

O texto a seguir foi extraído, adaptado e resumido dos textos originais de:

LOUREIRO, M.E. (e-mail: mehlers@mail.ufv.br);

KLUGE, R. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

MARTINEZ, C. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

E também da Fonte: <<http://www.iq.ufrj.br/~almenara/fotossintese.htm>>

FOTOSSÍNTESE

A fotossíntese significa etimologicamente síntese pela luz. Excetuando as formas de energia nuclear, todas as outras formas de energia utilizadas pelo homem moderno provêm do sol. A fotossíntese pode ser considerada como um dos processos biológicos mais importantes na Terra. Por liberar oxigênio e consumir dióxido de carbono, a fotossíntese transformou o mundo no ambiente habitável que conhecemos hoje. De uma forma direta ou indireta, a fotossíntese supre todas as nossas necessidades alimentares e nos fornece um sem-número de fibras e materiais de construção. A energia armazenada no petróleo, gás natural, carvão e lenha, que são utilizados como combustíveis em várias partes do mundo, vieram a partir do sol via fotossíntese. Assim sendo, a pesquisa científica da fotossíntese possui uma importância vital. Se pudermos entender e controlar o processo fotossintético, nós saberemos como aumentar a produtividade de alimentos, fibras, madeira e combustível, além de aproveitar melhor as áreas cultiváveis. Os segredos da coleta de energia pelas plantas podem ser adaptados aos sistemas humanos para fornecer modos eficientes de aproveitamento da energia solar. Essas mesmas tecnologias podem auxiliar-nos a desenvolver novos computadores mais rápidos e compactos, ou ainda, a desenvolver novos medicamentos. Uma vez que a fotossíntese afeta a composição atmosférica, o seu entendimento é essencial para compreendermos como o ciclo do CO₂ e outros gases, que causam o efeito estufa, afetam o clima global do planeta. Veremos logo abaixo como a pesquisa científica em fotossíntese é importante para a manutenção e elevação da nossa qualidade de vida (Fonte:

<http://www.iq.ufrj.br/~almenara/fotossintese.htm>).

O texto a seguir foi extraído, adaptado e resumido dos textos originais de:

LOUREIRO, M.E. (e-mail: mehlers@mail.ufv.br);

KLUGE, R. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

MARTINEZ, C. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

E também da **Fonte**: <<http://www.iq.ufjf.br/~almenara/fotossintese.htm>>

ASPECTOS FISIOLÓGICOS E ECOLÓGICOS DA FOTOSSÍNTESE

FATORES LIMITANTES DA FOTOSSÍNTESE

FATORES EXTERNOS¹

1. Luz
2. Temperatura
3. Pressão Parcial de CO₂
4. Disponibilidade de Água
5. Disponibilidade de Nutrientes
6. Salinidade

FATORES INTERNOS

1. Estruturas das folhas
2. Estrutura dos cloroplastos
3. Teor de pigmentos
4. Acúmulo de produtos da fotossíntese no interior do cloroplasto
5. Concentração de enzimas
6. Grau de hidratação
7. Presença de nutrientes
8. Efeito da idade foliar

A compreensão, de como cada um destes fatores e seus efeitos sinérgicos afetam a fotossíntese, torna-se mandatória quando almeja-se minimizar os seus efeitos adversos, a fim de se obter uma maior produtividade.

Todavia, salienta-se que, os principais fatores ambientes que afetam a fotossíntese são: **LUZ, CO₂ E TEMPERATURA**.

Também, a **disponibilidade de água e a de nutrientes** são fatores importantes. Contudo tais efeitos são, aparentemente, **mais indiretos** sobre o este processo.

¹ Podem ainda, ser citado a poluição do ar e os reguladores vegetais utilizados na agricultura.

O texto a seguir foi extraído, adaptado e resumido dos textos originais de:

LOUREIRO, M.E. (e-mail: mehlers@mail.ufv.br);

KLUGE, R. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

MARTINEZ, C. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

E também da Fonte: <<http://www.iq.ufjf.br/~almenara/fotossintese.htm>>

LUZ

Podem ser citados os seguintes efeitos da qualidade espectral nos organismos fotossintetizantes:

- **Variação da capacidade fotossintética;**
- **Alteração do teor e da composição de pigmentos;**
- **Mudança na estequiometria dos fotossistemas, do tamanho e/ou da densidade das unidades fotossintéticas;**
- **Modificação da atividade catalítica das enzimas do ciclo de Calvin e do transporte de elétrons fotossintéticos;**
- **Mudança na anatomia das folhas.**

Efeitos da taxa de iluminação (Irradiância)

De um modo geral uma planta aclimatada a um ambiente de baixa irradiância (CONDIÇÃO DE SOMBRA) possui as seguintes características quando comparada a uma planta aclimatada a um ambiente de alta irradiância (CONDIÇÃO DE SOL):

LUZ -CLASSIFICAÇÃO DAS PLANTAS

PLANTAS DE SOL

- SÃO MAIS EFICIENTES NO USO DA LUZ, OU SEJA, RESPONDEM MELHOR AOS INCREMENTOS DA RADIAÇÃO.
- AS PLANTAS C4 NÃO SE SATURAM COM ALTOS NÍVEIS DE DFF.
- A IRRADIÂNCIA DE COMPENSAÇÃO ESTÁ NA FAIXA DE 10 A 20 $\mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

PLANTAS DE SOMBRA

- SATURARAM-SE COM BAIXOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO, MAS SÃO MAIS EFETIVAS NO USO DA RADIAÇÃO PORQUE TEM MAIOR FOTOSÍNTESE LÍQUIDA COM POUCA LUZ. ISSO SE DEVE PRINCIPALMENTE AO MENOR NÍVEL DE RESPIRAÇÃO NESSAS PLANTAS.
- ALGUMAS PLANTAS C3 PODEM SATURAR-SE COM BAIXOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO (APROXIMADAMENTE 500 $\mu\text{MOL M}^{-2} \text{S}^{-1}$).
- A IRRADIÂNCIA DE COMPENSAÇÃO ESTÁ NA FAIXA DE 1 A 5 $\mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

O texto a seguir foi extraído, adaptado e resumido dos textos originais de:

LOUREIRO, M.E. (e-mail: mehlers@mail.ufv.br);

KLUGE, R. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

MARTINEZ, C. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

E também da Fonte: <<http://www.iq.ufjf.br/~almenara/fotossintese.htm>>

CARACTERÍSTICAS DE PLANTAS DE SOL E DE SOMBRA

NAS PLANTAS DE SOL

- *As folhas são mais grossas e opticamente mais densas que as folhas aclimatadas à baixas irradiâncias-plantas de sombra e, portanto, nas plantas de sol a quantidade de tecido não fotossintético é maior, e conseqüentemente, a razão Chl a/biomassa é inferior.*

NAS PLANTAS DE SOMBRA

- *Maior tamanho e/ou número das unidades fotossintéticas.*
- *Menor razão Clorofila a/pigmentos acessórios e Menor seção transversal de absorção dos pigmentos mas Maior teor de pigmentos;*
- *Menor concentração das enzimas do transporte de elétrons fotossintético e do ciclo de Calvin;*
- *Menores pontos de compensação e saturação fotossintética devido à Menor atividade respiratória e Menor capacidade fotossintética;*
- *Maior rendimento quântico de produção de O₂ em luz limitante;*
- *Menor taxa de crescimento específico;*
- *As plantas de sombra são mais susceptíveis À FOTOINIBIÇÃO.*

EFEITOS DA TAXA DE ILUMINAÇÃO (IRRADIÂNCIA)

- **A FOTOSSÍNTESE DEPENDE DO NÚMERO DE FÓTONS ABSORVIDOS MAIS DO QUE DA ENERGIA TOTAL ABSORVIDA.**
- **A DENSIDADE DO FLUXO FOTÔNICO (DFF): QUANTIDADE DE FÓTONS (Mol OU μMol DE FÓTONS) POR UNIDADE DE ÁREA E DE TEMPO. Num dia a pleno sol, a DFF, na faixa de radiação fotossinteticamente ativa (400 a 700 nm), pode alcançar valores de 2000 ou 2500 μmol m⁻² s⁻¹.**
- **LUZ E A FOTOSSÍNTESE LÍQUIDA (CONSIDERANDO: Absorção de CO₂-Fotossíntese e Liberação de CO₂: Respiração Mitocondrial E Fotorrespiração).**

$$FL = FB - (RM + FR)$$

FL= fotossíntese líquida

FB = fotossíntese bruta

RM = respiração mitocondrial

FR= fotorrespiração

O texto a seguir foi extraído, adaptado e resumido dos textos originais de:

LOUREIRO, M.E. (e-mail: mehlers@mail.ufv.br);

KLUGE, R. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

MARTINEZ, C. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

E também da Fonte: <<http://www.iq.ufjf.br/~almenara/fotossintese.htm>>

PONTO DE COMPENSAÇÃO DE LUZ OU IRRADIÂNCIA DE COMPENSAÇÃO

O NÍVEL DE RADIAÇÃO NO QUAL A TAXA FOTOSSINTÉTICA LÍQUIDA (FL) SE IGUALA A ZERO, ISTO É ONDE O INTERCÂMBIO LÍQUIDO DE CO₂ É IGUAL A ZERO.

ABAIXO DA IRRADIÂNCIA DE COMPENSAÇÃO, OCORRE PERDA LÍQUIDA DE CO₂

O EXCESSO DE LUZ PODE INIBIR A FOTOSSÍNTESE POR DOIS PROCESSOS

FOTOINIBIÇÃO (*reversível*): envolve danos aos centros de reação, especialmente FSII, quando eles são sobre-estimulados. O que acontece no FSII é que ocorre perda da proteína envolvida na transferência de elétrons entre P680 e PQ. Esta proteína pode ser recuperada posteriormente

FOTOOXIDAÇÃO (*irreversível*): envolve diretamente os pigmentos receptores de luz. Quando estes absorvem muita luz, ficam muito tempo excitados e interagem com o CO₂ produzindo radicais livres, como superóxido (O₂⁻), o qual pode destruir os pigmentos. Há algumas defesas bioquímicas, como a enzima superóxido dismutase (SOD) que destrói os radicais livres, mas essas defesas são insuficientes se a exposição à alta luminosidade for prolongada.

ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS REDUZEM OS RISCOS DE DANOS EM ALTA LUMINOSIDADE.

1. OS CLOROPLASTOS PODEM MOVER-SE DE UM LADO AO OUTRO DA CÉLULA (CICLOSE)
2. A ORIENTAÇÃO DA FOLHA PODE ALTERAR AO PONTO DE ELAS FICAREM ALINHADAS PARALELAMENTE À INCIDÊNCIA DOS RAIOS SOLARES E, ASSIM, ABSORVER MENOS LUZ.
3. PLANTAS QUE CRESCEM EM AMBIENTES COM MUITA LUZ TÊM FREQUENTEMENTE CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E QUÍMICAS QUE REDUZEM A QUANTIDADE DE LUZ QUE ALCANÇA O CLOROPLASTO, COMO:
 - *folhas podem ter superfície brilhante ou reflectivas*
 - *apresentarem cutícula mais espessa*
 - *as células da epiderme podem conter antocianina (absorve comprimentos de onda curtos e menos danosos).*

O texto a seguir foi extraído, adaptado e resumido dos textos originais de:

LOUREIRO, M.E. (e-mail: mehlers@mail.ufv.br);

KLUGE, R. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

MARTINEZ, C. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

E também da Fonte: <<http://www.iq.ufjf.br/~almenara/fotossintese.htm>>

C02

PONTO DE COMPENSAÇÃO DE C02

CONCENTRAÇÃO DE C02 NA QUAL A FOTOSÍNTESE LÍQUIDA (FL) É ZERO. SOMENTE A PARTIR DESTE PONTO OCORRE ACUMULAÇÃO DE RESERVAS E, PORTANTO, CRESCIMENTO.

- NAS PLANTAS C3, O PONTO DE COMPENSAÇÃO DE CO2 É ALCANÇADO ENTRE 30 A 70 $\mu\text{L L}^{-1}$ DE CO2, NO ENTANTO NAS PLANTAS C4 O PONTO DE COMPENSAÇÃO DE CO2 É DE 0 A 10 $\mu\text{L L}^{-1}$ DE CO2.
- PLANTAS C4 APRESENTAM FOTORRESPIRAÇÃO MUITO BAIXA, POSSUINDO UM MENOR PONTO DE COMPENSAÇÃO DE CO2.
- A FOTORRESPIRAÇÃO, SOB CONDIÇÕES EXTREMAS PODE CONSUMIR ATÉ 50% DO CARBONO FIXADO PELA FOTOSÍNTESE.

CONTUDO, APESAR DE TODOS LEVARAM A CRER QUE PLANTAS C4 SÃO SEMPRE MAIS PRODUTIVAS QUE PLANTAS C3, EM SITUAÇÃO COMO DESCRITA ABAIXO AS PLANTAS COM METABOLISMO C4 MOSTRAM DESVANTAGEM NA PRODUTIVIDADE COMPARANDO-SE COM PLANTAS DE METABOLISMO C3.

DESVANTAGEM DAS PLANTAS C4:

A PLANTA C4 POR TER A ENZIMA PEPcase QUE POSSUI MUITA AFINIDADE COM BAIXAS CONCENTRAÇÕES DE CO2, QUANDO EM AMBIENTE COM ALTO TEOR DE CO2 (artificialmente em laboratório, por ex.),

NESSA SITUAÇÃO, PLANTAS C4 CONTINUARIAM AINDA A REALIZAR O CICLO C4 DE CONCENTRAÇÃO DE CO2 NAS CÉLULAS DA BAINHA, O QUAL CONSOME 2 ATPs PARA CADA CO2 CONCENTRADO NESSA CÉLULA (cada piruvato regenerado em substrato PEP (fosfoenolpiruvato para a carboxilação da PEPcase) consumirá 2 ATPs (fosforilação do piruvato)).

ASSIM, NESSA CONDIÇÃO DE AUSÊNCIA DE FOTORRESPIRAÇÃO, A PLANTA C4 ESTARÁ UTILIZANDO MAIS ATP DO QUE A PLANTA C3, TENDO, POR CONSEQÜÊNCIA, MENOR FOTOSÍNTESE LÍQUIDA E, PORTANTO, MENOR CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE.

O texto a seguir foi extraído, adaptado e resumido dos textos originais de:

LOUREIRO, M.E. (e-mail: mehlers@mail.ufv.br);

KLUGE, R. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>;

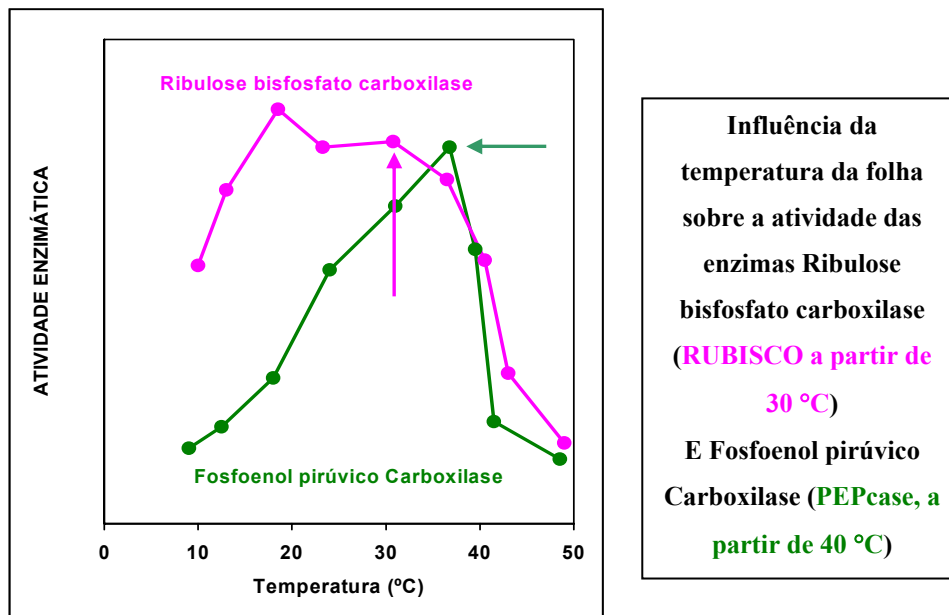
MARTINEZ, C. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>;

E também da Fonte: <<http://www.iq.ufjf.br/~almenara/fotossintese.htm>>

TEMPERATURA

O Aumento Induz A Curto Prazo

1. Aumento da atividade fotossintética;
2. Aumento da atividade respiratória;
3. Diminuição da eficiência catalítica da rubisco;



4. Aumento das irradiâncias de compensação e saturação da fotossíntese;
5. Diminuição da eficiência fotossintética.

O Aumento Induz A Longo Prazo

Há uma relação inversa entre a capacidade fotossintética (atividade fotossintética máxima em luz saturante) e a temperatura de crescimento;

1. Aumento na fluidez de membrana (veja abaixo);
2. Aumento da atividade enzimática das enzimas do ciclo de Calvin;
3. Aumento do teor de pigmentos, do número e do tamanho das unidades fotossintéticas,

O texto a seguir foi extraído, adaptado e resumido dos textos originais de:

LOUREIRO, M.E. (e-mail: mehlers@mail.ufv.br);

KLUGE, R. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

MARTINEZ, C. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

E também da Fonte: <<http://www.iq.ufjf.br/~almenara/fotossintese.htm>>

4. Aumento da eficiência fotossintética e da biomassa;
5. Diminuição das irradiâncias de compensação e de saturação da fotossíntese;
6. Diminuição da atividade respiratória e do estímulo da atividade fotossintética à temperatura.

ENTRETANTO, EXISTEM DADOS NA LITERATURA DE INVARIABILIDADE DA EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA DE ALGUNS ORGANISMOS EM RELAÇÃO À TEMPERATURA DE CRESCIMENTO.

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA FOTOSSÍNTESE

BAIXAS TEMPERATURAS

- REDUZEM A VELOCIDADE DAS REAÇÕES ENZIMÁTICAS, REDUZINDO MAIS SIGNIFICATIVAMENTE A FOTOSSÍNTESE DO QUE A RESPIRAÇÃO.

ALTAS TEMPERATURAS

(Temperaturas acima da temperatura ótima)

EM PLANTAS C3: provoca aumento da fotorrespiração, visto que diminui a razão entre as concentrações de gás carbônico e oxigênio ($[CO_2]/[O_2]$) dentro da célula, favorecendo a fotorrespiração, porque diminui a eficiência catalítica da **RUBISCO** para a fotossíntese. *Todavia, plantas C3 expostas a maiores concentrações de CO₂ apresentam aumento da fotossíntese líquida entre 25 e 35°C, aumento esse não verificado em plantas expostas a concentrações normais de CO₂.*

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA FOTOSSÍNTESE DEVE-SE FUNDAMENTALMENTE A ALTERAÇÃO DA FLUIDEZ DA MEMBRANA

O AUMENTO DA TEMPERATURA EM TODAS AS PLANTAS PROVOCA REDUÇÃO DA FLUIDEZ DA MEMBRANA, AFETANDO A CONFORMAÇÃO DAS PROTEÍNAS DE MEMBRANA, RESULTANDO NA REDUÇÃO DE SUA ATIVIDADE.

O EFEITO DA TEMPERATURA NA FOTOSSÍNTESE LÍQUIDA NÃO SE DEVE FUNDAMENTALMENTE ÀS ALTERAÇÕES NAS TAXAS DE FOTORRESPIRAÇÃO (queda da fotossíntese ocorre, mesmo na ausência de fotorrespiração), MAS SIM, A ALTERAÇÃO NA CONFORMAÇÃO ÓTIMA DAS PROTEÍNAS E FLUIDEZ DA MEMBRANA².

² MEMBRANAS DOS TILACÓIDES DO CLOROPLASTO ONDE OS PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS ESTÁ ANEXADOS PARA REALIZAÇÃO DA ETAPA FOTOQUÍMICA.

O texto a seguir foi extraído, adaptado e resumido dos textos originais de:
 LOUREIRO, M.E. (e-mail: mehlers@mail.ufv.br);
 KLUGE, R. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>;
 MARTINEZ, C. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>;
 E também da Fonte: <<http://www.iq.ufjf.br/~almenara/fotossintese.htm>>

A ALTERAÇÃO DA FLUIDEZ DA MEMBRANA PODE AFETAR ENTÃO A FOTOSSÍNTESE LÍQUIDA POR NÃO PERMITIR A CONFORMAÇÃO MAIS ADEQUADA DE SUAS PROTEÍNAS, OU DEVIDO A ALTERAÇÕES NA SUA PERMEABILIDADE, COMO OBSERVADO SOB TEMPERATURAS ACIMA DE 35°C.

NA FASE FOTOQUÍMICA, AS TEMPERATURAS ELEVADAS (ACIMA DA ÓTIMA) PROVOCAM O RETORNO DE PRÓTONS DO LÚMEM PARA O ESTROMA, DIMINUINDO ENTÃO A SÍNTESE DE ATPs (MUITO UTILIZADOS NA FASE BIOQUÍMICA), E POR CONSEQUINTE, A FIXAÇÃO DE CARBONO E A FOTOSSÍNTESE LÍQUIDA.

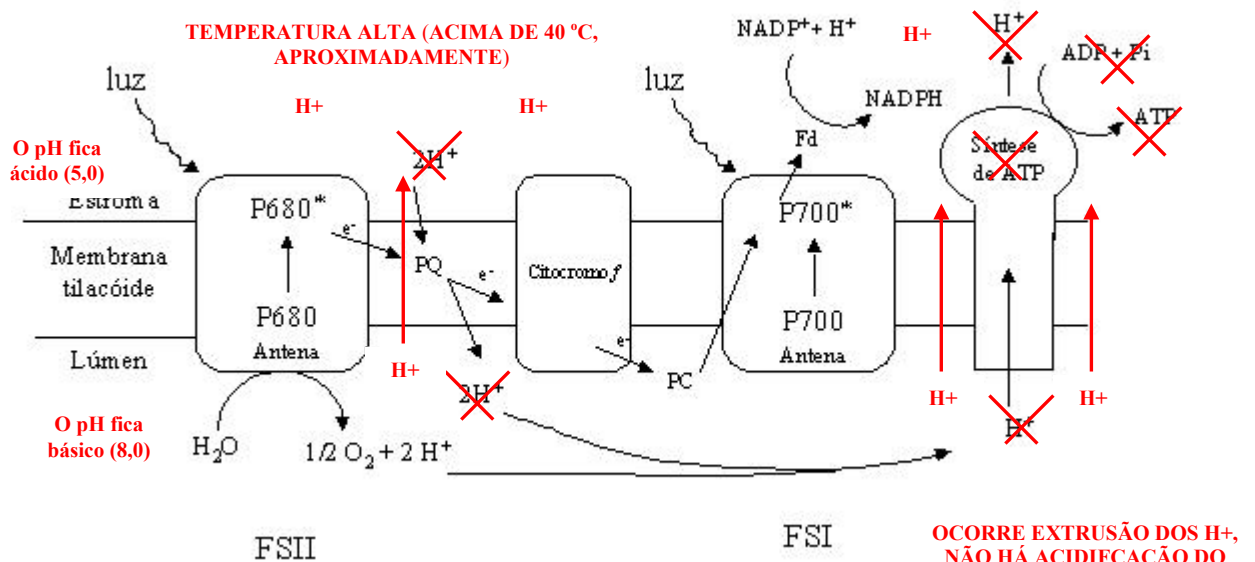


Diagrama simplificado do transporte de elétrons acíclico (não cíclico) no cloroplasto de plantas verdes. Há dois centros de reação: FSI e FSII. Os elétrons são extraídos da água pelo FSII, transferidos para o FSI através de uma cadeia de transferência de elétrons e finalmente para o NADP+.

OCORRE EXTRUSÃO DOS H+, NÃO HÁ ACIDIFICAÇÃO DO LÚMEM E SIM DO ESTROMA E ASSIM, NÃO OCORRE A ATIVAÇÃO DA BOMBA DE ATPASE E NÃO SE FORMAM ATPs

O texto a seguir foi extraído, adaptado e resumido dos textos originais de:

LOUREIRO, M.E. (e-mail: mehlers@mail.ufv.br);

KLUGE, R. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

MARTINEZ, C. A. <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>>,

E também da **Fonte**: <<http://www.iq.ufjf.br/~almenara/fotossintese.htm>>

LITERATURA CITADA

LOUREIRO, M. E. **Fotossíntese-Parte 3**. In: Material didático de apoio à disciplina BVE 270. 2003. Disponível em <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>> Acesso em 24.04.2004.

KLUGE, R. A. **Fisiologia Vegetal: apontamentos de aulas teóricas**. Disponível em <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>> Acesso em 24.04.2004.

MARTINEZ, C. A. **Aspectos básicos da fotossíntese**. Disponível em <<http://www.ufv.br/dvb/pgfvg/FOTO12.htm>> Acesso em 05.04.2004.

ATENÇÃO: Para maiores informações verificar o texto **FOTOSSÍNTESE: considerações fisiológicas e ecológicas**, no capítulo 9, p.199-217, encontrado na mais recente bibliografia de **Fisiologia Vegetal**:

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 2004. 3ª ed.. Trad. Eliane Romanato Santarém et al. Porto Alegre: Artmed. 719 p.

Também, muito pertinente a bibliografia abaixo para ampliar seus conhecimentos.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Ed. Guanabara Koogan, S.A. 452 p. 2004.