

VEGETAL, FOTOSÍNTESE E MATÉRIA ORGÂNICA

por JOÃO MURÇA PIRES
Prof. de Botânica Agrícola

Vamos abordar alguns assuntos relativos à produção de matéria orgânica pelos vegetais, à fotosíntese, ao ciclo do carbono e do nitrogênio. São questões que envolvem problemas sobre os quais os conhecimentos científicos de hoje ainda deixam muitas coisas por explicar.

Os seres vivos ou organismos vivos e os materiais que deles provêm, têm características estruturais muito particulares e, por isso, o estudo íntimo de sua composição é destacado para o campo especializado da Química Orgânica, enquanto a restante matéria morta é enquadrada na Química Mineral. E os compostos orgânicos têm a característica de sempre conterem, em sua constituição, o elemento carbono.

No entanto, somente os vegetais verdes ou clorofilados são capazes de sintetizar a matéria orgânica e, assim sendo, não fossem os vegetais, os animais não poderiam existir. Por essa razão, os que suspeitam da existência de vida em Marte, baseiam-se na coloração verde de certas partes desse planeta.

Por causa dos vegetais utilizarem a energia luminosa na fabricação de matéria orgânica, o fenômeno é conhecido por fotosíntese ou síntese clorofiliana. Isto, salvo raras exceções, no caso de organismos capazes de produzir a quimiosíntese, como veremos mais adiante.

Portanto, a matéria orgânica está restrita à zona de dispersão dos seres vivos, também conhecida por *biosfera*, uma delgada camada superficial da terra, porquanto a vida ainda não foi constatada fora deste planeta.

É apenas na superfície da crosta terrestre que a vida é muito intensa. Na atmosfera, existem apenas esporos dispersos. Nas grandes elevações, picos e montanhas, os organismos vivos vão diminuindo rapidamente com as grandes altitudes.

Na água, por sua vez, os processos vitais não se restringem à superfície. Existem peixes nas profundezas dos mares e vegetais inferiores atingem grandes profundidades, porém, em quantidade extremamente diminuta. A condição limitante é a necessidade de luz para a síntese clorofiliana. Nos trabalhos do limnologista Harald Sioli sobre a Amazônia, foi constatado que nas águas claras e transparentes, os seres vivos atingem maior profundidade, com uma dependência da quantidade de luz disponível.

Segundo Chun, Fritz Gessner, Hentschel, Schiller e outros (1), o fito-plancton medra até 80 m de profundidade; de 80 a 350 m é muito reduzido e daí para diante não existem mais plantas autotróficas (não parasitas). Certas algas, azuis, inferiores, foram encontradas até 5.000 m, organismos êsses que, como fato discutível, poderiam ou não, ser autotróficos, por quimiosíntese, em ausência de luz.

Até onde nosso conhecimento chega, somente as plantas verdes são capazes de produzir matérias tais como açúcares, gorduras, proteínas, a partir de substâncias minerais estáveis, sem nenhuma outra ajuda além da luz solar; e isto, nenhum cientista ainda foi capaz de imitar, mesmo em escala microscópica.

Estima-se, que as plantas microscópicas e de todos os tamanhos, combinam por ano 150 bilhões de toneladas de carbono, 25 bilhões de toneladas de hidrogênio, libertando 400 bilhões de toneladas de oxigênio, sendo que 90% de tudo isso se processa na superfície do oceano por algas microscópicas. Uma pequena parte dêsse produto é gasta pelos animais ou na respiração e no metabolismo das próprias plantas, o grosso dêsse material, graças à instabilidade que lhe é própria, vai se decompondo pouco a pouco em água, gás carbônico e sais minerais. Certas condições climáticas ou geológicas que apareceram na antiguidade, preveniram esta decomposição em determinados lugares, resultando daí os grandes depósitos de carvão, turfa e petróleo, protegidos por milhares de anos sob camadas de rochas e sedimentos.

Como os compostos orgânicos sempre têm carbono e muitos dêles apresentam também o nitrogênio, entende-se por ciclo do carbono e ciclo do nitrogênio, justamente, esta formação de matéria orgânica e sua degradação até a completa mineralização, assunto de muito interesse, principalmente com relação à fisiologia e agricultura.

Duas são as características mais importantes dos compostos orgânicos: complexidade e alta reserva de energia. Quando no estado inorgânico, são muitíssimo mais simples, simples moléculas de CO_2 , H_2O , H_2CO_3 , ions de carbonato e bicarbonato (CO_3^{--} e HCO_3^-). Enquanto isso, os orgânicos mais simples já são muito complicados, como a glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), não se falando na extrema complexidade que atingem as enormes moléculas de proteína.

Também, todos os materiais orgânicos são combustíveis, o que quer dizer, instáveis. Quando oxidados, êles desprendem cêrca de 100 quilocalorias para cada 10 gr. de carbono que contém, e êste calor, em última análise, é a fonte de energia que movimentam o mundo.

Os cientistas não são capazes de imitar as plantas em laboratórios, fabricando complicados e instáveis corpos orgânicos, a partir de simples inorgânicos, e não conhecem quase nada ainda de como converter a energia luminosa em energia química. Se nós chegassemos a conhecer êstes segredos, poderíamos suplantam as plantas na fabricação de alimentos e a produzir energia

química ou elétrica, a partir da luz do sol, à maneira de uma bateria.

Os primeiros degraus de todos estes conhecimentos, começaram com o religioso Joseph Priestley que escreveu em 1772:

“Fiquei tão contente quando por acidente encontrei um método de restaurar o ar que tinha sido poluído pela queima de vela e de ter descoberto, pelo menos um dos renovadores que a Natureza emprega para isso. É a vegetação. Pode-se imaginar que assim como o ar comum é necessário tanto para a vida vegetal como para a animal, tanto os animais como as plantas afetam-no da mesma maneira; e eu próprio tive essa suposição quando, pela primeira vez, coloquei um ramo de menta num jarro de vidro invertido num vaso com água, porém, quando êle continuou a crescer lá, por cerca de 5 meses, descobri que o ar não extinguiu a vela, nem apresentava qualquer inconveniência para um rato que eu coloquei dentro”.

Em 1779, sete anos depois, Jan Ingen-Housz, médico holandês, notou ainda que: êsse fenômeno não é demorado, se realiza em questão de horas; não é devido à vegetação da planta, mas à ação da luz sobre a sua parte verde.

Em 1782, Jean Senebier, de Genebra, ajuntou que a operação se dá somente na presença de um pouco que seja de CO_2 .

Em 1796, Ingen-Housz afirmou que fotossíntese não era só depuração de ar mas, antes de tudo, assimilação do carbono.

Em 1804, Nicolas Theodore de Saussure, de Genebra, descobriu que além de CO_2 , a água entrava na reação: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{plantas verdes} + \text{luz} = \text{matéria orgânica} + \text{oxigênio}$.

Por outro lado, a planta respira, como todo ser vivo, e a respiração constitui um processo inverso, a matéria orgânica é queimada, produzindo CO_2 e água.

Assim, lá por 1800, uma definição química da fotossíntese, em linhas gerais, era possível, com exceção de que a matéria orgânica fabricada era um carboidrato, conclusão a que se chegou em 1850.

Em 1845, o alemão Julius Robert von Mayer, o descobridor da conservação da energia, chegou à conclusão de que a fotossíntese representava a conversão da energia luminosa em energia química.

Até hoje não se sabe ao certo quais produtos intermediários são formados na fotossíntese e o assunto se torna difícil porque a clorofila extraída dos vegetais perde essa função, bem como, uma célula viva, quando ferida por uma agulha, mesmo continuando viva, cessa a fotossíntese. Difícil se torna, portanto, a observação direta desses processos vitais, no interior da célula.

Mesmo com os últimos progressos da ciência nos campos da fisiologia, físico-química e radioativos assinalados, não se tem conseguido adiantar muito nos segredos da fotossíntese, porém, alguns progressos significativos têm sido conseguidos.

Em 1905, o fisiologista inglês F. F. Blakeman concluiu que nos fenômenos de fotossíntese, além das reações que se proces-

sam mediante luz, pelo menos uma existe que se dá sem influência da luz ou no escuro. Experiências foram feitas nas quais a luz era fornecida à planta na forma de jatos entremeados por interrupções no escuro. Constatou-se que após um jato de luz de 0,0001 de segundo, a planta continua libertando oxigênio pelo espaço de 0,02 segundos, as reações continuam portanto no escuro. O máximo de fotossíntese alcançado em cada jato foi de 1 molécula de oxigênio para 2.000 moléculas de clorofila. Isto é surpreendente porque durante um curto jato de luz, cada molécula de clorofila teria oportunidade de desempenhar a sua função uma vez, produzindo uma molécula, pelo menos, de um produto, intermediário que fôsse. Segundo James Frank, de Chicago (2), êsse máximo depende não só do número de moléculas de clorofila como também do número de moléculas de enzima ou enzimas que funcionam nesses processos como catalizadores, com o fim de transformar produtos de reações químicas intermediárias pouco conhecidas por nós. Podemos portanto raciocinar que um único jato de luz pode produzir tantas moléculas intermediárias quantas moléculas de clorofila, porém, poucas podem completar a fase que se passa no escuro para libertar oxigênio. Êstes compostos intermediários devem ser muito instáveis, decompõem-se rapidamente antes do poder catalítico das enzimas transformá-los em matéria orgânica e oxigênio.

Então, a fotossíntese se dá em duas fases, uma necessita de luz, produzindo corpos intermediários instáveis e outra, sem necessidade de luz, por meio de enzimas, estabiliza-os e transforma-os nos produtos finais que conhecemos, carboidratos e oxigênio. Portanto, a fotossíntese é limitada pela eficiência decorrente na fase do escuro, porque nela só podem ser elaboradas uma ou poucas moléculas do intermediário por cada 2.000 moléculas de clorofila em cada 0,02 segundo, e uma maior quantidade de luz recebida não poderá ser aproveitada.

Os palpites que podemos dar sobre essas reações químicas, principalmente as da fase iluminada, baseiam-se nas nossas experiências com os processos de respiração vegetal que representa justamente o reverso da fotossíntese e também envolve dois tipos de reações: 1) quebra da cadeia de carbono em grandes moléculas; 2) remoção do H dos átomos associados com carbono e, com ajuda do poder catalítico de enzimas, transferência desses H para o oxigênio formando água. Na fotossíntese poderia, portanto, ocorrer o contrário: 1) transferência de H da água para CO₂ e 2) formação das cadeias de carbono. Dêstes dois tipos de reações, a transferência de H é que liberta energia na respiração e seria portanto, responsável pelo armazenamento de energia na fotossíntese, energia essa vinda da luz mediante a formação de compostos instáveis.

Isto tudo pode ser ilustrado pela mistura do corante tionina em solução com sulfato ferroso. Na luz intensa a coloração desaparece num segundo, ou menos, retornando no escuro. Isto

por reações de redução-oxidação. Na luz, o sal ferroso torna-se ferrico (oxida), havendo redução do corante. No escuro, dá-se em sentido contrário. Na fotosíntese há a diferença de que os produtos intermediários são logo estabilizados por enzimas que podem agir no escuro, evitando o retorno em sentido contrário, desde que a quantidade dos produtos instáveis não seja grande demais.

O conteúdo de energia dos produtos finais da fotosíntese é bem conhecido, isto é, a quantidade de calor desprendido quando se queima açúcar, produzindo CO_2 e água. Essa energia é de 112 quilocalorias por grama átomo de carbono, mínimo de energia que deve ser suprido na fotosíntese. Para hidrogenar (reduzir) uma molécula de CO_2 até açúcar, 4 H são transferidos, necessitando portanto $\frac{1}{4}$ ou seja, 27 quilocalorias para cada átomo de H.

Em 1913, Niel Bohr e Einstein demonstraram que a luz é absorvida por átomos e moléculas na forma de quantidades definidas de energia (quanta) que são proporcionais aos comprimentos de onda da luz. A luz vermelha que é a mais absorvida pela clorofila, fornece 40 quilocalorias por grama-átomo dos átomos absorventes.

Em 1923, o biólogo alemão Otto Warburg tentou medir o número de quanta necessário para reduzir uma molécula de CO_2 . Executando uma experiência muitíssimo delicada verificou que havia mais eficiência na transformação da energia luminosa quando sua experiência se desenrolava em luz muito fraca. Finalmente chegou ao resultado surpreendente de que eram necessários 4 quanta por molécula de oxigênio (4 H), ou seja $4 \times 40 = 160$ quilocalorias, o que representa a extraordinária eficiência de 70% no trabalho fotosintético (112 quilocalorias correspondem a 100%).

Os resultados acima constituem assunto muito discutido com o qual nem todos estão de acordo. Outros pesquisadores acharam de 8 a 10 quanta. Mesmo assim, isto representaria 30 a 35%, o que é uma eficiência muito alta.

Se alguém descobrisse um processo de aproveitar 10% da energia luminosa que recebemos do sol, essa descoberta resultaria numa revolução tão grande nos nossos processos econômicos de energia que ultrapassaria em muito a hoje tão falada descoberta da energia atômica. (2)

Uma explicação plausível do processo é que a clorofila absorve energia da luz, com a qual tira 4 átomos de H da água (ou de um produto derivado da água mediante reação enzimática); descarregada, a clorofila absorve outra dose de energia luminosa e com ela força a combinação do hidrogênio com o CO_2 (ou produto derivado de CO_2 mediante ação enzimática).

De há muito, a clorofila tem sido considerada como o único agente capaz de fotosíntese. Sabe-se que as plantas verdes contêm também pigmentos amarelos (carotenoides) e que muitas algas possuem pigmentos purpúreos. No entanto, todas as plan-

tas capazes de fotossíntese apresentam clorofila que, sozinha, pode absorver luz vermelha e na presença dessa luz pura, desenvolver fotossíntese.

Hoje em dia este assunto é muito discutido. Há quem admita possibilidade de fotossíntese mediante pigmentos vermelhos com maior eficiência do que com clorofila. Isto, se verificado, teria grande importância, pois, 90% do trabalho fotossintético da terra processa-se no mar, por algas multicelulares.

Para compreensão das reações intermediárias da fotossíntese, tem-se lançado mão ultimamente dos isótopos assinalados. Entram em questão principalmente os elementos hidrogênio, oxigênio e carbono. Infelizmente, nenhum isótopo radioativo do oxigênio é conhecido, dispondo-se unicamente do estável O^{18} .

Alguns pesquisadores têm citado dados sobre a absorção de CO_2 radioativo, pela planta, no escuro. Pensou-se ser esse fenômeno devido à adição de CO_2 não reduzido, a grandes moléculas, para formação de um ácido orgânico. Recentemente encontrou-se também CO_2 , reduzido parcial ou totalmente, em muitas frações, fazendo parte de proteínas e açúcares.

Foi verificado também que a absorção de CO_2 no escuro é maior quando a planta foi iluminada previamente, o que levou Melvin Calvin à conclusão de que luz mais clorofila formam um redutor poderoso que pode reduzir CO_2 no escuro.

Esta hipótese entra em conflito com conhecimentos bem estabelecidos. Por exemplo, usando-se medições manométricas, não se tem conseguido identificar liberação significativa de oxigênio no escuro. Para explicar estes fatos, contradizendo Calvin, foi sugerido que existem muitos processos metabólicos que se passam nos tecidos animais e vegetais, envolvendo absorção de CO_2 , sem relação com fotossíntese.

Na Universidade de Chicago, Hans Gaffron, A. H. Brown e E. W. Fager, chegaram a resultados importantes e menos controversos, experimentando com C^{14} . Foi encontrado que quanto menos iluminada previamente a planta, maior quantidade de uma certa fração de um extrato era possível obter, extrato este contendo carbono radioativo, solúvel na água e insolúvel em álcool. No escuro, por horas, este composto radioativo não desaparecia e, sim, passava rapidamente a outras frações quando submetido à luz. Este poderia ser, portanto, o composto intermediário da fotossíntese pela redução de CO_2 . No entanto, esse composto não foi ainda identificado quimicamente.

Antes da última guerra, Samuel Ruben e Martin Kamen (descobridor do C^{14}) usaram CO_2 e H_2O contendo isótopo O^{18} e verificaram que o oxigênio libertado na fotossíntese provém somente da água.

Uma das mais importantes descobertas, foi feita por R. Hill, da Universidade de Cambridge, em 1937. Já era anteriormente conhecido que o pó de folhas verdes (clorofiladas), quando suspenso na água e submetido à luz, desprende uma pequena quantidade de oxigênio, porém, não forma carboidrato.

Adicionando água oxalato férrico ou certos sais férricos, conseguiu-se aumentar por 1 hora ou mais o desprendimento de O₂. Outros pesquisadores conseguiram depois o mesmo, usando quinona e certos corantes. Para explicar isto, sugere-se que o pó de folhas levava algumas cadeias de clorofila e alguma coisa do sistema enzimático que lhe é próprio. Estariam ausentes, portanto, as outras enzimas que agem no escuro, sem as quais o CO₂ não aceita os átomos de H. Porém, estes átomos de H poderiam ser adicionados a outros oxidantes que oferecessem menor oposição que o CO₂, e podia ser este o caso em questão porque quinona e os sais férricos usados são de fato todos oxidantes. Poderia isto demonstrar, portanto, uma das fases de reações próprias da fotossíntese.

A clorofila, no interior da célula, localiza-se nos cloroplastos ou cloroplastídios que são granulações de formas variadas, as quais, ao microscópio eletrônico, apresentam-se revestidas por uma membrana, cujo interior é cheio de umas granulações muito menores (os "grana").

No líquido a que nos referimos acima, contendo uma suspensão de folhas verdes pulverizadas, encontram-se esses grana dispersos, o que induz a supor que são responsáveis pelo aludido desprendimento de oxigênio.

Certas bactérias coloridas de verde ou vermelho possuem também um tipo de pigmento chamado bacterio-clorofila, relacionado com a clorofila e por isso, são capazes de retirar hidrogênio das águas sulfurosas e outros meios que contenham agentes redutores.

Certas bactérias incolôres têm a faculdade de reduzir CO₂ sem o auxílio da luz, usando energia química que é liberada por oxidações enzimáticas desses redutores pelo oxigênio do ar. Esse fenômeno é chamado bacterioquimiosíntese.

Com base nos fatos acima, não é fora de propósito a sugestão de se considerar a possibilidade dessas bactérias verdes e vermelhas ou purpúreas serem relíquias de um tempo talvez em que a crosta terrestre era menos estabilizada quimicamente, sendo disponíveis ácido sulfídrico, enxofre ou mesmo hidrogênio. Poderiam ser, portanto, predecessores das plantas verdes de hoje.

Os primeiros produtos orgânicos da fotossíntese são, portanto, carboidratos presumivelmente solúveis e invisíveis. No entanto, os leucoplastídios, com a ajuda de enzimas, transformam em amido estes produtos elaborados, como a glicose, que é o primeiro produto visível da fotossíntese. A matéria orgânica formada é usada pela planta ou o excesso armazenado nos órgãos de reserva, no entanto, no próprio cloroplasto são encontrados comumente algum depósito de amido.

O cloroplasto, ao microscópio comum, apresenta-se como grãos uniformes, porém, ao microscópio eletrônico, pode-se verificar que ele é revestido por uma membrana dentro da qual se encontram pequenos granulos ainda menores (cerca de 50 a 100) e que estes granulos, por sua vez, são constituídos por

uma pilha de discos (cêrca de 20 a 30) de proteína, discos êstes ligados entre si por uma camada de lípidio, à maneira de um "sanduiche". Análises de algas deram cêrca de 1 milhão de moléculas de clorofila para cada cloroplasto, quantidade esta que, se fôsse espalhada num plano, daria cêrca de 1.000 u² (mil micra quadradas).

Se multiplicarmos a área de um dos discos protéicos (0,4 u²) pelo número de discos (c. 25) e pelo número de granulos (c. 100), o resultado seria também de 1.000 u², o que faz supor que a clorofila reveste os discos protéicos com uma camada de 1 molécula de espessura. A molécula de clorofila é polar e supõe-se que esteja com a cabeça enterrada na proteína e a cauda no lípido. Algumas proteínas do disco fariam o papel de enzimas e outras, de suporte. O estrato lípido daria escoamento aos compostos orgânicos intermediários elaborados, que estariam sujeitos a outras reações complementares, ali, ou fora do granulo, ou fora do cloroplasto.

De acôrdo com os modernos conhecimentos (6), supõe-se que o primeiro produto formado pela incorporação de CO₂ na fotosíntese seja o ácido fosfoglicérico. O ácido glicérico (C₃ H₆ O₄) é meio caminho entre CO₂ e glugose (C₆ H₁₂ O₆). Provavelmente, CO₂ é adicionado a um composto orgânico da célula e êste produto é reduzido pela luz a ácido glicérico. Transformações posteriores do ácido glicérico poderiam dar formação de glicose e regeneração de CO₂, permitindo a repetição do ciclo.

Como é sabido, a planta absorve os alimentos do solo, na forma mineral e em solução muito diluída. Mesmo os compostos orgânicos do solo têm que ser antes transformados pelos fermentos e outros agentes externos até completa mineralização. Erradamente ao que muita gente supõe, os adubos orgânicos só são absorvidos pela planta depois de mineralizados. O carbono é retirado do ar, da maneira que descrevemos.

E assim é formada a matéria orgânica cuja fabricação, em grosso, é privativa dos vegetais verdes. Em sua composição entram obrigatôriamente carbono, oxigênio e hidrogênio (hidratos de carbono). No entanto, outros elementos não obrigatórios podem entrar nas moléculas dos compostos orgânicos e, dentre êstes, o mais importante é o nitrogênio que faz parte das complicadíssimas e enormes moléculas de proteína, algumas, tão grandes, que em dispersão molecular na água, funcionam como colóides.

O nitrogênio existe em quantidade extraordinariamente grande na atmosfera, cêrca de 7 milhões de toneladas, no ar, sôbre cada quilômetro quadrado da terra (4). No entanto, as plantas não são capazes de retirar nitrogênio do ar. Retiram-no sômente do solo.

Isto é assunto de grande importância para a humanidade porque a quantidade de nitrogênio disponível para as plantas é pequena e êsse elemento constitui um dos principais componentes dos adubos que se usam na agricultura. Por isso mesmo,

em tôdas as partes da terra, há uma grande escassez de proteínas, constituindo isto um problema econômico muito importante. Há, portanto, o paradoxo da pobreza no meio da riqueza.

No entanto, alguns micro-organismos são capazes de retirar nitrogênio livre do ar e combiná-lo com os compostos orgânicos que são disponíveis como alimento de plantas e animais. Estes micro-organismos são chamados "fixadores de nitrogênio". Outros existem chamados "nitrificadores" que convertem êste nitrogênio orgânico em nitratos minerais que são tão necessários às plantas e por sua vez também aos animais. Existem ainda os "denitrificadores", que decompõem os organismos mortos, mineralizando-os, bem como eventualmente, fazendo retornar nitrogênio livre para o ar.

Como vemos, são muito importantes os ciclos do carbono e do nitrogênio.

Até recentemente pensava-se que era pequeno o número de micro-organismos capazes de fixar nitrogênio. Dos mais conhecidos eram as bactérias que crescem em nódulos das raízes das leguminosas usadas para adubo verde. Hoje em dia o número dêstes organismos conhecidos tem crescido grandemente. São os primeiros organismos a colonizar áreas desnudadas de vida, assim como as rochas nuas. Alguns anos depois da erupção do vulcão Krakatoa em 1883, as cinzas começaram a ser populadas por algas verdes gelatinosas (algas azul-verdes). Provavelmente as algas verde-azuis poderiam fixar mais nitrogênio, no mar, do que todo o solo não submerso.

P. K. De, na Índia, em 1938, mostrou que certas algas azul-verdes eram muito ativos fixadores de nitrogênio em campos de cultura de arroz e concluiu que seriam talvez os responsáveis pela manutenção da fertilidade dos referidos campos. Kamen (4) supõe que as bactérias fotosintéticas poderiam contribuir também para a explicação dêsse fenômeno.

Tem sido estimado que (3) cêrca de 250 metros quadrados de superfície de fôlha, na média, trabalhando numa estação, produzem amido suficiente para alimentar um homem durante um ano. Um hectare de boa plantação de milho tem cêrca de 2 hectares de superfície de fôlha e produz 1 kgr. por planta. Nem todo êste material é colhido pelo homem porque cêrca de um quarto é gasto na respiração e no crescimento da própria planta, a metade vai fazer parte dos seus tecidos vegetativos e apenas um quarto é armazenado como sobra disponível. A energia gasta por um homem que não está fazendo trabalho vigoroso é 2.500 calorias, equivalente à que é armazenada nas sementes de 3 plantas de milho bem desenvolvidas.

Calcula-se que num hectare de terra caem por ano 5 bilhões de calorias vindas do sol. Disto, sômente 80 milhões são seguradas, em forma potencial, pela fotosíntese de uma plantação de milho.

Em última análise, os problemas agronômicos relativos a genética e melhoramento de plantas, nada mais são do que

procurar aumentar a eficiência das plantas agrícolas como captadoras desta energia, armazenando-a sob a forma de compostos orgânicos mediante a síntese clorofiliana.

BIBLIOGRAFIA

- 1) GESSNER, Fritz — 1955. Hydrobotanik, Band I: 483-485.
- 2) RABINOWITCH, E. I. — 1955. Photosynthesis, in *The Physics and Chemistry of Life*: 27-47; Scientific American Inc., New York.
- 3) SINNOTT, E. W. — 1946. Botany Principles and Problems. McGraw — Hill Book Co. Inc., New York.
- 4) KAMEN. Martin D. — 1955. Nitrogen Fixation, in *Physics and Chemistry of Life*: 48-55; Scientific American Inc., New York.
- 5) SHARP, L. W. — 1934. Introduction to Cytology. McGraw — Hill Book Co. Inc., New York.
- 6) RABINOWITCH, E. I. — 1957. Progress in Photosynthesis, in *Plant Life*: 97; Sc. Amer. Inc., N. York.