

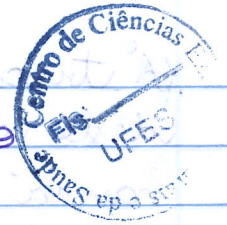


A divisão celular é o processo que possibilita que os organismos vivos se mantenham, sobrevivam e perpetuem os indivíduos de suas espécies. Duas etapas caracterizam a divisão celular, a mitose e a meiose. A mitose é uma divisão que possibilita que uma célula se divida e origine ~~uma~~ <sup>(duas)</sup> células filhas idênticas, com o mesmo material genético e número cromossômico. É por causa da mitose que uma semente, em condições ideais fisiológicas e ambientais, irá se desenvolver em uma árvore, por exemplo. Em raízes de plantas ou no meristema apical de plantas, a mitose ocorre em maior quantidade, por serem tecidos que apresentam grande atividade celular relacionada com o desenvolvimento e crescimento da espécie vegetal. A meiose por sua vez caracteriza-se por ser uma divisão que reduz o número cromossômico, originando quatro células com a metade do material genético da célula mãe. Além disso, esse material genético não é idêntico como na mitose, uma vez que aqui ocorre a recombinação genética responsável por gerar variabilidade genética. Assim, em uma célula diploide contendo  $2n = 2x = 20$  cromossomos, serão obtidas células  $2n = x = 10$  cromossomos na fase final da meiose. A meiose ocorre nos eucaríotes, em células e locais específicos, em um processo chamado gametogênese. Nos animais, ela ocorre nas gônadas com objetivo de formar os gametas femininos e masculinos, em processos conhecidos como espermatogênese e ~~o~~ oögenese. Nos vegetais a meiose

ocorre para a formação dos grãos de pólen e óvulos, em processos chamados de microsporo-gênese e megasporogênese. É por causa da meiose que os organismos perpetuam seus indivíduos e criam variabilidade, gerando indivíduos muitas vezes diferentes de seus pais em características que auxiliam sua sobrevivência.

A meiose é dividida em duas fases, a meiose I e a meiose II. A primeira, apresenta uma divisão equacional e é mais longa que a segunda, que se caracteriza por uma divisão reducional. A meiose I possui as fases pró-fase I (que é dividida em leptóteno, zigóteno, paquíteno, diplóteno e diácinese), metáfase I, anáfase I, telófase I, enquanto a meiose II possui as fases pró-fase II, metáfase II, anáfase II, telófase II. Estas fases serão apresentadas aqui de modo a se destacar como a meiose contribui para a criação de variabilidade genética nos organismos eucariotos.

Antes da célula iniciar a meiose ela entra numa fase que se chama intérfase. A intérfase apresenta três fases que contribuem para a célula iniciar a meiose: a fase G<sub>1</sub>, a fase S e a fase G<sub>2</sub>. Na fase G<sub>1</sub> a célula aumenta de tamanho e as moléculas responsáveis pela maquinaria celular são sintetizadas. Na fase S ocorre a replicação do material genético enquanto na fase G<sub>2</sub> haverá uma verificação se o material genético foi duplicado e se houveram erros nos processos do metabolismo celular. As etapas da intérfase se ocorrendo bem, a célula irá iniciar a



meiose. Estas checagens de erros nas etapas da mitose ocorrem devido ao controle do ciclo celular, devido as proteínas quinases dependentes das ciclinas - CDKs.

Após a mitose a célula reprodutiva irá iniciar a meiose I. A prófase I é caracterizada por apresentar os cromossomos duplicados. Nesta fase ocorre uma etapa muito importante na geração de variabilidade genética nos organismos, que é a recombinação genética ou o crossing over. Inicialmente, no leptóteno, os cromossomos estão duplicados e iniciando a sua condensação. No zigóteno os cromossomos homólogos começam a se unir pelos seus centrômeros, o reconhecimento ocorre em regiões específicas nos telômeros. Por causa dessas regiões eles se reconhecem e começam a ficar próximos. Esse controle genético é importante para que os homólogos formem bivalentes e não fiquem perdidos no citoplasma, evitando separação errada e formação de aneuploides ou indivíduos inférteis. No paquíteno os cromossomos homólogos já pareados, se unem ainda mais, e é aqui que ocorre o crossing over. Na célula ocorrerá uma quebra da sequência de DNA em locais específicos chamados de hotspots, e nesses locais os cromossomos homólogos irão trocar suas informações genéticas. A recombinação ocorre pois os homólogos estão unidos graças ao buquê cromossômico, realizado pelos telômeros. E também pela formação do complexo sinaptonêmico. Este último é responsável por possibilitar a recombinação.

A troca de informação genética ocorre dentro deste complexo. Onde ocorreu a recombinação haverá quiasmas, que auxiliam o pareamento dos homólogos até a anáfase I. A recombinação ocorre entre cromátides não-irmãs e ela tem grande variabilidade genética nos organismos vivos. Finalizado o paquíteno, a célula inicia o diplótene. Nesta fase os homólogos estão unidos pelos quiasmas e mais condensados. Na diacinese ocorre o rompimento da membrana nuclear, a carioteca, e os cromossomos vão se mover para o citoplasma. Aqui já se inicia a formação das fibras do fuso e os microtúbulos já começam a se locomover para as extremidades celulares.

Finalizada a prófase I, a célula vai entrar na metáfase I, que é onde os cromossomos homólogos, já bivalentes, se distribuem no plano equatorial da célula. Cada um dos homólogos estará unido pelos centrômeros e ligados nas fibras do fuso. Aqui já se começa a desaparecer os quiasmas. Na anáfase I os homólogos são puxados para lados opostos, sendo separados por conta das fibras do fuso, ligadas nos centrômeros. Na telófase I os cromossomos homólogos já separados, estão em lados opostos, e a célula se separa, formando duas outras. Antes de entrar na meiose II a célula passa pela intercinese e aqui não ocorre duplicação do material genético.

A meiose II é mais rápida que a meiose I e também contribui para a variabilidade genética. Na prófase II, os cromossomos começam a se



condensar novamente, pois no final da meiose I eles se descondensaram um pouco. É importante lembrar que a descondensação vai auxiliar a célula em locais específicos devido a alta síntese proteica para que a meiose finalize. Na metáfase II, os cromosomas estão no meio da célula, ligados pelas fibras do fuso que se acoplam nos centrômeros. Na anáfase II ocorrerá a separação das cromátides irmãs e a redução do nº cromossômico celular devido as fibras do fuso que puxam as cromátides para lados opostos. Na telófase II as células começam a sequegar, a carioteca começa a se reorganizar, como também o citoplasma. No final da meiose, de uma célula  $2n$ , por exemplo, vão surgir outras ~~quatro~~ quatro  $n$ . A variabilidade genética na meiose ocorre por causa da recombinação genética na prófase I, especificamente no paquíteno, e por conta da separação aleatória dos cromosomas homólogos na anáfase I, e na anáfase II por conta da separação das cromátides irmãs. É por conta da meiose que encontramos em humanos, irmãos com características físicas tão diferentes, mesmo sendo provenientes dos mesmos pais. É por causa dela que as populações dos organismos eucarióticos tem se desenvolvido, multiplicado e evoluído.

Em organismos diplóides, que possuem duas cópias do material genético, ou DNA, sendo uma cópia de cada parental, a meiose ocorre com a formação dos bivalentes. Neste pareamento dos

Cromossomos homólogos permite que erros na separação do material genético sejam reduzidos. Em organismos poliploides (que apresentam várias cópias do material genético) no entanto, as etapas da meiose podem ser mais complexas e gerar mais erros na formação dos gametas, gerando infertilidade. Os poliploides são comuns em espécies vegetais e se caracterizam pelos alopoliploides e autopoliploides. Dentre os organismos poliploides pode-se destacar a cana-de-açúcar, o trigo, a batata, batata-doce e o café. Os autopoliploides surgem a partir da duplicação do material genético de forma espontânea. A partir disso podem ser formados organismos triploides ( $2n+n$ ) ou tetraploides ( $2n+2n$ ). Neste caso, por surgirem organismos poliploides com "mesmo material genético", ou sejam, mesmos telômeros e centrômeros, a meiose ocorre normalmente, com o surgimento de bivalentes, os cromossomos se pareiam como na célula diploide, nos organismos tetraploides por exemplo. Nos alopoliploides, todavia, a meiose é mais complexa, uma vez que esses organismos surgem a partir do cruzamento de espécies diferentes. Neste caso, devido a presença de cromossomos de mais de uma espécie o que se observa na meiose é a formação de bivalentes e também de multivalentes. A complexidade da meiose nestes organismos está na separação dos cromossomos homólogos. Estando os cromossomos em conformação multivalente a chance de ocorrer um cromossomo perdido é grande, o que acarretaria em infertilidade e aneuploidia.



Entender a meiose nos organismos vegetais é importante no entendimento da sua variabilidade, reprodutibilidade e na manutenção da espécie. Os organismos diploides que fazem parte da alimentação humana são estudados em suas particularidades meióticas visando manutenção de gemoplasma e produção de alimentos. Neste contexto, estudar os organismos poliploides que fazem parte da nossa alimentação também é importante e necessário. Em cana-de-açúcar foi descoberto recentemente que o gene ZIP4 é responsável por controlar geneticamente a meiose, de modo a possibilitar a formação de bivalentes e evitar erros na segregação cromossômica. Os autores encontraram esse gene nas células reprodutivas da espécie. Em batata doce, pesquisadores utilizaram marcadores SNPs provenientes de sequenciamento de nova geração para realizar estudos de diversidade genética. Eles enfatizam que o uso de análise considerando a dosagem alélica da espécie poliploide estudada avançou o entendimento de vários fatores genéticos podendo auxiliar os estudos de meiose.

A meiose é uma etapa de grande importância na sobrevivência dos organismos eucariotas e entender seu funcionamento e particularidades de cada organismo, seja ele diploide ou poliploide, possibilita avançar em áreas como evolução, genética de populações, citogenética e melhoramento de plantas. E mesmo em organismos poliploides, a meiose consegue gerar variabilidade

