



Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Departamento de Ciências Biológicas

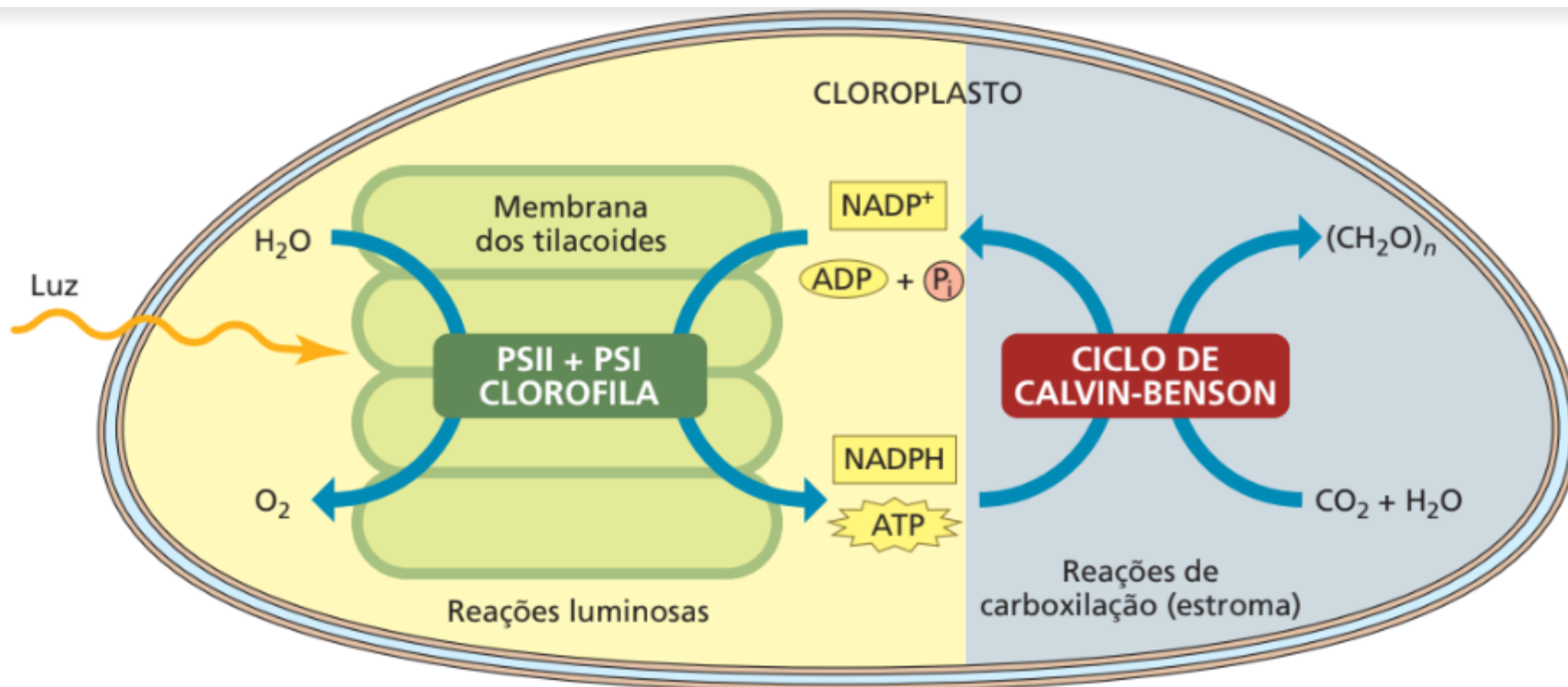


FOTOSÍNTESE

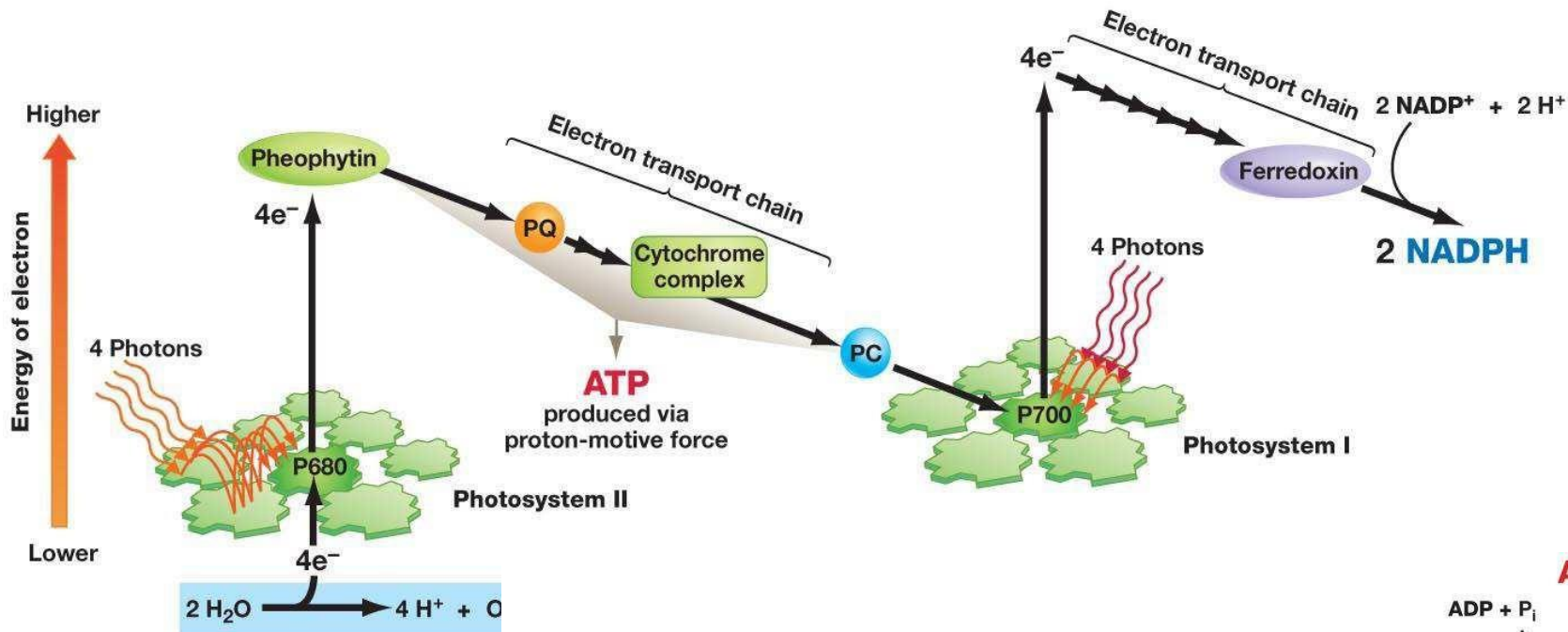
Fixação de carbono

Dra. Perla Oliveira

Reações luminosas e de assimilação de Carbono - são duas fases da fotossíntese



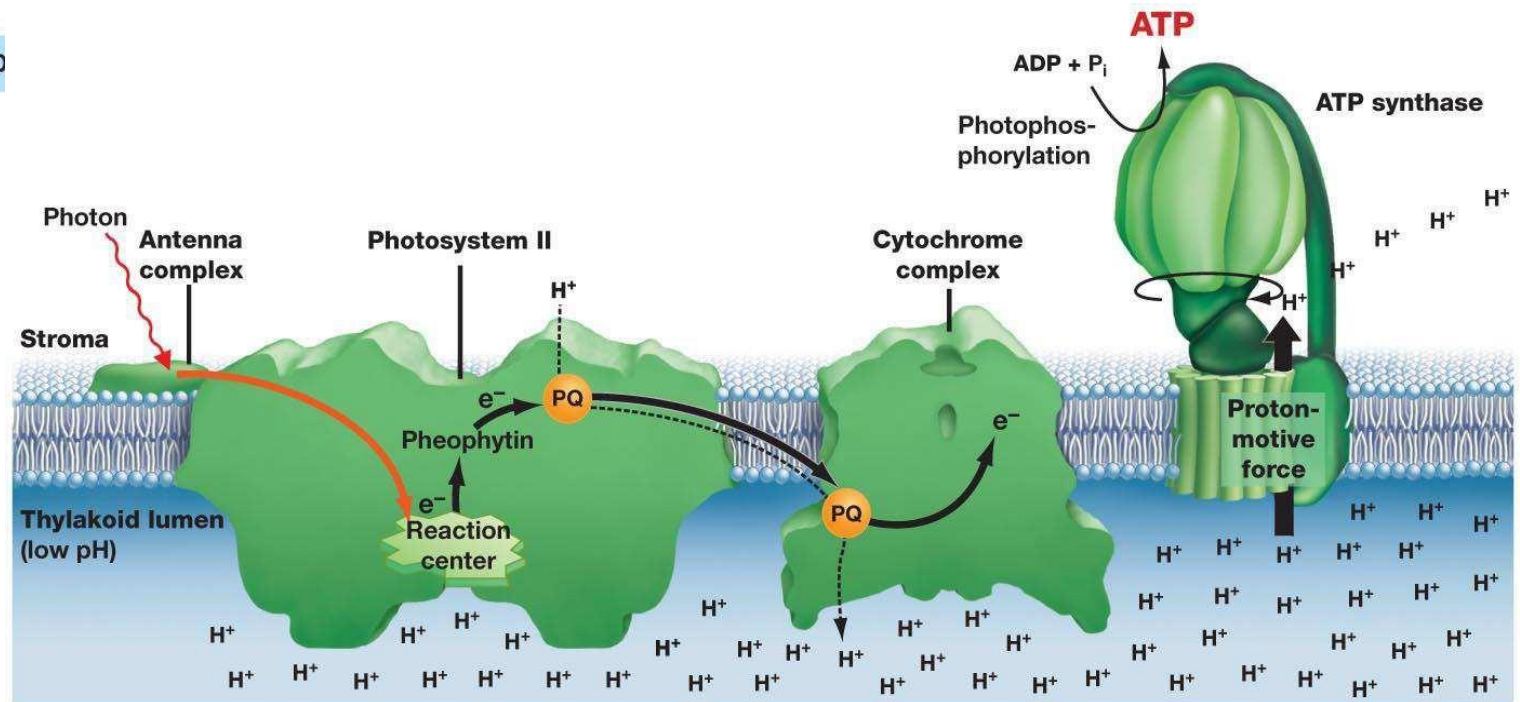
ATP e NADPH formados na fase luminosa vão ser fonte de energia para a síntese de carboidratos a partir de CO₂



© 2011 Pearson Education, Inc.

Luz induz
fluxo de
elétrons da
água para o
NADPH

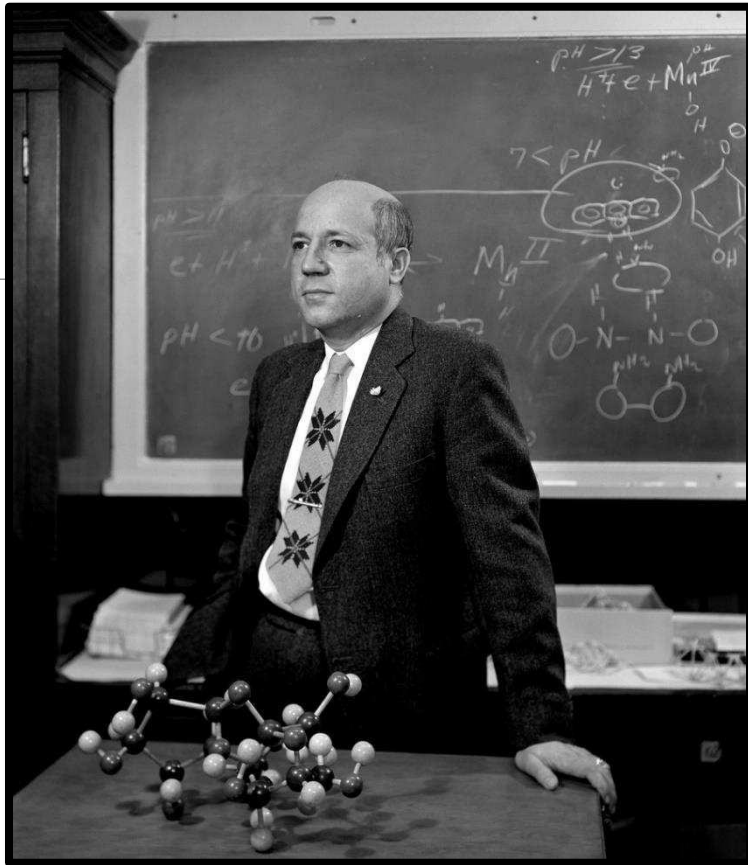
Fluxo de elétrons
produz gradiente
eletroquímico que
implica na síntese
de ATP



© 2011 Pearson Education, Inc.

NADPH e ATP usados para síntese de carboidratos a partir de CO₂ e H₂O

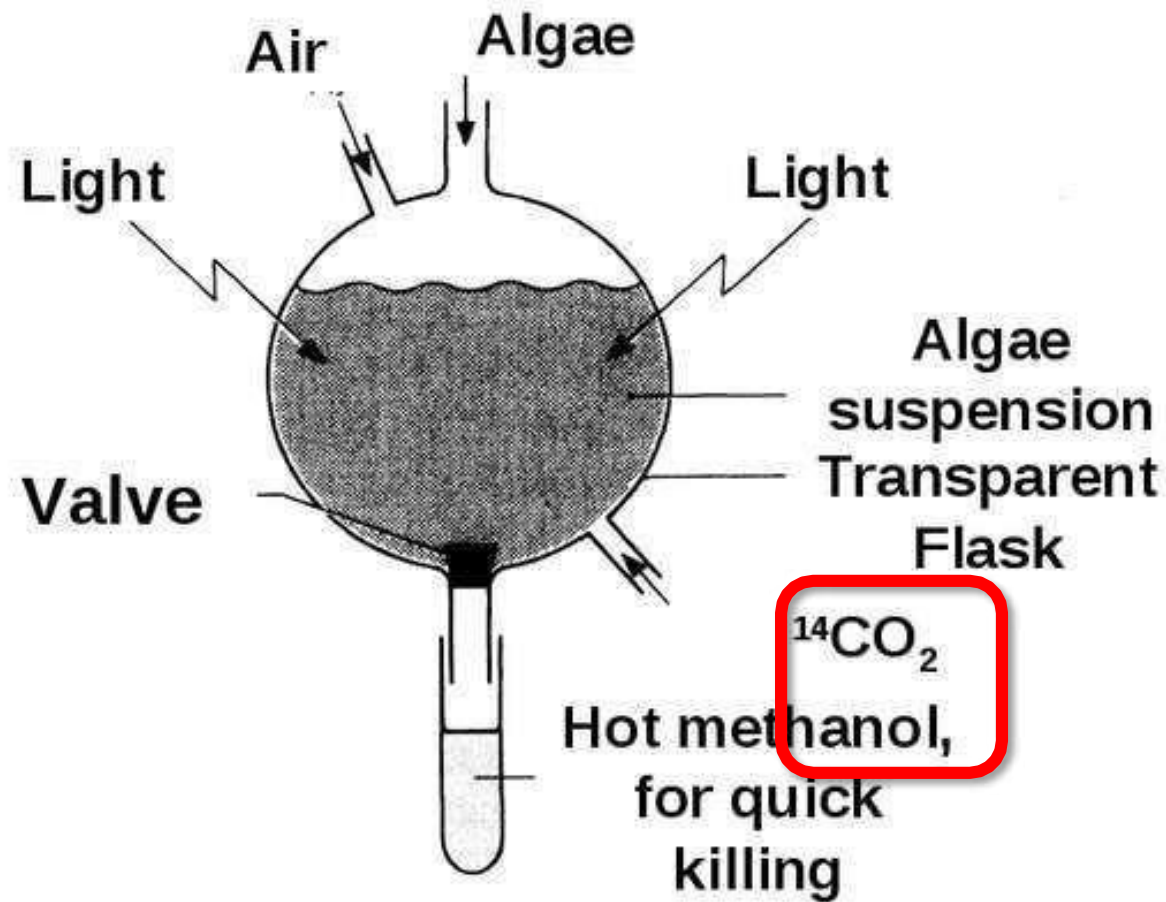
Ciclo de CALVIN

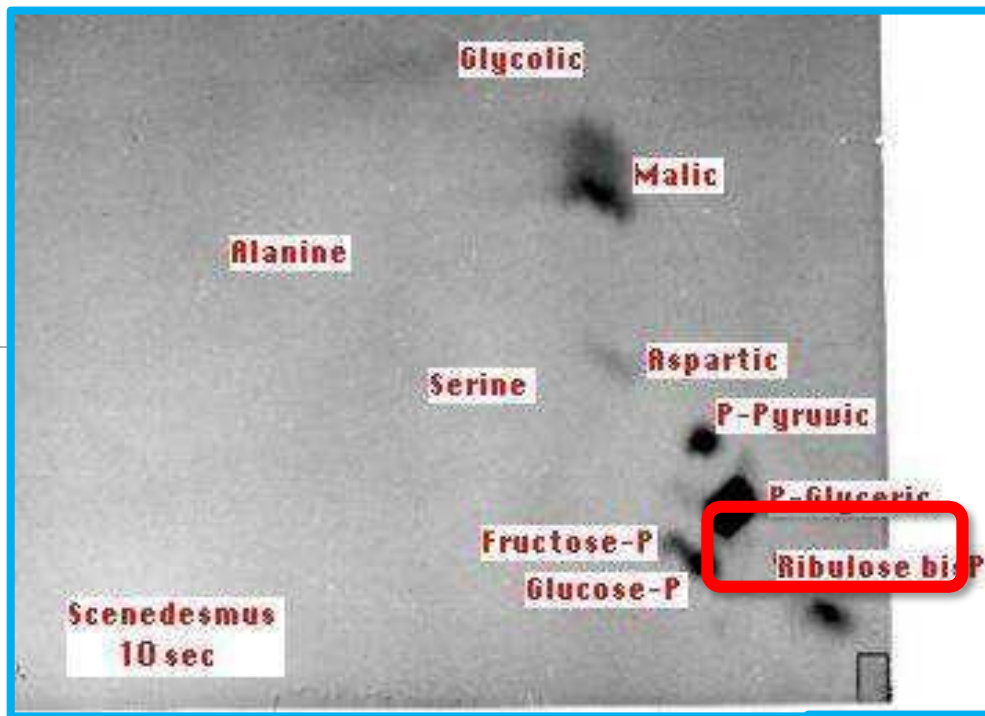


**Melvin Ellis Calvin
(1911–1997)**

***1945-57:
Elucidação da
fixação do
dióxido de
carbono***

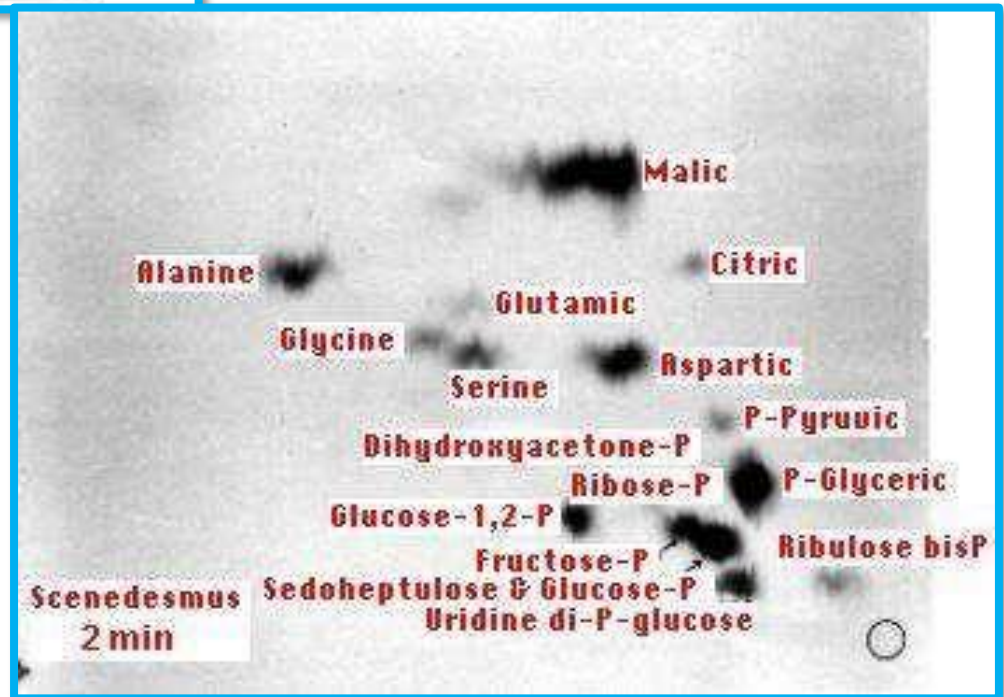
Calvin's experiment





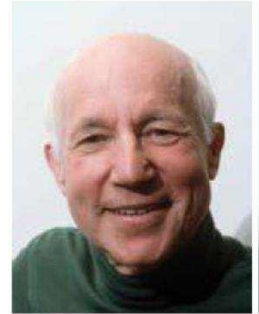
10 segundos

2 minutos



Reação de fixação do carbono (Ciclo de Calvin)

- ✓ Estudos de Melvin Calvin e cols na década de 50
- ✓ Mais importante rota autotrófica de fixação de CO₂
- ✓ Transforma o CO₂ atmosférico em compostos orgânicos (carboidratos)
- ✓ Ocorre em alguns procariotos e em todos os eucariotos fotossintetizantes (algas a angiospermas)



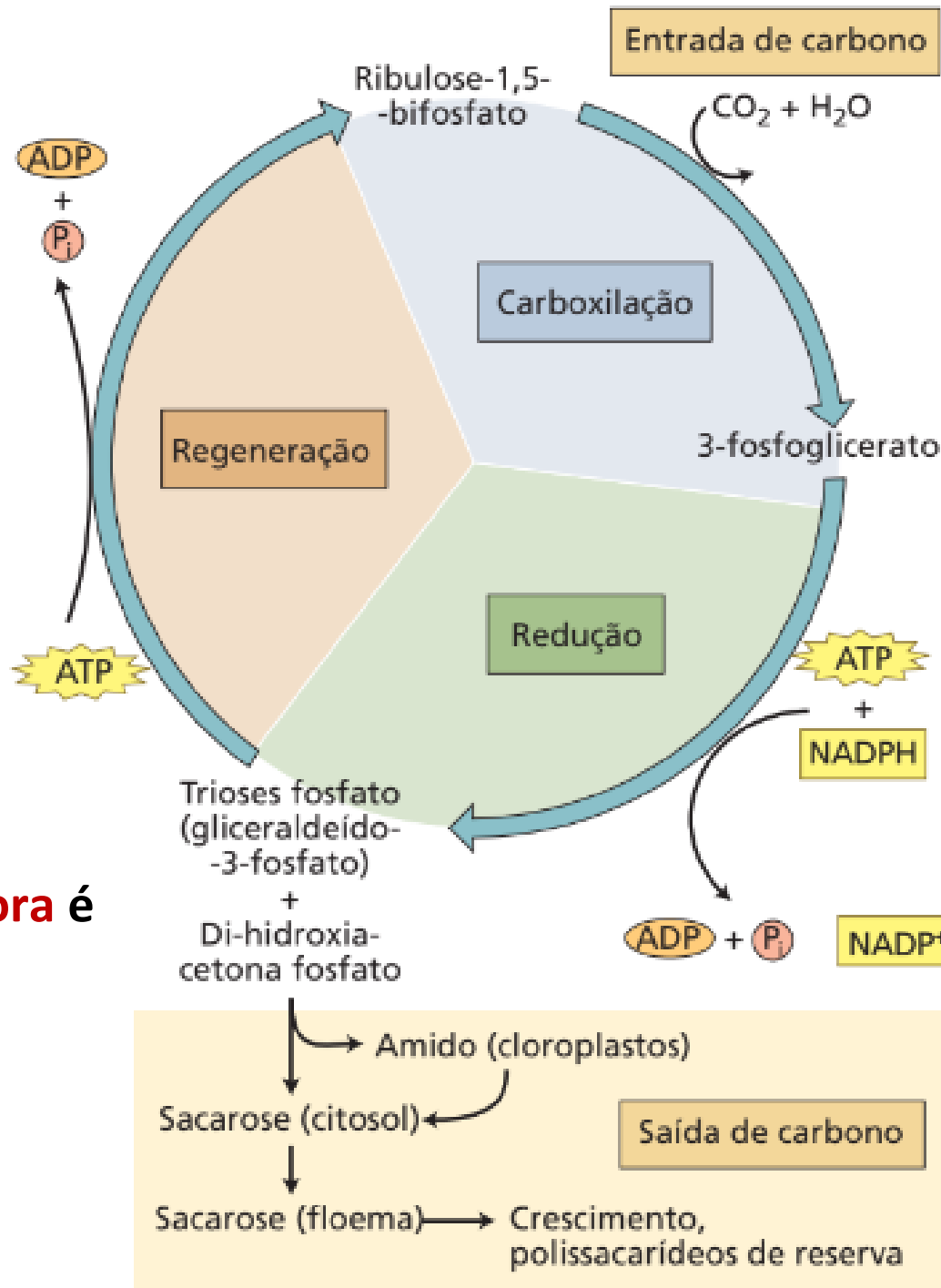
Melvin Calvin, 1911-1997

3 etapas

1 - Carboxilação ou Fixação do carbono

2 - Redução

3 - Regeneração



1 - Carboxilação ou Fixação do C

CO_2 e H_2O são combinados com 1 **molécula aceptora** com 5 C originando 2 moléculas com 3C

2 – Redução

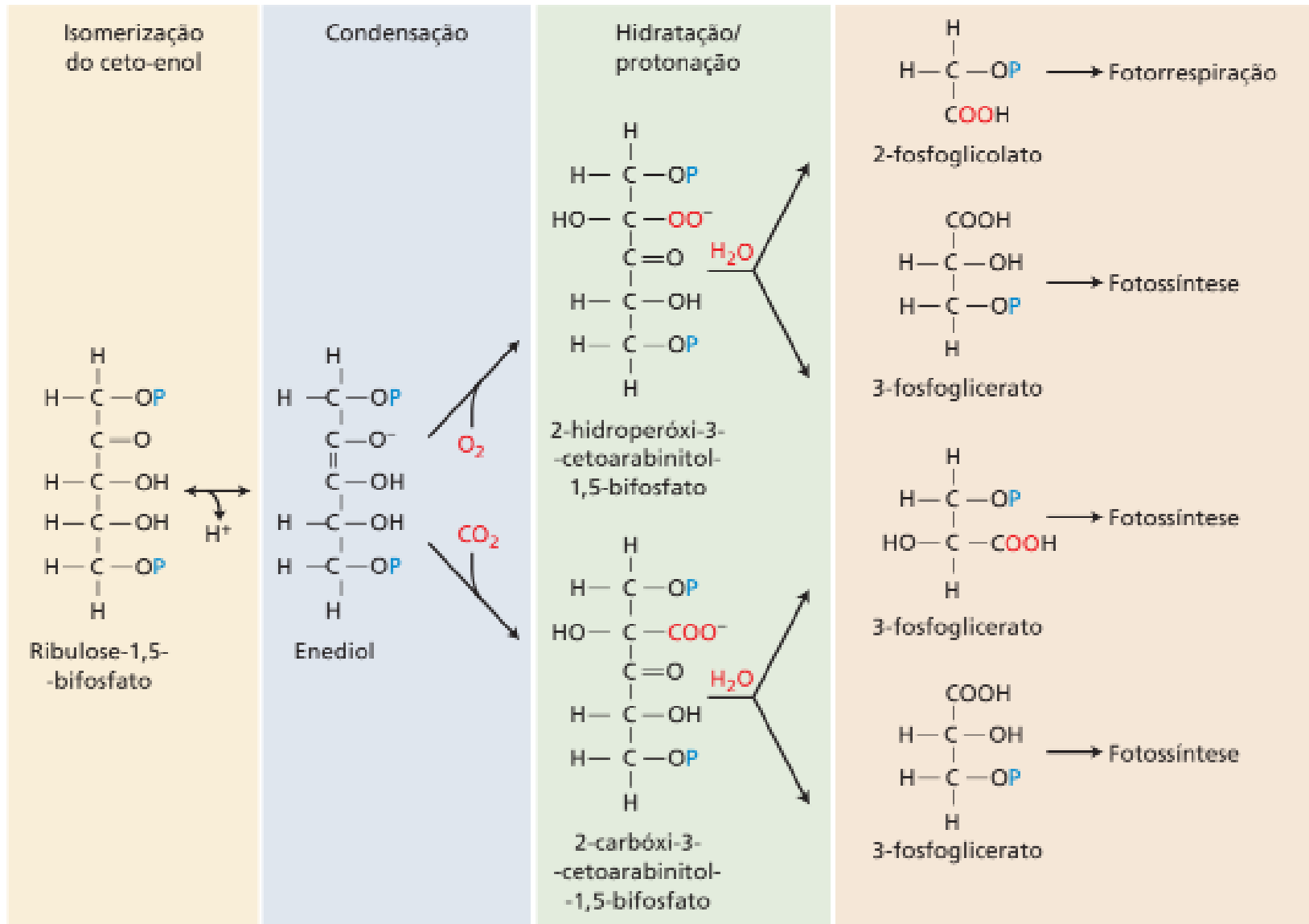
2 moléculas com 3C são reduzidas a carboidratos usando ATP e NADPH

3 - Regeneração

A **molécula aceptora** é regenerada e uma molécula de carboidrato é exportada

1 - Carboxilação

Incorporação de um CO₂ em uma molécula de ribulose-1,5-bifosfato (aceptor de 5C) e a hidrólise desta em duas moléculas de 3-fosfoglicerato (3C)



Reação catalisada pela enzima Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase

Enzima: Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (**Rubisco**)

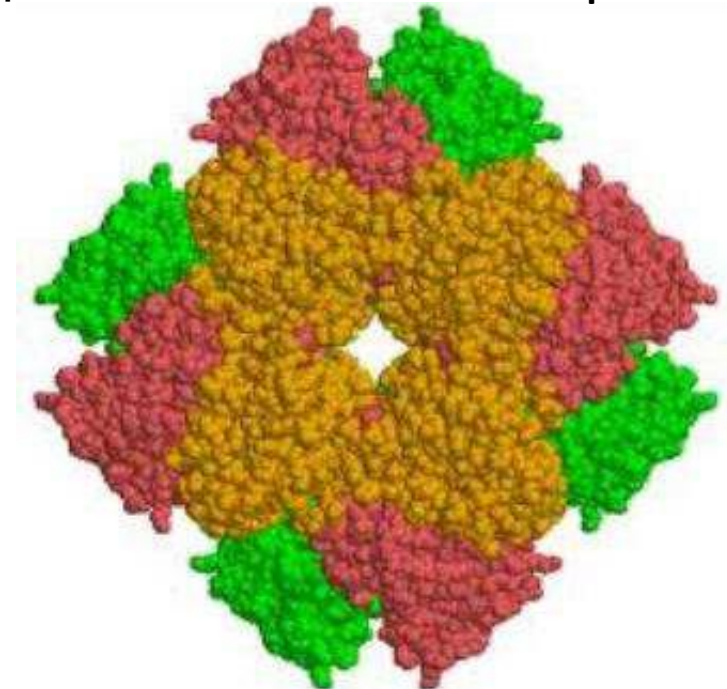
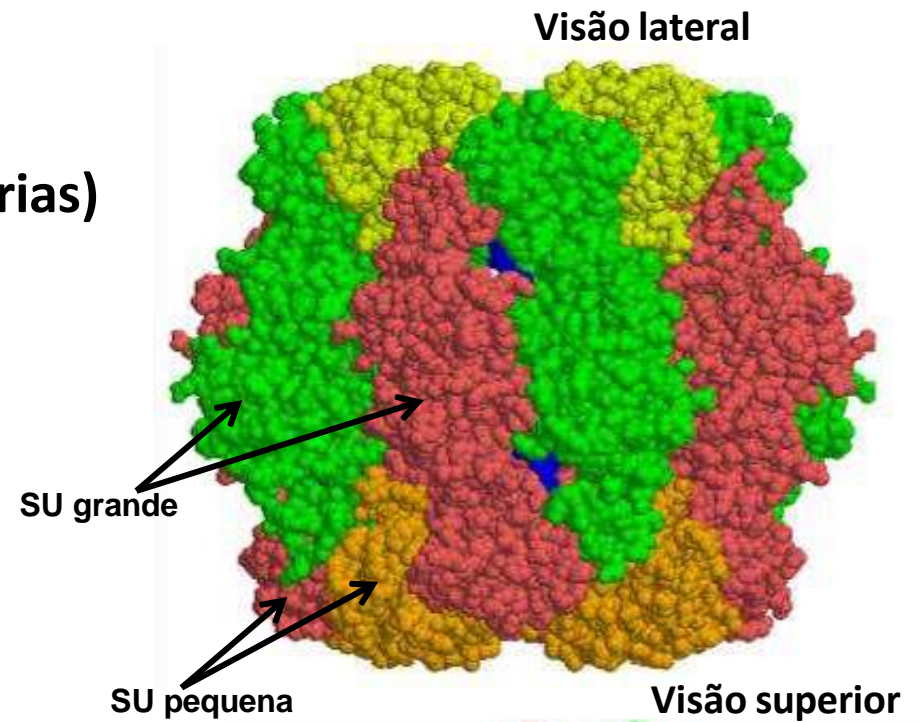
Existem 2 formas:

forma I (plantas vasculares, algas e cianobactérias)

forma II (bactérias fotossintéticas)

Rubisco dos vegetais:

- PM ~ 550 kDa
- 8 SU grandes (53.000Da) – sítio catalítico
- 8 SU pequenas (14.000Da) – função desconhecida
- Estroma dos cloroplastos
- 50% total de proteínas
- Não ocorre em animais

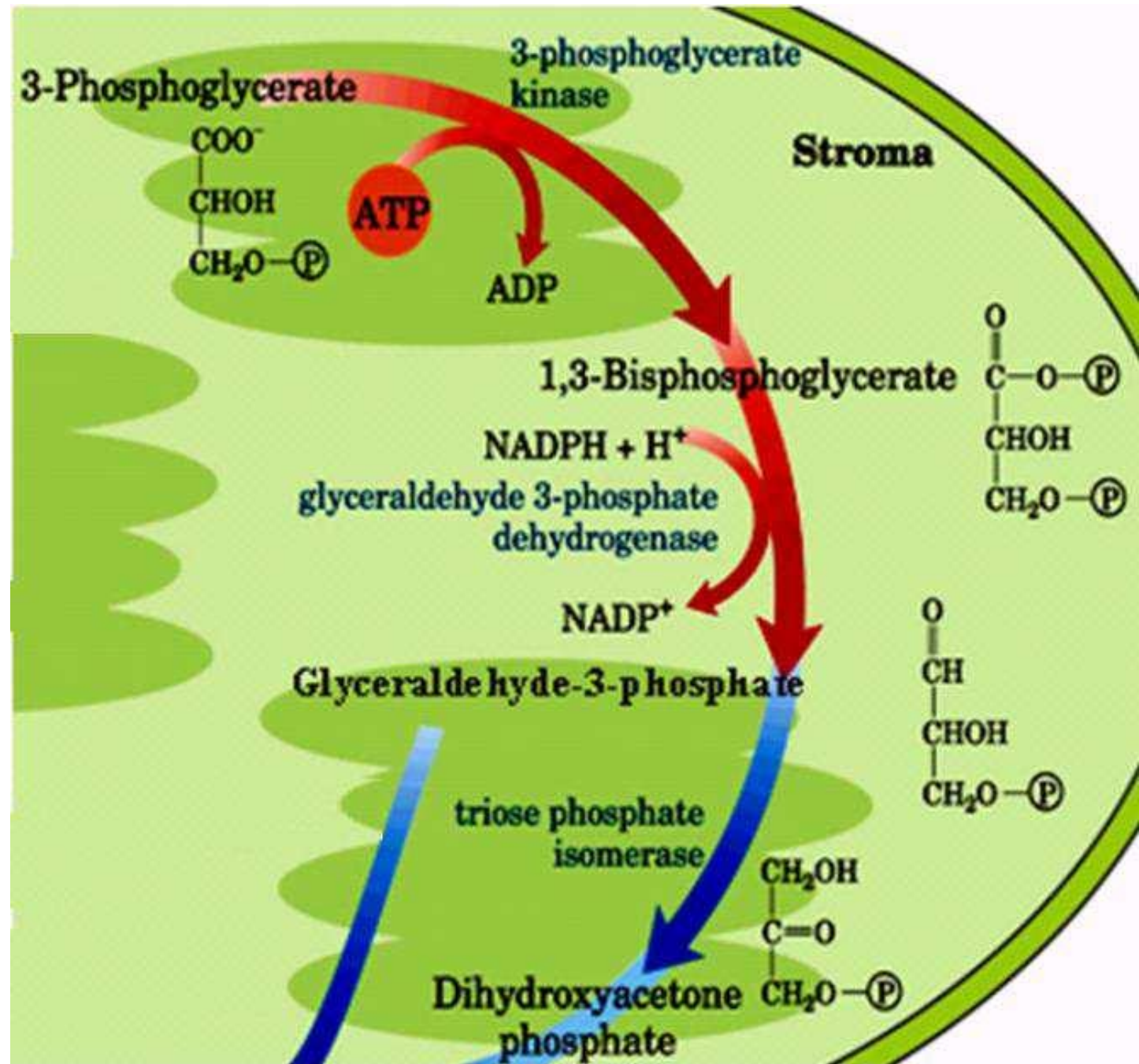


2 - Redução

Conversão do 3-fosfoglicerato em gliceraldeído-3P ou diidroxicetona -P

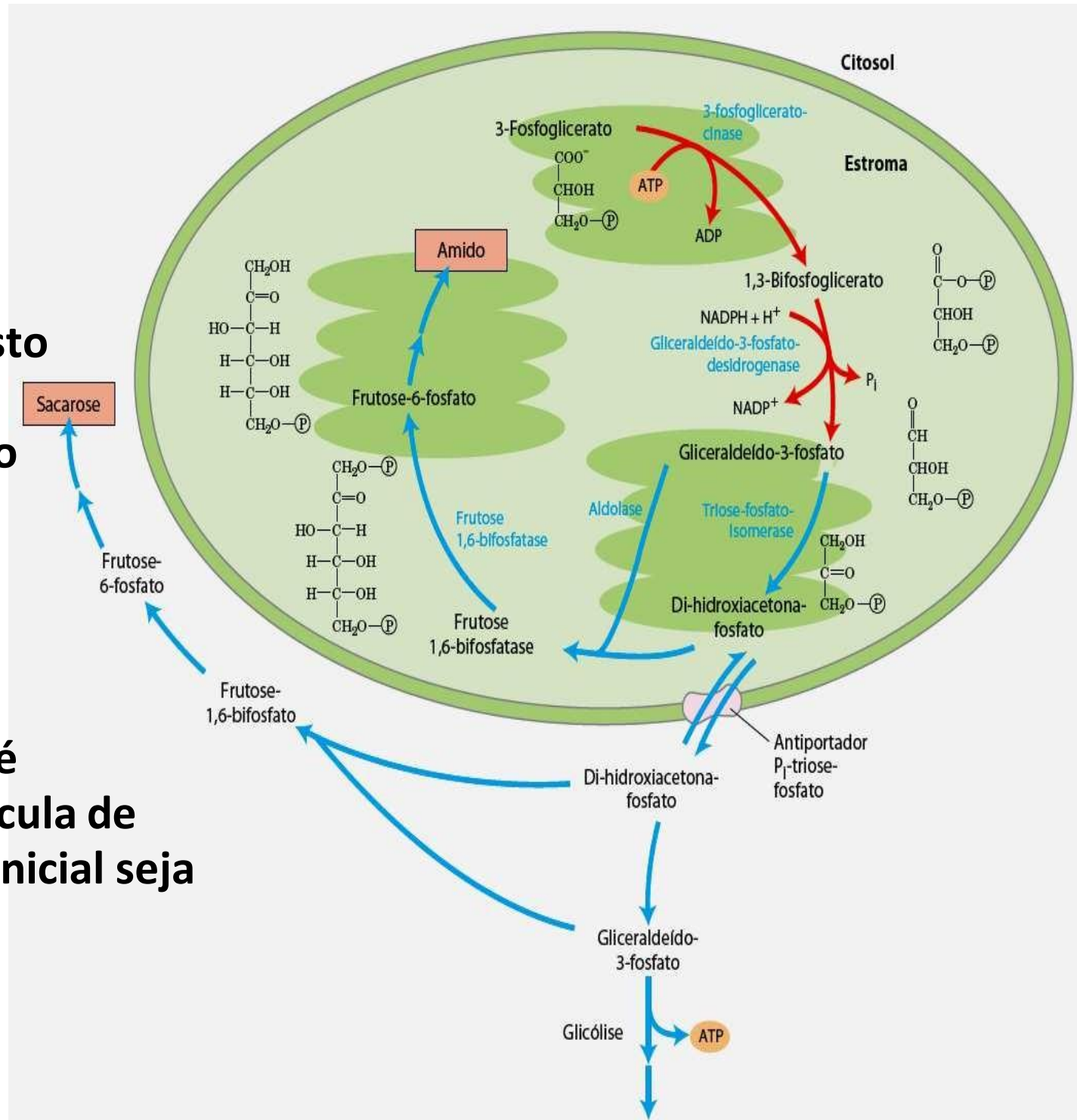
Ocorre gasto de 1 ATP para cada molécula formada

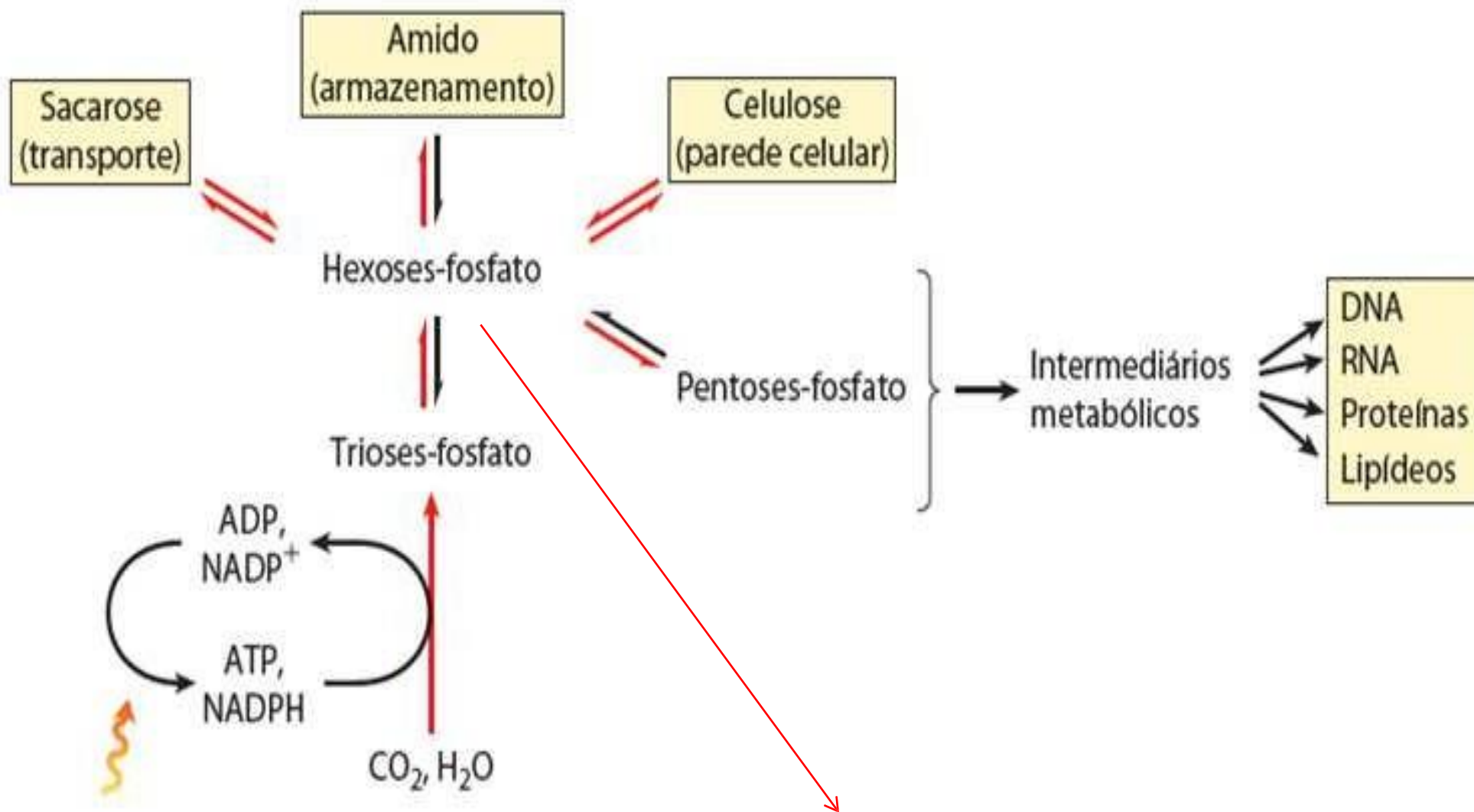
Agente redutor é o NADPH



O gliceraldeído-3P e a diidroxicetona-P formados podem ser usados para a síntese de amido no cloroplasto ou exportado para o citossol para ser usado na glicólise ou na síntese de sacarose

Para o ciclo não parar é necessário que a molécula de ribulose 1-5 bifosfato inicial seja regenerada





Reações da fotossíntese dependentes de luz

Energia - ATP

3 – Regeneração da ribulose -1,5-bifosfato

Série de rearranjos da cadeia carbônica usando:

(3) gliceraldeído-3P

(2) diidroxicetona-P

Aldolases

Fosfatases

Transcetolases

Epimerases

Isomerase

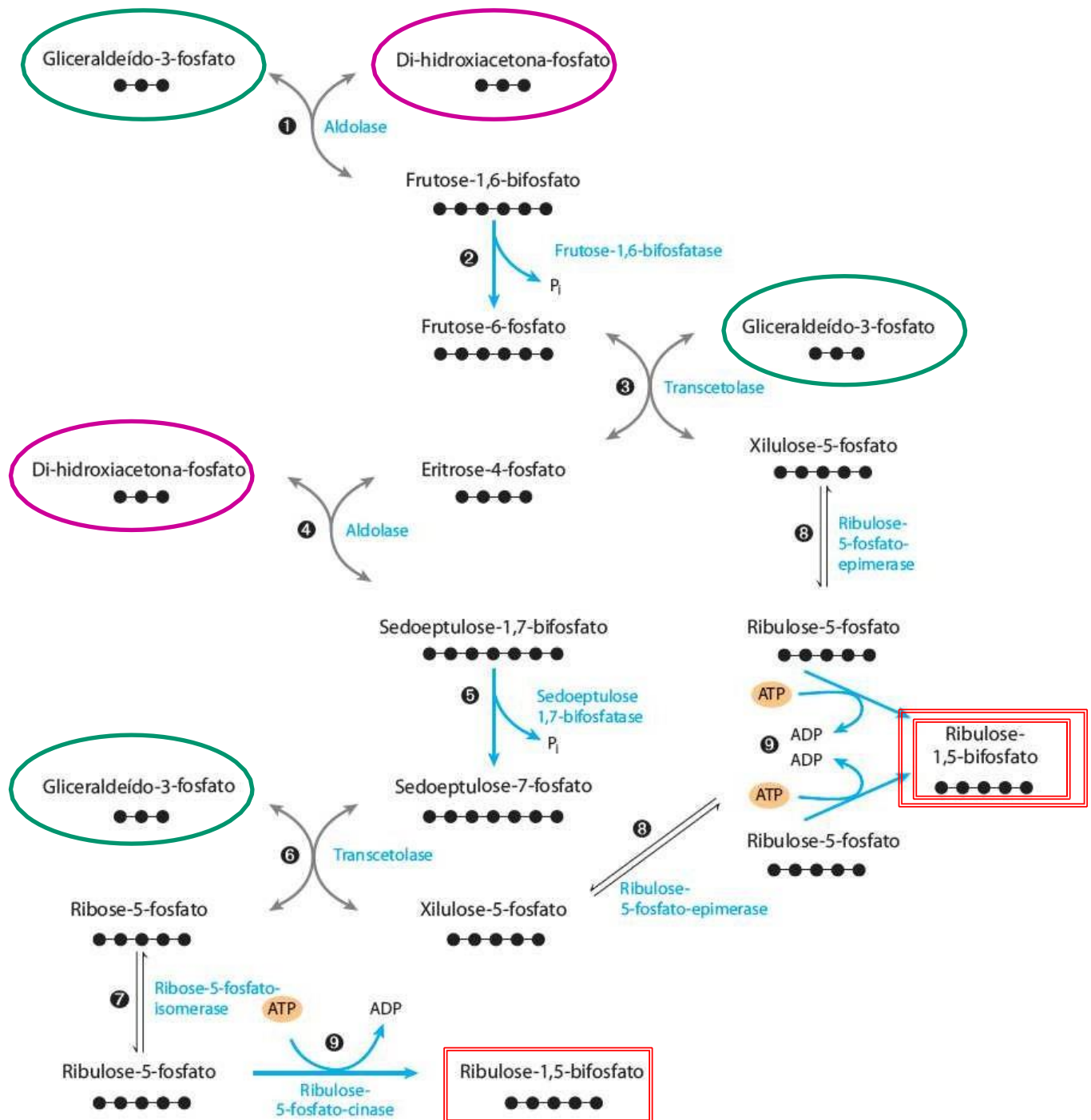
Quinases

Produção de intermediários com 3,4,5,6 e 7 C

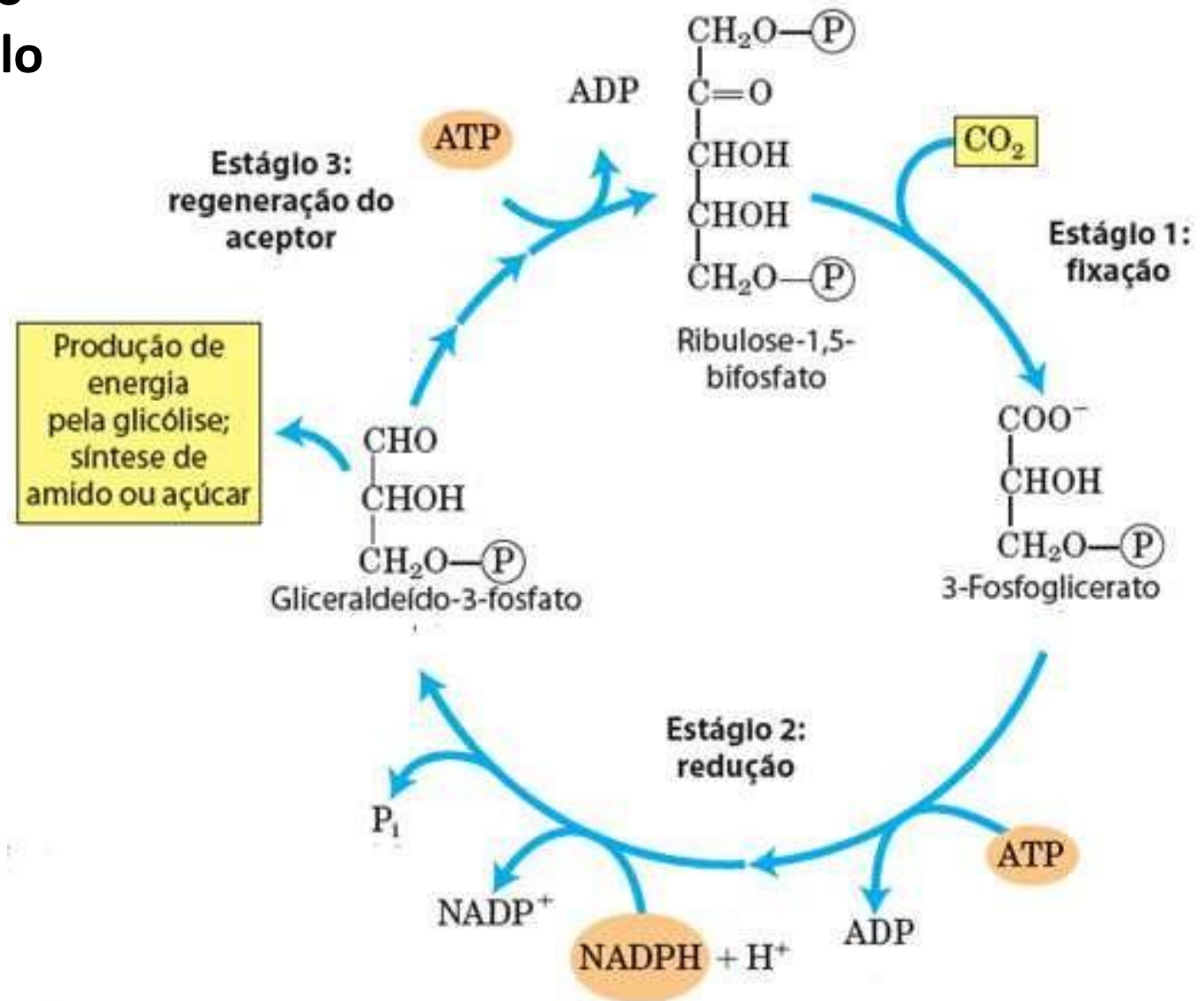
Gasta ATP (3)

Regeneração

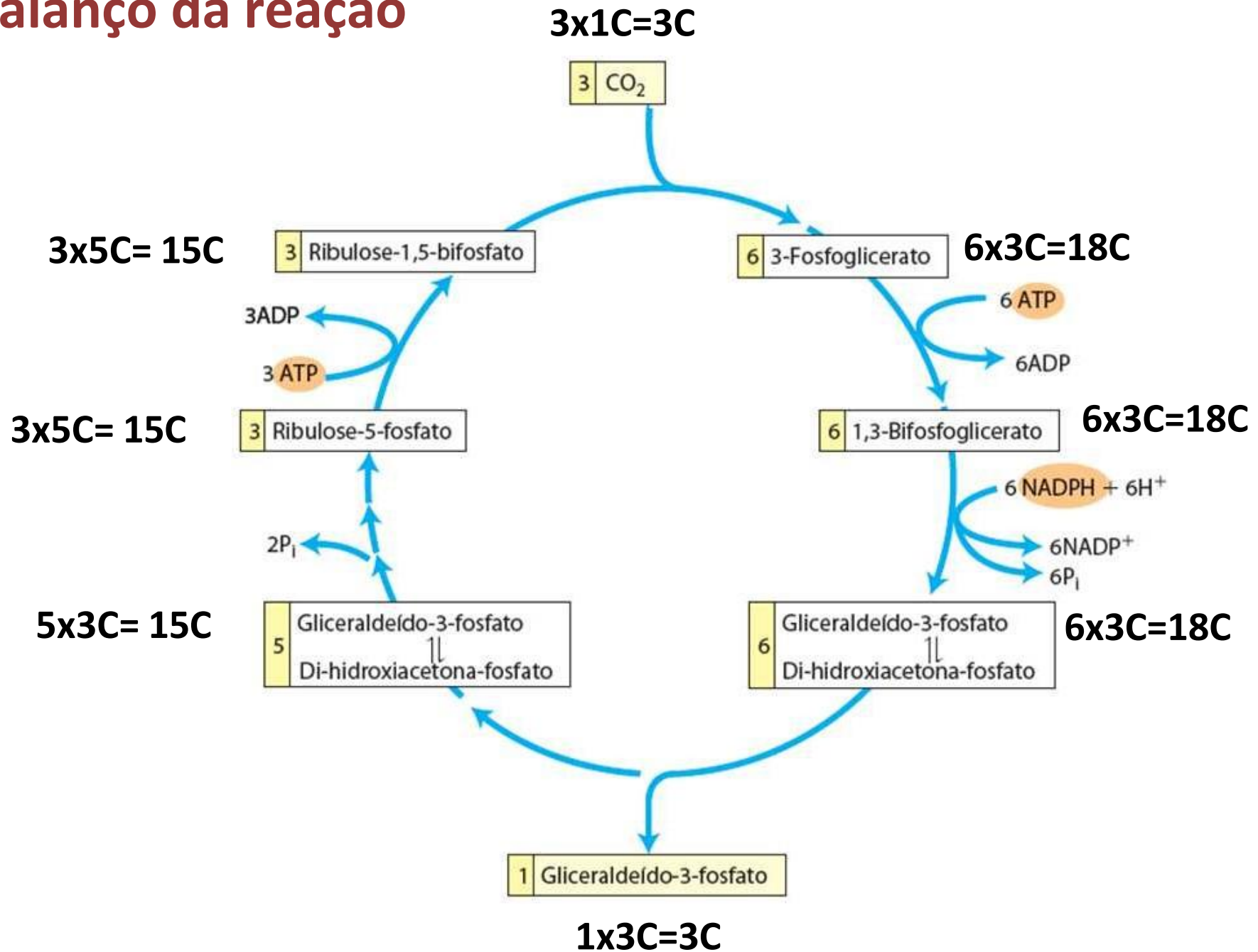
(3) ribulose 1,5 bifosfato



Para entender a reações do ciclo de Calvin é necessário balancear esse ciclo



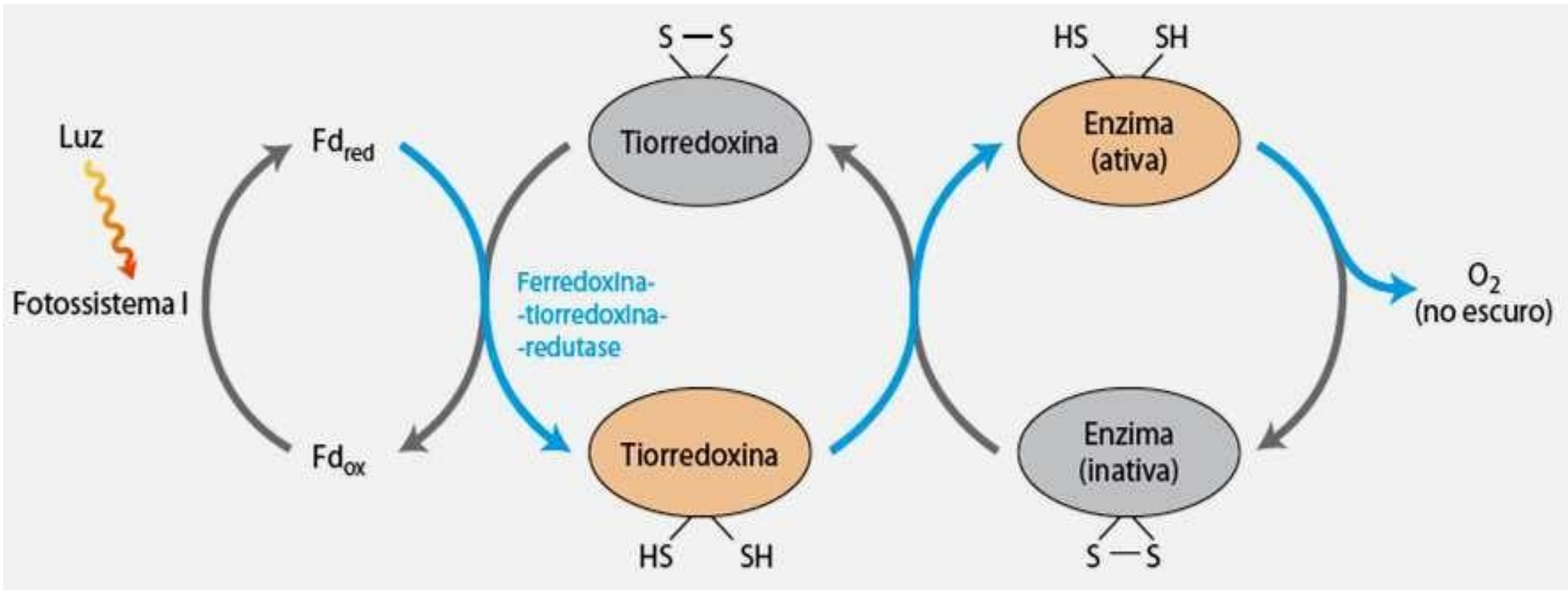
Balanço da reação



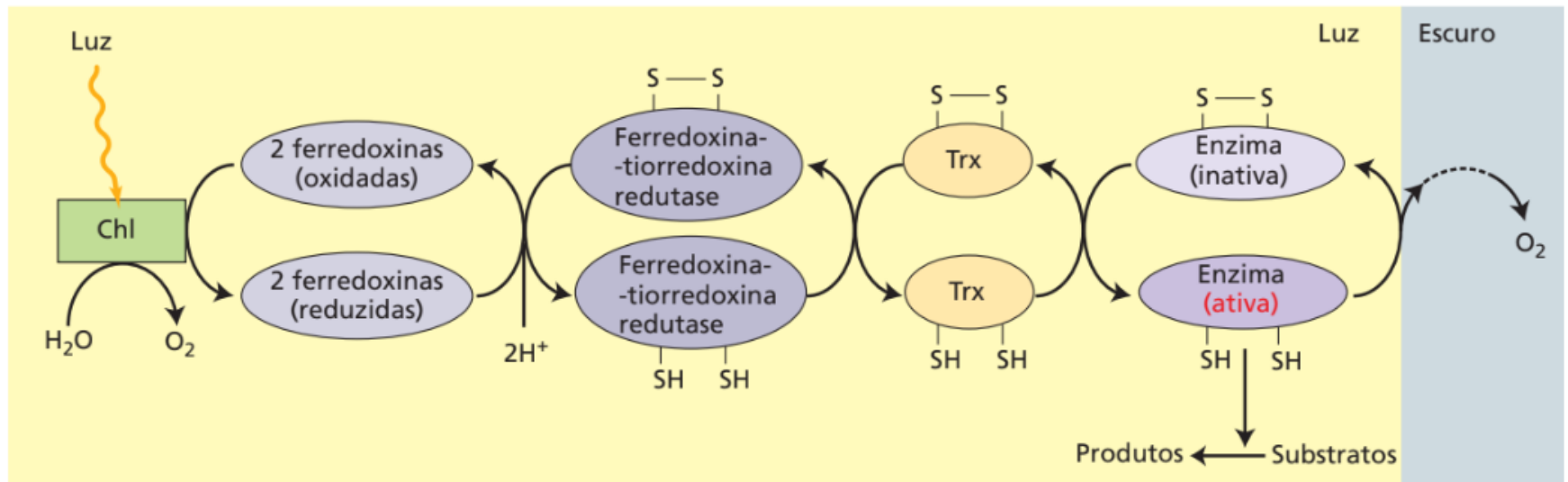
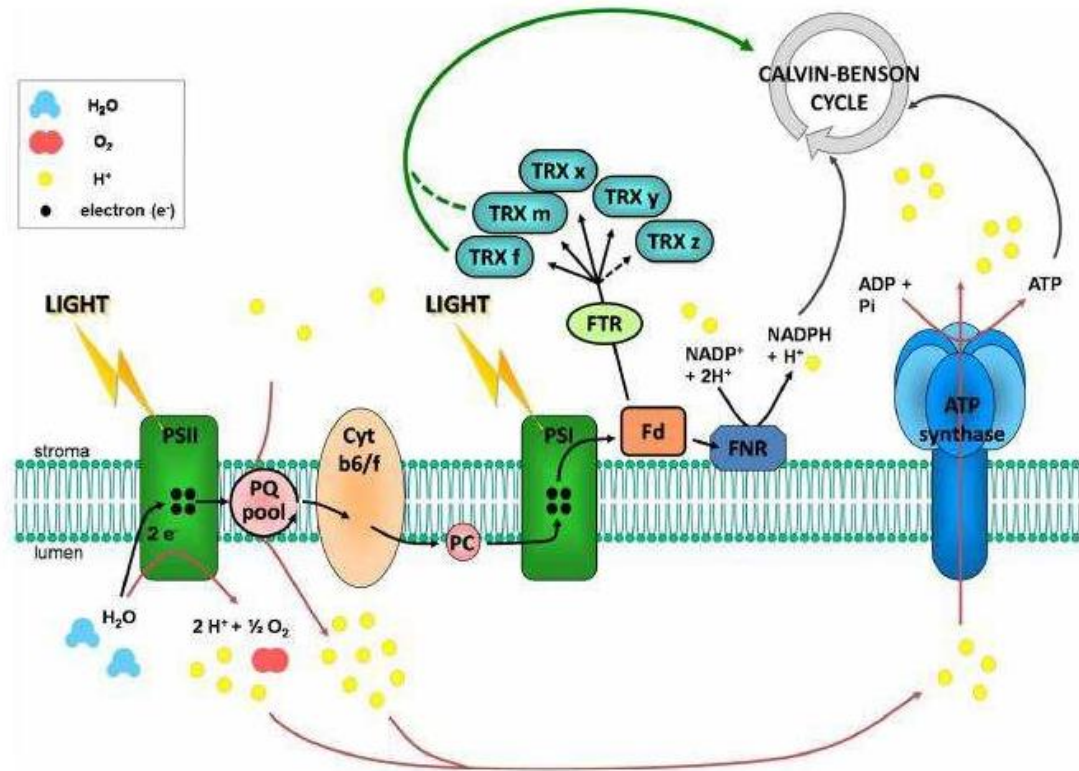
Ganho líquido da reação de incorporação do CO₂

A luz e a transferência de elétrons reduz ligações dissulfeto importantes para a atividade de várias enzimas do Ciclo de Calvin

Luz – redução – E ativa
Escuro – oxidação – E inativa

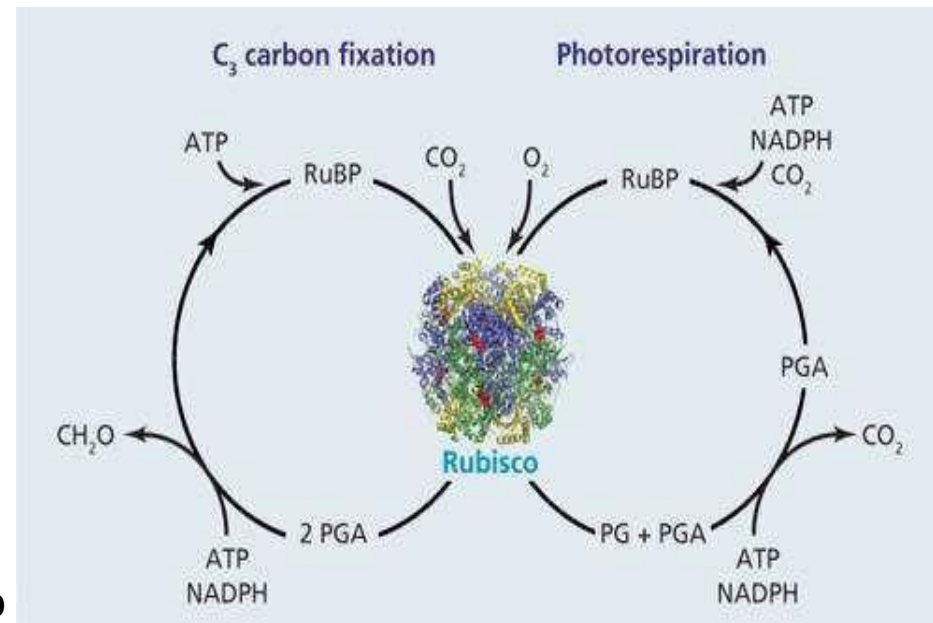


Concentrações de H⁺ e Mg²⁺ no estroma promovidos pela luz também aumentam a atividade de algumas enzimas e controlam a síntese e o destino das trioses produzidas na fotossíntese.



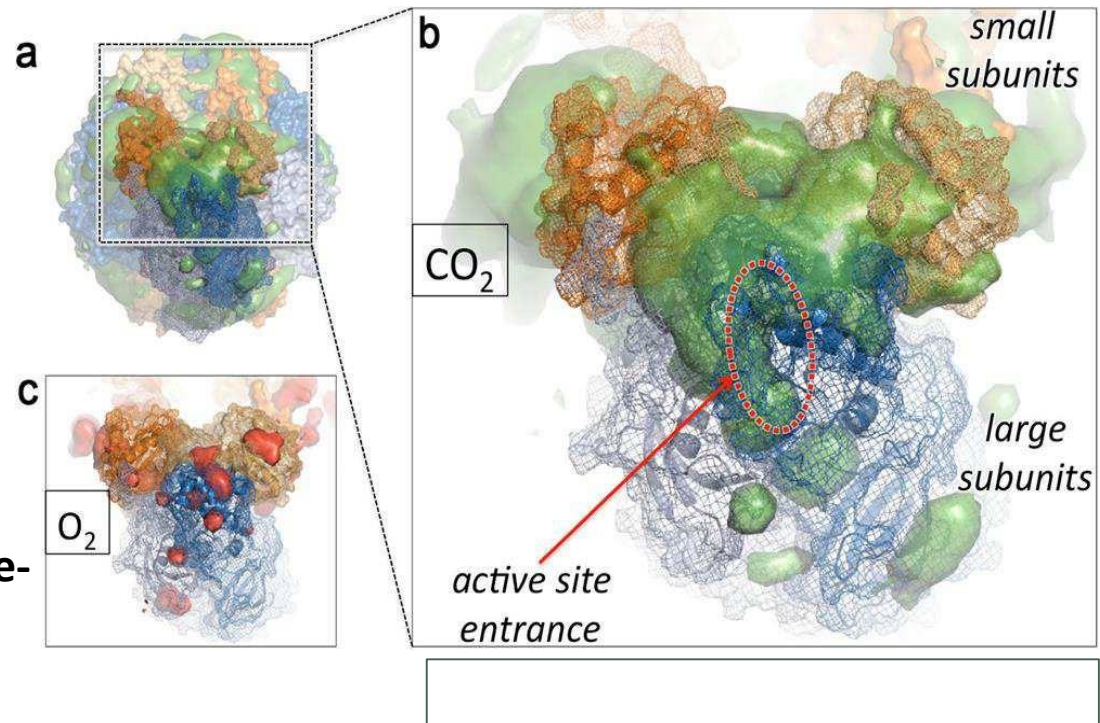
Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenas (Rubisco)

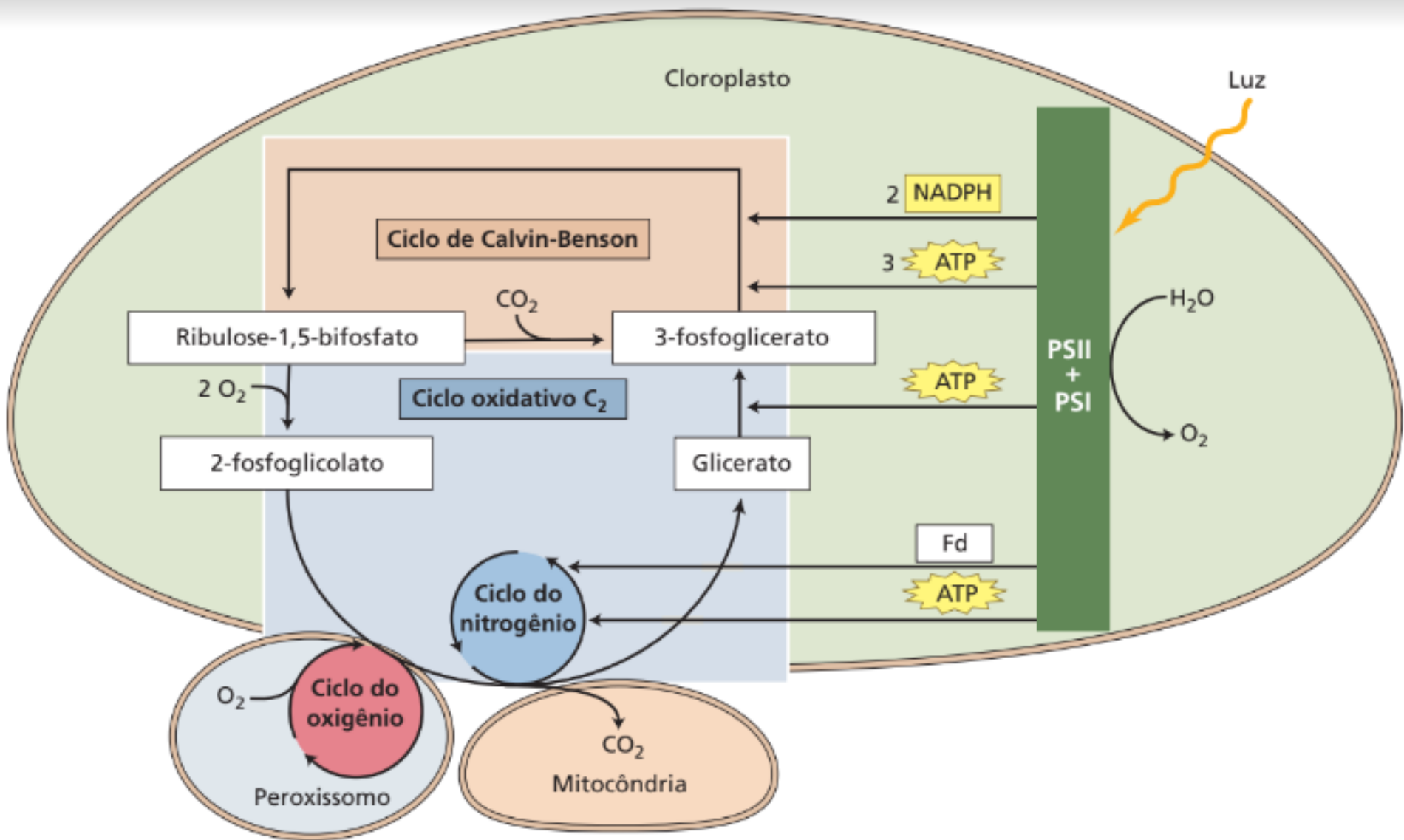
Especificidade para o CO_2 não é absoluta,
pode assimilar O_2



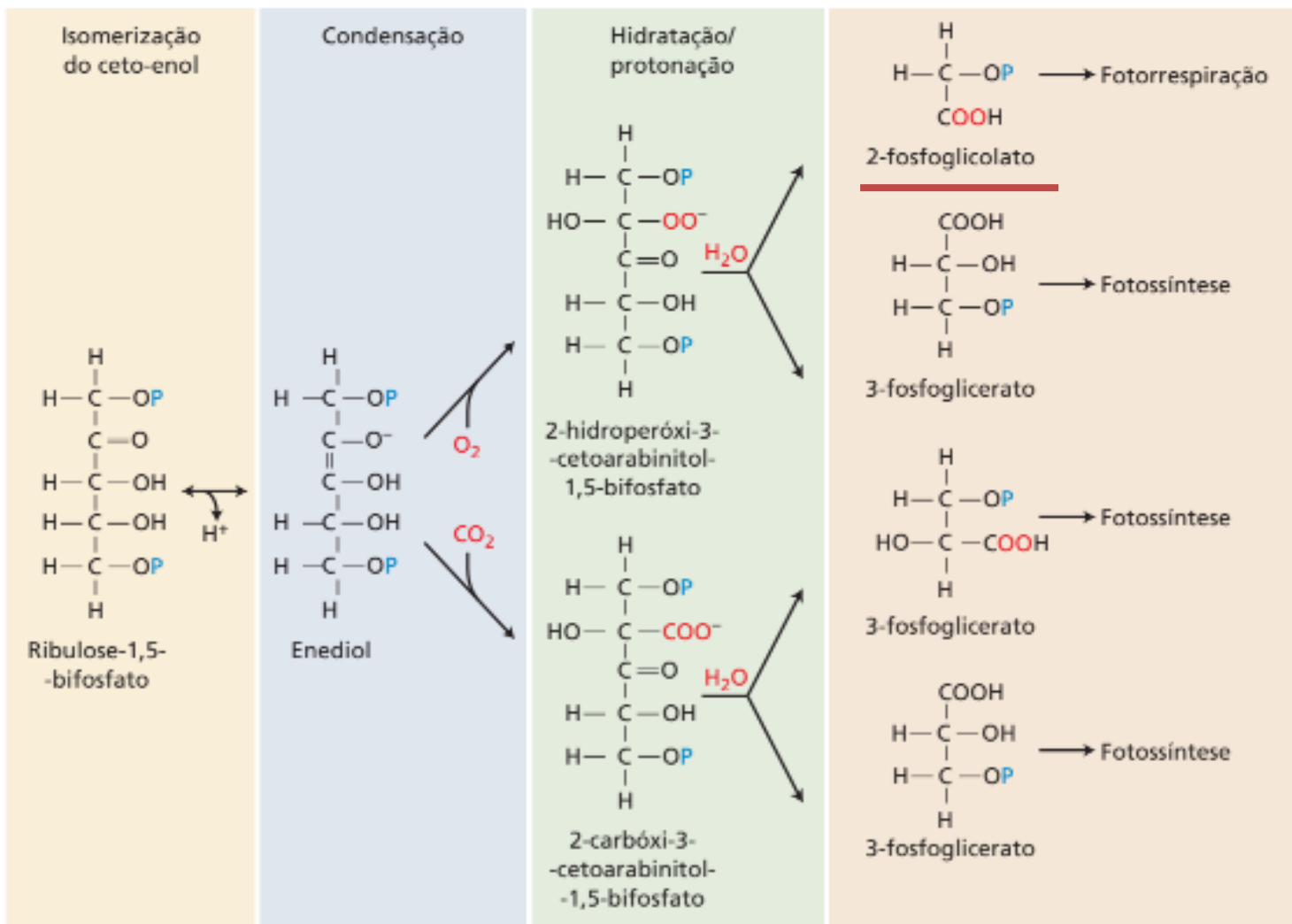
O processo de fixação do oxigênio e liberação de Carbono
Fotorrespiração

- Fotorrespiração e o ciclo de Calvin são reações competidoras
- Todas as rubiscos realizam a oxigenação da Ribulose1,5BP independente da origem taxonômica
- Reações ocorrem no mesmo sítio ativo Ribulose-1,5- bisfosfato carboxilase/oxigenase





Rubisco tem atividade carboxilase e oxigenase



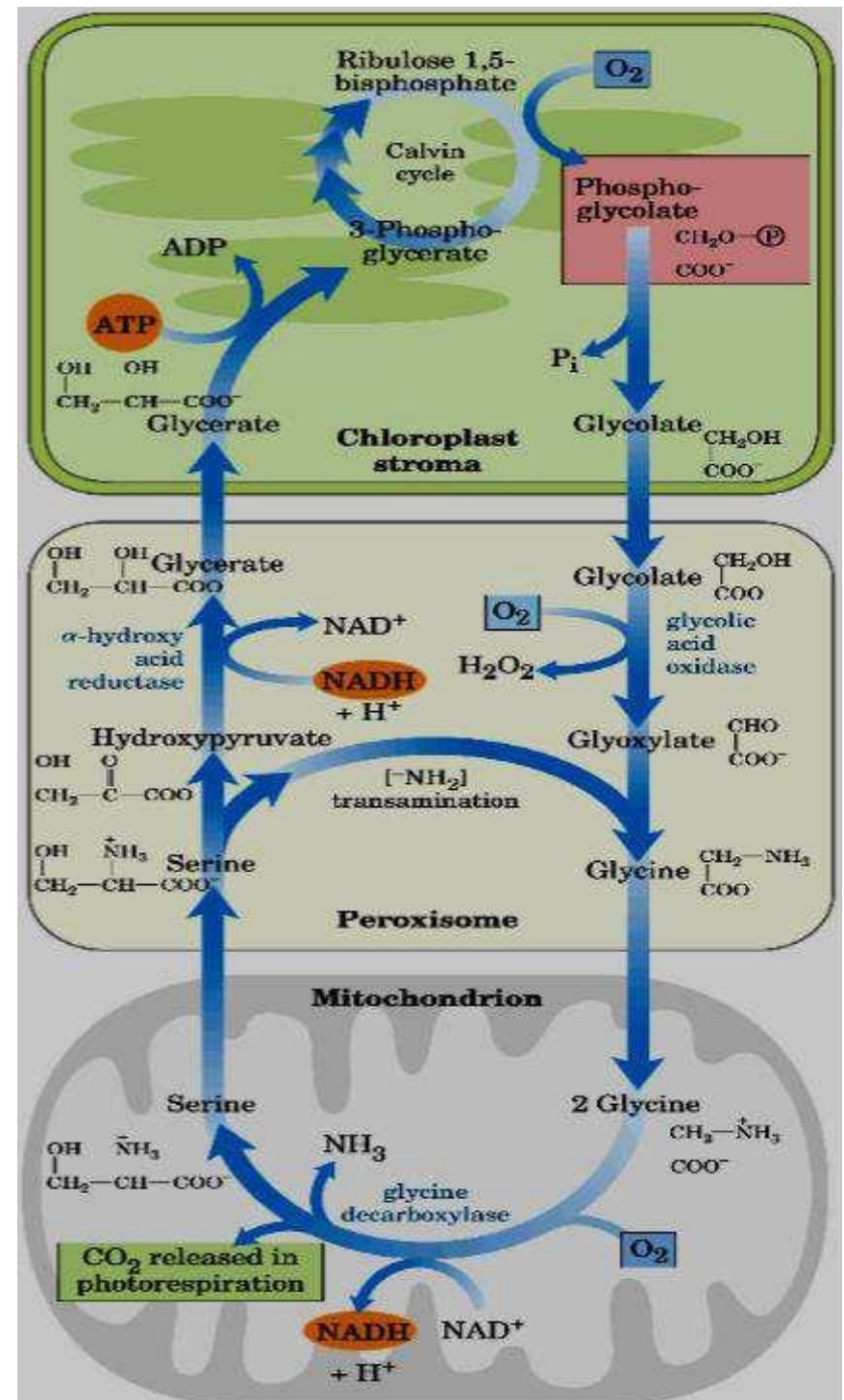
FOTORRESPIRAÇÃO

Forma **fosfoglucolato (2C)** que é metabolicamente inútil
 C precisa ser recuperado considerando-se o gasto energético da
 incorporação de C pela células

Ciclo C₂ do Carbono

Ciclo oxidativo fotossintético C₂ do carbono

- ▶ Fosfoglicolato é metabolicamente inútil e tem 2C que não podem ser perdidos
- ▶ Sequência de reações para recuperar os carbonos perdidos durante a fotorrespiração
- ▶ Envolve 3 organelas Moléculas do ciclo do nitrogênio e do oxigênio
- ▶ Precisa gastar ATP para recuperar 1 carbono (1C é perdido)
- ▶ Esse ciclo recupera parte do C perdido do ciclo de Calvin como 2-fosfogluconato



Três fatores são importantes no balanço entre o Ciclo de Calvin e a Fotorrespiração

Rubisco

- Concentração CO_2 e O_2
- Temperatura
- Km para o CO_2 e para o O_2

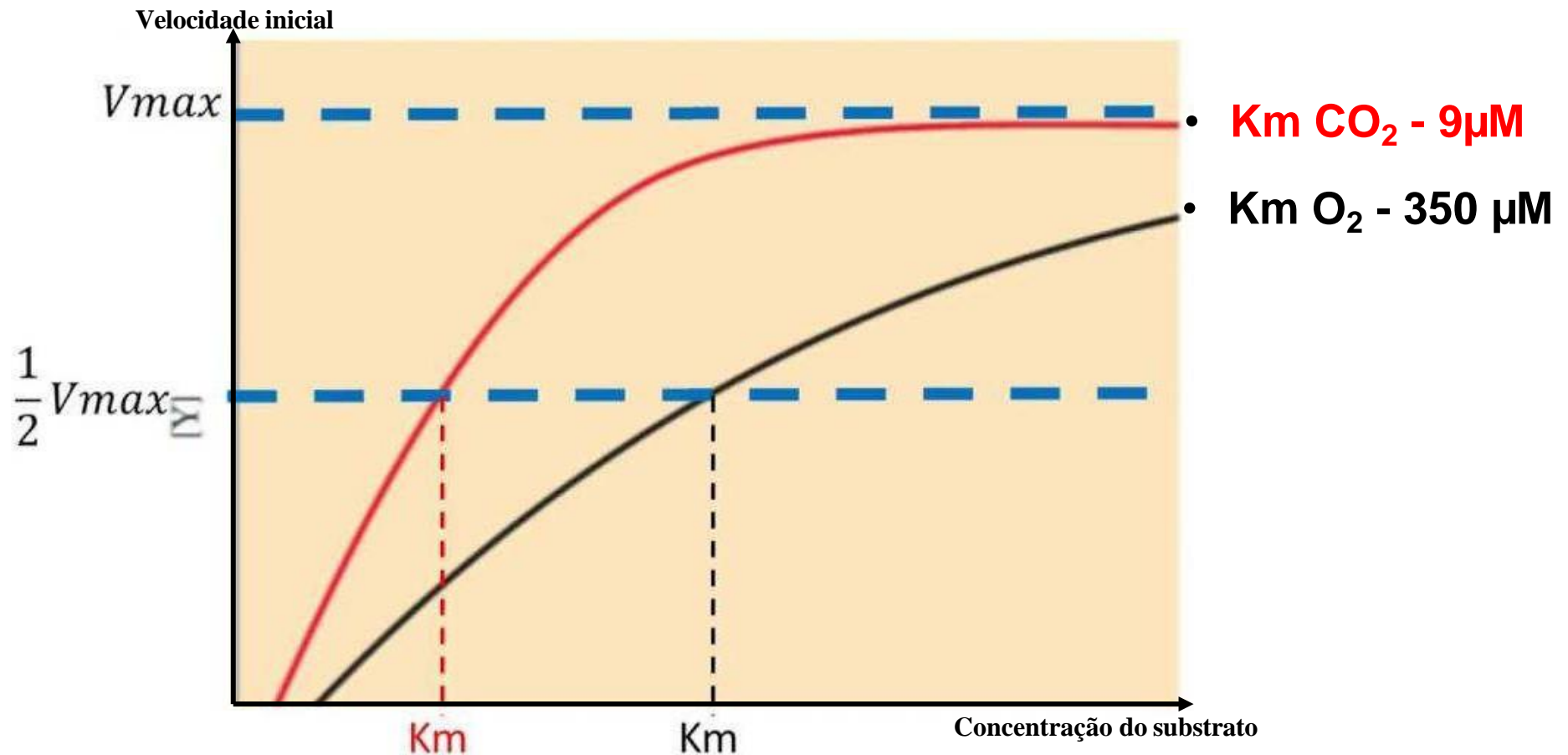
A 25°C:

$[\text{O}_2]$ (%) \ Atividade da RUBISCO	carboxilase	oxigenase
zero	100%	0%
21 (0,035% de CO_2)	66%	34%
80-100	10%	90%

Fatores ambientais que favorecem a fotorrespiração

- Falta de água \Rightarrow fechamento dos estômatos
 - \downarrow $[\text{CO}_2]$
 - \uparrow $[\text{O}_2]$
- Alta temperatura
 - redução da solubilidade do CO_2
 - maior solubilidade do O_2
 - acima de 30°C \rightarrow \downarrow assimilação do carbono 50%

K_m é a concentração de substrato necessária para que a reação tenha metade de sua velocidade máxima



Mesmo com essa diferença em termos do K_m ainda ocorre a incorporação de oxigênio pela Rubisco em determinadas condições.

Porque???

- ❖ Atmosfera atual proporção $\text{CO}_2/\text{O}_2 = 0,04/20$
(500 vezes mais de O_2 , portanto a assimilação dele é favorecida)
- ❖ Ao redor de folhas, durante a fotossíntese ocorre consumo de CO_2 e portanto a atmosfera fica alterada em favor do O_2
- ❖ Além disso, a afinidade rubisco ao CO_2 diminui com o aumento da temperatura

Plantas tropicais ou de regiões temperadas mas originárias dos trópicos (sol e temperaturas maiores) desenvolveram mecanismos para diminuir gastos com fotorrespiração

Concentração de CO_2 perto da rubisco

Classificação das plantas quanto aos mecanismos de assimilação de C

C₃ - Plantas que só executam o Ciclo de Calvin para a assimilação de C – rubisco incorpora CO₂ em uma molécula de ribulose-1,5-bifosfato (5C) gerando duas moléculas de 3-fosfoglicerato (3C)

C₄ - Plantas com uma prévia fixação de CO₂ em um composto com 4C (fosfoenolpiruvato)

Plantas que crescem com alta intensidade de luz e temperatura

CAM - Plantas com uma prévia fixação de CO₂ em um composto com 4C (Malato) e utilização dele em tempo diferente Plantas que crescem em ambientes quentes , com muito sol e com pouca água