a estrutura de dupla hélice do DNA. Rosalind Franklin tinha 31 anos quando tirou a famosa foto com aluno de doutorado Raymond Gosling em 6 de maio de 1952.

Para obter a Foto 51, Franklin teve que aperfeiçoar os instrumentos e realizar uma exposição de 100 horas.



Franklin morreu de câncer aos 37 anos





Quando a cerimônia de entrega do Prêmio Nobel foi realizada em 1962 — uma honraria que não é concedida postumamente —, nem Watson, nem Crick, nem Wilkins reconheceram em seus discursos a importância do trabalho de Franklin para a descoberta

equipment, and to Dr. G. E. R. Deacon and the captain and officers of R.R.S. *Discovery II* for their part in making the observations.

<sup>1</sup> Young, F. B., Gerrard, H., and Jevons, W., *Phil. Mag.*, **40**, 149 (1920).

<sup>2</sup> Longuet-Higgins, M. S., *Mon. Not. Roy. Astro. Soc., Geophys. Supp.*, **5**, 285 (1949).

<sup>3</sup> Von Arx, W. S., *Woods Hole Papers in Phys. Oceanog. Meteor.*, **11** (3) (1950).

<sup>4</sup> Ekman, V. W., *Arkiv. Mat. Astron. Fysik. (Stockholm)*, **2** (11) (1905).

## MOLECULAR STRUCTURE OF NUCLEIC ACIDS

### A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid

WE wish to suggest a structure for the salt of deoxyribose nucleic acid (D.N.A.). This structure has novel features which are of considerable biological interest.

is a residue on each chain every 3.4 Å. in the  $z$ -direction. We have assumed an angle of  $36^\circ$  between adjacent residues in the same chain, so that the structure repeats after 10 residues on each chain, that is, after 34 Å. The distance of a phosphorus atom from the fibre axis is 10 Å. As the phosphates are on the outside, cations have easy access to them.

The structure is an open one, and its water content is rather high. At lower water contents we would expect the bases to tilt so that the structure could become more compact.

The novel feature of the structure is the manner in which the two chains are held together by the purine and pyrimidine bases. The planes of the bases are perpendicular to the fibre axis. They are joined together in pairs, a single base from one chain being hydrogen-bonded to a single base from the other chain, so that the two lie side by side with identical  $z$ -co-ordinates. One of the pair must be a purine and the other a pyrimidine for bonding to occur. The hydrogen bonds are made as follows: purine position

James D. Watson, Francis Crick, 1953



## The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1962

"for their discoveries concerning the molecular structure of nucleic acids and its significance for information transfer in living material"



**Francis Harry  
Compton Crick**

🕒 1/3 of the prize  
United Kingdom

MRC Laboratory of  
Molecular Biology  
Cambridge, United  
Kingdom

b. 1916  
d. 2004



**James Dewey  
Watson**

🕒 1/3 of the prize  
USA

Harvard University  
Cambridge, MA,  
USA

b. 1928



**Maurice Hugh  
Frederick  
Wilkins**

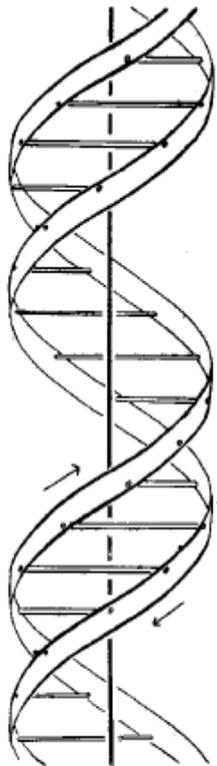
🕒 1/3 of the prize  
United Kingdom  
and New Zealand

London University  
London, United  
Kingdom

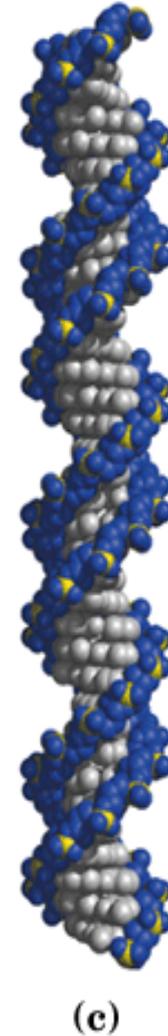
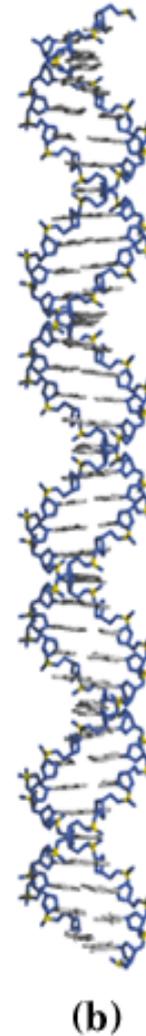
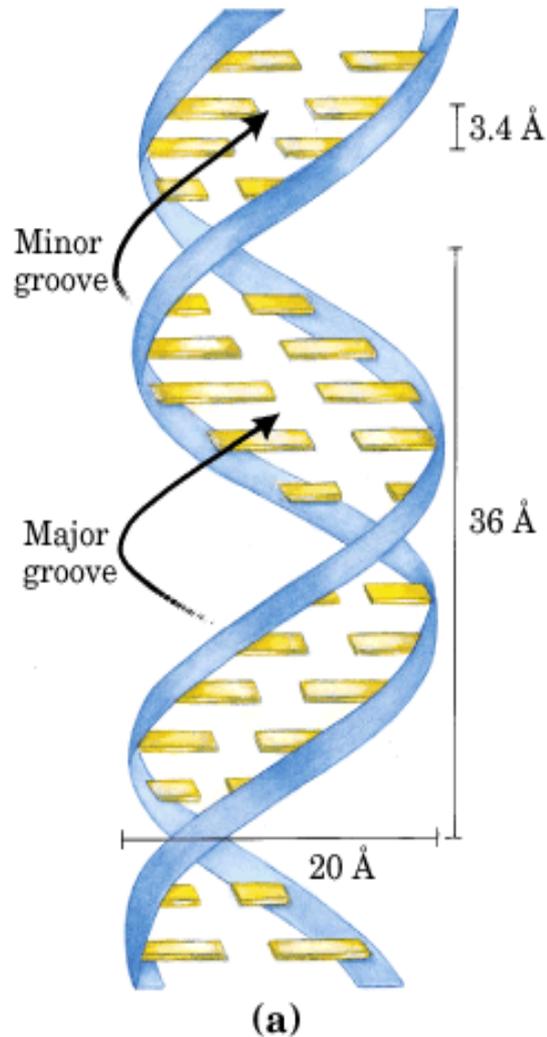
b. 1916  
(in Pongaroa, New  
Zealand)  
d. 2004

## Principais características do Modelo de Watson e Crick:

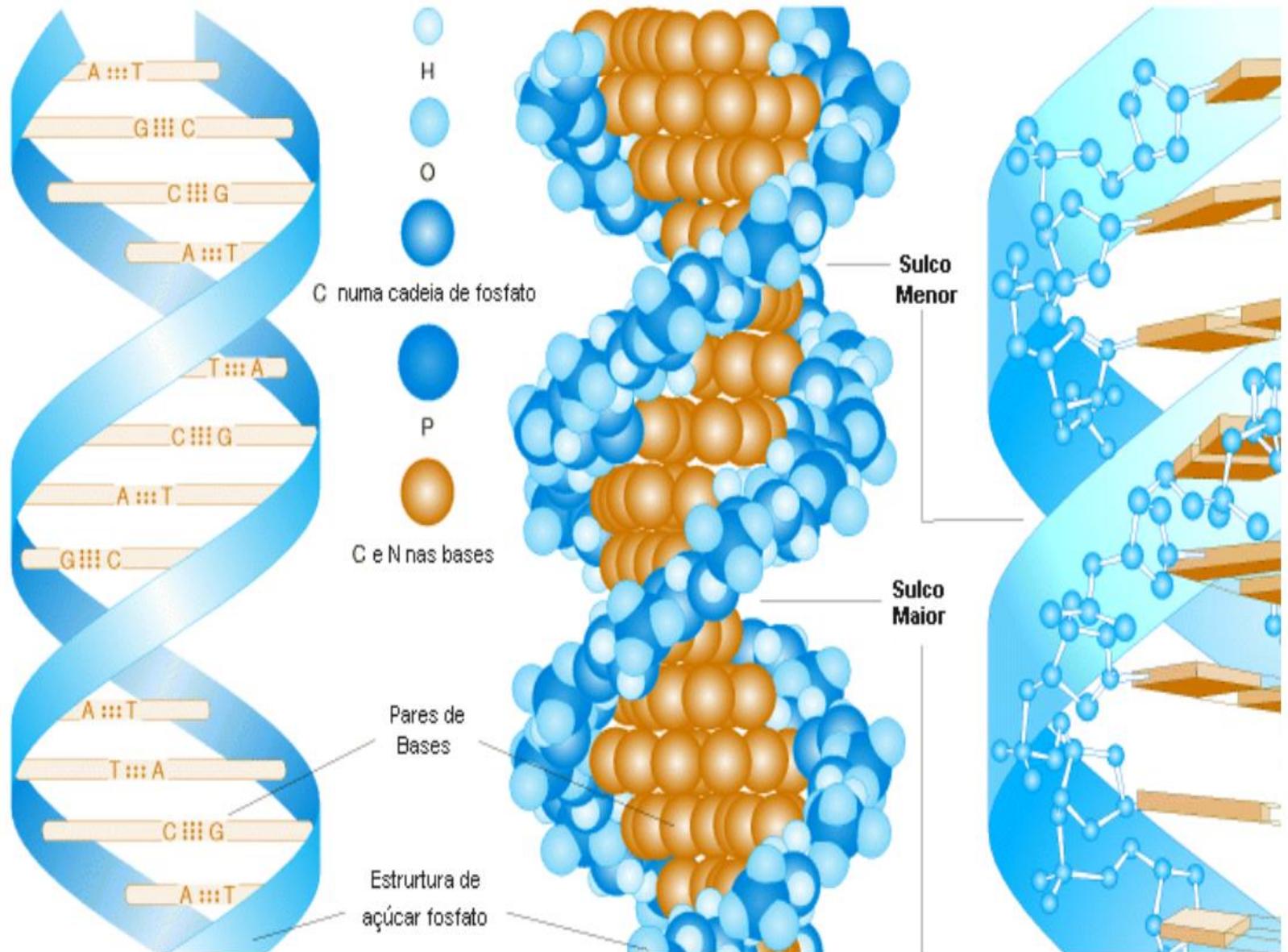
- Dupla hélice; Antiparalelas;
- Complementares entre si: A-T, G-C;
- Três pontes de Hidrogênio entre G e C;
- Duas Pontes de Hidrogênio entre A e T.

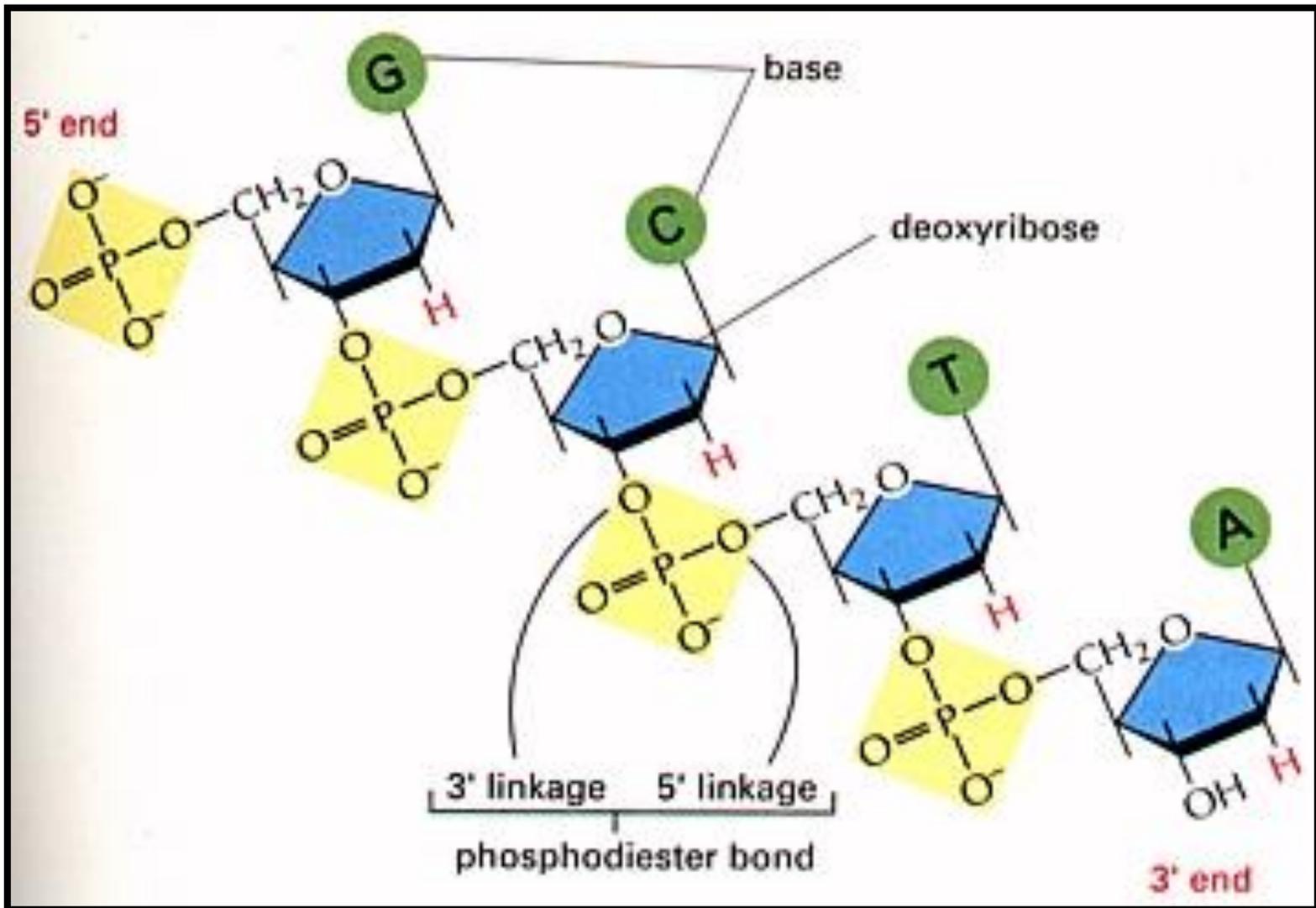


This figure is purely diagrammatic. The two ribbons symbolize the two phosphate-sugar chains, and the horizontal rods the pairs of bases holding the chains together. The vertical line marks the fibre axis

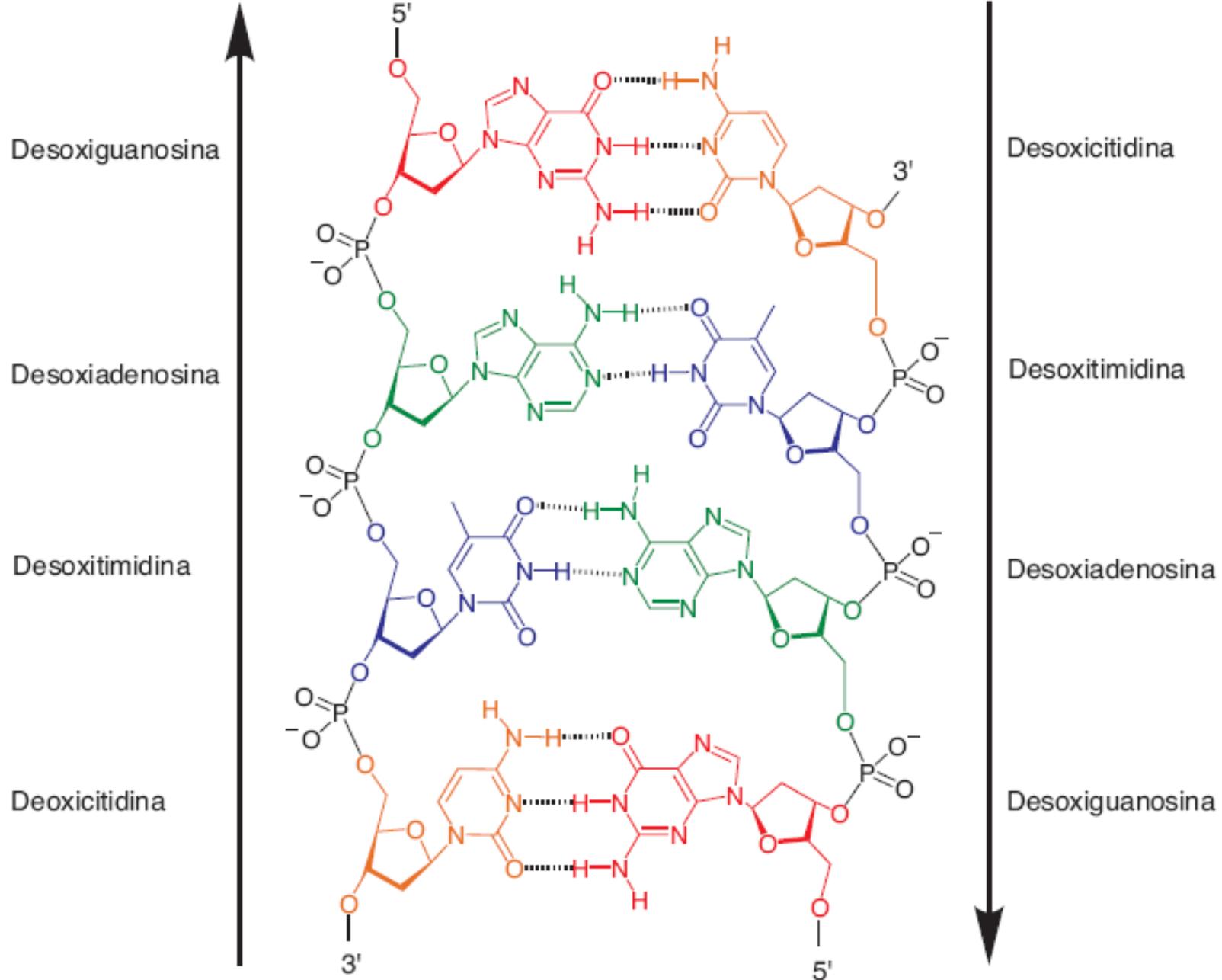


# Estrutura do DNA





Ligações açúcar-fosfato do DNA



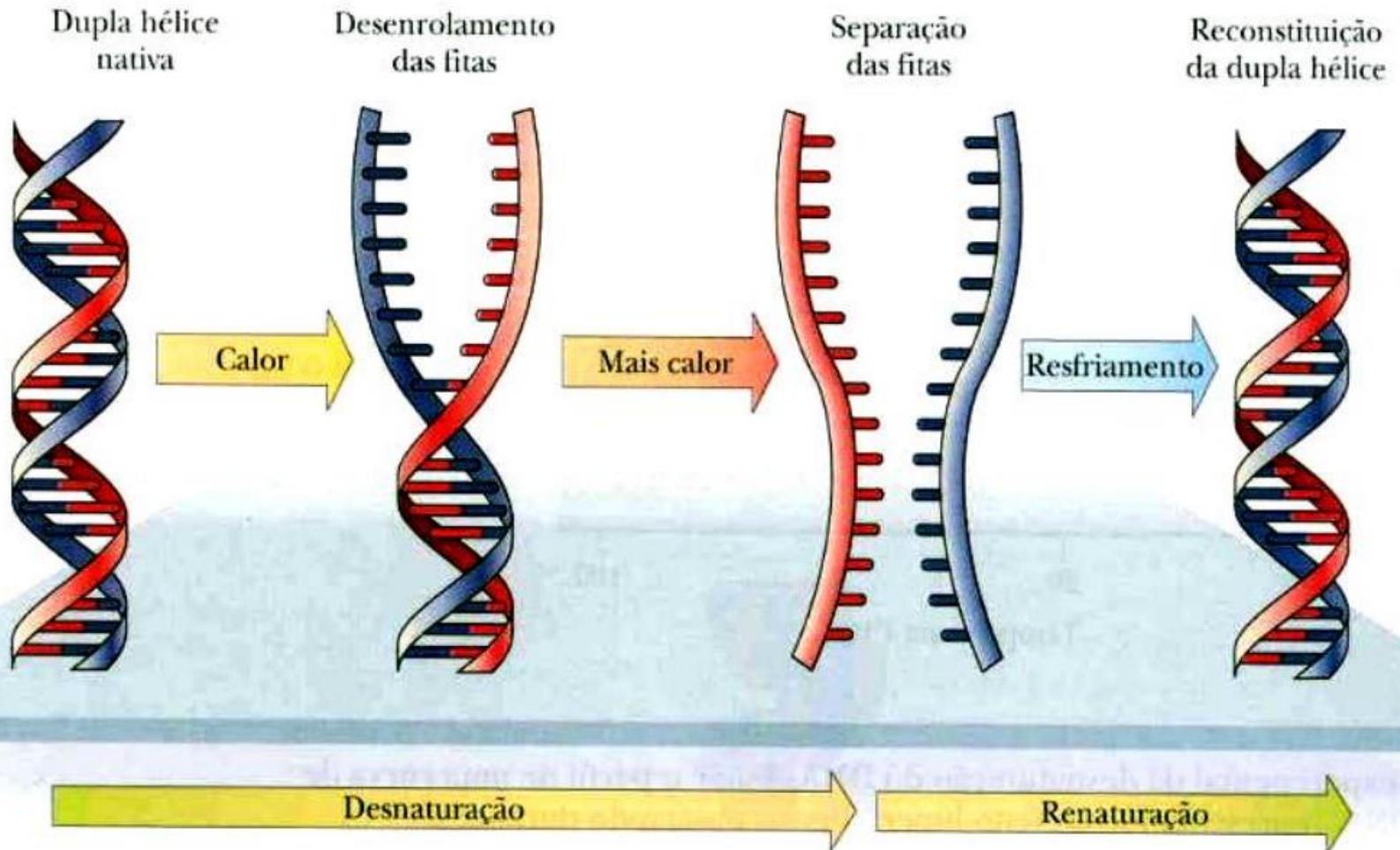
**FIGURA 2.15** Formação de pontes de hidrogênio entre bases complementares do DNA dupla-fita.

# Propriedades do DNA

- **Complementariedade** – entre bases nitrogenadas
- **Antiparalelismo** – direcionalidade a cadeias
- **Desnaturação** - pontes de hidrogênio rompem
- **Renaturação** (ou hibridização ou anelamento) – reestabelecimento das pontes de hidrogênio entre as cadeias



# Desnaturação x Renaturação



# Supertorção

- Enrolamento da hélice dupla sobre si mesmo
- Conformação predominante do DNA na célula
- Fundamental para o empacotamento do DNA nos genomas
- Envolvido na replicação, transcrição e na recombinação
- Característica de quase todos os DNAs circulares e lineares
- Importante para a sua funcionalidade

**Cadeia Polinucleotídica – Estrutura Primária**

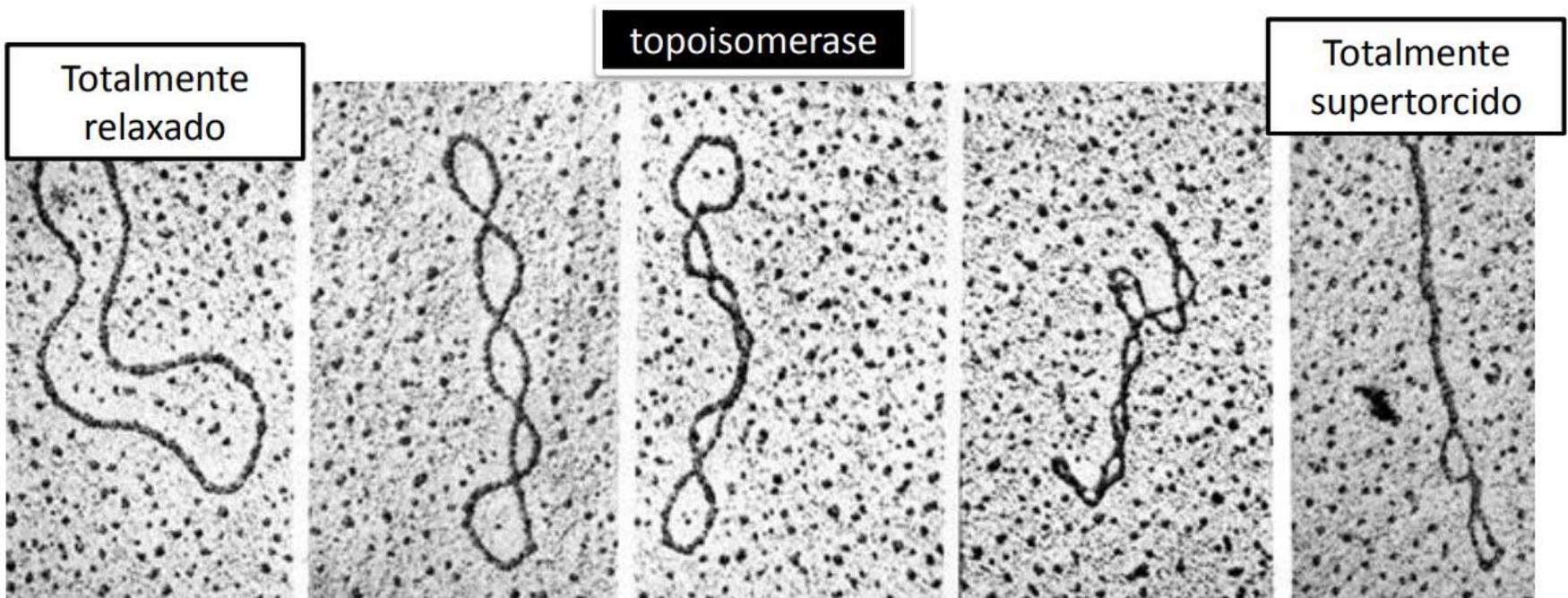
**Dupla Hélice – Estrutura Secundária**

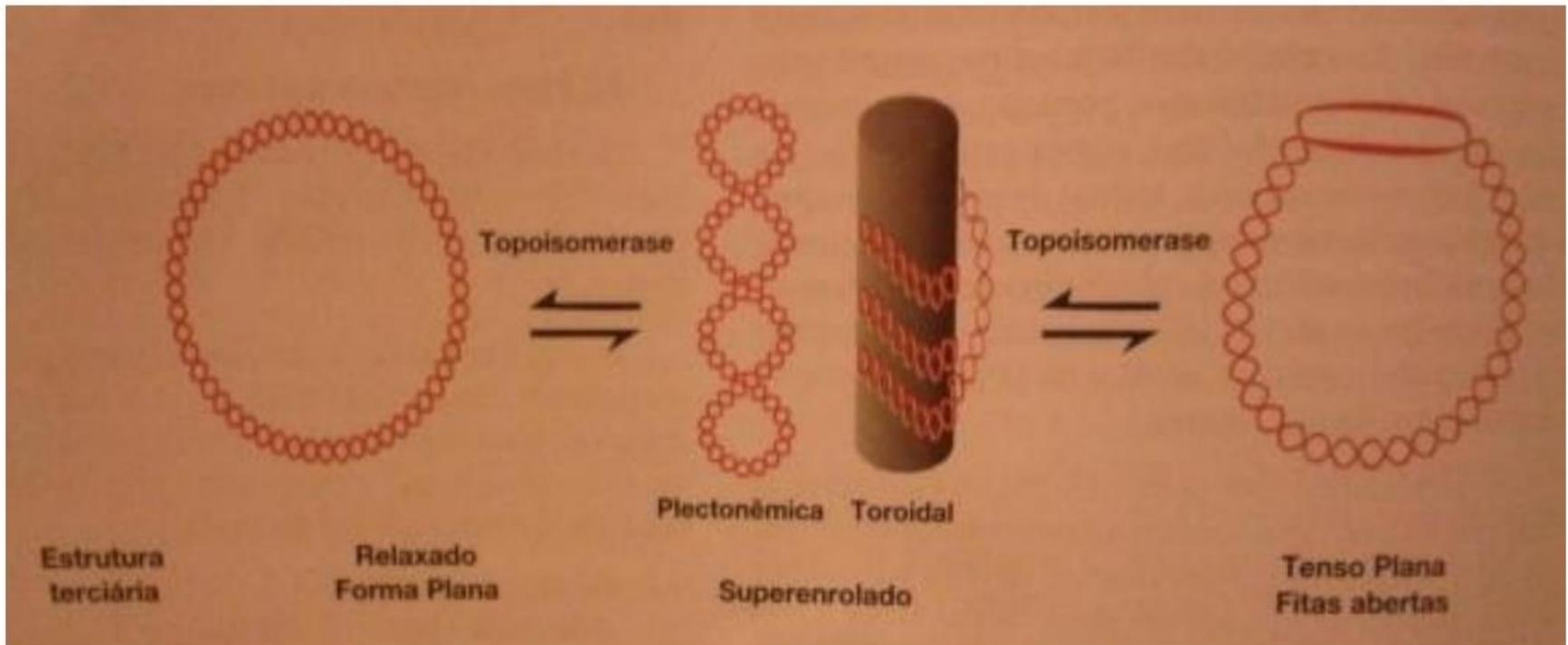
**Supertorção – Estrutura Terceária**

Supertorcida / Superenrolada / Super Helicoidal

# Supertorção

- Extremidades ligadas covalentemente
- Supertorcida, superenrolada, superhelicoidal
  - Superenrolamento negativo
  - Superenrolamento positivo
- Relaxada



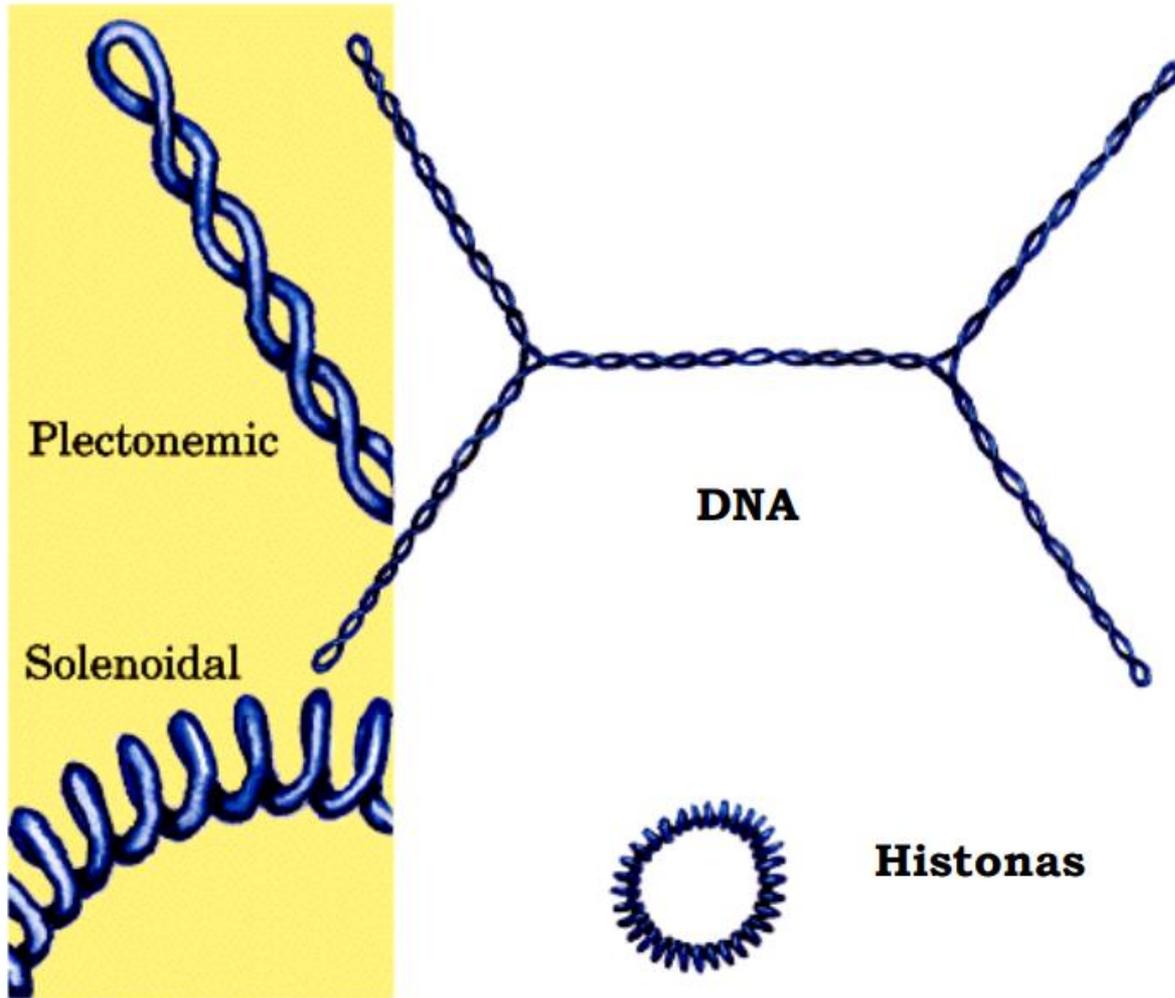


**Superenrolamento negativo:** gerado pelo desenrolamento da dupla hélice

**Plectonêmico:** encontrado no DNA em solução

**Toroidal:** DNA enrolado em proteínas como as histonas, que formam os nucleossomos.

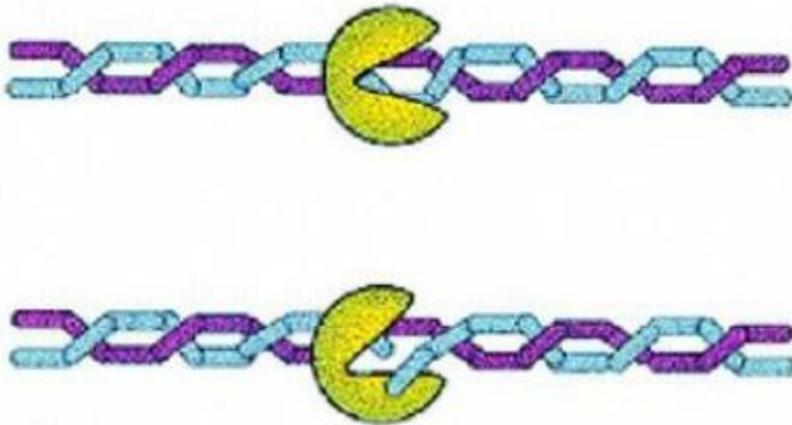
# Tipos de Superenrolamento



# TOPOISOMERASE I



Enzimas que introduzem ou removem superenrolamentos no DNA



## Fundamentais para:

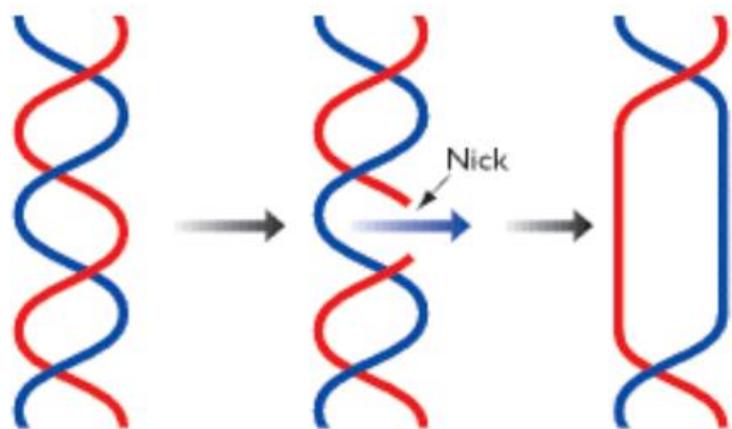
- Transcrição
- Replicação
- Recombinação
- Remodelamento da cromatina

*Sistema complexo de enzimas – Topoisomerases  
Células Eucarióticas e Procarióticas  
Manutenção da homeostasia do superenrolamento do DNA*

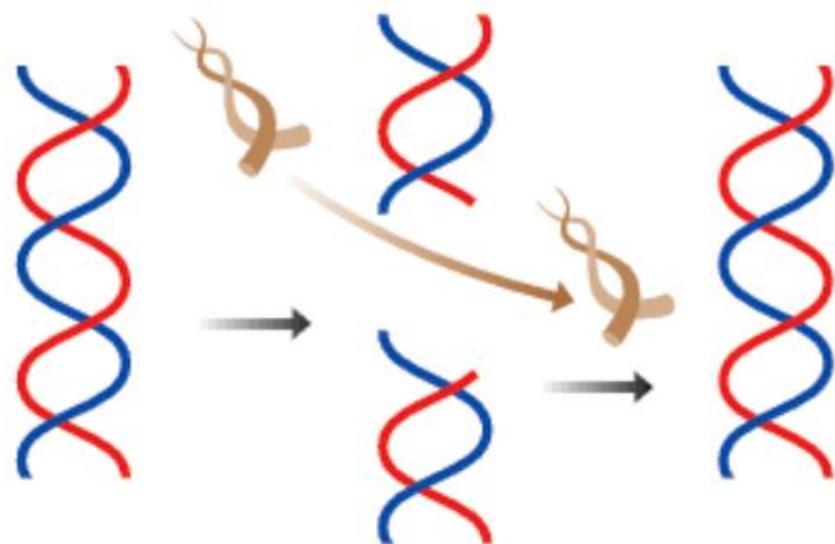
*Promovem a quebra transitória das Ligações Fosfodiéster na fita de DNA*

# TOPOISOMERASE

(A) Type I



(B) Type II



# Tipos de DNA

Composição de bases, meio em que se encontram ou sua ligação com proteínas

Se diferenciam pela sua espessura, número de pares de base por volta da hélice e a exposição das bases ao meio externo

- **DNA B**

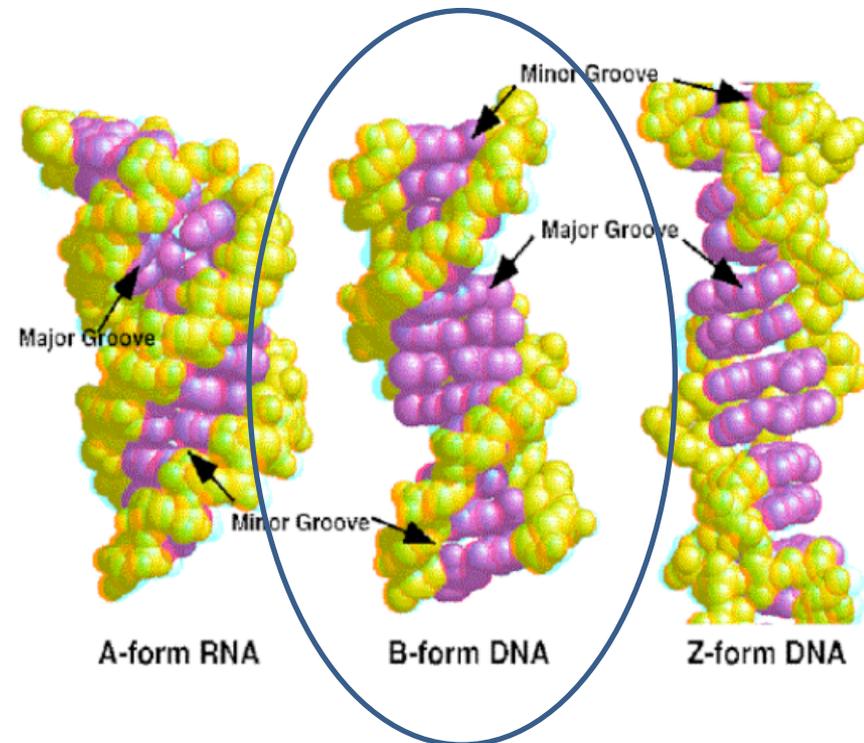
- É a forma mais abundante na célula (fisiológico)
- É a forma clássica do DNA
- A dupla hélice gira para a direita
- Volta completa a cada 10,4 pb

- **DNA A**

- Condições de umidade muito baixa
- Forma mais “compacta; curta”
- Encontrado nos híbridos DNA:RNA (transcrição)
- RNA:RNA (genoma de vírus)

- **DNA Z**

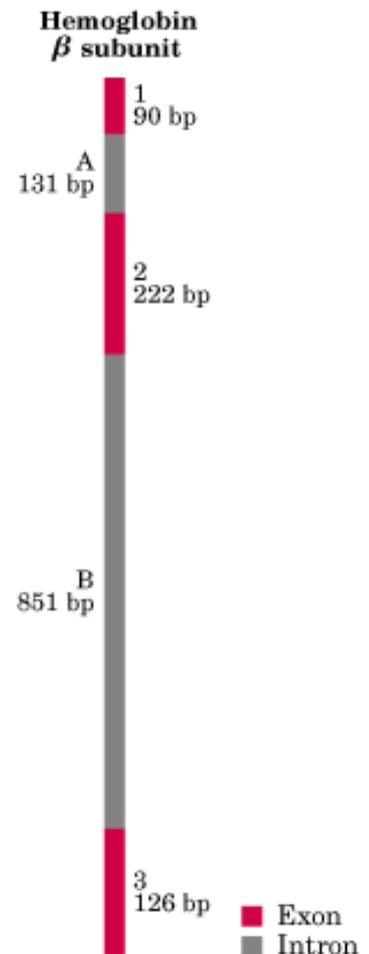
- Forma mais “estreita”
- Sequências GC repetidas
- A dupla hélice gira para a esquerda
- Altas concentrações de cátions
- Volta completa a cada 12 pb



# **Genes e Cromossomos**

# Elementos cromossômicos

- **Cromossomos:** molécula de ácido nucleico que contém a informação genética em um vírus, bactéria ou célula eucariótica;
- **DNA:** possui genes e sequências que apresentam uma função puramente regulatória (sequências regulatórias);
- **Sequências regulatórias:** fornecem sinais que podem denotar o início ou o fim dos genes, influenciar a transcrição de genes ou funcionar como pontos de iniciação para a replicação ou recombinação;
- **Trincas codificadoras:** cada aminoácido de uma cadeia polipeptídica é codificado por uma sequência de três nucleotídeos consecutivos, em uma fita única de DNA;
- **Íntrons e éxons:**
  - íntrons: segmentos de DNA não codificadores
  - éxons: segmentos codificadores(poucos genes procarióticos contém íntrons)





### **Centrômero:**

- Durante a divisão celular funciona como um ponto de ligação para proteínas que unem o cromossomo ao fuso mitótico

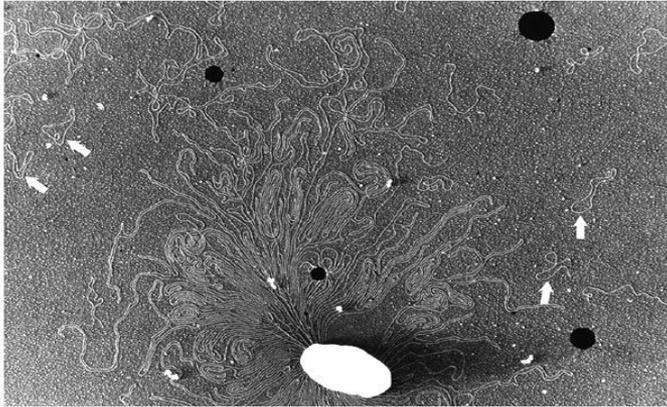
### **Telômeros:**

- Auxiliam na estabilização de cromossomos eucarióticos

Elementos estruturais importantes  
de um cromossomo de levedura

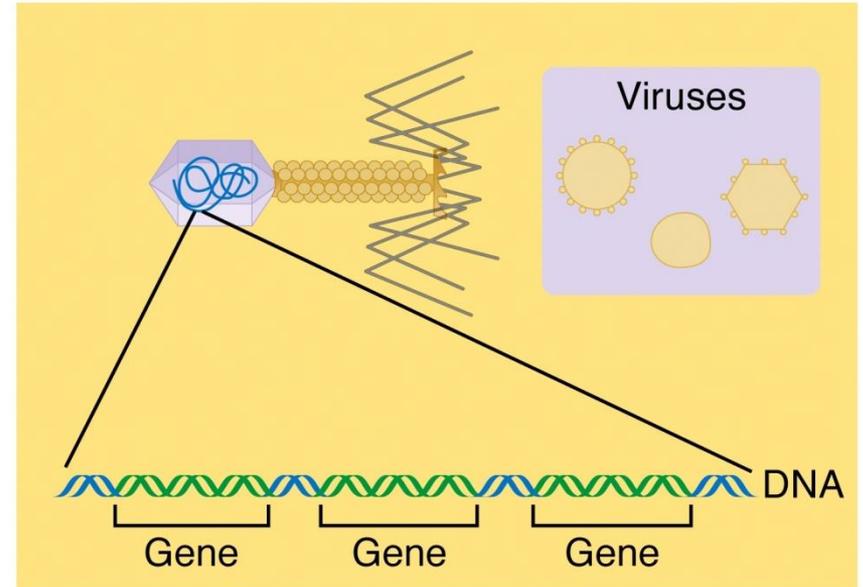
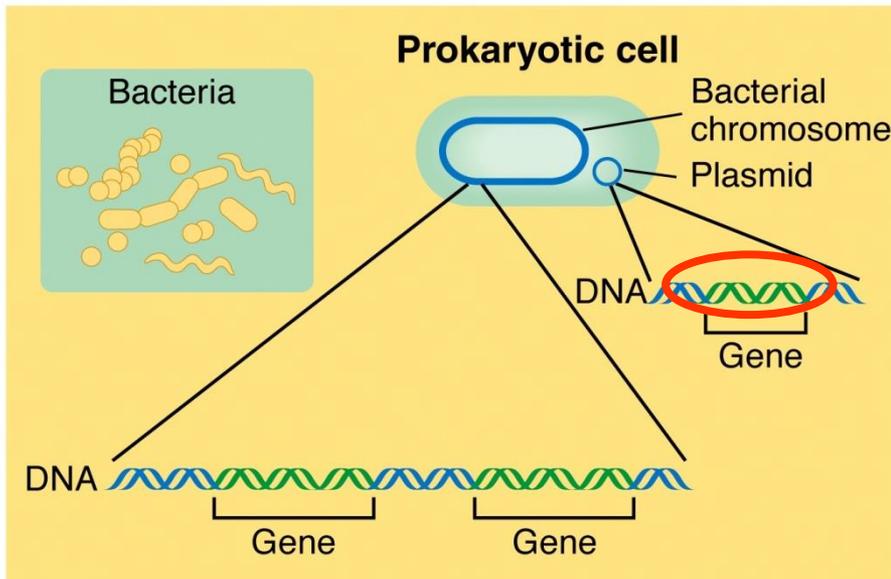
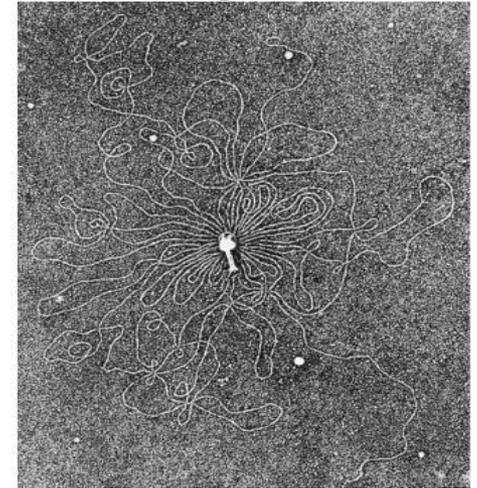
# A maioria das bactérias e vírus possui um único cromossomo

*Escherichia coli*

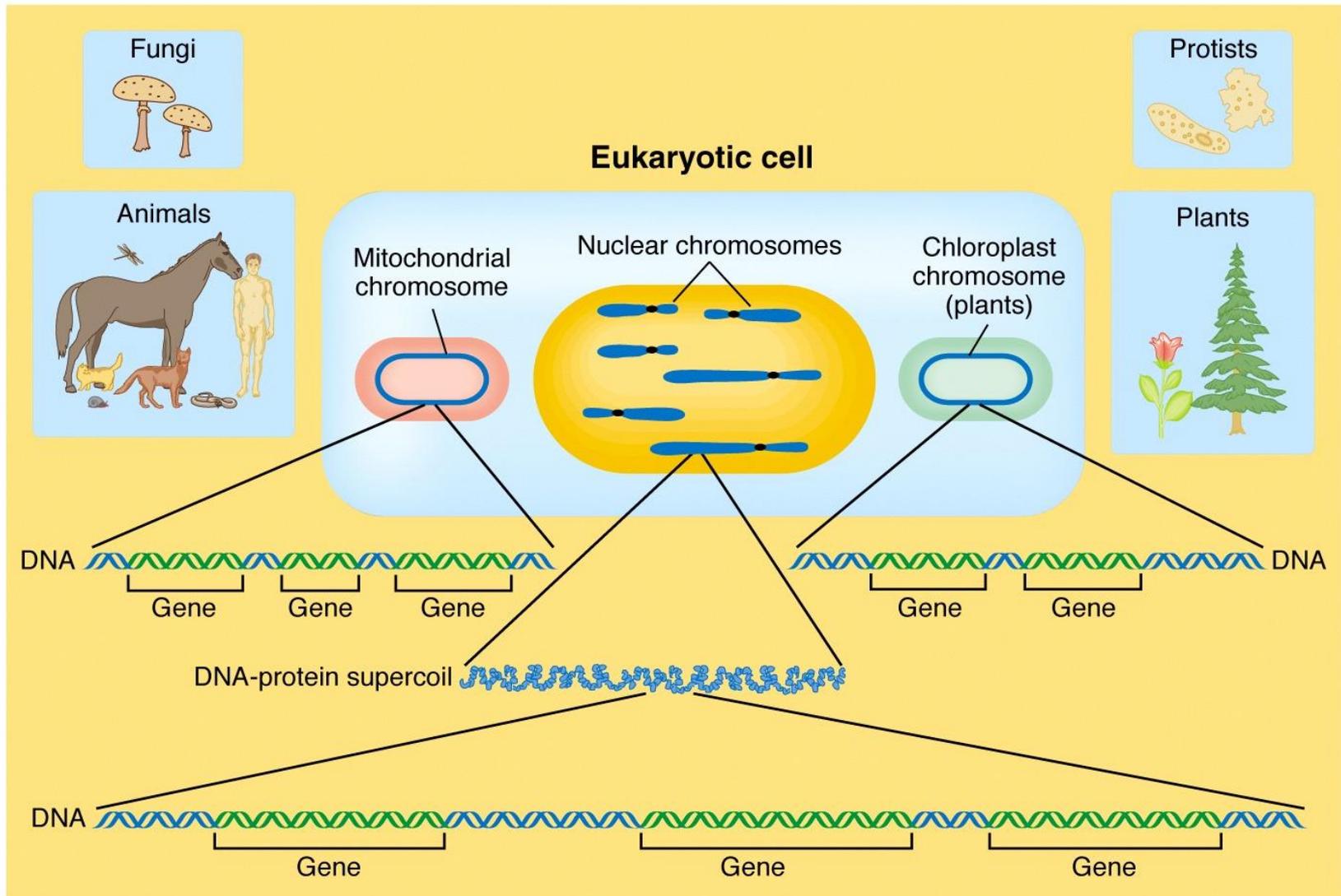


As moléculas de DNA são as maiores macromoléculas e normalmente se encontram empacotadas em estruturas chamadas de cromossomos

Fago T2

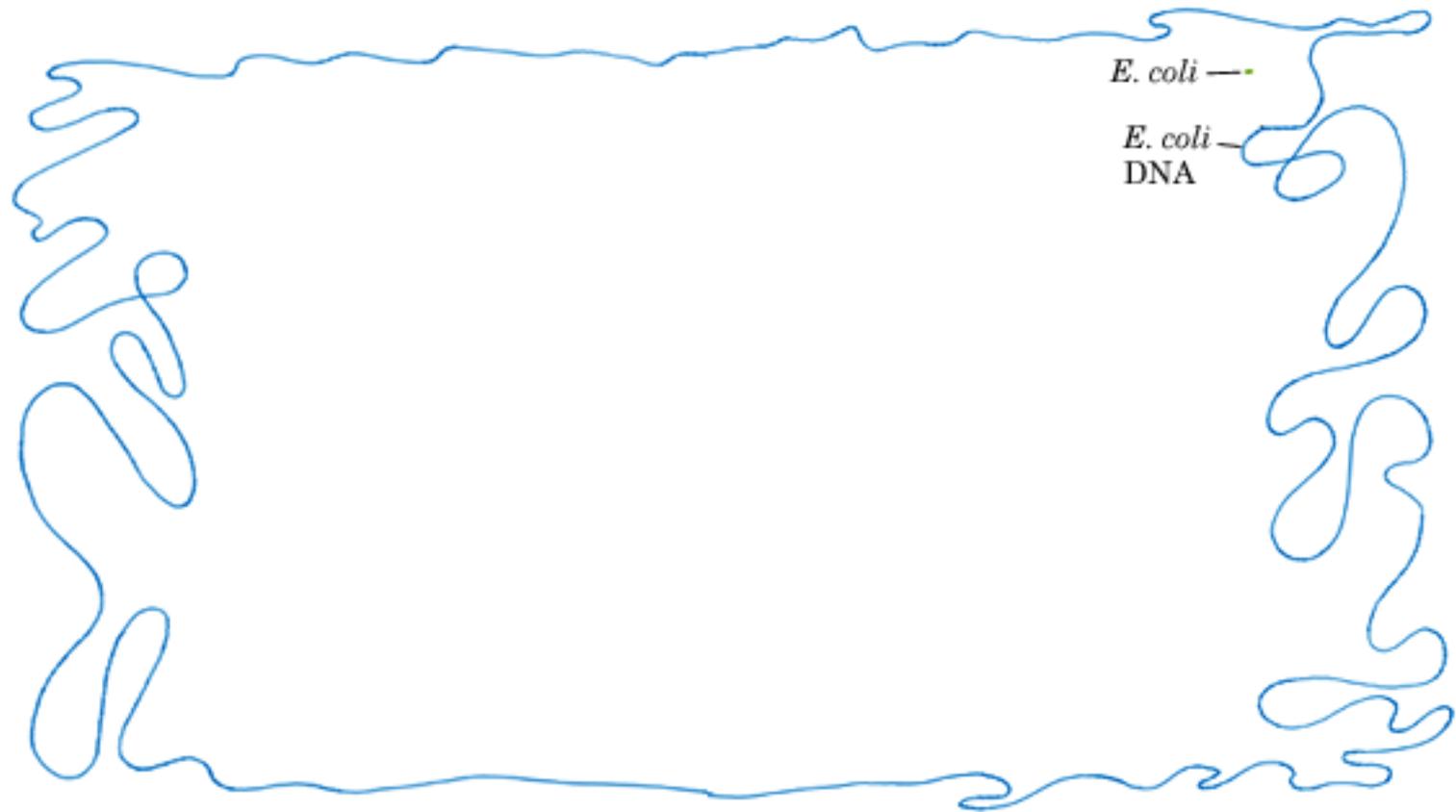


# Células eucarióticas são muito mais complexas



**Genoma Celular:** é o conjunto de todo os genes e DNA intergênicos da célula

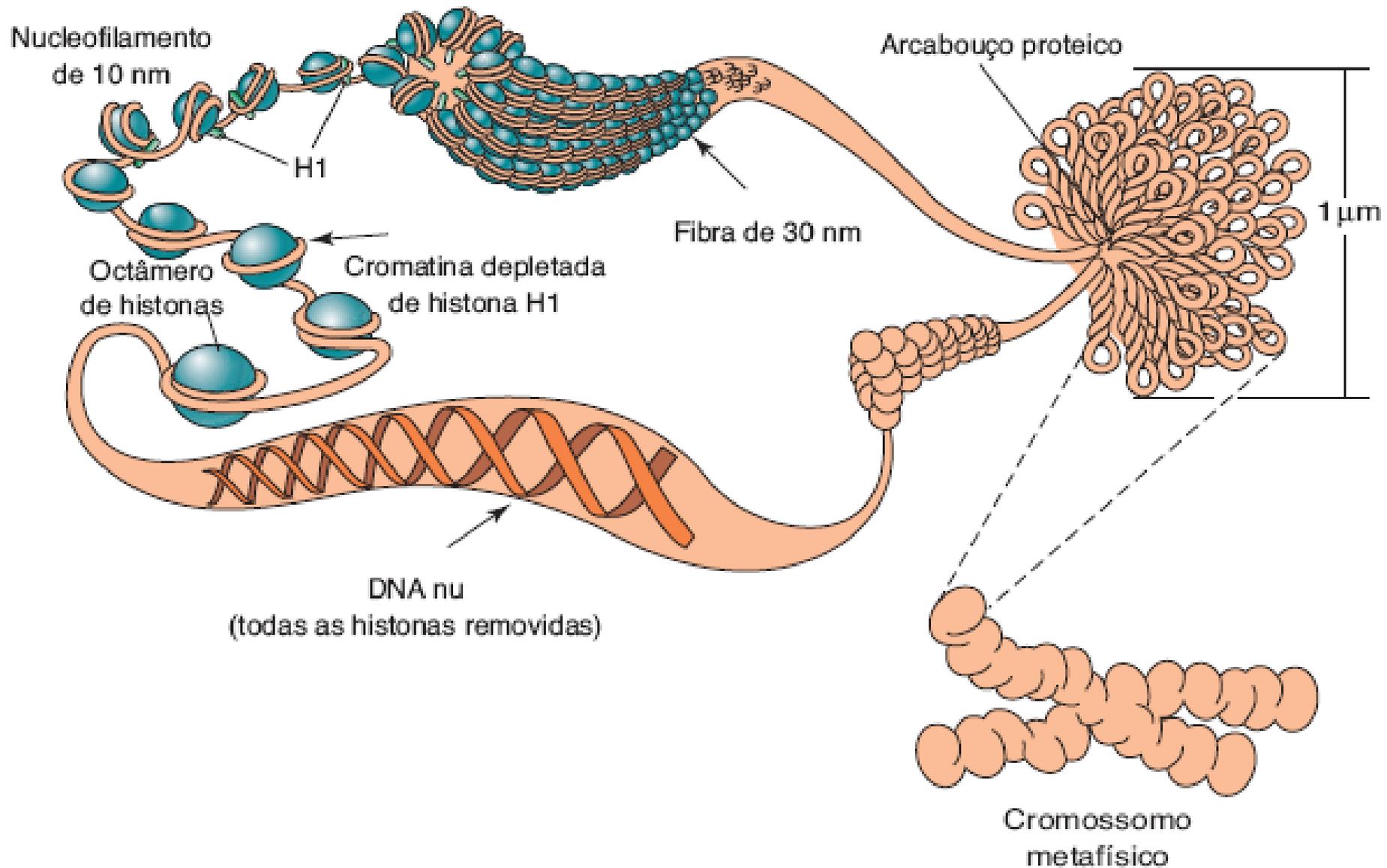
Os DNAs cromossômicos são frequentemente muito maiores do que as células ou vírus que os contém!



O comprimento do cromossomo da *E. coli* (1,7 mm) é desenhado em uma forma linear relativamente ao comprimento de uma célula típica da *E. coli* (2  $\mu\text{M}$ )

Como é solucionado este problema?

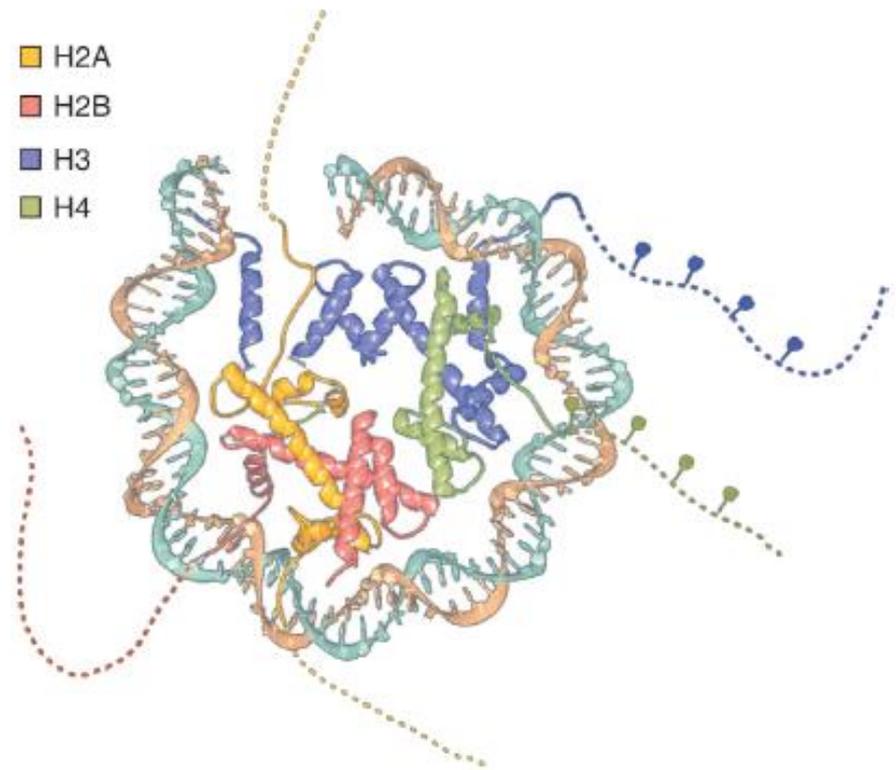
Com uma extraordinária organização que leva ao empacotamento do DNA nos cromossomos!



**FIGURA 2.39** Organização do DNA em cromossomos.



**FIGURA 2.40** Modelo do complexo nucleossomo.



**FIGURA 2.41** Estrutura por raios-X do cerne (core) do nucleossomo.

**1** At the simplest level, chromatin is a double-stranded helical structure of DNA.

DNA double helix

2 nm

**2** DNA is complexed with histones to form nucleosomes.

**3** Each nucleosome consists of eight histone proteins around which the DNA wraps 1.65 times.

**4** A chromatosome consists of a nucleosome plus the H1 histone.

Nucleosome core of eight histone molecules

Histone H1

11 nm

Chromatosome

**6** ...that forms loops averaging 300 nm in length.

300 nm

**5** The nucleosomes fold up to produce a 30-nm fiber...

30 nm

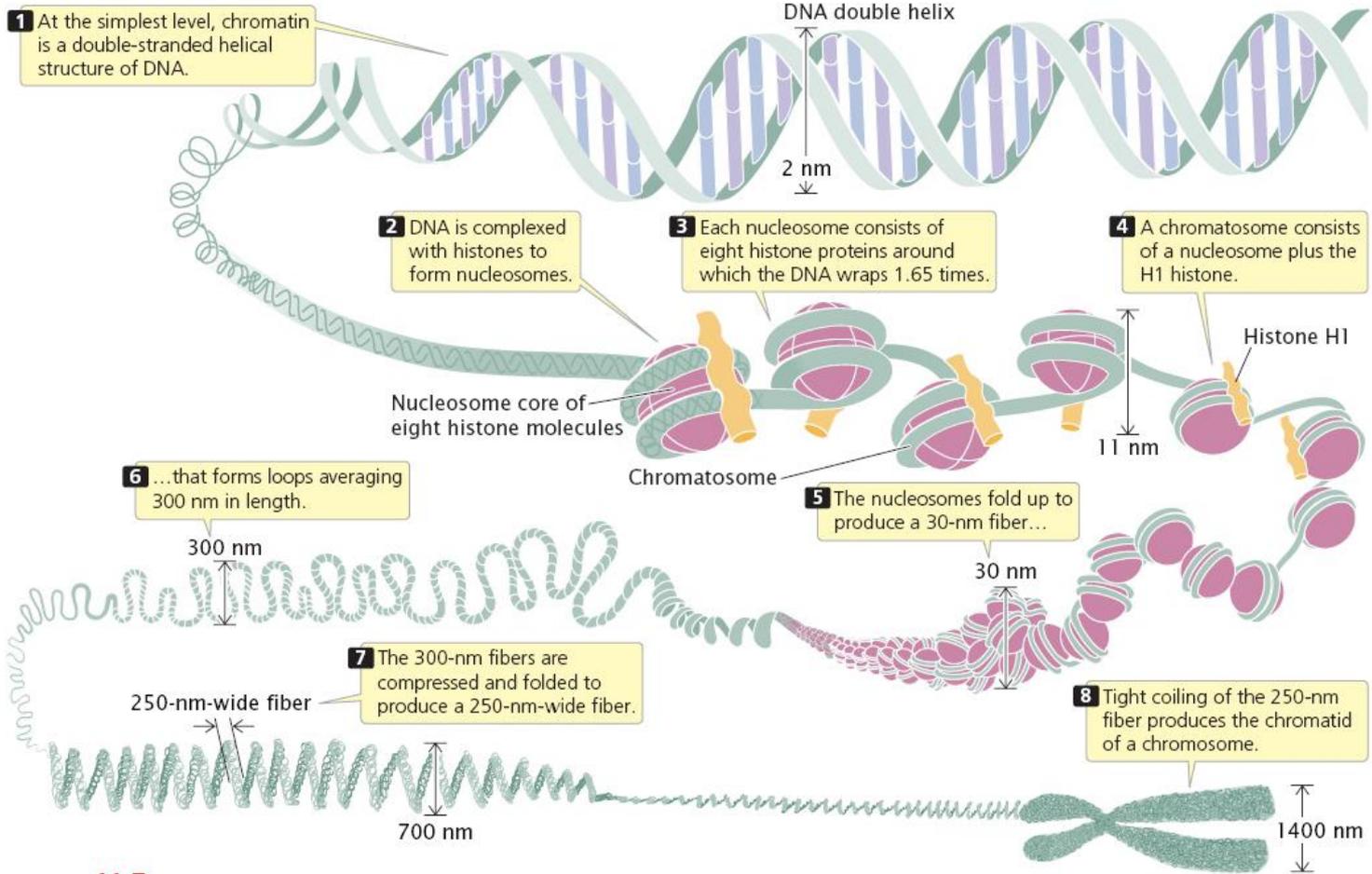
**7** The 300-nm fibers are compressed and folded to produce a 250-nm-wide fiber.

250-nm-wide fiber

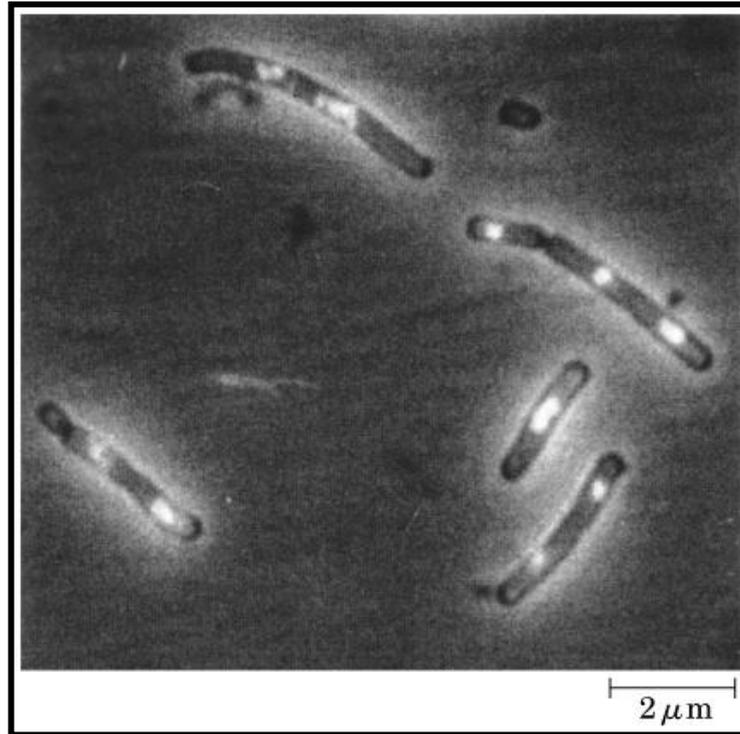
**8** Tight coiling of the 250-nm fiber produces the chromatid of a chromosome.

700 nm

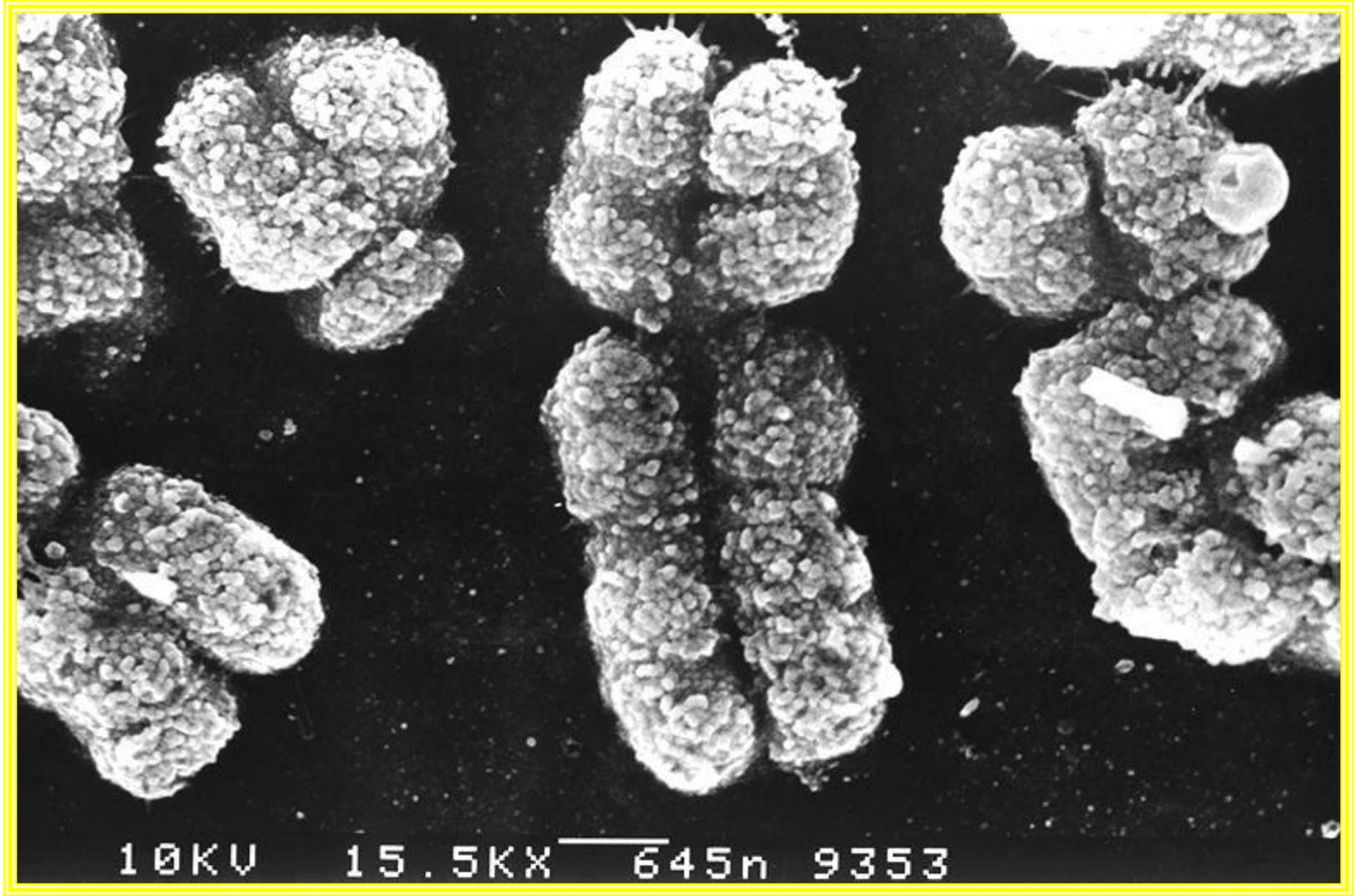
1400 nm



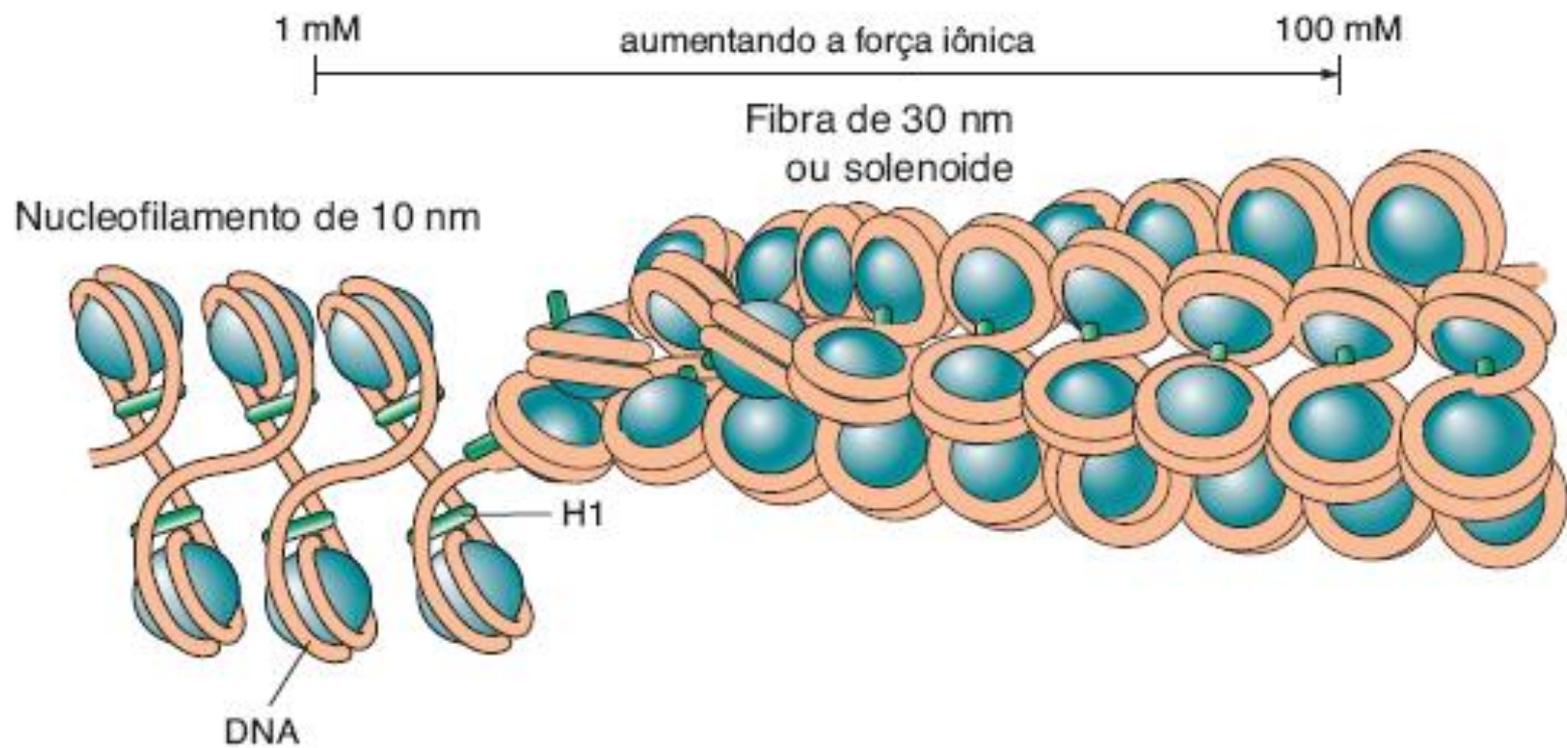
O DNA bacteriano é compactado em uma estrutura chamada de nucleóide



O empacotamento também é feito com auxílio de proteínas



**Cromossomos**



**FIGURA 2.43** Estrutura do nucleofilamento.

# Como o DNA armazena a informação genética

