

## **A célula como unidade da Vida**

É um dos pilares fundamentais da Biologia o fato de que todos os organismos vivos são formados por células, e que todas as células provêm de uma célula preexistente. Estas afirmações constituem, basicamente, a teoria celular.

Esta teoria tem algumas implicações importantes, nomeadamente que o conhecimento da biologia celular é fundamental para o conhecimento da Vida. Revela, igualmente, que a Vida é contínua, pois o nosso corpo formou-se a partir de uma célula (zigoto) e irá produzir outras células (óvulos e espermatozóides) que, por sua vez, formarão novos corpos, e assim sucessivamente.

As células são sempre muito pequenas, sendo necessário um microscópio para as observar corretamente. As honrosas exceções são os óvulos de muitas espécies, com os das aves em grande destaque. Este fato deve-se à importância da relação área/volume, que vai sendo cada vez menor com o aumento de tamanho da célula.

### **Célula procariótica**

As células procarióticas são características dos organismos dos Domínios Bacteria e Archea, razão porque estes são designados procariontes. Os organismos procariontes são unicelulares mas muitos deles formam colônias de forma linear ou em pequenos grupos.

As células procarióticas são geralmente menores que as eucarióticas, variando entre 0,25x1,2 um e 1,5x4 um. Por este motivo, embora visíveis ao M.O.C., a sua subestrutura apenas pode ser estudada ao M.E.

Este tipo de célula não apresenta compartimentos membranares no seu interior, ao contrário das células eucarióticas, estudadas a seguir. Apesar de serem estruturalmente mais simples que as eucarióticas, as células procarióticas são funcionalmente complexas, sendo capazes de realizar milhares de transformações bioquímicas.

### **Estrutura de um procarionte**

Todas as células eucarióticas apresentam as mesmas características básicas:  
Membrana citoplasmática - envolve a célula e regula a entrada e saída de materiais, separando-a do seu meio ambiente;

- Nucleóide - região da célula onde se localiza o material hereditário (DNA), não rodeada por membrana;
- Citoplasma - todo o interior da célula, com exceção do nucleóide. É composto por duas partes, uma solução aquosa - citosol - com íons dissolvidos e biomoléculas e partículas insolúveis como os ribossomas;
- Parede celular - localizada no exterior da membrana citoplasmática, tem uma rigidez que dá suporte à célula e determina a sua forma. A parede celular da maioria das bactérias (mas não das arqueobactérias!) contém peptidoglicanos, um polímero de açúcares aminados, ligados entre si por pontes de hidrogênio de modo a formar uma gigantesca molécula em volta da célula. Em algumas bactérias existe uma membrana externa, formada por uma camada de fosfolípidos rica em polissacáridos (tal como a membrana citoplasmática, embora esta membrana não atue como uma barreira seletiva e os seus polissacáridos possam causar doenças);
- Cápsula - localizada por fora da parede celular, nem sempre existe. A cápsula é uma estrutura mucosa, composta principalmente por polissacáridos. Este revestimento externo é uma das principais causas de resistência das bactérias, nomeadamente ao ataque dos glóbulos brancos do sistema imunitário de animais que infetam. A cápsula protege da desidratação e pode mesmo aderir a outras células que a bactéria ataca, impedindo-as de fugir. A cápsula não é essencial à vida da célula pois, para além de existirem bactérias que não as produzem, esta pode sobreviver se a perder.

Algumas bactérias são fotossintéticas (cianobactérias) apresentam pregas e dobras da membrana citoplasmática que formam um sistema membranar - lamelas fotossintéticas - contendo bacterio-clorofila e outros pigmentos necessários à captação da energia luminosa.

Outros grupos de procariontes apresentam outro tipo de estruturas membranosas designadas mesossomas, cuja função pode estar relacionada com a divisão celular ou com a produção de energia. Tal como as lamelas fotossintéticas, os mesossomas são dobras da membrana citoplasmática e nunca dela se libertam (não são organitos livres no citoplasma, como os das células eucarióticas).

Por vezes as bactérias deslocam-se com a ajuda de apêndices designados flagelos. Estes apêndices são formados por uma proteína - flagelina - e geralmente parecem pequenos saca-rolhas ao M.O.C.

Os flagelos são extremamente eficientes na deslocação das bactérias, rodando (em ambos os sentidos) em volta de anéis proteicos que os ligam à membrana citoplasmática e mesmo à parede, se esta está presente. Com o flagelo a bactéria desloca-se a cerca de 0,00015Km/h, o que pode não parecer impressionante, a não ser que se faça a seguinte comparação:

<b>organismo</b>	<b>velocidade (Km/h)</b>	<b>comprimentos de corpo/s</b>
<b>Chita</b>	111	25
<b>Homem</b>	37,5	5,4
<b>Bactéria</b>	0,00015	10

Semelhantes a flagelos mas mais curtos e numerosos (cerca de 3 ou 4 por célula) são os pili, embora a sua função seja algo diferente, aderência e transferência sexual. Durante a conjugação, um tipo especial de pilum, o F-pilum, é usado para transferir material genético de uma bactéria doadora para uma bactéria receptora.

As fímbrias são mais curtas e lineares que os flagelos e pili, mas não tem qualquer função na mobilidade bacteriana. Geralmente usados para aderir a célula, tanto a outra (durante o acasalamento, por exemplo), como a superfícies ou organismos para obtenção de alimento e proteção.

### **Origem da célula eucariótica**

A maioria dos biólogos considera que a divisão fundamental no mundo biológico é a que separa os seres procariontes dos eucariontes, divisão esta, baseada na estrutura celular dos organismos. No entanto, apesar das diferenças bem conhecidas entre estes dois grupos, têm sido estabelecidas importantes relações entre eles.

Os procariontes constituem, mesmo na atualidade, mais de metade da biomassa da Terra, e colonizaram todos os ambientes. No entanto, a evolução não se satisfaz com este sucesso e surgiram níveis mais complexos de organização.

A origem da Vida parece ter ocorrido há cerca de 3400 M.a., quando o nosso planeta já teria 1000 ou 1500 M.a. de idade. A célula conserva em si, a nível da

sequência de aminoácidos, proteínas ou bases nucleotídicas, diversas marcas do seu passado, pois cada gene de uma célula atual é uma cópia de um gene muito antigo, ainda que com alterações.

Este é o motivo porque se considera a existência de um ancestral comum entre organismos que apresentem grande número de nucleótidos ou proteínas comuns.

Até há pouco tempo considerava-se que as células eucarióticas teriam derivado de procariontes unicelulares, por um processo desconhecido de complexificação, designado por hipótese autogênica. Esta teoria considera que a célula eucariótica teria surgido através de especialização de membranas internas, derivadas de invaginações da membrana plasmática.

É sabido que a associação entre duas células é comum e pode trazer vantagens importantes, tanto em procariontes como em eucariontes. As bactérias formam frequentemente agregados simples, em que as células não apresentam ligações citoplasmáticas, mas beneficiam, apesar disso, da proteção do número. O estudo de situações deste tipo revelou, no entanto, que um conjunto de procariontes nunca funcionará como uma estrutura multicelular.

Surge, portanto, um corolário para esta afirmação, que consiste na obrigatoriedade da presença de células eucarióticas para o desenvolvimento da multicelularidade.

A teoria de maior aceitação, proposta por Lynn Margulis, a Teoria Endossimbiótica, sugere que as células eucarióticas seriam o resultado da associação de células procarióticas simbióticas.

### **Representação esquemática da teoria endossimbiótica para o surgimento da célula eucariótica**

A simbiose entre estas células procarióticas teria evoluído para graus de intimidade tais, que algumas células envolveriam outras completamente, embora as primeiras ficassem intactas no interior do hospedeiro. Estas células envolvidas teriam originado os organitos de uma célula eucariótica atual.

Segundo Margulis, a célula eucariótica típica teria surgido sequencialmente, em 3 etapas, como se pode ver ao lado:

- proto-eucarionte tornou-se hospedeiro de bactérias aeróbias, obtendo mitocôndrias;

- proto-eucarionte tornou-se hospedeiro de bactérias espiroquetas, obtendo cílios, flagelos e, mais tarde, outras estruturas com base em microtúbulos como os centríolos e citosqueleto;
- proto-eucarionte tornou-se hospedeiro de cianobactérias obtendo plastos.

Um bom exemplo de como esta teoria pode ser correta é a evolução dos cloroplastos em protistas fotossintéticos, que parece resultar de uma série de processos endossimbióticos.

Aparentemente todos os cloroplastos remontam ao envolvimento de uma cianobactéria ancestral por uma outra célula, um proto-eucarionte. Este será designado o fenômeno endossimbiótico primário e teria resultado na formação do cloroplasto clássico com duas membranas (uma resultante da membrana plasmática da cianobactéria e outra da membrana da vesícula de endocitose da célula maior). Teria sido assim que surgiram os cloroplastos das algas verdes e vermelhas.

As algas euglenófitas, no entanto, teriam cloroplastos formados por um fenômeno endossimbiótico secundário, ou seja, o seu ancestral terá envolvido uma clorófitas unicelular e descartado toda a célula exceto o cloroplasto. Esta é uma possível explicação para o fato de as euglenófitas apresentarem os mesmos pigmentos fotossintéticos que as clorófitas e as plantas, bem como para a terceira membrana que envolve o cloroplasto destas algas unicelulares.

Outros protistas fotossintéticos apresentam cloroplastos resultantes da endossimbiose secundária de rodófitas unicelulares e chegam mesmo a participar em fenômenos de endossimbiose terciária, originando um grupo de dinoflagelados com cloroplastos envolvidos por quatro membranas.

Alguns outros fatos parecem apoiar a teoria endossimbiótica:

- material genético igual entre procariontes e eucariontes;
- transcrição e tradução semelhantes;
- simbiose é um processo muito comum no mundo vivo;
- tamanho de cloroplastos e mitocôndrias muito semelhante ao dos procariontes atuais;
- membrana interna dos cloroplastos e mitocôndrias é produzida pelos próprios organitos;

- ribossomas dos cloroplastos semelhantes em tamanho e características aos dos procariontes;
- síntese proteica das mitocôndrias e cloroplastos é inibida por substâncias inibidoras de procariontes (estreptomicina e cloranfenicol) mas não por inibidores de eucariontes (ciclo-heximida);
- aminoácido iniciador da cadeia polipeptídica de uma mitocôndria ou cloroplasto é a formil-metionina, como nas bactérias, e não a metionina, como nos eucariontes (e arqueobactérias);
- DNA próprio nas mitocôndrias e cloroplastos, semelhante, em estrutura, ao material genético bacteriano, não associado a histonas;
- divisão autônoma das mitocôndrias e dos cloroplastos;
- protozoários que vivem em simbiose com bactérias não têm mitocôndrias mas realizam respiração aeróbia por intermédio das bactérias, localizadas no interior de vacúolos.

No entanto, muitas dúvidas persistem, pois a transferência lateral de genes complica grandemente o estudo das linhagens celulares mas, ao mesmo tempo, não parece ter sido suficiente para explicar o fato de cada vez mais genes com origem bacteriana serem encontrados em eucariontes.

Uma origem endossimbiótica de mitocôndrias e cloroplastos permite explicar a presença de genes bacterianos que codificam enzimas do metabolismo energético mas não explica a presença de muitos outros. O genoma eucarionte é claramente uma mistura com dupla origem.

Um sugestão recente propõe que o domínio Eukarya tenha surgido através de uma fusão mutualista (e não uma endossimbiose) de uma bactéria Gram  $\square$  e de uma arqueobactéria, mas ainda precisa de mais provas.

### **Célula eucariótica**

A célula eucariótica, como a célula animal representada ao lado, obtém a sua designação do grego eu = verdadeiro + karyon = núcleo. Estas células existem em quase todos os organismos vivos atuais, com exceção dos pertencentes aos Domínios Archea e Bactéria.

Além do núcleo, as células eucarióticas apresentam uma grande variedade de organitos, ausentes nos procariontes, nomeadamente compartimentos membranares com

ambientes físico-químicos diferentes do citosol, o que permite a realização de reações bioquímicas específicas. Outra característica única das células eucarióticas é a presença de citoesqueleto, que lhes fornece suporte e mecanismos para o movimento.

O núcleo é geralmente o maior organito da célula, funcionando como centro de controle da célula e como local onde decorrem a armazenagem e replicação do DNA.

Em células metabolicamente ativas é frequente observar um ou mais nucléolos, locais onde se formam os ribossomas, a partir de proteínas específicas e RNA. Os nucléolos não estão isolados por membranas do resto do núcleo.

O núcleo está envolvido por uma dupla membrana designada invólucro nuclear. Este invólucro é atravessado por numerosos poros com dimensões entre os 3 e os 100nm, que estabelecem a comunicação entre o nucleoplasma e o citosol. Estes poros não são apenas buracos, mas têm uma estrutura proteica complexa: cada poro é rodeado por 8 proteínas em forma de grânulo. Nestas zonas a membrana externa do núcleo é contínua com a membrana interna. A membrana nuclear está frequentemente em contínuo com o retículo endoplasmático.

O interior do compartimento nuclear - nucleoplasma - é uma solução aquosa em tudo semelhante ao citosol, que contém uma rede de filamentos associados ao invólucro nuclear e à cromatina.

A cromatina é um complexo de DNA e proteínas designadas histonas, organizadas em longos filamentos durante a maior parte do ciclo celular. Apenas durante a divisão celular estes filamentos se condensam, formando cromossomas, visíveis ao M.O.C.

A membrana citoplasmática é responsável pela integridade da célula, bem como pela regulação da passagem de moléculas para o interior e/ou para o exterior. É formada por uma bicamada fosfolípídica onde se encontram embebidas proteínas e outras moléculas (colesterol, por exemplo, em células animais). A membrana envolve todo o compartimento celular, que contém o citosol e os organitos. O citoplasma das células está frequentemente em movimento, arrastando de modo ordenado os organitos e os materiais em suspensão. Estes movimentos, conhecidos como correntes citoplasmáticas ou movimentos de ciclose, devem favorecer as trocas entre os diversos componentes celulares, mas não é certo que seja essa a sua função principal.

O retículo endoplasmático é parte do extenso sistema endomembranar que compõe a maioria do citoplasma de uma célula eucariótica. Em certas locais é contínuo

com o invólucro nuclear. O retículo pode ser funcional e estruturalmente dividido em retículo endoplasmático rugoso e liso.

O retículo rugoso deve o seu nome ao fato de as suas membranas conterem ribossomas, locais de síntese proteica. As proteínas são lançadas para o interior das membranas, onde serão transformadas ou dirigidas a outras localizações da célula.

O retículo liso não apresenta ribossomas nas suas membranas e nele as proteínas sintetizadas no retículo rugoso são quimicamente alteradas. Ocorrem ainda no seu lúmen a hidrólise do glicogênio, síntese de esteróides e alteração de drogas e outras substâncias nocivas ao corpo.

O aparelho de Golgi deve o seu nome ao cientista italiano que primeiro o observou ao microscópio óptico composto. É formado por sáculos membranosos achatados designados cisternas e pequenas vesículas.

O aparelho de Golgi recebe do retículo endoplasmático rugoso (R.E.R.) proteínas, transportadas em vesículas membranosas. Essas moléculas são então separadas e modificadas quimicamente, sendo depois encaminhadas para as suas localizações definitivas. Se se destinam ao exterior da célula são "embaladas" em vesículas que se irão fundir com a membrana plasmática e libertadas para o exterior. Se se destinam ao citoplasma, as vesículas irão fundir-se com outros organitos.

As vesículas formadas pelo R.E.R. são recebidas pela face cis, ou de recepção, do Golgi, as proteínas alteradas no lúmen das cisternas e libertadas pela face trans, ou de formação, virada para a membrana plasmática.

A mitocôndria é o organito responsável pela transformação da energia contida nos alimentos em energia metabólica (ATP). Estas transformações designam-se, no seu conjunto, respiração celular.

As mitocôndrias têm duas membranas, como o núcleo ou os cloroplastos. A membrana externa é lisa e fornece proteção, embora seja bastante permeável á passagem de substâncias. A membrana interna contém grandes complexos proteicos embebidos, envolvidos na síntese de ATP e na respiração celular. Esta membrana está dobrada em pregas achatadas designadas cristas, que aumentam grandemente a sua área. O número de cristas varia muito com a taxa metabólica da célula em que a mitocôndria se encontra.

A matriz é a região interna da mitocôndria, rodeada pela membrana interna. Contém numerosas proteínas envolvidas nos processos respiratórios, bem como ribossomas e DNA, usados na síntese da maioria das suas proteínas.

O peroxissoma é um organito relativamente pouco conhecido, em que produtos tóxicos para a célula, como peróxido de hidrogênio (água oxigenada), são degradados em produtos inofensivos, como água e oxigênio. Exclusivamente em células vegetais existem organitos semelhantes, designados glioxissomas.

O centrossoma é uma região mais ou menos amorfa, localizada perto do envelope nuclear em células animais. Ao centro desta zona está um par de estruturas cilíndricas designadas centríolos e dispostas em ângulo reto, como um L.

Os centríolos estão intimamente relacionados com o movimento celular, seja por meio de flagelos ou de cílios, em cuja base existe sempre um corpo basal, em tudo semelhante ao centríolo típico. Esta relação é confirmada pelo fato de muitas vezes os flagelos ou cílios serem reabsorvidos e os seus corpos basais deslocados para o interior da célula, passando a funcionar como centríolos.

A estrutura do centríolo é formada por nove grupos de três microtúbulos fundidos. Estes nove conjuntos formam a "parede" da estrutura, ligeiramente rodados para o interior, como hélices de uma turbina. Cada conjunto está ligado longitudinalmente ao adjacente por outro tipo de proteínas.

Característico das células eucarióticas (e talvez, por ausência das bactérias, um fator fundamental no sucesso dos eucariontes), o citosqueleto é formado por um emaranhado de longas fibras de vários tipos, fornecendo suporte e permitindo o movimento (seja da célula ou de organitos ou cromossomas no seu interior) e a alteração de forma.

Devido ao seu elevado dinamismo e interação com o ambiente, poderia, com a mesma facilidade, designar-se citomusculatura. O citosqueleto é responsável pelo deslizar sobre o substrato, contração muscular e pelas alterações de forma durante o desenvolvimento embrionário dos animais.

O citosqueleto contém 3 tipos principais de fibras:

- microfilamentos - formados por subunidades de actina, têm a forma de hélices duplas desta proteína. São estruturas muito flexíveis que podem ser encontrados em toda a célula mas são mais frequentes logo abaixo da membrana plasmática;
- filamentos intermédios - formados por subunidades de vimentina ou lamina, entre outras proteínas muito heterogêneas, estes filamentos são encontrados por toda a célula. Um tipo de filamento intermédio forma a lâmina nuclear, um emaranhado de fibras logo abaixo da membrana interna do envelope nuclear,

enquanto outros fornecem força mecânica estendendo-se através do citoplasma e associando-se aos desmossomas que unem células vizinhas;

- microtúbulos - formados por subunidades de tubulina, estas estruturas são polares: existe uma extremidade (ponta +) capaz de rápido crescimento e outra (ponta -) que tende a perder subunidades se não for estabilizada. Na maioria das células tal é conseguido ligando a ponta - do microtúbulo ao centrossoma, localizado perto do núcleo, no centro da célula. Por este motivo, o centrossoma é um dos MTOC conhecidos (microtubule organizing center).

Os plastídios são característicos das células vegetais como a representada ao lado e têm uma estrutura característica: são envolvidos por um envelope com duas membranas, a mais interna das quais se diferencia num sistema complexo, e que rodeia uma matriz mais ou menos homogênea, o estroma.

Os plastídeos são geralmente classificados segundo o tipo de pigmentos que contêm.

Os cloroplastos são plastídeos que apenas existem em células autotróficas, ditas vegetais. As células animais, heterotróficas, não produzem cloroplastos, mas podem apresentá-los, perfeitamente funcionais, retirados da digestão parcial de células vegetais ou devido a algas verdes que vivem em simbiose nesses tecidos. Esta situação é bastante comum em corais e anêmonas.

É o local onde se realiza a fotossíntese, pelo que contém grande quantidade de pigmentos, nomeadamente clorofilas. Uma única célula do mesófilo pode conter até 50 cloroplastos, pelo que 1mm<sup>2</sup> de folha contém cerca de 500000. Geralmente localizam-se nos lados longos das células, perto da parede celular.

A sua estrutura faz lembrar a da mitocôndria, pois também apresenta duas membranas. A membrana externa é bastante permeável, permitindo a passagem da maioria das pequenas moléculas. A membrana interna é bem mais seletiva e é onde se localizam os complexos que captam a luz para as reações fotossintéticas. Forma dobras designadas tilacóides. Quando os tilacóides aparecem empilhados como moedas designam-se grana.

O espaço interno do cloroplasto designa-se estroma e é rodeado pela membrana interna. Neste espaço, tal como na mitocôndria, encontra-se DNA e ribossomas, capazes de comandar numerosas proteínas presentes no cloroplasto. No entanto, o controlo é nitidamente do núcleo, sendo a maior parte do material sintetizado com DNA nuclear e transferido para o plastídio.

Em algas verdes e plantas é frequente encontrar no estroma grãos de amido e/ou pequenas gotas de lípidos. Estes são produtos de armazenamento temporário, quando o organismo fotossintetiza activamente.

Os cromoplastos são plastídeos de tamanhos muito diversos que armazenam outro tipo de pigmentos (que não clorofila), principalmente carotenóides. São responsáveis pelas cores amarela, laranja e vermelha de folhas velhas, flores e frutos maduros. Podem desenvolver-se a partir de cloroplastos em que a clorofila e as membranas internas se desintegram e grandes quantidades de carotenóides são armazenados. A sua função na planta não é bem reconhecida, embora sejam fundamentais na atração de insetos e vertebrados, com os quais as plantas evoluíram.

Os leucoplastos são plastídeos não pigmentados. Alguns sintetizam amido - amiloplastos - outros prótidos e mesmo lípidos. Quando expostos à luz transformam-se em cloroplastos.

A parede celular é uma estrutura semi-rígida presente nas células vegetais externamente à membrana citoplasmática. É basicamente formada por celulose, mas contém igualmente polissacáridos complexos e proteínas.

A parede permite a manutenção da forma da célula vegetal, impedindo a sua lise, é uma barreira bastante eficaz contra ataques de microrganismos patogênicos e ajuda na união entre células vizinhas.

### **Importância da relação área/volume e origem da multicelularidade**

Há medida que as dimensões de um organismo aumentam, diminui a sua relação área/volume, ou seja, a sua superfície não aumenta à mesma taxa que o volume.

Qual o significado deste fato? A vida depende do metabolismo, efetuado em todo o volume celular, mas as trocas com o meio, nomeadamente a entrada de nutrientes e a saída de excreções, são realizadas através da superfície celular.

### **Variação da área de superfície com o volume**

Variação da razão área/volume

Este raciocínio permite compreender facilmente que haverá uma razão ótima para a qual as trocas são adequadas ao metabolismo desenvolvido.

Estudos revelaram que esse valor corresponde ao tamanho da célula eucariótica, 50 a 500  $\mu\text{m}$ . A partir deste valor o aumento de tamanho de um organismo implica a passagem à multicelularidade, para que a relação correta seja mantida.

No entanto, mesmo a multicelularidade apresenta a mesma limitação, pois os organismos muito pequenos perdem demasiado calor, e os grandes têm grande dificuldade em perde-lo, por exemplo.

A verdadeira multicelularidade, apenas presente em seres eucariontes, caracteriza-se por uma associação de células em que há interdependência estrutural e funcional entre elas. Geralmente existe igualmente uma diferenciação celular e tecidual a ela associada.

Em células eucarióticas existe frequentemente uma relação colonial, que pode ser considerada a origem da multicelularidade.

Vejamos alguns exemplos, que parecem confirmar essa hipótese:

Colônias de *Chlamydomonas* ☐ esta alga unicelular pode formar colônias, móveis por ação dos flagelos individuais. As células estão ligadas apenas por filamentos citoplasmáticos;

- Colônias de *Pandorina* ☐ esta alga apresenta colônias mais elaboradas, envoltas numa massa coloidal, com polaridade;
- Colônias de *Volvox* ☐ a colônia é uma esfera oca, envolta numa camada monoestratificada de mais de 1000 células biflageladas. Estas células são puramente somáticas, não intervindo na reprodução. Essa função está reservada a células maiores, que, assexuadamente, se dividem e originam colônias-filhas. A reprodução sexuada também é possível. Deste modo, pode concluir-se que nesta colônia existe polaridade, especialização e coordenação. A divisão de tarefas é nítida na diferenciação precoce entre o soma e o gérmen.

A evolução destas colônias terá sido por aumento do número e tamanho das suas células, aumento da especialização e desenvolvimento progressivo das estruturas sexuais.

A dificuldade reside na passagem de uma colônia esférica para um metazoário, com várias camadas de células.