

## CICLO CELULAR: INTÉRFASE E MITOSE

**RICARDO SCHER**

### META

Apresentar os principais eventos observados durante o ciclo de vida de células somáticas de organismos eucariotos.

### OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:

- conhecer as etapas que compõem o ciclo celular em organismos eucariotos;
- reconhecer os principais eventos nucleares e citosólicos que caracterizam cada uma das etapas do ciclo celular;
- entender como, por meio da mitose, uma célula eucarionte dá origem a duas outras células com o mesmo conteúdo genético;
- reconhecer o papel do citoesqueleto no processo de distribuição do material genético para as células filhas;

### PRÉ-REQUISITOS

Antes de iniciar esta aula, o aluno deverá rever os aspectos relacionados aos Microtúbulos, apresentados na aula sobre citoesqueleto, assim como os aspectos da constituição e organização do núcleo, da cromatina e dos cromossomos.

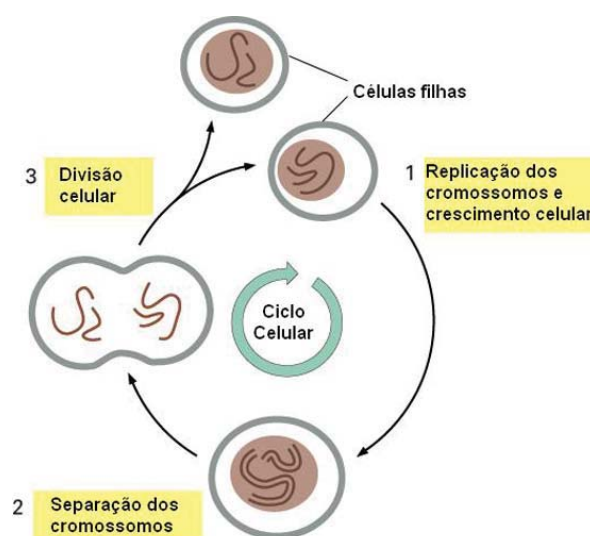


Figura 08-01 - Representação simplificada do ciclo celular  
(Fonte: Alberts et al. (2004) Biologia Molecular da Célula  
4ª. Ed. Cap. 17)

# INTRODUÇÃO

A capacidade de se reproduzir é uma propriedade fundamental de todas as células. A reprodução de uma célula depende da duplicação de seu conteúdo nuclear e citoplasmático seguida de sua divisão em duas novas células. Em um organismo unicelular como uma bactéria ou uma levedura, cada divisão celular dá origem a um organismo adicional. Já nas espécies multicelulares, muitas rodadas de divisões são requeridas para se obter um novo organismo. Podemos ter uma ideia da magnitude da reprodução celular nestes organismos se considerarmos que um indivíduo adulto pode ser formado por bilhões de células e que todas elas são derivadas de apenas uma: o zigoto. Você não acha incrível? E não para por aí! A multiplicação celular continua sendo notável ainda no organismo adulto que já deixou de crescer. É por este processo que alguns tecidos se renovam ou mantêm sua integridade pela reposição de células perdidas por injúrias ou por morte programada. Um exemplo marcante é dado pelas hemácias que são imprescindíveis para a sobrevivência do organismo como um todo, mas têm vida média muito curta, de apenas 120 dias! Deste modo, para manter a oxigenação normal em todos os órgãos e tecidos, o organismo deve produzir cerca de 2,5 milhões de hemácias por segundo! Outro fato interessante é que a proliferação das células da camada mais interna da pele permite que toda epiderme humana seja renovada a cada 25 dias, e olha que você nem percebe isso! A reconstrução da parede do útero após a descamação de seu epitélio a cada ciclo menstrual é mais um exemplo da importância da mitose na manutenção dos processos orgânicos essenciais. Tudo isso não é impressionante? Impressionante mesmo é a beleza da sinfonia de eventos celulares que regem o ciclo celular, os quais você conhecerá a seguir.

Antes de abordarmos os detalhes do ciclo celular, devemos lembrar que nos organismos multicelulares de reprodução sexuada são reconhecidas duas classes de células: as células germinativas, que são aquelas que darão origem aos gametas, no caso dos animais, os espermatozoides e os ovócitos; e as células somáticas, que são todas aquelas que não estão diretamente envolvidas na reprodução, tal como as células da pele.

Podemos considerar o ciclo celular de uma célula somática como uma série complexa de eventos que culmina com sua divisão em duas células idênticas (figura 08-01). Neste sentido, a divisão celular é somente a fase final e microscopicamente visível de modificações prévias que a célula sofreu. Portanto, podemos distinguir duas etapas fundamentais do ciclo celular: um período inicial de preparação que precede o período final de divisão. Este período de preparação é denominado **intérfase** e antecede a etapa de divisão, que nas células somáticas é denominada mitose. Nesta aula, iremos abordar os aspectos celulares que regem o ciclo celular das células somáticas, ou seja, a intérfase e a mitose.

## O CICLO CELULAR DAS CÉLULAS SOMÁTICAS

Nos primórdios dos estudos citológicos, a intérfase era vista pelos citologistas como uma etapa em que a célula encontrava-se em “repouso”, de modo que a divisão propriamente dita constituiu, durante muitos anos, o ponto de interesse primordial para estes cientistas. Nas últimas décadas, porém, com o aprimoramento das técnicas citológicas e moleculares e, principalmente com a evolução da microscopia, ficou evidente que é na intérfase que a célula apresenta-se mais ativa metabolicamente e é nesta etapa que ocorrem os eventos mais importantes no ciclo celular, como por exemplo, a duplicação do DNA. Este evento ocorre em uma etapa definida da intérfase denominada fase S (S de síntese de DNA). Esta é por sua vez uma fase intermediária da intérfase, sendo precedida e seguida, respectivamente, pelas fases G1 e G2 (G de gap, do inglês intervalo) (figura 08-02). Deste modo, podemos subdividir o período da intérfase em 3 fases: G1, S e G2, as quais iremos estudar individualmente a seguir.

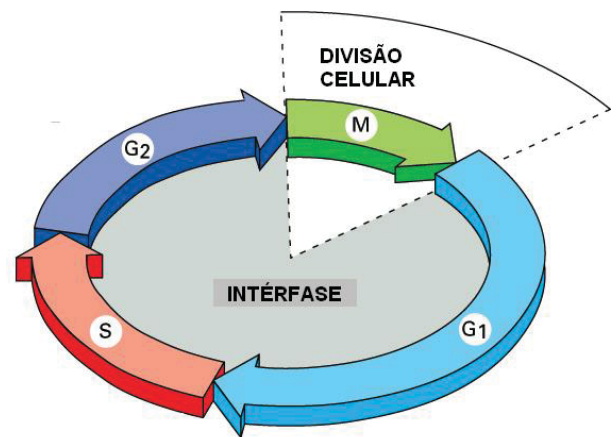


Figura 08-02 - As quatro fases sucessivas do ciclo de uma célula eucarionte típica.

(Fonte: <http://commons.wikimedia.org>)

### A FASE G1

Como você pôde perceber, a intérfase é uma etapa muito importante para o ciclo celular. Tão importante que a maioria das células passa a maior parte de sua vida em intérfase. Principalmente se elas não forem estimuladas para se dividirem. Os neurônios, por exemplo, a partir de um dado momento do desenvolvimento param de se dividir e permanecem estacionados em intérfase para sempre! Enquanto uma célula não recebe o sinal que a leva à divisão, ela permanece em um ponto específico de G1, denominado G0, na qual ela se apresenta metabolicamente ativa, ou seja, desempenhando todas as suas funções específicas. Isto quer dizer que, em um indivíduo adulto por exemplo, a maioria das células do pâncreas encontra-se estacionada em G0, com toda sua maquinaria de síntese e secreção de insulina funcionando plenamente. Porém,

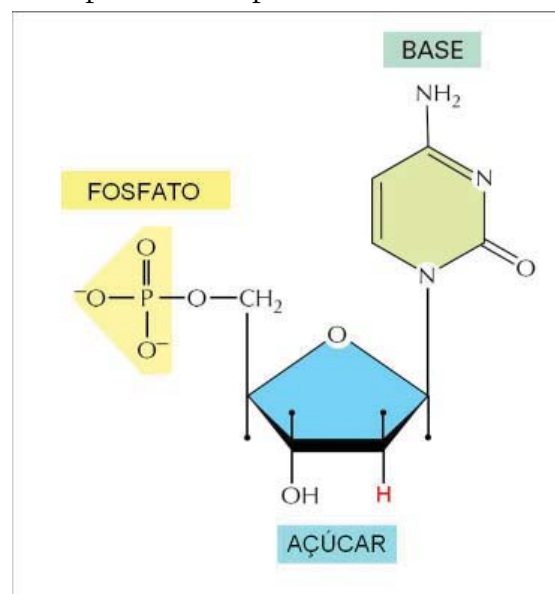


Figura 08-03 - Estrutura geral de um nucleotídeo (desoxinucleotídeo), a subunidade básica do ácido desoxiribonucleico (DNA) (Fonte: Adaptado de Alberts et al. (2004) Biologia Molecular da Célula 4ª. Ed. Cap. 2)

## Nucleotídeos

São as subunidades básicas dos ácidos nucleicos DNA e RNA. Apresentam uma estrutura comum composta por um grupo fosfato ligado a uma pentose (açúcar de 5 carbonos, que por sua vez encontra-se ligada a uma base nitrogenada).

se porventura estas células forem estimuladas por sinais que ativarão sua multiplicação, elas retomarão o curso de G1 e seu metabolismo será agora direcionado para a divisão celular.

Uma vez que a fase G1 antecede a fase S, fica fácil entender que neste período a célula sofrerá modificações metabólicas que irão prepará-la para a síntese de DNA. Apesar de os passos dessa preparação não terem sido ainda especificamente identificados, pode-se inferir que, durante a fase G1 a célula irá sintetizar uma boa quantidade dos **nucleotídeos**, (figura 08-03) assim como todas as enzimas necessárias para a organização destes nucleotídeos em DNA, como a DNA polimerase, as topoisomerases, as DNA ligases e muitas outras “ases” que você conhecerá com mais detalhes em uma próxima disciplina, a Genética. Além disso, proteínas que irão ativar os genes codificadores das histonas na fase S deverão se acumular até o final da G1.

Outra modificação que tem início em G1 e que avança até o final da intérfase diz respeito à duplicação dos centríolos e consequentemente dos centrossomos. Como foi estudado na Aula 06, é a partir do centrossomo que

se polimerizam os microtúbulos do citoesqueleto. Durante a divisão celular, os microtúbulos terão papel crucial no deslocamento do material genético em direção aos dois pólos celulares, os quais irão constituir as duas células-filhas após a divisão. A participação dos microtúbulos na divisão celular será discutida mais adiante, e agora você pode visualizar melhor o comportamento dos centríolos durante a intérfase na figura ao lado, (figura 08-04).

É importante ressaltar que, além de uma intensa síntese de protéica desencadeada em G1, nesta fase a célula começa a sofrer

mudanças morfológicas evidenciadas principalmente pelo aumento constante de seu volume.

## A FASE S

Você deve estar lembrado que o DNA no núcleo interfásico encontra-se organizado na forma de cromatina, ou seja, sempre associado a proteínas, principalmente às histonas. Sendo assim, já que ao final da fase S o núcleo

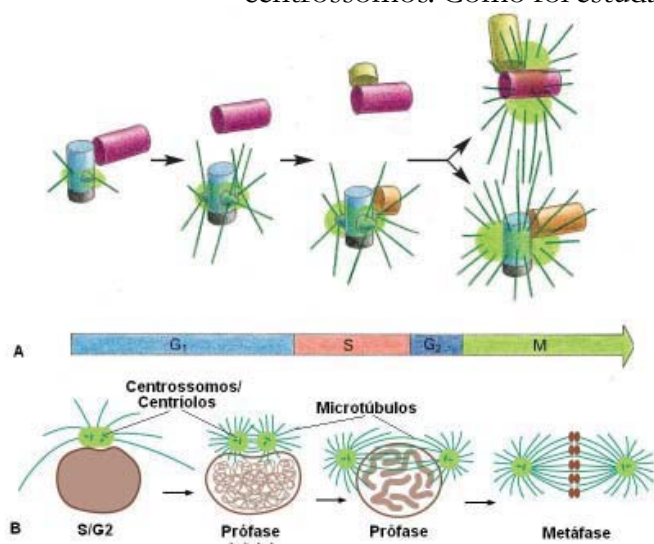


Figura 08-04 - A duplicação dos centríolos (em A) e o ciclo dos centrossomos (em B) na célula animal

(Fonte: Alberts et al. (2004) Biologia Molecular da Célula 4ª. Ed. Cap. 18)

da célula em divisão terá o dobro de DNA e que este DNA deverá ser imediatamente empacotado na forma de cromatina, a célula deverá dispor de uma quantidade extra de histonas que é produzida ao longo da fase S, paralelamente a síntese de DNA.

A duplicação do DNA é o ponto chave da intérfase ou mesmo de todo o ciclo celular, não desmerecendo os demais eventos, claro. Todos os detalhes moleculares que coordenam a duplicação do DNA você verá na disciplina Genética. Aqui, neste momento torna-se necessário esclarecer alguns aspectos celulares deste processo. Você deve estar lembrado que durante sua preparação para o vestibular ou mesmo lá no final do ensino médio, quando se falava em fase S da intérfase a afirmação de que “os cromossomos são duplicados nesta fase” sempre aparecia nos livros texto de Biologia. Esta expressão pode ser interpretada de duas formas, sendo uma delas completamente equivocada. Este foi o motivo pelo qual ela foi evitada até agora nesta aula, sendo substituída por “duplicação do DNA”. Mas, se os cromossomos são constituídos por DNA, quando esta molécula é duplicada na intérfase, é lógico pensar que os cromossomos também são duplicados! Na realidade isto acontece. Porém, o que nos vem à mente é a duplicação

dos cromossomos em termos numéricos e o que ocorre na realidade é a duplicação em termos estruturais. Vou explicar melhor. Antes da fase S, ou seja, durante toda G1, cada cromossomo é constituído por uma única molécula de DNA. Durante a fase S, esta molécula serve de molde para a produção de outra, idêntica a ela, a qual permanece ligada à primeira, por uma região específica que poderá ser visualizada mais adiante na divisão celular: o centrômero. Deste modo, ao entrar em G2, cada cromossomo passa a ser composto por duas moléculas de DNA idênticas entre si. Para melhor visualizar tudo isso, imagine o núcleo de uma célula somática humana que contém 46 cromossomos. Esta célula em G1 terá em seu núcleo 46 moléculas de DNA (cada uma correspondendo a um dos 46 cromossomos). Depois de passar por S, esta célula entra em G2 e no seu núcleo ainda se observam 46 cromossomos, porém, cada um deles está agora constituído por duas moléculas de DNA, somando assim 92 moléculas, o que corresponde ao dobro das 46 iniciais. Portanto, uma forma mais adequada para descrever esse processo seria dizer que os cromossomos se tornam duplos durante a fase S. Observando a (figura 08-05), você verá de uma forma mais simplificada a multiplicação e a distribuição do material genético (representado por um único cromossomo) ao longo de todo o ciclo celular.

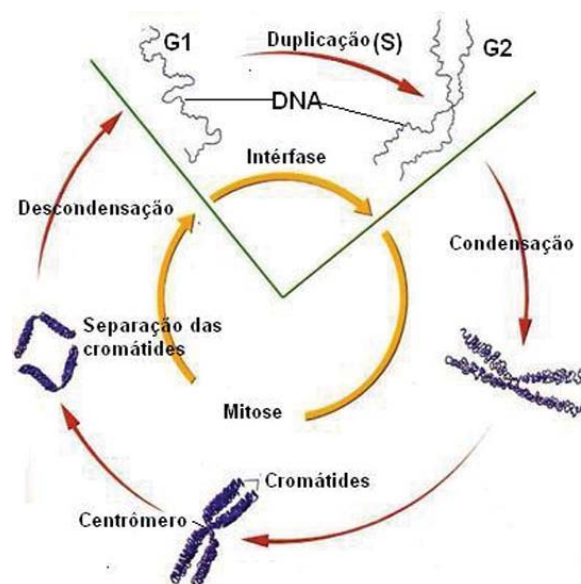


Figura 08-05 - Duplicação e condensação da molécula de DNA que forma cada cromossomo e sua posterior separação durante o ciclo celular. (Fonte: <http://www.vestibionline.blogspot.com>)



## FASE G2

A fase G2 é o período em que a célula verifica se o DNA foi totalmente e corretamente duplicado e se houve um aumento adequado do volume celular, antes de iniciar a divisão propriamente dita. Caso haja algum problema na duplicação do DNA ou alguma falha no reparo desta molécula, o ciclo permanece estacionado em G2 até que tudo esteja pronto, de modo a garantir uma correta divisão celular. Nesse período ainda são sintetizadas as proteínas não histônicas que irão auxiliar na condensação dos cromossomos durante a mitose, e irá ser completada a duplicação dos centríolos.

Muitas outras alterações celulares e moleculares ocorrem durante a intérfase a fim de deixar a célula pronta para a divisão, porém os detalhes moleculares destas alterações ainda são muito pouco conhecidos.

## A MITOSE

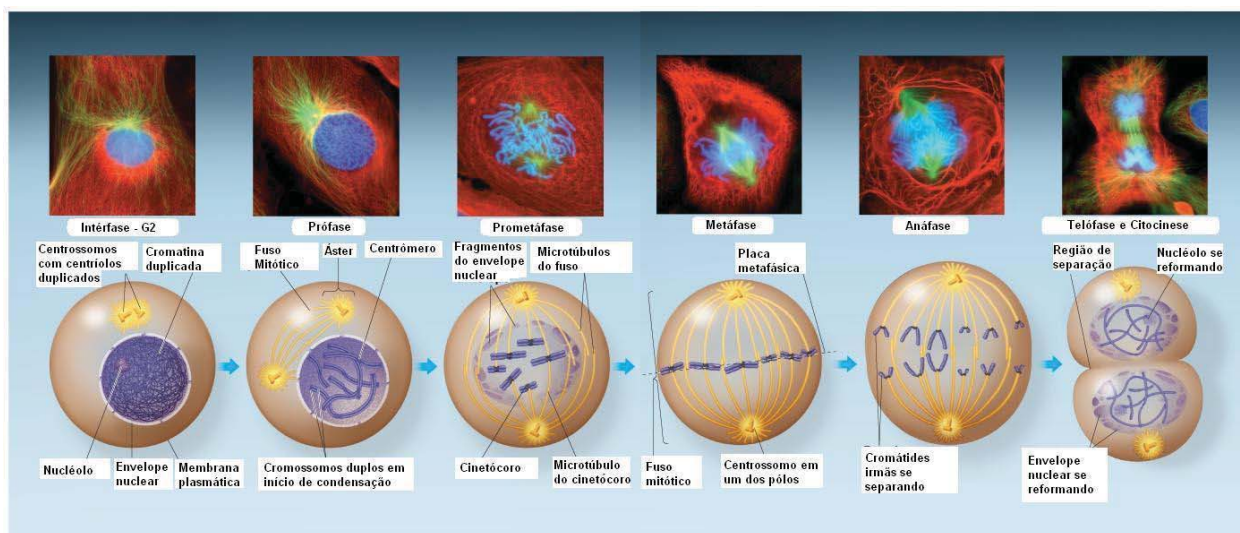


Figura 08-06 - Visão geral da mitose em célula eucarionte. As fotografias na parte superior mostram as modificações nucleares e ciplasmáticas ao longo das fases da mitose. Estas modificações são representadas e apontadas nos esquemas na parte inferior. (Fonte: Russell Peter J. (2006). iGenetics: A Mendelian Approach. Cap. 3)

Antes de iniciar a leitura deste tópico, sugiro que você dê uma olhada com atenção na (figura 08-06). Nesta figura você terá uma visão geral da mitose com base em esquemas e em fotografias de células reais.

Como você pôde observar, entre os processos que ocorrem em uma célula que adentra a fase de divisão podemos destacar a condensação da cromatina em cromossomos individuais, assim como a organização do fuso mitótico que, como veremos, constitui uma armação estrutural composta por microtúbulos que controlam a posição dos cromossomos e sua distribuição para as células-filhas. Outra modificação marcante observada em uma célula em divisão diz respeito à desorganização do envoltório nuclear, o que irá permitir que os cromossomos possam se deslocar em direção aos

polos da célula mãe. Além disso, as organelas que formam o sistema de endomembranas, como complexo de Golgi e retículo endoplasmático, são fragmentadas em vários fragmentos vesiculares menores durante a mitose, assegurando a sua distribuição por igual entre as células filhas.

Para melhor compreender todos os processos envolvidos no período de divisão de uma célula, iremos abordar separadamente cada uma das fases que constituem a mitose. Iniciemos pela prófase.

A transição da fase G2 para a primeira fase da mitose não é um evento claramente definido. A cromatina, que estava difusa na intérfase, vagarosamente condensa-se em cromossomos bem definidos e individualizados. É bom lembrar que nesta etapa, cada cromossomo consiste de duas moléculas de DNA unidas na região do centrômero. O que mantém as duas cromátides ligadas entre si é a ação de proteínas adesivas denominadas coesinas que agem no centrômero de cada cromossomo. Daqui por diante iremos chamar estas duas moléculas de DNA que constituem um cromossomo duplicado de cromátides irmãs. À medida que a cromatina se

condensa, os nucléolos se desorganizam e os contríolos, que foram duplicados durante a intérfase migram, um par para cada polo celular, onde se formarão os centríolos. É a partir de cada um destes centríolos que serão formados os microtúbulos do fuso, os quais irão crescer em direção ao centro da célula e se ligar aos cromossomos, (figura 08-07). Nesta etapa do ciclo celular a região dos centrômeros encontra-se claramente definida, de modo que os microtúbulos do fuso mitótico possam neles se ligar. Na região de cada centrômero são organizadas duas placas proteicas chamadas cinetócoros, os quais são voltados para os lados externos das cromátides, como pode ser visto na (figura 08-08). Deste modo, a ligação da extremidade dos microtúbulos do fuso aos cromossomos é mediada pelas proteínas do cinetócoro.

Esta interação entre o fuso mitótico e os cromossomos se dá a fim de alinhar estes últimos no plano central da célula para, em seguida, separar e distribuir igualmente as cromátides irmãs para as células filhas. Você deve estar pensando como isso pode acontecer uma vez que o fuso mitótico se organiza no citoplasma da célula, enquanto os cromossomos se encontram dentro do núcleo e, portanto, isolados do citoplasma pelo envelope nuclear.

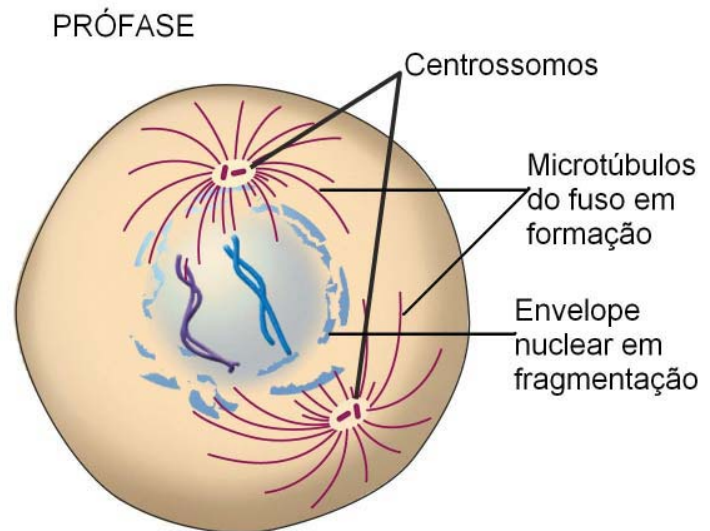


Figura 08-07 - Esquema de uma célula animal em prófase. Note a presença dos centríolos já duplicados e o envelope nuclear em fragmentação, assim como o crescimento dos microtúbulos em direção a região central da célula. (Fonte: Alberts et al. (2004) Biologia Molecular da Célula 4ª. Ed. Cap. 18)

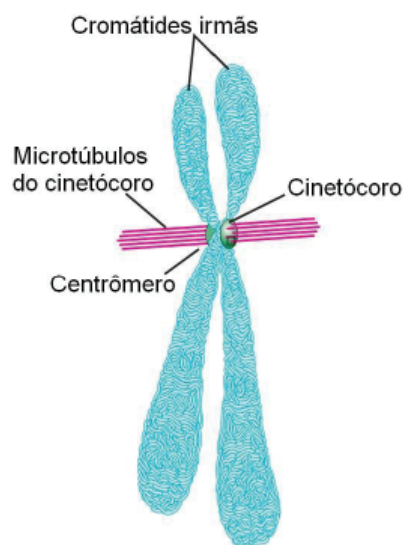


Figura 08-08 - Esquema de um cromossomo em alto grau de condensação evidenciando a região do centrômero coberta pelos cinetócoros, aos quais estão ligados os microtúbulos do fuso mitótico.  
(Fonte: Lodish et al. (2005) Biologia Celular e Molecular 5ª. Ed. Cap. 20)

Como comentado há pouco, para que os microtúbulos do fuso tenham acesso aos cromossomos e para que estes se movimentem ao longo da mitose, esta barreira representada pelo envelope nuclear se desfaz transitoriamente em pequenas vesículas. E como isto se dá? Como foi visto na aula anterior, o envoltório nuclear é sustentado internamente por uma rede de proteínas filamentosas que formam a lâmina nuclear. À medida que a prófase avança as lamínas, que constituem as subunidades da lâmina nuclear, são fosforiladas e perdem a capacidade de permanecerem ligadas umas as outras. Isto desestabiliza a lâmina nuclear e consequentemente o envelope nuclear que era sustentado por ela e que agora se torna fragmentado em pequenas vesículas, (figura 08-09). As vesículas resultantes da fragmentação do envelope nuclear espalham-se pelo citoplasma e misturam-se àquelas formadas pela fragmentação do retículo endoplasmático e do complexo de Golgi.

A desorganização do envoltório nuclear marca o final da prófase e neste ponto os cromossomos, agora bem mais condensados que no início, encontram-se em aparente desordem, distribuídos aleatoriamente dentro da célula. É nessa hora que os microtúbulos em crescimento encontram os cromossomos, se ligam a ele e começam a encaminhá-los para o equador da célula. Este curto período de direcionamento e organização dos cromossomos é denominado prometáfase, (figura 08-10).

Ao atingirem o plano central da célula, o que caracteriza a metáfase, os cromossomos atingem sua condensação máxima e são alinhados de modo que as duas placas cinetocóricas de cada centrômero ficam orientadas para os pólos opostos da célula.

Observe na (figura 08-11) que é como se cada cinetócoro estivesse “olhando” para os respectivos centrossomos. Atente também para o fato de que, ao centrômero de cada cromossomo estão implantados microtúbulos provenientes dos dois centrossomos na célula mitótica, os quais são denominados microtúbulos do cinetócoro. Além desta classe de microtúbulos, são organizados no fuso mitótico os microtúbulos polares, os quais não se associam a cromossomos mas ligam um pólo da célula a outro, e os microtúbulos do áster que são mais curtos que os demais e se projetam do centrossoma

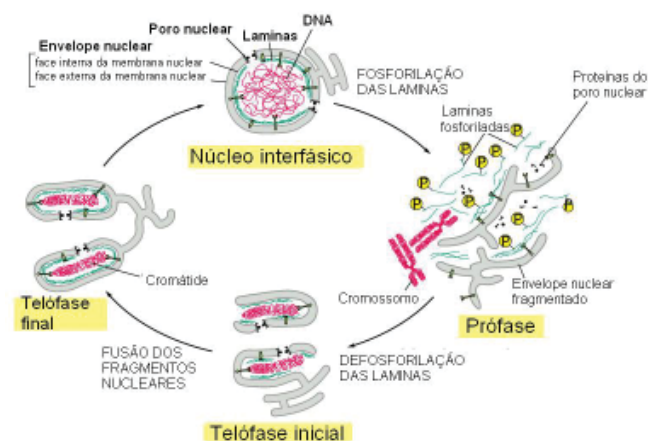


Figura 08-09 - Fragmentação e reorganização do envelope nuclear durante a mitose  
(Fonte: Alberts et al. (2004) Biologia Molecular da Célula 4ª. Ed. Cap. 12)

dando a este um aspecto de estrela.

Com a figura em mente, tente imaginar o que aconteceria se os mi-



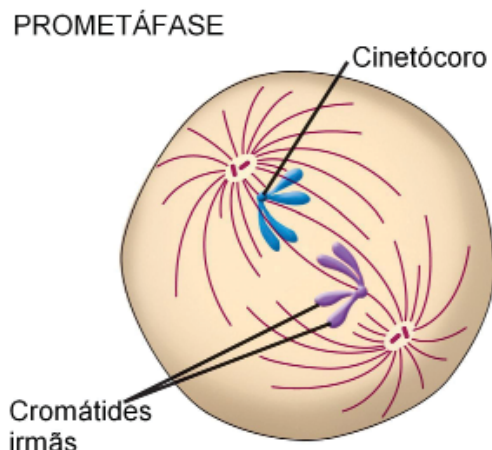


Figura 08-10 - Esquema de uma célula animal em prometáfase. Note que os cromossomos já estão bastante condensados, as fibras do fuso já se encontram ligadas aos seus cinetócoros, porém os cromossomos ainda estão dispersos no citoplasma.

(Fonte: Alberts et al. (2004) Biologia Molecular da Célula 4ª. Ed. Cap. 18)

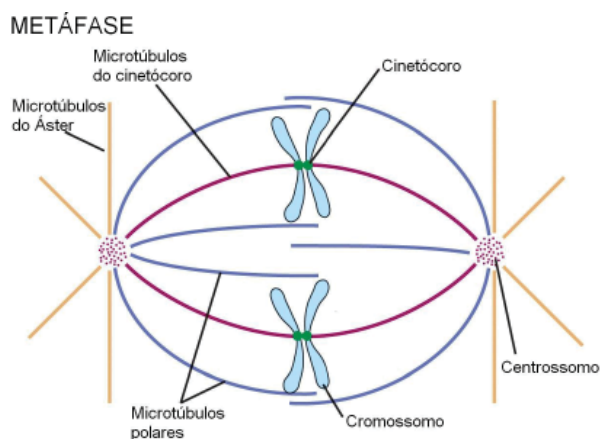


Figura 08-11 - Esquema de uma célula animal em metáfase. Os cromossomos, totalmente condensados já estão alinhados no equador da célula. Note a presença dos microtúbulos do cinetócoro, os polares e os do áster. (Fonte: Lodish et al. (2005) Biologia Celular e Molecular 5ª. Ed. Cap. 20)

microtúbulos de cada fuso começassem a se despolimerizar, tornando-se mais curtos. Isso mesmo! Os grupos de microtubulos originados de cada centrosomo tentariam puxar um mesmo cromossomo para polos opostos, mais ou menos como aquela brincadeira chamada cabo de guerra. Em um dado momento, estas forças opostas acabam por romper a resistência das coesinas que mantinham as cromátides irmãs unidas, levando à separação e consequente segregação de cada uma delas em direção aos pólos opostos da célula. Este deslocamento dos dois grupos de cromátides irmãs caracteriza a etapa denominada anáfase, (figura 08-12). O movimento em direção aos pólos faz com que as cromátides adquiram a forma de um V, no qual o vértice representa o cinetócoro que cobre o centrômero o qual precede as partes restantes do cromossomo em sua “corrida” em direção ao centrosomo.

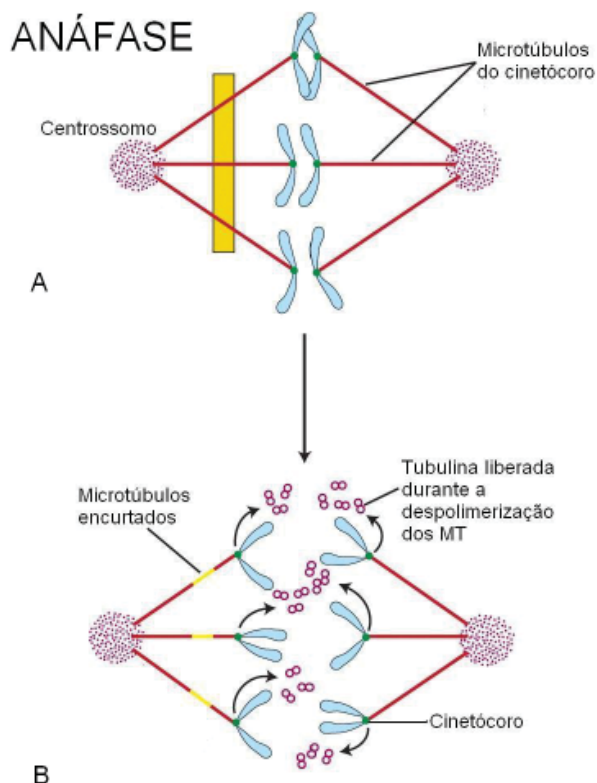


Figura 08-12 - Esquema de uma célula animal em anáfase. Em (A) observa-se o início da separação das cromátides irmãs. Em (B), o encurtamento das extremidades dos microtúbulos do cinetócoro move as cromátides irmãs em direção aos polos numa etapa mais adiantada da anáfase. (Fonte: Lodish et al. (2005) Biologia Celular e Molecular 5ª. Ed. Cap. 20)

A chegada das cromátides irmãs, que agora separadas podemos chamar de cromossomos filhos, aos polos da célula marca o início da última fase da mitose: a telófase, (figura 08-13). Nesta etapa a célula já se encontra um pouco mais alongada e, à medida que a telófase avança, os cromossomos

## TELÓFASE

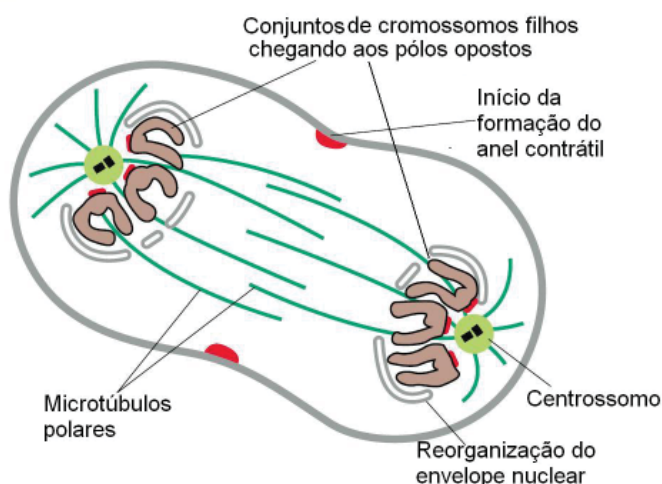


Figura 08-13 - Esquema de uma célula animal em telófase. Note a chegada das cromátides irmãs aos polos e o início da formação dos novos núcleos. (Fonte: Alberts et al. (2004) Biologia Molecular da Célula 4ª. Ed. Cap. 18)

começam a se desespiralizar e se tornam cada vez menos condensados. Enquanto os cromossomos vão se transformando em fibras de cromatina desenroladas, elas são rodeadas pelas vesículas membranosas que foram dispersas no final da prófase e que agora se fusionam para reconstituir um envelope nuclear. Esta reassociação das vesículas ocorre devido a ação de enzimas fosfatases, que removem o grupo fosfato das lamínas permitindo que a lâmina nuclear se reorganize e possa novamente servir de sustentação para o novo envoltório nuclear, que ao final

da telófase irá envolver cada um dos conjuntos de cromossomos filhos (veja a Figura 08-09). Além disso, em cada novo núcleo filho se reorganizam seus respectivos nucléolos. Compare os eventos observados na telófase com aqueles descritos na prófase e você perceberá que a telófase representa a recapitulação de tudo que aconteceu na prófase, porém em sentido contrário. Mas a divisão não se encerra aí!

Na abordagem que fizemos até agora, demos ênfase aos aspectos do ciclo relativos à divisão do núcleo. Porém, o ciclo celular só se completa efetivamente quando o citoplasma da célula em divisão se separa em dois, distribuindo todo seu conteúdo (componentes do citoesqueleto, organelas e inclusive os dois núcleos recém-formados) para as duas novas células. Este processo recebe o nome de citocinese e já começa a acontecer durante a anáfase, quando ocorre a organização de um anel contrátil na região equatorial da célula (Figura 08-14A). Este anel é formado por um feixe de aproximadamente 20 filamentos de actina em forma de círculo situado por baixo da membrana plasmática dessa região. Tais filamentos são capazes de deslizar uns sobre os outros em sentidos opostos uma vez que se encontram associados a proteínas motoras do tipo miosina II. No início da telófase começa a contração deste anel que leva ao estrangulamento da célula e, à medida que a citocinese prossegue, o diâmetro do anel contrátil diminui de modo que a célula é pinçada em duas partes por um sulco de clivagem cada vez mais profundo (Figura 08-14B). Concluída a citocinese, cada uma das células-filhas entra em nova intérfase, mais precisamente em G1, período no qual permanece até receber o estímulo para um novo ciclo de divisão.

O sucesso da mitose requer um controle temporal e espacial da citocinese. Isto quer dizer que a divisão do citoplasma só pode iniciar depois que os dois lotes de cromossomos tiverem alcançado os polos da célula e que o plano de divisão deve ser perpendicular ao da organização do fuso. Embora a citocinese seja um evento comum à maioria das células, em alguns órgãos e tecidos animais como fígado e músculo, a divisão nuclear pode se dar sem que ocorra a divisão do citoplasma. Nestes casos são formadas células multinucleadas ou sincícios.

### CITOCINESE

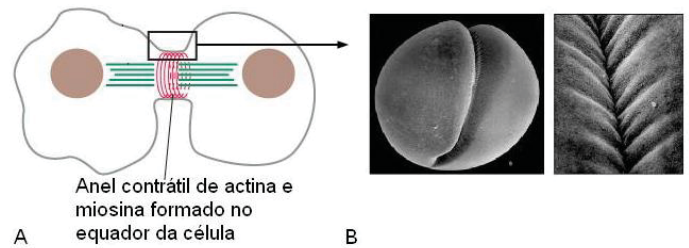


Figura 08-14A e 08-14B - A citocinese em uma célula animal. Em (A): esquema mostrando o estrangulamento da região equatorial da célula devido a presença do anel contrátil. Em (B): fotomicrografias mostrando o sulco externo na membrana da célula formado em consequência da contração do anel.

(Fonte: Alberts et al. (2004) Biologia Molecular da Célula 4ª. Ed. Cap. 18)

## A MITOSE NAS CÉLULAS VEGETAIS

Embora a maioria dos eventos mitóticos nas células vegetais geralmente seja semelhante àqueles observados nas células animais, alguns apresentam

características únicas nas plantas. É o caso da formação do fuso e da citocinese. Por não apresentarem centríolos, as células vegetais empacotam seus microtúbulos citoplasmáticos típicos da intérfase e os reorganizam em um fuso mitótico, sem a participação dos centrossomos. Mesmo assim, o aparelho mitótico na metáfase se assemelha muito ao das células animais.

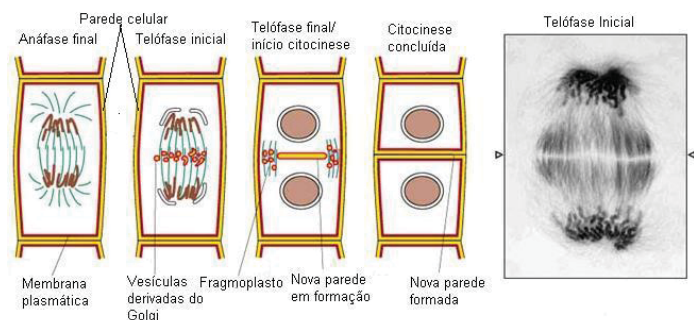


Figura 08-15 - Características especiais da mitose e citocinese em uma célula vegetal.

(Fonte: <http://www.bio.miami.edu>)

Durante a telófase vegetal, algumas vesículas derivadas da fragmentação do complexo de Golgi se alinham próximo ao centro da célula em divisão e se fusionam para formar uma estrutura denominada fragmoplasto. No interior do

fragmoplasto se acumulam macromoléculas precursoras da parede celular, principalmente pectina. Na medida em que novas vesículas vão se integrando ao fragmoplasto, este se expande por todo o plano equatorial da célula e a nova parede celular cresce em seu interior. Finalmente, a membrana do fragmoplasto se funde e se torna contínua com a membrana lateral da célula assim como a parede celular, que separará as duas células filhas como mostra a (figura 08-15).

## CONCLUSÃO

O ciclo celular só é efetivado depois que a célula original é dividida em duas pelo processo de citocinese. Para que o sucesso do ciclo seja alcançado, ou seja, para que cada célula filha apresente a mesma constituição da célula-mãe é necessário que, antes que a citocinese ocorra, todo o material genético (conteúdo nuclear), assim como todas as organelas citoplasmáticas sejam multiplicadas e em seguida sejam igualmente distribuídas dentro das duas metades da célula mãe. O estrangulamento característico da citocinese das células animais tem uma direção centrípeta, ou seja, evolui da periferia para o centro da célula. A presença da parede celular rígida nas células vegetais impossibilita este mecanismo de citocinese. Nestas células, a parede começa a se formar no centro e progride em direção à periferia até se fundir com a parede original, em uma direção que chamamos centrífuga (do centro para a periferia).





## RESUMO

A característica mais impressionante das células e do organismo como um todo é sua capacidade de reprodução. Numa visão simplificada, a reprodução celular ocorre pela divisão de uma célula “parental” em duas células “filhas”. Na verdade, este é o resultado final de uma série de eventos e etapas que constituem o ciclo celular. O ciclo celular eucarioto pode ser dividido em duas etapas: a intérfase e a divisão propriamente dita. Durante a intérfase, a célula se prepara para a divisão, passando por uma série de modificações que são distribuídas em três fases: G1, S e G2. Uma das modificações mais relevantes desta etapa é a duplicação do conteúdo genético que compõe os cromossomos, o que ocorre na fase S (síntese). Uma vez tendo atravessado toda a intérfase, a célula encontra-se pronta para se dividir. Em se tratando de células somáticas, ou seja, daquelas que compõem os tecidos dos organismos multicelulares, com exceção dos gametas, a etapa de divisão é denominada mitose. De acordo com os eventos observados no transcorrer da mitose, esta etapa pode ser dividida em cinco fases: prófase, prometáfase, metáfase, anáfase e telófase. É, portanto, durante estas fases que o material genético, que foi duplicado na intérfase, é igualmente dividido em duas partes que terminam o ciclo em cada uma das duas células geradas após a divisão do citoplasma da célula parental, no processo chamado citocinese.

## ATIVIDADES

1. Qual a relação estrutural e funcional entre cromatina, cromossomos e cromátides?
2. Elabore um quadro que apresente as principais características de cada uma das fases do ciclo de uma célula eucarionte da linhagem somática.
3. Considerando um organismo eucarionte cujo conteúdo nuclear é igual a oito cromossomos, complete o quadro a seguir com o número de cromossomos e cromátides apresentado por suas células somáticas ao longo de um ciclo celular.

FASE DO CICLO	CROMOSSOMOS	CROMÁTIDES
G1		
G2		
METÁFASE		
ANÁFASE		
TELÓFASE		
CADA CÉLULA FILHA		

4. Qual é a importância da duplicação do material genético durante a intérfase para o processo de divisão celular como um todo.



### COMENTÁRIOS SOBRE AS ATIVIDADES

1. É importante que você tenha em mente que o material genético encontrado no núcleo de uma célula eucarionte é composto de DNA associado a proteínas histonas e não-histonas e que à medida que o ciclo celular progride esta associação se altera. Além disso, o conteúdo de material genético assim como sua organização se altera ao longo do ciclo.
2. Considere que o ciclo celular compreende duas etapas: a intérfase e a divisão propriamente dita. Cada uma destas etapas é subdividida em fases que são caracterizadas por eventos específicos de cada uma delas. Estes eventos correspondem a modificações que ocorrem tanto no núcleo quanto no citoplasma da célula.
3. Lembre-se que o material genético é duplicado e depois é distribuído para as duas células filhas. Apesar da separação física das duas células só ocorrer depois que a citocinese se completar, para preencher este quadro, considere separadamente cada grupo de cromossomos e cromátides formados a partir da segregação dos cromossomos filhos. Em outras palavras, considere cada conjunto de cromossomos gerados a partir da segregação como se já pertencessem a uma célula diferente.
4. Nesta atividade você deve apresentar argumentos que justifiquem o fato da célula investir boa parte de sua energia durante a maior parte do ciclo celular no dispendioso processo que resulta na multiplicação de todo o seu conteúdo genético.



### PRÓXIMA AULA

Agora que você compreendeu todo o conjunto de modificações geradas pelo processo de mitose, na próxima aula você será apresentado a um outro tipo de divisão celular, a meiose, que ocorre em um tipo especializado de células que dará origem aos gametas.

## BIBLIOGRAFIA

ALBERTS, B.; et al. *Molecular biology of the cell*. 5 ed. New York: Garland Science. 2008.

CARVALHO, Hernandes F.; RECCO-PIMENTEL, Shirlei M. **A célula**. 2 ed. Barueri: Editora Manole. 2007.

DE ROBERTIS, E. D. P.; DE ROBERTIS, E. M. F. **Bases da Biologia Celular e Molecular**. 8 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

JUNQUEIRA, B. C. V.; CARNEIRO, J. **Biologia Celular e Molecular**. 4 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2005.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M.; KAY Y. **Princípios de Bioquímica**. 4 ed. São Paulo: Sarvier (Almed). 2006.

LODISH, H; **Biologia Celular e Molecular**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed. 2005.