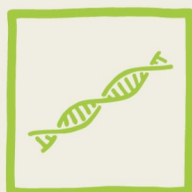


meSalva!



METABOLISMO ENERGÉTICO AVANÇADO



MESOPOTÂMIA
ASPECTOS CULTURAIS

AFIXOS

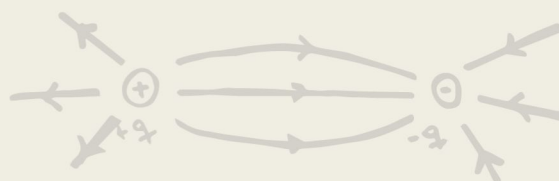
CONTROLADO

MENTE

SUFIXO

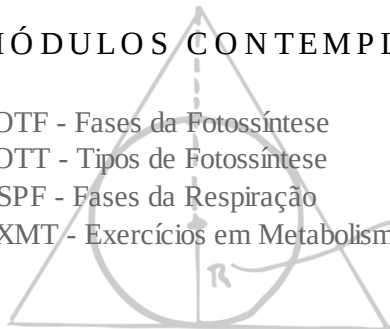
SINAL DE
REGULAÇÃO

CAFETERIA



MÓDULOS CONTEMPLADOS

- ✓ FOTF - Fases da Fotossíntese
- ✓ FOTT - Tipos de Fotossíntese
- ✓ RSPF - Fases da Respiração
- ✓ EXMT - Exercícios em Metabolismo Energético Avançado



meSalva!

CURSO

EXTENSIVO 2017

DISCIPLINA

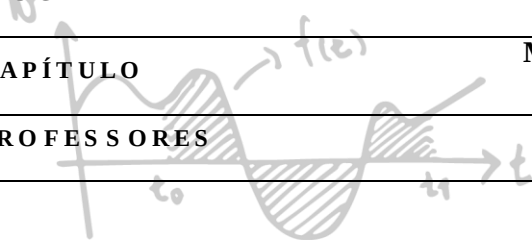
BIOLOGIA

CAPÍTULO

**METABOLISMO ENERGÉTICO
AVANÇADO**

PROFESSORES

**LUANA VASCONCELLOSE
JÉSSICA BENELLI**



mesalva.com

Todos os direitos reservados © Me Salva! 2017.

METABOLISMO ENERGÉTICO AVANÇADO

INTRODUÇÃO AO METABOLISMO ENERGÉTICO

Fala, galera do Me salva!. Sabemos que o metabolismo é o conjunto de reações químicas que ocorrem dentro das células, como a síntese de moléculas e substâncias, chamada de anabolismo, ou a quebra de moléculas, que recebe o nome de catabolismo, certo? É através desses processos de transformação de substâncias químicas que se obtém a energia necessária para a realização das funções essenciais às células e ao organismo.

Essa energia utilizada pelas células é obtida a partir de diferentes moléculas orgânicas, como açúcares e ácidos graxos, que podem ser adquiridos através de alimentos ingeridos, no caso de heterotróficos, ou fabricados pelo próprio organismo, como é o caso dos autótrofos. Para reações como fermentação, utilizada por alguns fungos e bactérias, e respiração celular, utilizada por todos os seres vivos, a principal molécula utilizada como substrato para geração de energia é a **glicose**.

A respiração celular e a fotossíntese são exemplos de reações que têm como finalidade a geração de energia. Uma das diferenças entre elas é que a primeira é caracterizada como uma reação exotérmica, ou seja, aquela que não precisa de energia para ocorrer, mas a gera como produto. Já a segunda é do tipo endotérmica, pois precisa receber energia para ocorrer. O mais interessante é que, por mais que existam essas diferenças nas suas reações, esses são dois processos essenciais para a vida e que estão conectados. Quer ver como? É bem simples! A fotossíntese realizada pelos vegetais produzirá moléculas de glicose, que serão utilizadas para processos próprios da planta, mas também serão destinadas aos organismos heterotróficos que, ao se alimentarem das plantas, irão ingerir essas moléculas – que, adivinhem só, servirão de substrato para a respiração celular! Não esquecendo que as plantas também realizam a respiração, certo?

Então, é justamente sobre esses dois processos, a **fotossíntese** e a **respiração celular**, que falaremos nesta apostila, aprofundando e conhecendo melhor suas etapas, para compreender bem suas relações. Vamos lá?

FOTOSSÍNTESE

Vamos começar pensando sobre o significado do termo “fotossíntese”: literalmente, “*síntese utilizando a luz*”. Isso já nos dá uma boa ideia da importância que a luz solar tem nesse processo, né? É a partir da absorção da energia luminosa, que será convertida em energia química, que todas as reações fotossintéticas ocorrerão. Lembra da fórmula da fotossíntese?



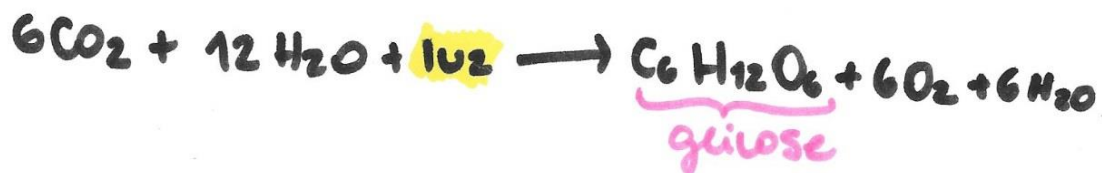


FIGURA 1: FÓRMULA DA FOTOSSÍNTESE.

Então, a partir da energia solar absorvida pela planta, acontecerá a oxidação da água, ou seja, a perda de um elétron, que causará a liberação do oxigênio. Também haverá a redução do dióxido de carbono (CO_2), ou seja, o ganho de elétrons. Antes de nos aprofundarmos, então, sobre de onde saiu e para onde vai cada uma dessas moléculas, é importante lembrarmos dos cloroplastos, que é onde ocorrem todas essas reações.

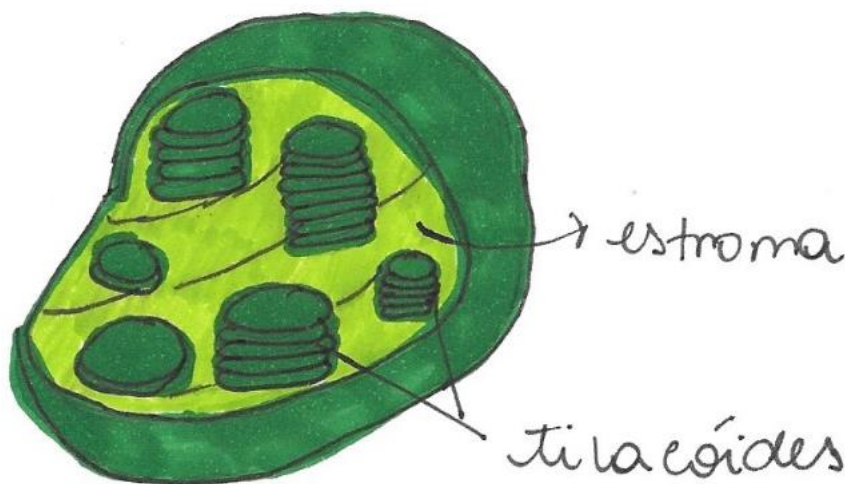


FIGURA 2: PRINCIPAIS ESTRUTURAS DE UM CLOROPLASTO.

Na folha das plantas superiores, há um tecido chamado de mesofilo, que é onde se encontram os cloroplastos. Essas organelas apresentam **clorofila**, que é um pigmento verde, especializado na absorção de luz e, por isso, tão importante. O aspecto mais marcante da estrutura do cloroplasto é a presença dos tilacóides. É ali que estão contidas as clorofilas e, assim, é onde ocorrem as reações ditas luminosas da fotossíntese. Além da clorofila, nessa região do cloroplasto há grande diversidade de proteínas essenciais à fotossíntese. Outras

estruturas importantes para esse processo são os carotenoides, que são constituintes das membranas dos tilacoides e são responsáveis por absorver a luz e transferir à clorofila – são chamados, por isso, de pigmentos acessórios.

A clorofila, esse pigmento contido nos tilacoides, parece verde ao olho humano porque ela absorve luz, principalmente, nas porções vermelhas e azul dos espectros luminosos. Assim, só uma parte da luz nos comprimentos de onda do verde é refletida para o olho humano.

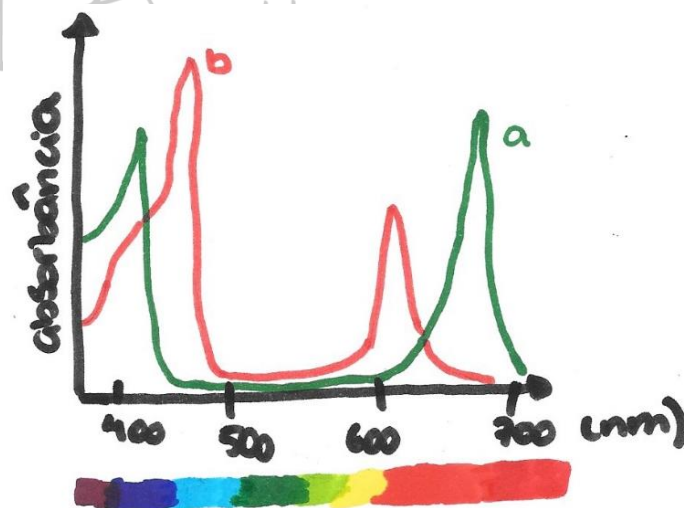


FIGURA 3: ESPECTRO DE LUZ E COMPRIMENTOS DE ONDAS ABSORVIDOS PELAS CLOROFILAS A E B.

Quando a luz azul chega na folha da planta, é absorvida pela clorofila, que entra em um estado de alta excitação, devido à energia dos fótons (uma partícula da luz), que é maior quando os comprimentos de onda são mais curtos, como é o caso do azul. Nesse estado de maior excitação, a clorofila fica muito instável, liberando parte da sua energia ao meio como forma de calor e, assim, entra em um estado de menor excitação. Nessa fase, a clorofila libera energia por uma rota **fotoquímica**, o que provoca a ocorrência de reações químicas. Essas reações estão entre as mais rápidas conhecidas e são as que importam para nós aqui. Em seguida falaremos mais sobre elas.

Uma parte dessa energia absorvida pelas clorofilas e carotenoides é, no final, armazenada como energia química através da formação de ligações químicas. Esse processo depende da cooperação entre muitos pigmentos e um grupo de proteínas de transferência de elétrons. Assim, a maior parte dos pigmentos serve como um **complexo antena**, que é responsável por captar a luz e transferir essa energia para o **complexo dos centros de reação**, onde ocorrerão as reações químicas de oxidação e redução que já comentamos! É interessante que o sistema antena varia bastante entre os diferentes organismos fotossintetizantes, provavelmente refletindo uma adaptação dos organismos a diferentes ambientes, enquanto o centro de reação é similar, mesmo em organismos distantemente relacionados.



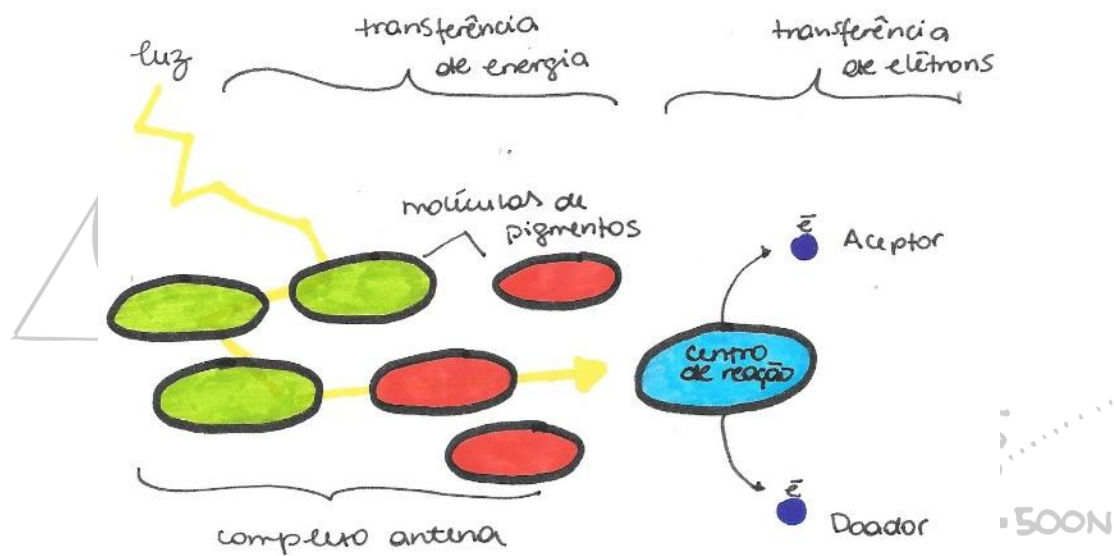


FIGURA 4: REPRESENTAÇÃO DO COMPLEXO ANTENA E CENTRO DE REAÇÃO DE UM CLOROPLASTO.

Além desse complexo antena, ainda existem outros dois complexos fotoquímicos, chamados de **fotossistemas I e II**, conhecidos também, respectivamente, por **PSI** e **PSII**. Eles operam em série para realizar o armazenamento de energia que será utilizada para a fotossíntese em si. Uma das diferenças entre eles é basicamente o tipo de comprimento de luz que são capazes de absorver. O fotossistema I absorve luz na faixa do vermelho distante, com comprimentos de onda acima de 680nm. Já o fotossistema II absorve luz na faixa do vermelho com comprimento de onda de 680nm. Além disso, o fotossistema I produz um redutor forte (P700*), com a capacidade de reduzir o NADP+, que é a nicotinamida adenina dinucleótido fosfato (não se assustem com o nome!), uma coenzima com função de aceitador de elétrons em diversas reações, e um oxidante fraco (P700). Ao contrário, o fotossistema II produz um oxidante muito forte (P680), que oxida a molécula da água, e um redutor mais fraco (P680*), quando comparado com o do fotossistema I.

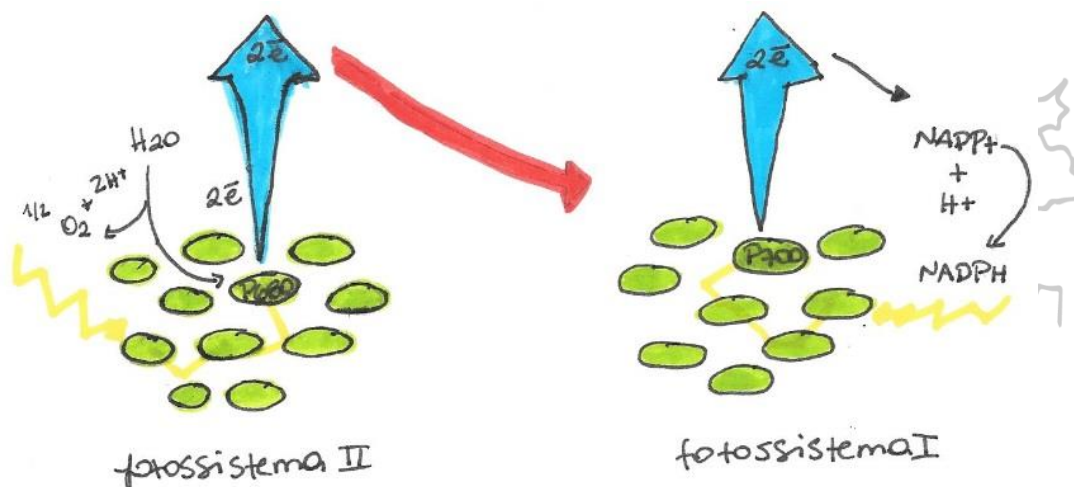


FIGURA 5: REPRESENTAÇÃO DOS DOIS FOTOSSISTEMAS DE UM CLOROPLASTO.

Vistos estes detalhes essenciais para nosso entendimento, vamos falar agora de cada fase da fotossíntese e o que ocorre em cada uma.

FASE FOTOQUÍMICA OU FASE CLARA

Essa é a primeira fase da fotossíntese e tem início com a absorção de luz emitida pelo sol. Depende totalmente dessa luminosidade para ocorrer. Essa etapa, nas plantas, ocorre nos tilacoides, pois conta com a participação das moléculas de clorofila.

Quando o principal pigmento é estimulado pela luz, há a liberação energia, via elétrons, que vão para uma cadeia transportadora formada por citocromos, ou seja, proteínas ligadas a uma membrana que realizam o transporte de elétrons. Esses elétrons perdidos pela clorofila podem seguir dois caminhos diferentes, os chamados **fotofosforilação cíclica** e **fotofosforilação acíclica**.

FOSFORILAÇÃO CÍCLICA

Esse mecanismo de transporte dos elétrons envolve apenas o fotossistema I, lembram dele? Então, após os elétrons serem liberados pela clorofila, passam pela cadeia transportadora e, gradativamente, perdem energia, como se estivessem descendo degrauzinhos. Essa energia perdida por eles será usada na fosforilação da molécula de ADP (adenosina difosfato), ou seja, a adição de mais um fosfato (P) nela, se transformando em ATP (adenosina trifosfato), essa famosa molécula energética – e tão importante para nós nesse assunto, então, não esqueçam dela! Como isso só é possível graças à energia vinda do sol, pode ser chamada também de fotofosforilação. No final desse processo, esses elétrons conseguem voltar para a molécula de clorofila, reiniciando esse ciclo e, por isso, o processo é chamado de fosforilação cíclica, como mostra a imagem abaixo:

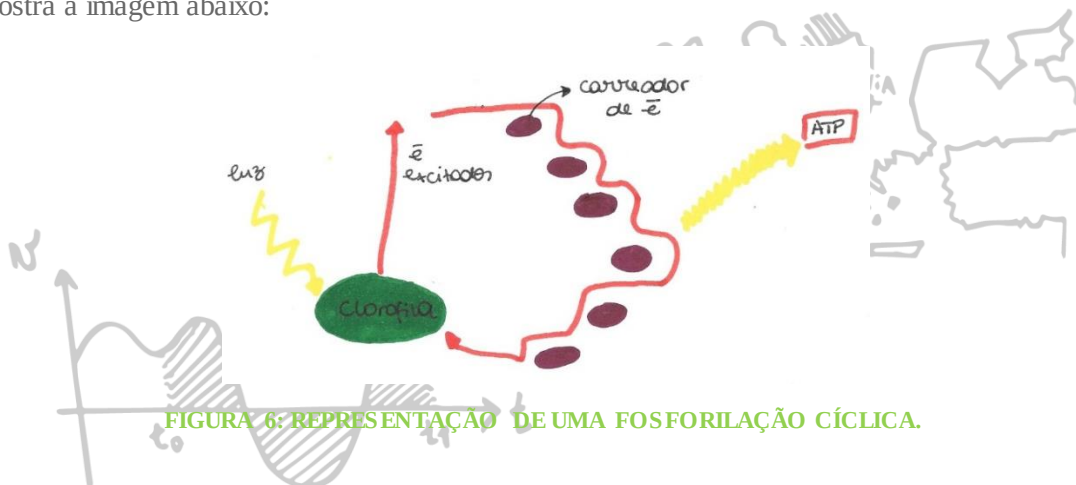


FIGURA 6: REPRESENTAÇÃO DE UMA FOSFORILAÇÃO CÍCLICA.

FOSFORILAÇÃO ACÍCLICA

Como já podemos imaginar, nesse tipo de fosforilação os elétrons liberados pela clorofila não retornam para ela. Nesse caso, a partir da energia solar e da ação do oxidante forte (P680) do fotossistema II, a molécula de água é quebrada, liberando os elétrons para a clorofila, e gás oxigênio, que vai ser liberado para a atmosfera (lembrem-se desse detalhe, pois ele é muito importante para a respiração), e dois prótons, ou seja, duas moléculas de hidrogênio. Esses dois hidrogênios são captados pelo NADP, que é uma coenzima responsável por carregar esses prótons, através do redutor forte (P700*) do fotossistema I. Quando os hidrogênios se ligam ao NADP, esse último se transforma em NADPH₂.

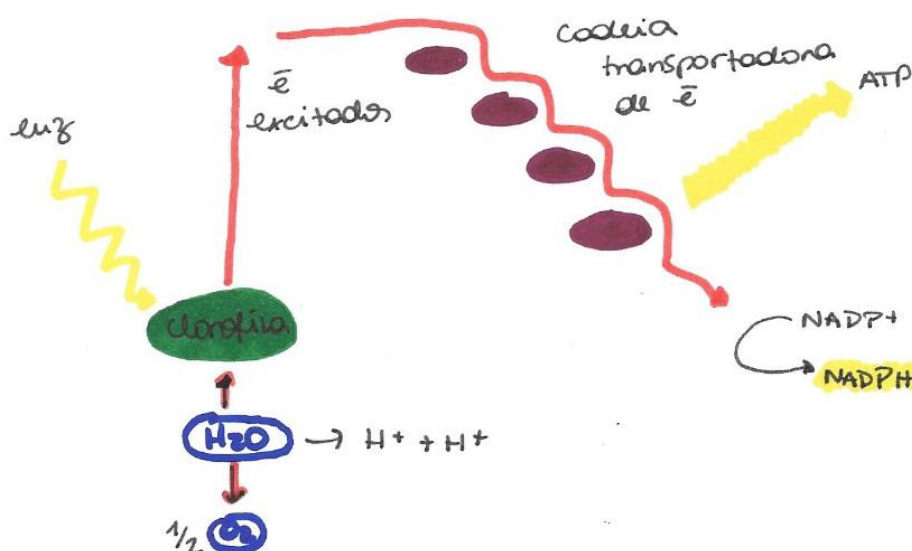


FIGURA 7: REPRESENTAÇÃO DE UMA FOSFORILAÇÃO ACÍCLICA.

É importante perceber que a energia luminosa do sol foi utilizada apenas para excitar a clorofila e, a partir disso, haver a quebra da molécula de água, de forma que apenas é usada na fase clara da fotossíntese. A formação da glicose acontecerá apenas na segunda fase, a escura, e contará com a ação das moléculas de ATP e NADPH₂ produzidas nessa primeira fase!

- ✓ **Resumo:** A fase clara produz moléculas de oxigênio, que são liberadas para atmosfera, moléculas de ATP e NADPH₂ que serão usadas na fase escura da fotossíntese.



FASE QUÍMICA OU FASE ESCURA

Para a realização dessa fase da fotossíntese, a planta precisa de gás carbônico, que será captado da atmosfera, através da abertura dos estômatos. Eles são células que ficam na região da epiderme foliar e são regulados por vários fatores; um dos principais é a taxa de transpiração do vegetal. Em condições normais, os estômatos se abrem logo ao amanhecer, já captando CO₂ do ar. Veremos mais adiante que existem certas adaptações das plantas para lidar com ambientes em que há menor disponibilidade de água, afetando a taxa fotossintética. Agora, precisamos ter a noção de que o gás carbônico é um dos fatores limitantes para que a fotossíntese possa ocorrer. Em uma planta mantida em um determinado ambiente, com temperatura e CO₂ constantes, por exemplo, a quantidade de fotossíntese realizada passa a depender exclusivamente da luminosidade.

Ok, mas vamos pensar, então, em uma planta que está em um meio com todos os fatores agindo normalmente e já passou pela fase clara da fotossíntese. Vamos entender o que ocorre em seguida, na fase escura. O nome “fase escura” reflete que é uma fase em que não se utiliza a energia luminosa, certo? Outra diferença entre essas duas etapas é que, enquanto a primeira ocorre nos tilacoides do cloroplasto, a segunda é realizada na região do estroma dessa organela.

Devido ao fato de essas reações que ocorrem nessa fase serem dependentes dos produtos (ATP e NADPH₂) dos processos fotoquímicos, são chamadas também de reações de carboxilação da fotossíntese. O CO₂ captado da atmosfera é incorporado em compostos orgânicos, como a glicose, através do **Ciclo de Calvin**, que está presente em todos os organismos fotossintetizantes e em muitos procariontes. Além desse nome, ele também é conhecido como Ciclo Redutivo da Pentose-Fosfato ou ainda como Ciclo do Carbono.

No início desse ciclo, a molécula de gás carbônico captada da atmosfera, que contém apenas um átomo de carbono, faz ligação com uma molécula de cinco carbonos, a *ribulose difosfato* (RuDP), formando um composto de seis átomos de carbono, que é instável. Essa reação pode ser chamada de fase de carboxilação e é realizada pela enzima **rubisco**, muito importante e abundante nas plantas. Devido à instabilidade desse novo composto gerado, logo ele se quebra em duas moléculas; cada uma apresenta três carbonos e são chamadas de ácido 3-*fosfoglicérico* ou 3-*fosfoglicerato* (PGA). Vocês lembram do ATP e do NADPH formados na primeira fase e que seriam utilizados nessa fase? É nessa etapa do Ciclo de Calvin, chamada de fase de redução, que isso ocorre. O ATP fosforila o ácido-*fosfoglicérico* e o NADPH o reduz, formando o *aldeído fosfoglicérico* (PGAL).

É importante compreender que, para esse ciclo ocorrer assim, são necessárias seis moléculas de gás carbônico entrando nele e se juntando à ribulose difosfato. Dessa forma, são geradas, no fim, doze moléculas de PGAL, que podem seguir dois caminhos diferentes: uma parte, dez moléculas, continua no ciclo, regenerando a molécula de ribose difosfato e permitindo que ele se repita, caracterizando a fase de regeneração; a outra parte, de duas moléculas restantes, é utilizada para sintetizar diversos compostos orgânicos, como a **glicose**, sacarose e ácidos graxos, entre outros, encerrando o ciclo e recebendo o nome de fase de síntese. Ao total,

são utilizadas dezoito moléculas de ATP, três para cada gás carbônico que entra no ciclo, e doze de NADPH, duas por ciclo. É daí que vem a famosa glicose.

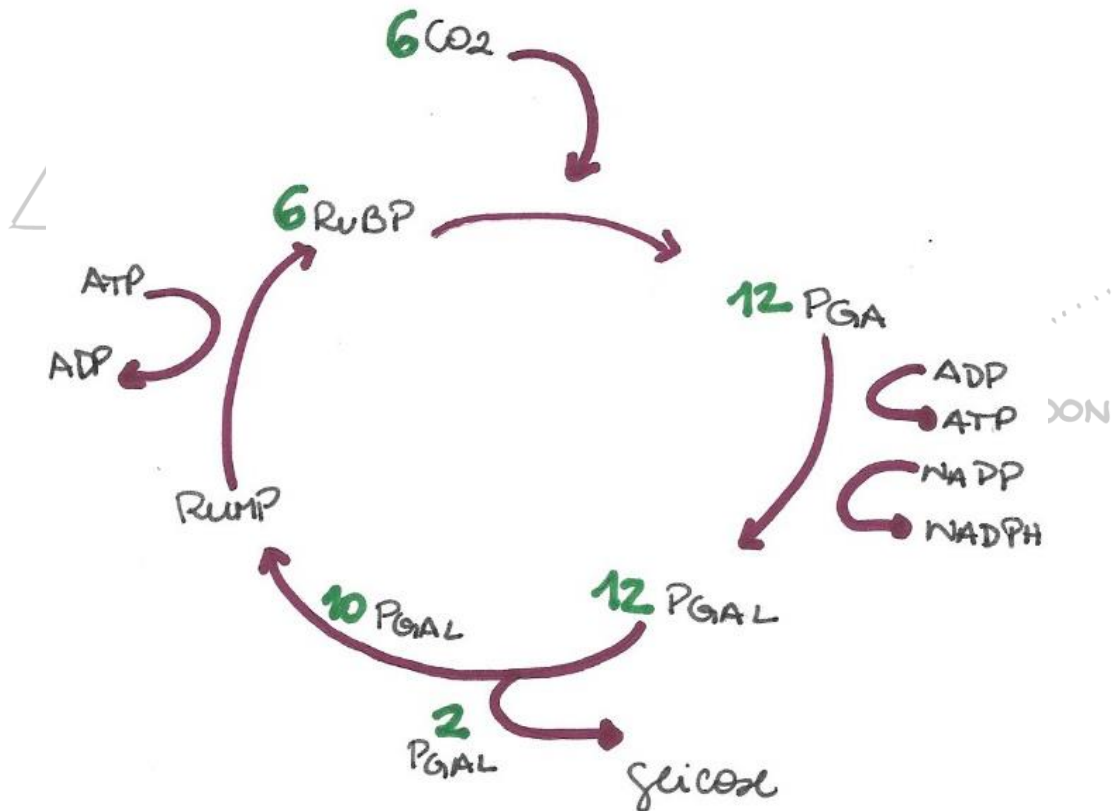


FIGURA 8: REPRESENTAÇÃO DO CICLO DE CALVIN.

Porém, o Ciclo de Calvin, ou Ciclo C₃, devido à formação de um composto de três carbonos, não é a única forma de fixação do carbono utilizada pelas plantas. Há ainda o Ciclo C₄, que é uma adaptação evolutiva que minimiza a perda de carbono pelo ciclo fotorrespiratório. Esse ciclo tem compostos de quatro carbonos como produto; o oxaloacetato, o malato e o aspartato são exemplos. Ocorre nas células fotossintéticas presentes no mesófilo da folha de plantas como gramíneas e cana-de-açúcar. Ele se difere do Ciclo C₃, principalmente por possuir duas reações de carboxilação, a primeira igual ao ciclo que já vimos, e a segunda realizada pela enzima fosfoenolpiruvato carboxilase.

As plantas que realizam esse tipo de ciclo possuem uma grande afinidade com o gás carbônico e, por isso, apresentam uma vantagem em relação às plantas que realizam o Ciclo C₃: as plantas C₄ só atingem as taxas máximas de fotossíntese sob elevadas intensidades de radiação solar, fazendo com que fixem mais CO_2 por unidade de água perdida e, assim, consigam sobreviver em ambientes áridos. Já as plantas C₃ apresentam taxas de fotossíntese elevadas o tempo todo e são um grupo muito produtivo, que inclui muitas espécies que consumimos, como a soja e o arroz; contribuem significativamente para o equilíbrio terrestre.

Esse tipo de ciclo é sempre acompanhado pela fotorrespiração, que é um processo que gasta muita energia da planta, consome O_2 e libera CO_2 em presença de luz.

Há ainda uma outra adaptação encontrada em plantas chamadas de CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), que são aquelas que habitam ambientes áridos e secos, como os cactos. Dessa forma, elas precisam economizar água para evitar dessecação. O mecanismo que elas encontraram para isso foi abrir seus estômatos (aquelas estruturas que captam o gás carbônico da atmosfera) somente à noite, mantendo-os fechados durante o dia, o que evita a perda de água por transpiração. Assim, o gás carbônico é fixado, mas a grande diferença é que isso ocorre pela enzima fosfoenolpiruvato para formar o oxaloacetato. Essa última substância é transformada rapidamente em malato e estocada durante toda a noite nos vacúolos na forma de ácido málico. Durante o dia, com os estômatos fechados, esse ácido málico é retirado do vacúolo, levado até o cloroplasto da célula e lá sofre a reação de descarboxilação, produzindo piruvato e gás carbônico. O CO_2 fixado é, então, transferido para ribulose difosfato do Ciclo de Calvin. O piruvato produzido pode ser convertido em açúcar, como a glicose, e em amido.

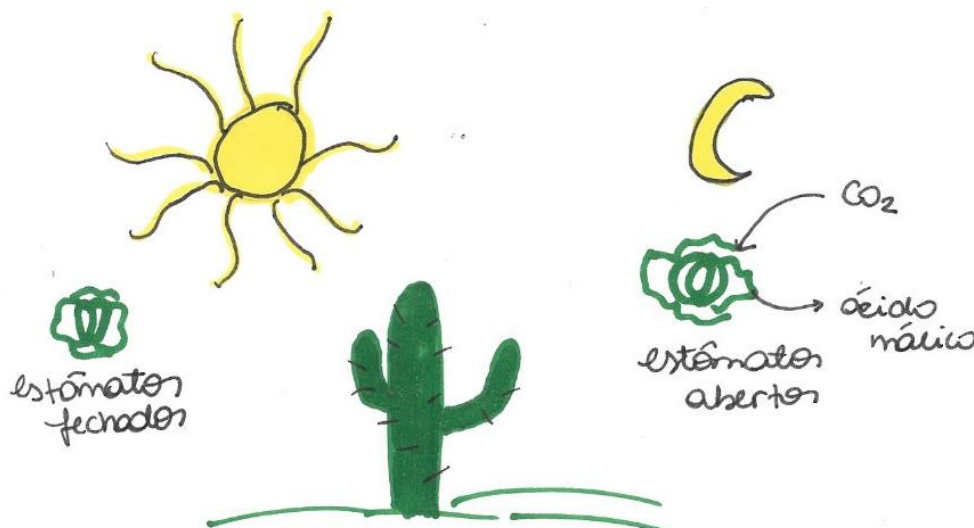
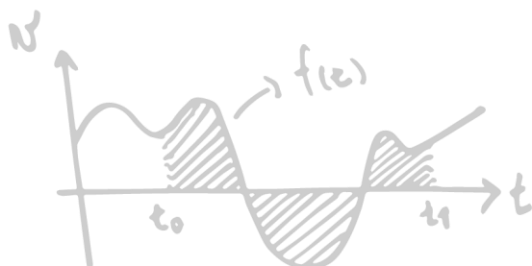


FIGURA 9: REPRESENTAÇÃO DO METABOLISMO CAM.

Ok, agora já vimos como a glicose é formada a partir das reações da fotossíntese e o quanto esse processo é importante para o equilíbrio do ambiente, a partir da liberação do oxigênio para a atmosfera e captação do CO_2 , que é um dos principais gases do efeito estufa. Falta entender como ela é utilizada por todos os seres vivos para produzir energia, através da respiração celular. Vamos lá?



RESPIRAÇÃO CELULAR

A respiração celular é o processo de oxidação de moléculas orgânicas, como a glicose, para a produção de energia a partir de moléculas de ATP. Ele é dividido em três etapas e tem como fórmula básica:



FIGURA 10: FÓRMULA DA RESPIRAÇÃO CELULAR. 250 kg

Lembram lá do oxigênio liberado para a atmosfera na primeira fase da fotossíntese? É esse que observamos sendo usado aqui pela respiração!

GLICÓLISE

A primeira fase da obtenção de energia é a **glicólise**, que é uma reação que ocorre no citosol da célula e consiste na quebra da molécula de glicose (na maioria dos seres vivos ingerida através de alimentos). Inicialmente, essa molécula precisa ser ativada e, assim, sofre uma fosforilação, ou seja, recebe fosfatos vindo da molécula de ATP. Isso forma glicose-6-fosfato. Em seguida, esse composto muda sua estrutura, originando frutose-6-fosfato. Aqui ocorre, novamente, uma fosforilação, utilizando mais uma molécula de ATP e formando frutose-1,6-bifosfato. Encerrando a fase preparatória da glicólise, ocorre uma clivagem nesse último açúcar-fosfato, uma molécula de seis carbonos, gerando duas moléculas de três carbonos cada: o gliceraldeído-3-fosfato e a di-hidroxiacetona-fosfato. Finalizando essa primeira fase, a molécula di-hidroxiacetona-fosfato sofre uma isomerização, se convertendo em uma segunda molécula de gliceraldeído-3-fosfato. Reparem que foram gastas duas moléculas de ATP nesse primeiro momento.

Iniciando a segunda fase da glicólise, chamada de fase de pagamento, as duas moléculas de gliceraldeído-3-fosfato são oxidadas, dessa vez não por ATP, mas por um fosfato inorgânico, e formam 1,3-bifosfoglicerato. Essa molécula se converte em 3-fosfoglicerato, liberando uma molécula de ATP. Em seguida, há a conversão em 2-fosfoglicerato e fosfoenolpiruvato que, por fim, é convertido em duas moléculas de piruvato e há a liberação de mais uma molécula de ATP. O rendimento final dessa fase são duas moléculas de ATP por molécula de glicose utilizada, já que duas moléculas de ATP são consumidas na fase

preparatória. Na fase de pagamento ainda são formadas duas moléculas de NADH, uma transportadora de elétrons, por molécula de glicose.

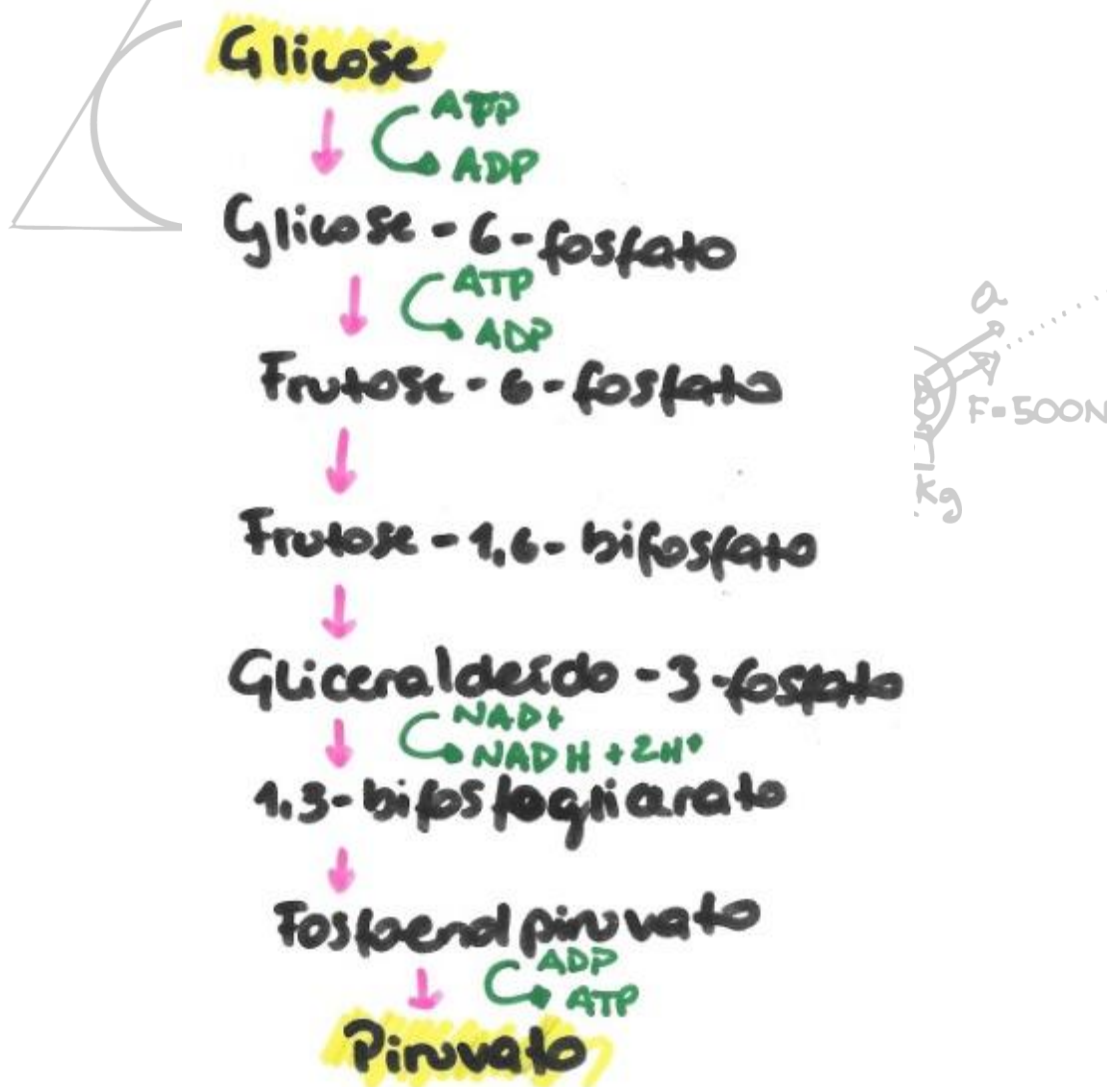
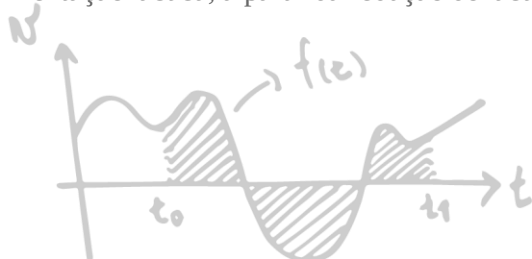


FIGURA 11: REPRESENTAÇÃO DAS REAÇÕES DA GLICÓLISE.

O piruvato produzido no final da glicólise pode ter três destinos: a geração do acetil-CoA, uma enzima utilizada no ciclo do ácido cítrico, outra etapa da respiração celular; a fermentação láctica, a partir da redução do lactato; e, por fim, a produção de etanol.



CICLO DE KREBS OU CICLO DO ÁCIDO CÍTRICO

Essa fase ocorre dentro da mitocôndria, mais exatamente na matriz mitocondrial, e se inicia com a entrada das moléculas de piruvato produzidas na glicólise. Cada ácido pirúvico reage com uma molécula conhecida como coenzima A, originando três produtos: acetil-coenzima A, gás carbônico e hidrogênios. O CO_2 é liberado e os hidrogênios são capturados por uma molécula de NAD, formando NADH_2 .

Assim, se inicia o ciclo de Krebs, com a acetil-CoA doando um grupo acetil a um composto de quatro carbonos, chamado de oxaloacetato, formando, então, um composto de seis carbonos, o citrato. Essa molécula é convertida em isocitrato, que também é formado por seis carbonos. Ele sofre uma desidrogenação, perdendo uma molécula de gás carbônico e se transformando em uma molécula de cinco carbonos chamada alfa-cetogluturato, ou oxoglutarato, gerando uma molécula de NADH. Aqui ocorre mais uma perda de CO_2 , formando uma molécula de quatro carbonos conhecida como succinil-CoA, o que gera mais uma molécula de NADH. Em seguida, há a conversão em succinato. A partir do succinato se forma o fumarato, liberando uma molécula de FADH_2 , e, após uma hidratação, o fumarato se converte em malato, também formado por quatro carbonos. Por fim, o malato gera oxaloacetato (4C), liberando uma terceira molécula de NADH e encerrando o ciclo, que fica pronto para reagir com outra molécula de acetil-CoA. Assim, em cada rodada do ciclo, entra um grupo acetil, formado por dois carbonos, e são removidas duas moléculas de gás carbônico; uma molécula de oxaloacetato é usada para formar citrato e outra molécula de oxaloacetato é regenerada.

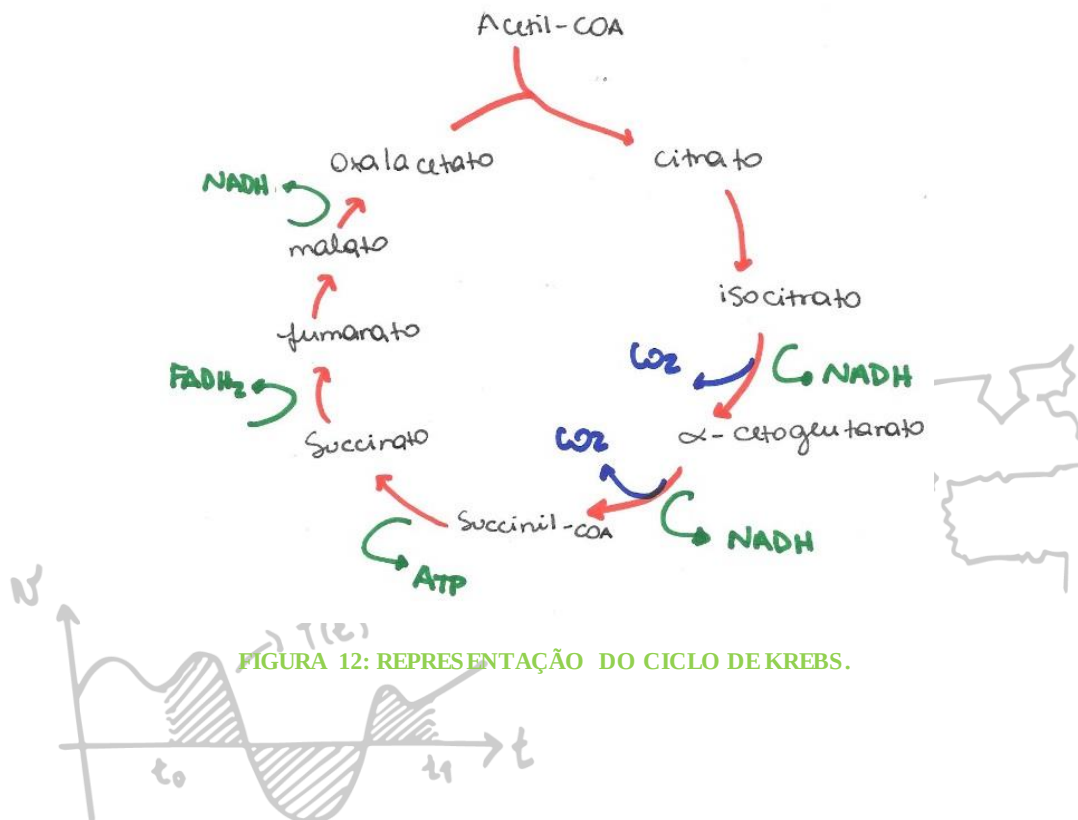


FIGURA 12: REPRESENTAÇÃO DO CICLO DE KREBS.

Como podemos observar, quatro das oito etapas desse ciclo são de oxidação e conseguem conservar a energia de uma maneira bem eficiente, através da produção de moléculas de NADH e FADH₂. Além disso, para cada molécula de acetil que reage, há a formação de uma molécula de ATP. É importante saber que o ciclo de Krebs não participa apenas do metabolismo energético, já que, à medida que as diversas substâncias do ciclo vão se formando, uma parte delas pode ser “desviada”, indo servir de matéria-prima para a síntese de substâncias orgânicas, como gorduras e aminoácidos. Esse “desvio” que ocorre explica porque o consumo excessivo de doces e carboidratos pode ser um vilão das dietas e para a saúde, uma vez que esse excesso é armazenado na forma de gorduras.

É importante compreendermos que esse ciclo ocorre quando o organismo precisa de energia. Porém, a glicose, que é o substrato para isso, pode ser estocada em forma de glicogênio nos animais, principalmente nas regiões hepáticas e musculares, e em situações de déficit de açúcar se quebra, formando novamente moléculas de glicose. Nas plantas, esse armazenamento é feito na forma de amido.

FOSFORILAÇÃO OXIDATIVA OU CADEIA TRANSPORTADORA DE ELÉTRONS

Essa fase ocorre nas membranas internas da mitocôndria. Como vimos, nas outras fases da respiração celular foram produzidas moléculas de NADH₂ e FADH₂, que são moléculas carreadoras de hidrogênios. Esses prótons capturados se combinarão com átomos de oxigênio provenientes do O₂ atmosférico (lembra dele?). Dessa combinação são produzidas moléculas de água. Porém, antes de reagirem como o O₂, os hidrogênios percorrem um longo caminho, em que se combinam com diversas substânciasceptoras intermediárias. Ao final dessa trajetória, os hidrogênios encontram seus parceiros definitivos, os átomos de oxigênio do O₂. Esse conjunto de substâncias transportadoras de hidrogênio constitui a cadeia respiratória ou cadeia transportadora de elétrons. Esse processo se dá como se os hidrogênios descessem uma escada, perdendo energia em cada degrauzinho. Liberada em pequenas quantidades, a energia pode ser, então, utilizada para sintetizar moléculas de ATP.

O processo inicia com a transferência de dois elétrons do NADH para um complexo chamado de complexo desidrogenase. Além disso, há o bombeamento de um íon de hidrogênio para cada elétron, realizado por esse mesmo complexo. Em seguida, esses dois elétrons são transferidos para uma molécula carreadora chamada de ubiquinona, que os leva para um segundo complexo chamado de citocromo b-c₁. Desse segundo complexo, os elétrons são passados, um de cada vez, ao citocromo c, uma segunda molécula carreadora. À medida que os elétrons são levados pelo citocromo c, há o bombeamento de um íon de hidrogênio pelo complexo citocromo b-c₁. Esses elétrons transportados pelo citocromo c são levados até um terceiro complexo chamado de complexo oxidase. Ele requer quatro elétrons, que acabam por interagir com o oxigênio molecular e também com oito íons de hidrogênio. Dessa forma, os quatro elétrons + quatro hidrogênios + oxigênio molecular são utilizados para formar água, enquanto os hidrogênios restantes são bombeados pela membrana. Esse bombeamento é

importante, pois cria um gradiente, que gera energia, usada pela ATP sintase (um outro complexo), para formar molécula de ADP e fosfato inorgânico.

Assim, se formam moléculas de ATP e os elétrons resultantes da cadeia respiratória são captados por moléculas de oxigênio, funcionando como aceptores finais de elétrons, produzindo água. Dessa forma, o oxigênio é oceptor final de elétrons, enquanto NAD, FAD e citocromos são apenas aceptores intermediários.

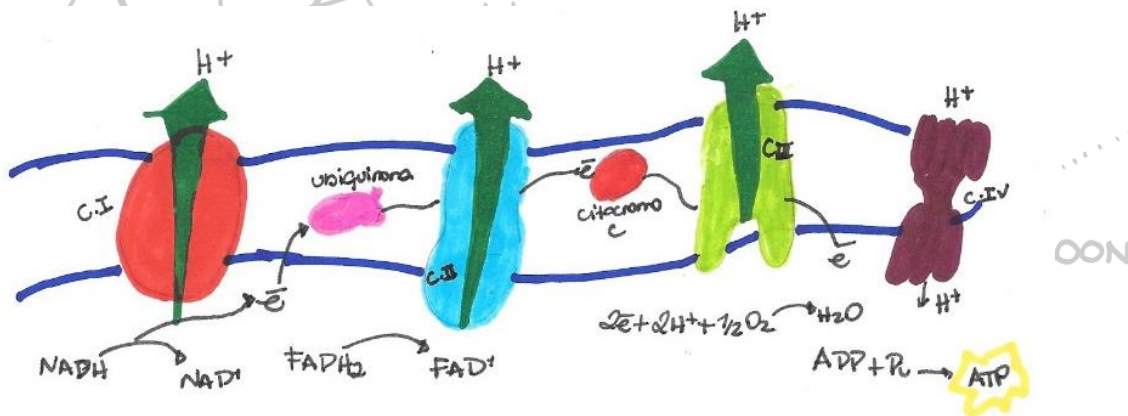


FIGURA 13: REPRESENTAÇÃO DA CADEIA TRANSPORTADORA DE ELÉTRONS.

Para cada NADH e FADH2 que se oxidam, ou seja, para cada par de elétrons transportados pelos complexos, há síntese de ATP, caracterizando um mecanismo de alta produção de energia, já que gera, ao todo, 34 moléculas de ATP ao fim de duas cadeias respiratórias. Somando-se aos 4 ATPs já produzidos pela glicólise e Ciclo de Krebs, há um saldo final de 38 ATPs, que estocam energia em ligações que podem ser quebradas e provocar a liberação dessa energia para outros processos. Assim, as células estão energizadas e prontas para realizar todas as suas funções.

Após ler essa apostila, podemos compreender as etapas desses dois processos essenciais para os seres vivos, a fotossíntese e a respiração celular, e podemos também compreender a relação que existe entre eles, pois (quase) tudo na Biologia e na vida está relacionado!

