

## INSTRUMENTOS DE ENSINO EM BIOLOGIA VEGETAL: ANOTAÇÕES PARA AS AULAS TEÓRICAS

### **PORQUÊ ESTUDAR PLANTAS? (TTPB1)**

As plantas e os seres humanos partilham um antepassado comum, o qual viveu há cerca de 3000 milhões de anos. As pessoas são mais parecidas com as plantas do que com as bactérias, mas são menos parecidas com as plantas do que com os fungos. As plantas e os seres humanos partilham uma linguagem comum de DNA e estruturas celulares muito semelhantes. Depois de divergirem das linhagens dos seres humanos e dos fungos, os precursores das plantas adquiriram a capacidade de efetuar a fotossíntese através da incorporação nas suas células de uma bactéria fotossintética unicelular. A capacidade de converter a energia da luz solar em energia química permitiu às plantas ocupar um nicho ecológico totalmente diferente do nosso, mas altamente compatível com ele; como um subproduto da fotossíntese, as plantas produzem o oxigénio que nós e todos os outros animais necessitamos para viver. As plantas também são os produtores primários dos ecossistemas terrestres – todo o alimento que os animais consomem provém direta ou indiretamente das plantas. Para além disso, desenvolveu-se nas plantas um conjunto complexo de sequências metabólicas, que levam à produção de uma grande variedade de novos e interessantes compostos químicos. Muitos destes compostos têm a função de desencorajar ou deter o ataque dos agentes patogénicos e dos herbívoros e alguns deles têm características medicinais que nos são úteis.

### **A procura a nível global de alimentos e nutrientes aumenta continuamente**

As plantas enriquecem as nossas vidas em muitos aspetos, mas o seu papel como fonte de alimento é neste momento particularmente crucial. A população mundial continua a aumentar, mas se tivesse estabilizado há 50 anos, nos

3000 milhões de pessoas, as práticas agrícolas que foram desenvolvidas durante a primeira parte do século XX teriam sido suficientes para nos alimentar a todos. Pelo contrário, a população mundial mais do que duplicou nos últimos 50 anos e simplesmente não é possível continuar a produzir suficiente alimento sem uma rápida e sustentável alteração na forma como produzimos plantas. As previsões atuais sugerem que para evitar a fome em larga escala, a produção de alimentos deveria aumentar 70% em 2050, ano no qual se admite que a população mundial estabilizará à volta dos 9000 milhões. Será importante notar que aliviar a fome através do aumento da produção de alimentos, com concomitante melhoria nos níveis de vida e de educação, levará, tipicamente, a um declínio no crescimento populacional, isto é, produzir mais alimentos não conduzirá simplisticamente a maior e maior crescimento populacional. Usar mais solo para produzir este alimento adicional não será a opção; em vez disso, teremos de produzir mais alimento nos terrenos presentemente em cultivo – deve aumentar-se a produtividade (massa do produto formado por unidade da área do terreno) das plantas que cultivamos.

Há muitos tipos de plantas, as quais vivem e se multiplicam com sucesso em variados ambientes. Contudo, os sistemas agrícolas que foram desenvolvidos dependem de um pequeno número de variedades de plantas. A maioria das calorias que os seres humanos consomem provêm de grãos, essencialmente de arroz, trigo e milho e também de algumas leguminosas. As culturas agrícolas são produzidas em áreas que, frequentemente, são bastante diferentes daquelas em que elas evoluíram na natureza e têm sido melhoradas de tal modo que não mais se assemelham aos seus antepassados selvagens. Um campo de cultivo de qualquer das nossas principais culturas agrícolas é extremamente produtivo, quando comparado com idêntica área natural não agricultada, quer pelo facto de as plantas terem sido seleccionadas para alcançarem alta produção de biomassa e semente, quer pelo facto de que para assegurar a máxima produção se lhes forneceu, adicionalmente, água e fertilizante (principalmente, azoto, fósforo e potássio, mas também micronutrientes como magnésio e ferro). As inovações agrícolas e o melhoramento vegetal têm garantido os contínuos incrementos de produção necessários para alimentar a nossa população sempre crescente, mas para

fazer face aos desafios dos futuros aumentos de população será necessário conseguir ainda maiores aumentos de produção agrícola. Alguns cientistas estudam as plantas para conseguir aumentar a sua produtividade, através da melhoria de: tolerância ao stress, arquitetura do crescimento e distribuição de reservas, utilização dos nutrientes e resistência aos agentes patogénicos.

### ***Tolerância ao stress***

As plantas não podem fugir de um ambiente desfavorável e nos meses de verão podem ficar sujeitas a variações de temperatura de quase 40 °C em poucas horas. Tal como nós, as plantas usam a evaporação de água (processo designado transpiração) para se arrefecerem e precisam de mais água em condições de calor. As plantas estão frequentemente sob stress de uma combinação de calor e de falta de água; este stress abranda o seu crescimento e portanto baixa a produção e pode mesmo matar as plantas. Nem sempre a irrigação é uma opção possível e, assim, globalmente, a produção das culturas agrícolas é severamente diminuída pela seca. É perturbante constatar que as alterações climáticas têm levado a ainda maiores decréscimos de produção em muitas regiões, devido a condições invulgares de alta temperatura e seca.

Os cientistas estão a investigar o modo como as plantas suportam os vários tipos de stress ambiental, procurando identificar as adaptações que elas desenvolveram, bem como identificar as variedades com maior tolerância ao stress e os genes que se correlacionam com essa tolerância. Alguns desses genes reduzem as taxas de perda de água por transpiração, enquanto outros afetam o padrão de crescimento radicular e a absorção de água. A produção vegetal também é afetada pelo frio fora de época ou o alagamento. Recentemente, foi desenvolvida a variedade de arroz designada por *Sub1*, a qual consegue sobreviver submersa por períodos prolongados. Em áreas onde é frequente o alagamento, esta variedade está a permitir aos agricultores cultivar o arroz sem o temor de perder a cultura numa cheia inesperada. (Em “Fontes Adicionais”, no fim do texto, são indicadas várias ligações de Internet com mais informação sobre esta investigação).

## ***Utilização de nutrientes***

As culturas vegetais retiram nutrientes do solo e metabolizam-nos para formarem proteínas e outras substâncias. Cada colheita agrícola esgota nutrientes do solo, que têm de ser repostos regularmente. Um conhecimento agrícola já adquirido de longa data é o do efeito benéfico das plantas da família das leguminosas, cuja associação com bactérias fixadoras de azoto atmosférico recarrega os solos neste elemento; a rotação das culturas agrícolas tem por base a alternância de cultivo de plantas como os cereais, que esgotam o azoto do solo, com as leguminosas. Por várias razões, a rotação de culturas é usualmente pouco prática e, em vez disso, faz-se a adubação com uma mistura de nutrientes que engloba primariamente azoto, fósforo e potássio, assim como micronutrientes como ferro, zinco e cobre. O potássio e o fósforo são recursos naturais limitados que estão a ser rapidamente esgotados. O azoto está facilmente disponível como gás (o gás mais abundante da nossa atmosfera), mas enormes quantidades de energia são necessárias para reduzir o azoto gasoso a uma forma de azoto que as plantas possam usar. A utilização de fertilizantes tem um impacto ambiental adicional, na medida em que os nutrientes que não são absorvidos pelas plantas são lavados para os terrenos vizinhos, os rios e os lagos, onde eles podem causar problemas ecológicos consideráveis.

Há vários modos possíveis de tratar estes problemas: aumentar as taxas sobre os fertilizantes, para que sejam usados de forma mais criteriosa; monitorizar as plantas e os solos para determinar o momento próprio de adubação, para absorção máxima; identificar plantas que sejam mais eficientes na absorção de nutrientes, possivelmente por possuírem nas suas raízes sistemas de transporte de maior eficiência ou terem raízes com maiores áreas superficiais para absorção. Todos estes aspetos serão importantes contributos e desempenharão um papel na proteção da saúde do nosso ambiente e na manutenção da produtividade agrícola. Uma abordagem particularmente interessante consiste no desenvolvimento de variedades altamente produtivas de culturas que são perenes em vez de anuais. Presentemente, todas as nossas principais culturas agrícolas são anuais, o que significa que em cada período de cultivo a planta se inicia na semente e tem de produzir raízes, folhas

e sementes dentro de uma única estação de crescimento, para começar de novo a partir de uma semente no ano seguinte. Um tal ciclo de vida anual significa que o sistema radicular nunca tem possibilidade de ficar muito grande. Em contraste, as plantas vivazes crescem durante vários anos e desenvolvem sistemas radiculares significativamente maiores, o que lhes permite conseguir maiores absorções de nutrientes e água e também ajuda a prevenir a erosão do solo superficial.

### ***Resistência aos agentes patogénicos***

O stress resultante dos agentes patogénicos das plantas afeta grandemente a sua produção. Há uma grande diversidade de organismos que procuram alimentar-se das plantas, incluindo vírus, bactérias, fungos, nemátodos, insetos e animais herbívoros. Algumas plantas desenvolveram resistência genética contra certos patógenos, mas numa espécie de “corrida aos armamentos” muitos desses patógenos desenvolveram mecanismos para tornear essa resistência. Os melhoradores de plantas procuram estar à altura desta “corrida aos armamentos” e estão continuamente a identificar tipos de plantas resistentes, para as cruzarem com as variedades agrícolas possuidoras de alta produtividade. Ocasionalmente, contudo, os patógenos conseguem “saltar para a frente”, vencendo a resistência da planta, e uma epidemia de uma importante doença eclode. Por exemplo, duas dessas epidemias estão presentemente a ter lugar.

A *Phytophthora infestans* é um patógeno vegetal que já deixou as suas marcas na História, como agente causador do míldio da batateira, que provocou generalizados estragos nesta cultura na década de 1840. *P. infestans* espalha-se rapidamente e pode matar uma batateira numa semana. Este patógeno, tal como a batateira que ele ataca, teve origem nas montanhas da América do Sul. Contudo, só chegou à Europa na década de 1840, quando a batata já se tinha tornado um alimento básico da dieta, na maioria da Europa. O dizimar generalizado das batateiras conduziu à fome, mortes e imigração em massa. Subsequentemente, variedades resistentes foram identificadas e uma combinação de controlo genético e químico manteve a *P. infestans* dominada durante mais de 150 anos. Recentemente, surgiram uma ou mais estirpes do

patógeno a que a maioria das variedades de batateira não são resistentes. Os melhoradores da batateira estão a trabalhar arduamente na tentativa de identificar novas linhas e novos genes que confirmam resistência a esta cultura, uma vez mais. Os seus esforços receberão apoio na informação que resulta da recente sequenciação do genoma de *P. infestans* e da primeira versão da sequenciação do genoma da batata.

Identicamente, o patógeno do trigo *Puccinia graminis* sp. *tritici*, que é o agente causador da ferrugem do trigo, desenvolveu uma forma mutante (designada Ug99) relativamente à qual a maioria das variedades de trigo largamente cultivadas não tem capacidade de resistência. Este patógeno difundiu-se da África oriental para o Próximo Oriente e Ásia e presentemente ameaça todas estas importantes regiões produtoras de trigo, onde pode potencialmente levar à fome.

Seria interessante poder pensar que uma vez uma cultura colhida deixaria de ser vulnerável aos patógenos mas, infelizmente, não é assim. Os grãos têm de ser cuidadosamente armazenados para evitar perdas por apodrecimento que, não obstante, ocorrem com frequência alarmante. Os frutos e as outras colheitas ricas em água também são vulneráveis a perdas pós-colheita, devidas a envelhecimento e danos celulares, bem como a micro-organismos patogénicos. As perdas pós-colheitas representam uma dificuldade económica para os agricultores porque elevadíssimos investimentos de recursos e trabalho já foram feitos para produzir alimentos que acabam por não serem comidos nem vendidos. Muitas soluções podem ser avançadas para este problema, incluindo uma melhor gestão ao nível de estruturas de armazenamento, sistemas mais rápidos de distribuição e melhoramento genético das plantas para minimizar estas perdas.

### ***Melhoria da qualidade dos alimentos através da biofortificação***

A fome e a má nutrição geralmente coincidem. Presentemente, mil milhões de pessoas têm fome crónica, mas o dobro deste número sofre de deficiência de ferro. Os glóbulos vermelhos do nosso sangue necessitam de ferro para transportar oxigénio através de todo o corpo; a deficiência de ferro causa fraqueza e cansaço. Foi estimado que a erradicação da deficiência de ferro

podia melhorar em 20% os níveis de produtividade dos adultos. Nas crianças, a deficiência de ferro contribui para defeitos de desenvolvimento e crescimento, assim como para aumento da suscetibilidade às infecções. A deficiência de vitamina A afeta, a nível mundial, um quarto das crianças em idade pré-escolar e está na base da morte de um milhão de crianças, todos os anos. A deficiência de vitamina A conduz a um aumento de suscetibilidade a doenças e à cegueira, assim como a atrasos no crescimento e desenvolvimento mental. A má nutrição, apesar de totalmente evitável, afeta de modo desproporcionado as crianças, pois está na base de metade de todas as mortes na infância, e para as crianças que sobrevivem causa-lhes problemas de saúde para toda a vida.

Muitas das pessoas que no Mundo sofrem de má nutrição têm acesso limitado a carne e a vegetais verdes frescos, que são importantes fontes de ferro e vitamina A. Muitas das crianças mal nutridas comem essencialmente arroz, que na usual forma polida (arroz branco) não fornece nem ferro nem vitamina A. Diversas variedades de arroz enriquecidas em ferro foram produzidas, tanto por melhoramento convencional como por transformação genética. Demonstrou-se que estas linhas de arroz de alto conteúdo de ferro reduzem a anemia nos seres humanos. Arroz enriquecido em vitamina A foi também produzido, por transformação genética, mas esta sua origem transgênica tem impedido que seja distribuído pelas populações (veja-se mais informação sobre os obstáculos de natureza legislativa à sua disseminação, em: [goldenrice.org](http://goldenrice.org)). Outras culturas biofortificadas que estão em desenvolvimento, possuem teores acrescidos de zinco, ácido fólico e iodo, e, recentemente, demonstrou-se que uma variedade de tomate com altos níveis de compostos antioxidantes tem a capacidade de reduzir a incidência de cancro em ratos de laboratório. Estes tipos de alimentos fortificados podem beneficiar, em particular, aquelas pessoas cuja dieta é forçosamente muito restrita, devido à sua pobreza ou por não poderem dispor de uma dieta diversificada.

***As plantas são fonte de compostos medicinais, de materiais diversos e fornecedoras de energia***

As plantas fornecem-nos mais do que alimentos; também são fonte de muitos produtos farmacêuticos importantes, madeira e fibras e, cada vez mais, substitutos bio renováveis dos plásticos, baseados no petróleo, e de energia.

Centenas de compostos naturalmente presentes nas plantas têm efeitos benéficos no ser humano, desde o simples prazer da baunilha e da cafeína, até aos agentes supressores de tumores que salvam vidas. A maioria destas substâncias é produzida por uma única ou por um pequeno número de espécies vegetais, como parte do seu arsenal de defesa química contra os seres patogénicos. A diversidade química do reino vegetal é imensa e grandemente inexplorada. Muitas das plantas que produzem os remédios que hoje usamos foram identificadas como tendo propriedades curativas há centenas ou milhares de anos. Por exemplo, a casca da árvore da quina, que contém quinino, era usada pelos indígenas peruanos para tratar a malária e os ervanários chineses prescreviam para o mesmo fim a *Artemisia*, há mais de 2000 anos. Os etnobotânicos trabalham com as populações indígenas para identificar plantas promissoras e estudar as suas propriedades. Dado que os agentes patogénicos conseguem frequentemente desenvolver resistência contra medicamentos que eram eficientes, estão sempre a ser necessárias novas fontes de compostos ativos.

As plantas também estão a ser utilizadas para produzir outros compostos de interesse medicinal, como anticorpos, proteínas humanas (por exemplo insulina) e até vacinas. Estas são por vezes referidas como proteínas farmacêuticas derivadas de plantas e o processo de as produzir como “pharming” (agricultura farmacêutica). Alguns destes procedimentos são, simplesmente, alternativas a outros métodos de produzir proteínas, substituindo sistemas mais caros, através de culturas de células animais, enquanto que estes exploram propriedades específicas das células vegetais. As vacinas comestíveis são particularmente entusiasmantes, porque representam um grande potencial para os países pobres, onde muitas crianças não são vacinadas contra doenças evitáveis simplesmente devido aos custos financeiros. Nos programas tradicionais de imunização é necessário que os anticorpos sejam fornecidos em embalagens esterilizadas e que sejam mantidos refrigerados até que sejam injetados por meio de uma seringa estéril;



tudo bastante caro. As vacinas comestíveis não exigem manuseamento estéril ou caro porque são eficientes a promover a imunização quando comidas! Não demorará muito até que todas as crianças sejam protegidas dos efeitos devastadores da cólera, varíola, sarampo, malária, peste bubônica e hepatite – sem sequer verem uma agulha.

As células vegetais têm uma parede constituída essencialmente por celulose, um polissacárido feito a partir da glucose. A maioria dos animais é incapaz de degradar a celulose nos seus açúcares constituintes e portanto os materiais ricos em celulose são particularmente duráveis. Algumas paredes das células vegetais, como as que se encontram nos tecidos lenhosos, também contêm uma substância tipo cola, a lenhina, que cimenta entre si os constituintes polissacáridos. Os seres humanos têm usado desde sempre a madeira como material de construção e de abrigo, continuando a ser um material de construção importante. As fibras vegetais são utilizadas para a produção de papel (usava-se anteriormente o papiro) e de tecidos, como os de algodão, linho e seda vegetal. Os cientistas estão a desenvolver plantas que tenham fibras de qualidade melhorada ou a partir das quais seja mais fácil extrair fibras úteis, tanto para obter materiais tradicionais, como papel e roupa, como para obter alternativas bio renováveis de materiais não renováveis. Por exemplo, estão a ser desenvolvidos biocompósitos, materiais que utilizam uma matriz baseada em fibras vegetais, como alternativas aos materiais derivados do petróleo e de fibras de vidro, para utilização nas indústrias automóvel e da construção. Estes novos materiais estão a ser desenvolvidos através de colaborações entre cientistas que estudam as plantas, cientistas de materiais e químicos. Plásticos derivados de hidratos de carbono e de óleos de origem vegetal estão a ser desenvolvidos como alternativas aos produtos derivados do petróleo.

Biofuel e bioenergia são termos que se têm tornado familiares entre nós, através das discussões em curso nas notícias e nas agências governamentais. Claro que se a energia renovável armazenada nas plantas puder ser usada para substituir de forma sustentável fontes de energia não renovável, como são o petróleo e o carvão, toda a gente beneficiará. A madeira tem sido queimada para produzir calor e luz, desde longa data, mas a sociedade moderna

necessita de diferentes tipos de energia, incluindo os combustíveis líquidos para as viaturas. Os açúcares das plantas podem ser fermentados para produzir álcool (etanol), que pode ser misturado com a gasolina; este procedimento é mais vantajoso quando o material vegetal é rico em açúcares. Por exemplo, no Brasil o etanol derivado da cana de açúcar fornece a maioria do combustível líquido vegetal necessário ao país; toda a gasolina vendida no Brasil contém pelo menos 25% de bioetanol e muitos carros podem usar combustível que é 85% etanol (E85). Os motores a Diesel podem funcionar com biodiesel, obtido dos óleos extraídos de plantas como a couve-nabiça, a soja, ou de algas.

Usar produtos vegetais alimentares para a produção de energia poderá afetar o preço da comida. Por isso, tem sido recomendado que a bioenergia seja apenas obtida a partir de fontes não alimentares, como ervas perenes, plantas lenhosas e os resíduos das culturas após colheita das sementes. A energia destes materiais está contida na celulose das paredes celulares, pelo que desenvolver formas eficientes de converter em etanol é assunto de considerável esforço de investigação. Também é crítico identificar plantas ótimas para a produção de bioenergia; *Miscanthus giganteus* é uma das plantas promissoras a este respeito. É uma planta perene com raízes profundas particularmente eficientes na absorção de água e nutrientes e que tem uma taxa de crescimento extremamente rápida. Também cresce em regiões que não são adequadas para as culturas alimentares; portanto, a sua produção não deverá afetar a disponibilidade e os preços dos alimentos.

### **Porquê estudar plantas?**

O estudo da biologia vegetal nunca foi tão importante ou tão excitante como agora. As ferramentas genéticas estão a permitir aos cientistas compreender as plantas com um nível de sofisticação sempre crescente. Este conhecimento torna possível desenvolver plantas mais eficientes a produzir alimentos, substâncias farmacêuticas, fibras e matérias-primas, de que a população humana está totalmente dependente.

Mary Williams  
mwilliams@aspb.org  
Features Editor, The Plant Cell  
American Society of Plant Biologists  
c/o Plant Science Research Group  
University of Glasgow

Tradução Portuguesa de:  
Ana Paula Santos  
Cândido Pinto Ricardo  
Instituto de Tecnologia Química e Biológica (UNL)  
Oeiras, Portugal

## Fontes Adicionais (\* indica fontes de informação que não exigem subscrição)

### Visão geral

**Dravigne, A., Waliczek, T.M., Lineberger, R.D., Zajicek, J.M.** (2008) The effect of live plants and window views of green spaces on employee perceptions of job satisfaction. *HortScience* **43**: [183–187](#).

\***Eckardt, N.A., Cominelli, E., Massimo Galbiati, M., Tonelli, C.** (2009) The future of science: Food and water for life. *Plant Cell* **21**: [368–372](#).

**Fedoroff, N.** (2008) Seeds of a perfect storm. *Science* **320**: [425](#).

**Fedoroff, N.V., Battisti, D.S., Beachy, R.N., Cooper, P.J.M., Fischhoff, D.A., Hodges, C.N., Knauf, V.C., Lobell, D., Mazur, B.J., Molden, D., Reynolds, M.P., Ronald, P.C., Rosegrant, M.W., Sanchez, P.A., Vonshak, A., and Zhu, J.-K.** (2010) Radically rethinking agriculture for the 21st century. *Science* **327**: [833–834](#).

\***Gatsby Plants Teaching Resources** (lectures by pre-eminent plant scientists, available free with registration) <http://www.gatsbyplants.leeds.ac.uk/TR/index.php>

\***International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA)**  
<http://www.isaaa.org/kc/default.asp>

**Marris, E.** (2008) Five crop researchers who could change the world. *Nature* **456**: [563–568](#). (also available at <http://www.landinstitute.org/vnews/display.v/ART/2009/04/10/49db6f9065ff1>)

\***Quinn, K.M.** (2007) Dr. Norman E. Borlaug: 20th century lessons for the 21st century world.  
<http://www.worldfoodprize.org/borlaug/borlaug-history.htm>

\***Royal Society.** (2008) Reaping the benefits: Science and the sustainable intensification of global agriculture. [http://royalsociety.org/Report\\_WF.aspx?pageid=11210](http://royalsociety.org/Report_WF.aspx?pageid=11210).

\***Royal Society** (2010) Food security: feeding the world in 2050. Theme issue comprising more than 20 open access articles <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/365/1554.toc>

\***Science Multimedia.** (2008) Plant genomes: From evolutionary insights to crop improvement. *Science* **320**: 465. <http://www.sciencemag.org/plantgenomes/feature.html>

### Tolerância ao stress

**Gornall, J., Betts, R., Burke, E., Clark, R., Camp, J., Willett, K., and Wiltshire, A.** (2010) Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Phil. Trans. Royal Soc. B*: **365**: [2973–2989](#).

\* **Hamilton, J.** (2007) NPR: Waterproof rice may help Asia cope with flooding.  
<http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=15032263>

\* **International Rice Research Institute (IRRI)** (2009) Flood-proof rice provides relief for poor farmers.  
<http://www.irri.org/flood-proof-rice/> and <http://www.youtube.com/watch?v=shCHe1eAQoQ> from the IRRI YouTube channel (<http://www.youtube.com/user/irrivideo>).

**International Water Management Institute (IWMI)** (2007) Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture. London: Earthscan, and Colombo.  
[http://www.iwmi.cgiar.org/Assessment/files\\_new/synthesis/Summary\\_SynthesisBook.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Assessment/files_new/synthesis/Summary_SynthesisBook.pdf)

\***Science Today** (2007) Rice Genomes. <http://www.youtube.com/watch?v=hApLuj7qSBI>

\***Yu, H., Chen, X., Hong, Y.-Y., Wang, Y., Xu, P., Ke, S.-D., Liu, H.-Y., Zhu, J.-K., Oliver, D.J., Xiang, C.-B.** (2008) Activated expression of an *Arabidopsis* HD-START protein confers drought tolerance with improved root system and reduced stomatal density. *Plant Cell* **20**: [1134–1151](#).

### Utilização de nutrientes

Cox., T.S., Glover, J.D., Cox, C.M., Reganold, J.P. (2007). Future farming: A return to roots? *Sci. Am.* **297**(2):82-89.

Glover, J.D., et al. (2010). Increased food and ecosystem security via perennial grains. *Science* **328**: [1638-1639](#).

Vaccari, D.A. (2009) Phosphorus famine: The threat to our food supply. *Sci. Am.* **300**(6):[54-59](#).

\*Vance, C.P. (2001) Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition.

Plant nutrition in a world of declining renewable resources. *Plant Physiol.* **127**: [390-397](#).

Vitousek, P.M., Naylor, R., Crews, T., et al., (2009) Nutrient imbalances in agricultural development. *Science* **324**:[1519-1520](#).

\*Yuan, L., Loque, D., Kojima, S., Rauch, S., Ishiyama, K., Inoue, E., Takahashi, H., and von Wiren, N. (2007). The organization of high-affinity ammonium uptake in Arabidopsis roots depends on the spatial arrangement and biochemical properties of AMT1-type transporters. *Plant Cell* **19**: [2636-2652](#).

Welsch, R., Arango, J., Bar, C., Salazar, B., Al-Babili, S., Beltran, J., Chavarriaga, P., Ceballos, H., Tohme, J., and Beyer, P. (2010) Provitamin A accumulation in cassava (*Manihot esculenta*) roots driven by a single nucleotide polymorphism in a phytoene synthase gene. *Plant Cell*: [tpc.110.077560](#).

### Agentes patogénicos vegetais

\*Briello, D. (2009) Global wheat crop threatened by fungus: A Q&A with Han Joachim Braun. Scientific American.com. <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=global-wheat-crop-threatened-by-fungus>

\*Durable rust resistance in wheat. (2009) <http://www.wheatrust.cornell.edu/>

\*Haas, B.J., Kamoun, S., Zody, M.C., et al. (2009) Genome sequence and analysis of the Irish potato famine pathogen *Phytophthora infestans*. *Nature* **461**:[393-398](#).

\*Song, J., Bradeen, J.M., Naess, S.K., Raasch, J.A., Wielgus, S.M., Haberlach, G.T., Liu, J., Kuang, H., Austin-Phillips, S., Buell, C.R., Helgeson, J.P., Jiang, J. (2003) Gene *RB* cloned from *Solanum bulbocastanum* confers broad spectrum resistance to potato late blight. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **100**:[9128-9133](#).

\* The Why files (2001) Return of the potato blight. University of Wisconsin Board of Regents.

[http://whyfiles.org/128potato\\_blight/index.html](http://whyfiles.org/128potato_blight/index.html)

The Economist (2010) Rust in the breadbasket. July 1. 2010. <http://www.economist.com/node/16481593>

\*Stone, M. (2010) Virulent new strains of rust fungus endanger world wheat. *Microbe* **5**: [423-428](#).

### Biofortificação

Butelli, E., Titta, L., Giorgio, M., Mock, H.-P., Matros, A., Peterek, S., Schijlen, E.G.W.M., Hall, R.D., Bovy, A.G., Luo, J., Martin, C. (2008) Enrichment of tomato fruit with health-promoting anthocyanins by expression of select transcription factors. *Nat. Biotech.* **26**:[1301-1308](#).

Enserink, M. (2008) Tough lessons from golden rice. *Science* **320**:[468-471](#).

\*Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009) 1.02 billion hungry.

<http://www.fao.org/news/story/en/item/20568/icode/>

\*Golden Rice Humanitarian Board (2009) Golden rice. <http://www.goldenrice.org>

Mayer, J.E., Pfeiffer, W.H., and Beyer, P. (2008) Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. *Curr. Opin. Plant Biology* **11**:[166-170](#).

\*UNICEF (2009) The state of the world's children <http://www.unicef.org/sowc/>.

Wirth, J., Poletti, S., Aeschlimann, B., Yakandawala, N., Drosse, B., Osorio, S., Tohge, T., Fernie, A.R., Günther, D., Grisse, W., Sautter, C. (2009) Rice endosperm iron biofortification by targeted and synergistic action of nicotianamine synthase and ferritin. *Plant Biotech. J.* **7**: [631-644](#).

\*World Health Organization (WHO) (2009) Vitamin and mineral nutrition information system.

<http://www.who.int/vmnis/en/>

### Bioenergia

Carroll, A., and Somerville, C. (2009) Cellulosic Biofuels. *Annu. Rev. Plant Biol.* **60**: 165-182.

Kwok, R. (2009) Cellulosic ethanol hits roadblocks. *Nature* **461**:[582-583](#).

Mascarelli, A.L. (2009) Gold rush for algae. *Nature* **461**:[460-461](#).

Sanderson, K. (2009) Wonder weed plans fail to flourish. *Nature* **461**: [328-329](#).

Richard, T.L. (2010) Challenges in scaling up biofuels infrastructure. *Science* **329**: [793-796](#).

Sanderson, K. (2009) From plant to power. *Nature* **461**: [710-711](#).

\*Somerville, C. (2008) Development of cellulosic biofuels. Energy Bioscience Institute, U.C. Berkeley.

[www.youtube.com/watch?v=A1LnST3w4WQ](http://www.youtube.com/watch?v=A1LnST3w4WQ)

Somerville, C., Youngs, H., Taylor, C., Davis, S.C., and Long, S.P. (2010) Feedstocks for lignocellulosic biofuels. *Science* **329**: [790-792](#).

Tilman, D., Socolow, R., Foley, J.A., Hill, J., Larson, E., Lynd, L., Pacala, S., Reilly, J., Searchinger, T., Somerville, C., Williams R. (2009) Beneficial biofuels—the food, energy and environment trilemma. *Science* **325**:[270-271](#).

\***University of Illinois** (2008) Miscanthus research. [http://miscanthus.illinois.edu/wp-content/uploads/2008/Miscanthus\\_Yield/](http://miscanthus.illinois.edu/wp-content/uploads/2008/Miscanthus_Yield/)  
**Wijffels, R.H., and Barbosa, M.J.** (2010) An outlook on microalgal biofuels. *Science* **329**: [796-799](#).

#### **Produtos vegetais**

- \***Bill Nye** (1994) A world without wood. <http://www.youtube.com/watch?v=PIUw2z8mxns>
- \* **The CNAP Artemisia research project** (2009) Tackling malaria with fast track plant breeding. [www.york.ac.uk/org/cnap/artemisiaproject/](http://www.york.ac.uk/org/cnap/artemisiaproject/)
- Milhou, W.K., and Weina, P.J.** (2010) The botanical solution for malaria. *Science* **327**: [279-280](#).
- \***Graham, I.A., Besser, K., Blumer, S., Branigan, C.A., Czechowski, T., Elias, L., Guterman, I., Harvey, D., Isaac, P.G., Khan, A.M., Larson, T.R., Li, Y., Pawson, T., Penfield, T., Rae, A.M., Rathbone, D.A., Reid, S., Ross, J., Smallwood, M.F., Segura, V., Townsend, T., Vyas, D., Winzer, T., and Bowles, D.** (2010) The genetic map of *Artemisia annua* L. identifies loci affecting yield of the antimalarial drug artemisinin. *Science* **327**: [328-331](#).
- \***Ma, J. K-C., Barros, E., Bock, R., Christou, P., Dale, P.J., Dix, P.J., Fischer, R., Irwin, J., Mahoney, R., Pezzotti, M., Schillberg, S., Sparrow, P., Stoger, E., and Twyman, R.M.** (2005) Molecular farming for new drugs and vaccines. Current perspectives on the production of pharmaceuticals in transgenic plants. *EMBO Rep.* **6**: [593-599](#).
- \* **World Health Organization** (2009) Kenya–Natural plant products. <http://www.youtube.com/watch?v=6HiCuoEVwdo>
- \***Pascual, D.W.** (2007). Vaccines are for dinner. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **104**: [10757-10758](#).
- The Why File.** (2002) Plant Vaccines. University of Wisconsin Board of Regents.  
[http://whyfiles.org/166plant\\_vaccines/index.html](http://whyfiles.org/166plant_vaccines/index.html)