



Florestas



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Patrocinadores



Apoio ao Desenvolvimento Científico
e Tecnológico do Paraná

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



CGPE 6483

Tragem: sob demanda

FENOLOGIA FERRAMENTA PARA CONSERVAÇÃO, MELHORAMENTO E MANEJO DE RECURSOS VEGETAIS ARBÓREOS



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

ISBN 978-85-89281-12-6

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, CP 319

83411 000 - Colombo, PR - Brasil

Fone/Fax: (41) 3675 5600

Home page: www.cnpf.embrapa.br

E-mail: sac@cnpf.embrapa.br

Para reclamações e sugestões: www.embrapa.br/ouvidoria

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Luiz Roberto Graça

Secretária-Executivo: Elisabete Marques Oaida

Membros: Álvaro Figueredo dos Santos, Edilson Batista de Oliveira, Honorino Roque Rodigheri, Ivar Wendling, Maria Augusta Doetzer Rosot, Patrícia Póvoa de Mattos, Sandra Bos Mikich, Sérgio Ahrens

Supervisor editorial: Luiz Roberto Graça

Revisor de texto: Mauro Marcelo Berté

Normalização bibliográfica: Elizabeth Câmara Trevisan, Lidia Woronkoff

Foto da capa: Emilio Rotta

Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté

1ª edição

1ª impressão (2007): sob demanda

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

O conteúdo dos trabalhos é de responsabilidade dos autores.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP
Embrapa Florestas

Fenologia : ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos [recurso eletrônico] / editores técnicos, Gizelda Maia Rego... [et al.]. – Dados eletrônicos. Colombo : Embrapa Florestas, 2007.

CD-ROM

ISBN 978-85-89281-12-6

1. Fenologia. I. Negrelle, Raquel Rejane Bonato. II. Morellato, Leonor Patrícia Cerdeira. III. Título.

CDD 578.42 (21. ed.)

© Embrapa 2007

Fenologia
Ferramenta para Conservação, Melhoramento e Manejo de
Recursos Vegetais Arbóreos

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Fenologia
Ferramenta para Conservação, Melhoramento e Manejo de
Recursos Vegetais Arbóreos

Gizelda Maia Rego
Raquel Rejane Bonato Negrelle
Leonor Patrícia Cerdeira Morellato

Editores Técnicos

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guraituba,

83411 000 - Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675 5600

Home page: www.cnpf.embrapa.br

E-mail: sac@cnpf.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Luiz Roberto Graça

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Álvaro Figueredo dos Santos, Edilson Batista de Oliveira, Honorino Roque Rodigueri, Ivar Wendling, Maria Augusta Doetzer Rosot, Patrícia Póvoa de Mattos, Sandra Bos Mikich, Sérgio Ahrens

Supervisão editorial: Luiz Roberto Graça

Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté

Normalização bibliográfica: Elizabeth Denise Câmara Trevisan,
Lidia Woronkoff

Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté

1ª edição

1ª impressão (2007): sob demanda

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Fenologia: ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos [recurso eletrônico] / editores técnicos, Gizelda Maia Rego... [et al.]. – Dados eletrônicos. Colombo : Embrapa Florestas, 2007.

CD-ROM

ISBN 978-85-89281-12-6

1. Fenologia. I. Negrelle, Raquel Rejane Bonato. II. Morellato, Leonor Patrícia Cerdeira. III. Título.

CDD 578.42 (21. ed.)

© Embrapa 2007

Editores Técnicos

Gizelda Maia Rego

Engenheira agrônoma, doutora em Produção Vegetal,
pesquisadora da Embrapa Florestas.
gizelda@cnpf.embrapa.br

Raquel Rejane Bonato Negrelle

Bióloga, doutora em Ecologia e Recursos Naturais, professora
associada da Universidade Federal do Paraná
negrelle@ufpr.br

Leonor Patricia Cerdeira Morellato

Bióloga, doutora em Ecologia, professora titular da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, SP
pmorella@rc.unesp.br

Autores

Alexandre Magno Sebbenn

Engenheiro Florestal, pós-doutorado em Genética Florestal, pesquisador do Instituto Florestal de São Paulo, São Paulo, SP.
alexandresebbenn@yahoo.com.br

Blandina Felipe Viana

Engenheira agrônoma, Bióloga, doutora em Ecologia, professora adjunta da Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA.
blandefv@ufba.br

Ederson Augusto Zanetti

Engenheiro Florestal, mestre em Manejo Sustentável de Florestas, pesquisador da *Embrapa Florestas*, Colombo, PR
eder.zanetti@cnpf.embrapa.br

Fatima Conceição Márquez Piña-Rodrigues

Engenheira Florestal, pós-doutora em Conservação de Recursos e Ecologia Tropical, professora da Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, SP
fpina@ufscar.br

Felipe Luís

Biólogo, Faculdades Integradas Espíritas do Paraná.
wllipe@hotmail.com

Gizelda Maia Rego

Engenheira agrônoma, doutora em Produção Vegetal, pesquisadora da *Embrapa Florestas*, Colombo, PR
gizelda@cnpf.embrapa.br

Homero Bergamaschi

Engenheiro agrônomo, pós-doutorado em Agronomia, professor associado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS
homerobe@ufrgs.br

José Alfredo Sturion

Engenheiro Florestal, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da *Embrapa Florestas*.
sturion@cnpf.embrapa.br

Juliana Muller Freire

Bióloga, mestranda em Ciências Ambientais e Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Leila Cristina Mortari

Graduanda do curso de Ciências Biológicas da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP
leilamortari@gmail.com

Leonor Patricia Cerdeira Morellato

Bióloga, doutora em Ecologia, professora titular da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, SP
pmorella@rc.unesp.br

Lucia Sevegnani

Bióloga, doutora em Ecologia, professora titular da Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, SC
sevegn@furb.br

Luis Fernando Alberti

Engenheiro Florestal, doutor em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, SP
nuandii@hotmail.com

Marcelo Rubens Machado

Biólogo, doutorando em Biologia Molecular, Universidade Estadual de Campinas, SP.
marcelomch@uol.com.br

Márcia Cristina Mendes Marques

Bióloga, doutora em Biologia Vegetal, professora adjunta da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR
mmarques@ufpr.br

Márcia Motta Maués

Bióloga, doutora em Ecologia, pesquisadora da *Embrapa Amazônia Oriental*, Belém, PA
marcia@cpatu.embrapa.br

Marcos Silveira Buckeridge

Biólogo, pós-doutorado em Ciências Biológicas, professor da Universidade de São Paulo, SP
msbuck@usp.br

Marguerite Germaine Ghislaine Quoirin

Engenheira agrônoma, pós-doutorado em Genética, professora adjunta da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR
mquoirin@ufpr.br

Maria Christina de Almeida

Bióloga, doutora em Ciências Biológicas - Entomologia, professora adjunta da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR
chrisalm@ufpr.br

Milton Kanashiro

Engenheiro Florestal, doutor em Genética Vegetal, pesquisador da *Embrapa Amazônia Oriental*, Belém, PA
milton@cpatu.embrapa.br

Osmir José Lavoranti

Estatístico, doutor em Agronomia, pesquisador da *Embrapa Florestas*, Colombo, PR
osmir@cnpf.embrapa.br

Patrícia Póvoa de Mattos

Engenheira agrônoma, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da *Embrapa Florestas*, Colombo, PR
povoa@cnpf.embrapa.br

Paulo Cesar Botosso

Engenheiro Florestal, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da *Embrapa Florestas*, Colombo, PR
botosso@cnpf.embrapa.br

Paulo Eugênio Alves Macedo de Oliveira

Biólogo, doutor em Biologia Vegetal, professor da Universidade Federal de Uberlândia, MG.
poliveira@ufu.br

Sebastião Laroca

Graduação em História Natural, doutor em Entomologia, professor Sênior da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR
slaroca@netpar.com.br

Silvana Buzato

Bióloga, doutorado em Biologia Vegetal, professora da Universidade de São Paulo, SP
sbuzato@usp.br

Simone Neumann Wendt

Engenheira agrônoma, doutora em Processos Biotecnológicos.
snwendt@hotmail.com

Suzana Maria de Salis

Bióloga, doutora em Biologia Vegetal, pesquisadora da *Embrapa Pantanal*, Corumbá, MS
smsalis@cpap.embrapa.br

Valderês Aparecida de Sousa

Engenheira Florestal, doutora em Ciências Florestais, pesquisadora da *Embrapa Florestas*, Colombo, PR.
valderes@cnpf.embrapa.br

Valesca Bononi Zipparro

Graduação em Ecologia, doutora em Biologia Vegetal, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, SP
zipparro@rc.unesp.br

Agradecimentos

Os editores técnicos deste livro agradecem:

Às Instituições: *Embrapa Florestas*, Laboratório OIKOS (Departamento de Botânica da UFPR) e UNESP/Rio Claro (Departamento de Botânica);

A todos os colaboradores (autores), no envio dos capítulos e resumos;

À Elisabete Oaida, do Comitê de Publicações da *Embrapa Florestas* pelos prestimosos trabalhos de organização das informações (capítulos e resumos);

Ao Mauro Marcelo Berté, do Comitê de Publicações da *Embrapa Florestas*, pela revisão gramatical e editoração de todo conteúdo do livro;

À Lidia Woronkoff e Elizabeth Trevisan, bibliotecárias da *Embrapa Florestas*, pela revisão bibliográfica;

Aos revisores internos e externos, pela colaboração como um todo, com valiosas sugestões.

Apresentação

O livro *Fenologia - Ferramenta para a conservação e manejo de espécies vegetais arbóreas* é uma obra dirigida a estudantes, professores, pesquisadores e profissionais que se interessam pelo estudo de espécies nativas brasileiras. O estudo da fenologia de espécies arbóreas é uma tarefa complexa que exige uma cooperação estreita entre especialistas em ciências florestais, agronomia, biologia, climatologia, ecologia, geografia e sensoriamento remoto, entre outras áreas.

Este livro é uma síntese dos conhecimentos fenológicos, fruto do trabalho de uma equipe multidisciplinar constituída de pesquisadores/professores/estudantes, de várias universidades e instituições de pesquisa brasileiras. Reúne informações na área de fenologia de espécies arbóreas, relacionadas a mudanças climáticas, polinização, polinizadores, interação plantas-animais e biodiversidade, procurando despertar a sociedade científica para a importância do tema, que está intrinsecamente relacionada à conservação e manejo das florestas, ou seja, uma ciência integradora ambiental.

Este livro foi elaborado a partir de esforços conjuntos da *Embrapa Florestas*, Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Universidade Estadual Paulista (UNESP / Rio Claro), para colocar à disposição da sociedade científica informações sobre os ciclos das plantas nas condições e influências do seu local de crescimento e desenvolvimento.

Sérgio Gaiad
Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Florestas

Prefácio

A história deste livro começou a ser escrita no ano de 2006, por ocasião do planejamento do “I Workshop: Fenologia como ferramenta para conservação e Manejo de espécies vegetais arbóreas”, a ser realizado em Curitiba, PR, quando os autores técnicos resolveram reunir informações sobre os estudos na área de fenologia e afins. Esta iniciativa, pioneira em muitos aspectos, contribuirá para destacar a importância dos estudos fenológicos no contexto da conservação das espécies arbóreas nativas que compõem as florestas brasileiras. O conhecimento das mudanças sazonais ocorrentes nas plantas tem sido considerado essencial para a compreensão da dinâmica e evolução dos ecossistemas florestais.

A fenologia estuda a ocorrência de eventos biológicos repetitivos e sua relação com mudanças no ambiente biótico e abiótico. O registro sistemático da variação das características fenológicas reúne informações sobre o estabelecimento e dinâmica das comunidades florestais, como: período de crescimento vegetativo, período reprodutivo (floração e frutificação), regeneração natural

da floresta, alocação de recursos para polinizadores e dispersores e uma melhor compreensão das cadeias alimentares disponíveis para a fauna.

A equipe multidisciplinar que escreveu os capítulos e resumos deste livro, composta por professores, pesquisadores e estudantes de diversas Universidades e Instituições de Pesquisa do País, representa várias tendências do conhecimento científico. Os vinte capítulos que compõem a obra estão inseridos em três grandes temas: Importância do monitoramento fenológico das espécies arbóreas; O clima como agente modificador dos ciclos fenológicos das espécies arbóreas e Fenologia reprodutiva de arbóreas: polinizadores e sucesso reprodutivo. Estes temas abordam as consequências biológicas, econômicas, e sociais relacionadas com as mudanças climáticas globais observadas e previstas. Assim, a multiplicidade destes enfoques possibilita que a comunidade científica tenha uma visão ampla da área de fenologia, incentivando uma integração de estudos nesta área em todo Brasil.

Este livro traz em seu conteúdo muito da história de trabalhos relacionados com a fenologia, executados em diversos ecossistemas do Brasil, nos últimos anos. Certamente esta obra será uma referência importante para todos os que se preocupam com os estudos sobre fenologia e sua relação com a conservação das espécies arbóreas dos ecossistemas brasileiros.

Editores Técnicos

Sumário

SEÇÃO I. ESTUDOS FENOLÓGICOS EM ESPÉCIES ARBÓREAS

Capítulo 1. A herbivoria como limitador do desenvolvimento e sobrevivência das plantas na florestal.....25

Lucia Sevegnoni

Capítulo 2. A pesquisa em fenologia na América do Sul, com ênfase no Brasil, e suas perspectivas atuais.....37

Leonor Patrícia Cerdeira Morellato

Capítulo 3. Fenologia como instrumento no acompanhamento da periodicidade e formação de anéis de crescimento no tronco de espécies arbóreas.....49

Paulo Cesar Botosso

Capítulo 4. Fenologia e a produção de sementes florestais.....79

Fátima Conceição Marquez Piña-Rodrigues

Juliana Muller Freire

Capítulo 5. Fenologia no limite sul da região tropical: padrões e algumas interpretações.....101

Márcia C. M. Marques

Capítulo 6. Fenologia reprodutiva de espécies arbóreas em floresta atlântica: um estudo de longa duração.....113

Valesca Bononi Zipparro

Capítulo 7. Influência de bordas na fenologia de espécies vegetais127

Luis Fernando Alberti

Capítulo 8. Monitoramento estatístico uni e multivariado de fenologia florestal.....137

Osmir José Lavoranti

Capítulo 9. Sazonalidade de crescimento e aspectos fenológicos de espécies arbóreas tropicais e seu potencial dendrocronológico155

Patrícia Póvoa de Mattos

Suzana Maria de Salis

Capítulo 10. Atividades Fenológicas de Imbuia (*Ocotea porosa* (NEES ET MARTIUS ex NESS) em Áreas de Floresta Ombrófila Mista, no Estado do Paraná.....181

Gizelda Maia Rego

Osmir José Lavoranti

SEÇÃO II. O CLIMA COMO AGENTE MODIFICADOR DOS CICLOS FENOLÓGICOS DAS ESPÉCIES ARBÓREAS

Capítulo 11. Fenologia e suas aplicações no estudo e monitoramento de mudanças climáticas.....203

Leonor Patrícia Cerdeira Morellato

Capítulo 12. Respostas fisiológicas de plantas às mudanças climáticas: alterações no balanço de carbono nas plantas podem afetar o ecossistema?.....213

Marcos Silveira Buckeridge

Leila Cristina Mortari

Marcelo R. Machado

Capítulo 13. Monitoramento das mudanças climáticas em espécies arbóreas de unidades de conservação.....231

Ederson Augusto Zanetti

SEÇÃO III. FENOLOGIA REPRODUTIVA: POLINIZADORES, SUCESSO REPRODUTIVO E DISPERSORES

Capítulo 14. A quantificação de recursos florais e sua aplicação aos estudos de interação planta-polinizador.....253

Silvana Buzato

Capítulo 15. Associação de abelhas silvestres com comprações espaço-temporais: abundância relativa, fenologia e exploração de recursos.....265

Maria Christina de Almeida

Sebastião Laroca

Capítulo 16. O clima como fator determinante da fenologia das plantas.....291

Homero Bergamaschi

Capítulo 17. Fenologia e biologia reprodutiva de cinco espécies arbóreas na floresta nacional do Tapajós, Santarém- PA, Distrito Florestal BR 163.....311

Márcia Motta Maués

Paulo Eugênio A. M. de Oliveira

Milton Kanashiro

Capítulo 18. Fenologia e biologia reprodutiva de plantas.....327

Paulo Eugênio Oliveira

Capítulo 19. Polinização e conservação: sugestões de diretrizes para gestão de paisagens alteradas.....335

Blandina Felipe Viana

**Capítulo 20. Polinização efetiva em pomar de Ilex paraguariensis
St. Hil.345**

Simone Neumann Wendt

Valderês Aparecida de Sousa

Alexandre Magno Sebbenn

José Alfredo Sturion

Felipe Luís

Marguerite Quoirin

SEÇÃO IV. RESUMOS SIMPLES E EXPANDIDOS.....363



Seção II

**O Clima como
Agente Modificador
dos Ciclos
Fenológicos das
Espécies Arbóreas**



Foto: Letícia Perno de Sousa



CAPÍTULO 12

Respostas fisiológicas de plantas às mudanças climáticas: alterações no balanço de carbono nas plantas podem afetar o ecossistema?

Marcos Silveira Buckeridge

Leila Cristina Mortari

Marcelo R. Machado

Apresentação

Este capítulo apresenta primeiramente uma revisão sobre a origem e os efeitos das mudanças climáticas globais de forma geral. Em seguida são discutidos os efeitos destas sobre as plantas e, posteriormente, o foco é dado para algumas espécies de árvores brasileiras. Para uma análise mais profunda sobre estas, são revisados os dados obtidos com jatobá em concentração elevada de CO₂, como aumento na fotossíntese e biomassa e alterações no metabolismo. Os resultados obtidos com jatobá são comparados com os de outros estudos, também de nosso grupo, realizados com espécies de árvores tropicais da família Leguminosae adaptadas a diferentes estágios da sucessão ecológica. Os dados obtidos até o momento sugerem que a taxa de seqüestro de carbono seja significativamente maior se o processo for usado com várias espécies em conjunto. Estes dados são discutidos à luz da teoria de redes com o argumento de que o aumento de biomassa, observado em geral para as espécies, pode gerar alterações nas redes ecológicas. É também discutido que mecanismos de sinalização metabólica relacionados ao maior fluxo de carbono nas plantas poderiam gerar efeitos como diminuição da longevidade. Em conjunto, os dados apresentados permitem especular que mudanças fisiológicas induzidas por alto CO₂ em espécies arbóreas tropicais têm o potencial de afetar as interações aos níveis de ecossistemas e comunidades.

As mudanças climáticas globais

Atualmente, identifica-se nas mudanças climáticas globais uma das maiores preocupações em nível mundial. A queima de combustíveis fósseis e a mudança de uso ou cobertura do solo, associadas ao crescimento populacional, vêm contribuindo para a intensificação do efeito estufa de forma inesperada e indesejada, colocando em risco a biodiversidade do planeta e a própria humanidade.

Acredita-se que o aumento da concentração atmosférica de alguns gases de efeito estufa (GEE), como dióxido de carbono (CO_2), metano, óxido nitroso entre outros, devido a ações antropogênicas, está diretamente relacionado aos aumentos de médias de temperatura em diversas regiões da Terra (GITAY et al., 2002). Foi sugerido, já em 1985, que alterações climáticas estariam ocorrendo, tanto em nível regional como global, causando secas e enchentes, com prejuízo ainda imprevisível (PETERS; DARLING, 1985). Alguns estudos prevêem que a temperatura média da atmosfera terrestre aumentará de 1,8 °C a 4 °C neste século (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007), ocasionando derretimento de parte do gelo das calotas polares, elevando o nível dos mares e trazendo sérios prejuízos para a humanidade e para os ecossistemas terrestres, principalmente nas zonas litorâneas. Além disso, aumentos na temperatura média global causarão, com alta probabilidade, alterações na umidade atmosférica e nos regimes de precipitação devido a um regime hidrológico mais ativo, a mudanças na circulação atmosférica e oceânica e ao aumento na capacidade de retenção de vapor de água do ar.

Com o aquecimento médio da Terra, é provável que várias espécies animais e vegetais tenham que migrar para maiores latitudes e/ou altitudes em busca de temperaturas mais próximas da sua condição natural. Contudo, algumas não conseguirão devido à rapidez das mudanças climáticas (sobretudo as árvores, com sua lenta marcha de migração), à escassez de espaços naturais ou à falta de conexão entre as áreas. Atualmente, as áreas naturais estão, na sua maior parte, fragmentadas e isoladas

umas das outras, sendo invadidas por espécies exóticas e circundadas por uma matriz composta por estradas, cidades, agropecuária e indústrias, que dificultam o fluxo gênico e de indivíduos, necessários à manutenção das populações (GODOY, 2007). O desmatamento e a fragmentação em florestas também podem acelerar as mudanças climáticas, tanto localmente, modificando o microclima, quanto regionalmente, aumentando o aquecimento da superfície e até mesmo diminuindo os níveis de precipitação (MALHI; PHILLIPS, 2004).

O CO₂ é o gás que mais contribui para o agravamento do efeito estufa, e está presente na atmosfera em concentrações bem maiores do que outros GEE, consequência principalmente da queima de combustíveis fósseis. Desde o início da Revolução Industrial, a concentração de CO₂ vem aumentando - cerca de 280 ppm (partes por milhão) na era pré-industrial, acima de 368 ppm em 2000 (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2001), e mais de 380 ppm atualmente; prevê-se, ainda, que neste século se atinja o dobro da concentração atual (ALCAMO et al., 1996).

Como resultado do reconhecimento de que o aquecimento global é um problema do presente e não apenas do futuro, foi realizada a Convenção das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas (United Nations Framework Convention on Climate Change), quando o Protocolo de Kyoto foi elaborado com o intuito de reduzir a emissão de GEE nos países industrializados que ratificaram o acordo (países do Anexo 1 do Protocolo). O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo- (MDL) foi criado como parte do Protocolo, permitindo aos países industrializados o investimento em projetos que evitem aumentos na emissão de GEE nos países em desenvolvimento, que não possuem metas no Protocolo, de tal forma que estes atinjam o desenvolvimento sustentável (CONVENÇÃO ..., 2006). Em troca do investimento, o país em questão receberia "créditos-carbono", que contariam para o cumprimento de suas metas.

Ultimamente tem-se reconhecido o alto valor econômico da manutenção de ecossistemas florestais, em contraste com os

benefícios do uso da terra para outros fins (PRANCE, 2002). Mais importante que o benefício econômico é o fato de que a exploração de um ecossistema de forma sustentável contribui para a manutenção da biodiversidade e do modo de vida e cultura de populações locais. O Brasil, um dos países idealizadores do MDL, já vinha estimulando o desenvolvimento de projetos que envolvessem a recuperação de áreas degradadas, a criação de corredores ecológicos e a exploração sustentável de recursos, entre outros. Por ainda possuir áreas de imensa biodiversidade, como a floresta Amazônica, com recursos exploráveis ainda pouco conhecidos, o Brasil tem atraído a atenção de muitos países interessados em incentivar ações ambientalmente corretas, ansiosos por cumprir suas metas em relação às emissões de CO₂ na atmosfera.

Uma das formas de manejo da concentração atmosférica de CO₂ é a redução da utilização de combustíveis fósseis, responsáveis por aproximadamente 75 % das emissões e considerados o "coração" do desenvolvimento econômico. Porém, esse é um processo que demanda mudanças radicais na economia, e políticas ambientais nesse sentido têm encontrado muita resistência. Outra alternativa é o seqüestro de carbono, ou seja, a captura e estocagem do CO₂ presente na atmosfera. Os ecossistemas terrestres são essencialmente filtros biológicos naturais de CO₂, estimando-se que retirem cerca de 2 bilhões de toneladas de carbono da atmosfera por ano.

Por responder à magnitude das reduções necessárias para a estabilização da atmosfera, o seqüestro de carbono tornou-se uma ferramenta essencial para o manejo do CO₂ proveniente do uso de combustíveis fósseis. Duas abordagens básicas podem ser reconhecidas com relação ao seqüestro de carbono: (1) a proteção, manutenção e incremento dos ecossistemas que acumulam carbono; e (2) a manipulação desses ecossistemas a fim de elevar o seqüestro de carbono além das condições atuais. Pode-se elevar o seqüestro de carbono através do acúmulo em matéria viva vegetal, em carbono do solo (orgânico e inorgânico) e em materiais não vivos que contêm madeira, bem como pelo processamento de madeira em produtos de longa vida.

A fotossíntese como mecanismo para seqüestrar carbono

O principal mecanismo de seqüestro de carbono, e de longe o mais eficiente, é a fotossíntese (BUCKERIDGE; AIDAR, 2002). Ainda que a eficiência de transformação de energia solar em biomassa através da fotossíntese seja de cerca de 6 % (MIYAMOTO, 1997), este constitui um dos mecanismos mais eficientes de produção de energia no planeta. Neste contexto, estudos sobre a fotossíntese e conseqüente biossíntese e degradação de carboidratos podem ser considerados como elementos-chave para o desenvolvimento de sistemas de seqüestro de carbono mais eficientes.

O processo de fixação de carbono na fotossíntese se dá através da carboxilação da ribulose-1,5-bifosfato (RuBP, açúcar de 5 carbonos) pela enzima ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco). Competitivamente, a Rubisco catalisa também a oxigenação da RuBP, etapa inicial da fotorrespiração. Apesar da Rubisco ter maior afinidade pelo CO₂ do que pelo O₂, este último ocorre em concentração cerca de 550 vezes maior que o primeiro, fazendo com que a competição entre os dois substratos gasosos pela enzima seja um dos fatores determinantes da eficiência da fotossíntese nas atuais concentrações de CO₂ atmosférico (GRIFFIN; SEEMANN, 1996). O armazenamento do carbono assimilado na fotossíntese ocorre através da síntese de carboidratos, compostos produzidos em grande quantidade pelas plantas e que possuem altas proporções de carbono.

As plantas apresentam reservas de carboidratos intracelulares (sacarose, compostos da série rafínósica e frutanos nos vacúolos e amido em amiloplastos do citoplasma) e extracelulares (polissacarídeos de parede celular), sendo este último o local onde ocorre a maior proporção de armazenamento. A molécula mais eficiente para compactação do carbono é a celulose, um polímero altamente condensado e de longa duração devido à dificuldade que microorganismos têm em degradá-la. Esses fatos contribuem para tornar a parede celular vegetal uma das reservas mais abundantes de carbono orgânico na natureza (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O efeito do aumento da concentração atmosférica de CO₂ nas plantas é devido a três processos principais: a modulação da atividade da Rubisco; a sensibilidade das células-guarda dos estômatos aos níveis de CO₂; e a modulação da respiração mitocondrial (SAGE, 2002). Uma maior proporção de CO₂ na atmosfera tem o potencial de aumentar a atividade fotossintética e diminuir a fotorrespiração pela diminuição da atividade de oxigenase da Rubisco. Outros efeitos esperados são a redução da condutância estomática, o aumento da eficiência de uso da água (relação entre as quantidades de CO₂ assimilado e de H₂O perdida) e da proporção C/N (carbono/nitrogênio), e a diminuição da respiração no escuro. A consequência desses efeitos pode ser um aumento na taxa de crescimento, o que pode não ocorrer caso a planta apresente aclimatação fotossintética. Porém, mesmo em casos de aclimatação, a taxa de fotossíntese em elevadas concentrações de CO₂ ainda é maior do que nas condições normais (AIDAR et al., 2002).

Recentemente nosso grupo concluiu quatro teses que fazem parte de um programa de pesquisas em respostas de plantas nativas e cultivadas no Brasil às mudanças climáticas globais (COSTA, 2004; GODOY, 2007; SOUZA, 2007; MARABESI, 2007).

Os estudos que nortearam as teses mencionadas foram iniciados com descobertas sobre o jatobá, publicadas em Aidar et al. (2002). Foi visto que a fotossíntese aumentou significativamente em atmosfera de CO₂ elevado (720 ppm). O trabalho foi realizado com plântulas e verificou-se que a presença de mobilização de reservas diminui o efeito do aumento no CO₂. Posteriormente, vários experimentos similares foram realizados e observou-se que, além de aumentar a fotossíntese, há também um grande aumento nos teores de sacarose, amido e celulose nas folhas e caules do jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril*). Comparações com o jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa*) mostraram que as folhas aumentam ainda mais os teores de amido em relação às de jatobá-da-mata. A espécie do cerrado em alto CO₂ apresentou cloroplastos duas vezes maiores e grânulos de amido 12,6 vezes maiores do que em CO₂ normal, enquanto que

na espécie da mata estes valores foram 5,2 e 1,5, respectivamente (em fase de elaboração¹ – ver Figura 2 para fotos típicas).

Os estômatos constituem outra importante observação: as plantas que cresceram em CO₂ elevado apresentaram uma diminuição significativa no índice estomático (proporção de estômatos em relação ao número de células epidérmicas). Com base nesses resultados, procuramos investigar folhas de espécies de herbário cuja coleta foi feita no início do século XX. Os resultados indicaram que folhas de 1919 e 1959 apresentam o dobro do índice estomático em comparação com as folhas de plantas crescidas em atmosfera atual e incubadas em alto CO₂ (COSTA, 2004). Estes resultados mostraram um sinal de aclimatação da planta, que vem diminuindo sua capacidade total de entrada de CO₂ nas folhas ao longo de um período em que a concentração atmosférica de CO₂ aumentou de 280 ppm para 380 ppm.

Como a diminuição do índice estomático ocorreu concomitantemente com um aumento no fluxo de carbono, é provável que os dois fenômenos estejam relacionados. A Figura 1 mostra as principais vias afetadas pelo CO₂ elevado em plantas. Ao entrar pelos estômatos, o carbono é fixado em sacarose no citoplasma celular ou amido nos cloroplastos. A sacarose pode ser transportada para tecidos dreno, os quais irão utilizar os açúcares para diversos fins, como processos respiratórios ligados à manutenção da planta, produção de compostos secundários responsáveis pelos sistemas de defesa e sinalização internos (hormônios) na planta, além da síntese de compostos da parede celular (pectinas, hemicelulose e celulose) que irão compor os novos tecidos em desenvolvimento.

¹ MACHADO, M. R. **Estudo bioquímico e da estrutura foliar de plântulas do jatobá da mata (*Hymenaea courbaril* L.) e do cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.) expostas à concentração elevada de CO₂.** [2008]. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Biologia Celular e Estrutural da UNICAMP, Campinas. Defesa prevista para 2008.

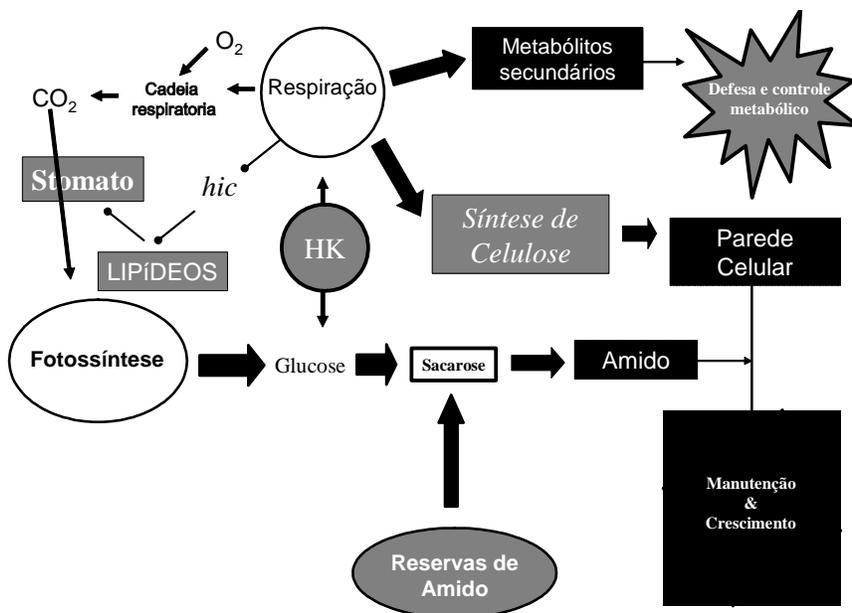


Figura 1. Principais passos do metabolismo vegetal levando ao seqüestro de carbono. HK (hexoquinase), uma das principais enzimas do metabolismo de carboidratos que, além de fosforilar o açúcar e produzir o substrato principal para o metabolismo energético, também é capaz de sinalizar para a célula a intensidade do fluxo de carbono. O gene *hic* parece estar associado à biossíntese de lipídeos de cadeia longa que determinam quais as células da epiderme se transformarão em estômatos durante a expansão foliar.

Acredita-se que o mecanismo responsável pela sinalização de fluxo de carbono nas plantas seja a hexoquinase (HK) (STITT, 1990). Quando o fluxo de açúcares é muito alto, a HK sinaliza para a redução da transcrição de genes, entre os quais os relacionados à fotossíntese. Hipoteticamente, entre os genes relacionados ao desenvolvimento de estômatos está um gene chamado *hic* (high input of carbon; GRAY et al., 2000), presente nas células-guarda e que controla o tamanho das cadeias lipídicas depositadas na superfície foliar. Segundo Lake et al. (2001), o gene *hic* está diretamente relacionado à definição da formação de estômatos durante o desenvolvimento das folhas. Os experimentos acima descritos já foram repetidos e o índice estomático em jatobá-da-mata e jatobá-do-cerrado foi novamente avaliado, e as tendências foram confirmadas.

Uma outra descoberta importante foi a de que o teor de amido das folhas dos jatobás está aumentando significativamente (COSTA, 2004). Isto, além de confirmar a hipótese de que o fluxo de carbono é maior quando a planta cresce em CO₂ elevado, também pode ter efeitos negativos sobre a planta, como o “sombreamento” dos cloroplastos causado pela grande quantidade de amido. Outra questão importante está no fato dos cloroplastos serem submetidos à pressão por grânulos bastante grandes, gerando, hipoteticamente, gastos energéticos e até morte celular. A Figura 2 mostra uma comparação da ultra-estrutura de células das paliçadas de folhas de *Hymenaea courbaril* que cresceram em 370 ppm e 720 ppm de CO₂ atmosférico, respectivamente.

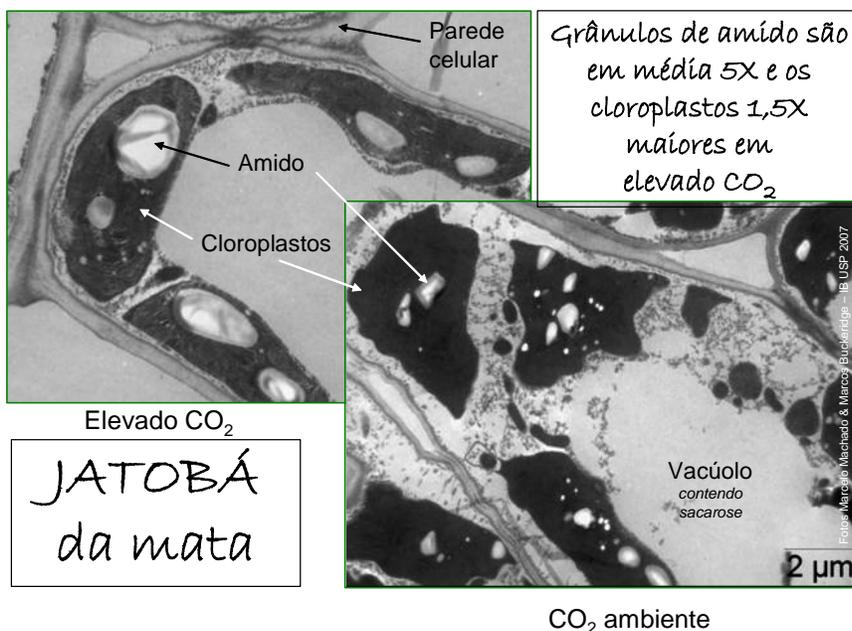


Figura 2. Fotomicrografias eletrônicas obtidas a partir de seções transversais de folhas de *Hymenaea courbaril*. Os cortes foram feitos a partir de folíolos totalmente expandidos.

Em conjunto, os resultados que mostram o efeito da mobilização de reservas como atenuador da resposta ao CO₂ elevado, e a redução na capacidade de assimilação por diminuição do índice estomático das folhas, denotam a existência de mecanismos fisiológicos relacionados à diminuição das respostas ao aumento de CO₂ atmosférico. É possível, portanto, que estes já sejam sintomas de aclimatação fisiológica das plantas às mudanças climáticas.

Nesse contexto, pode-se supor que alterações nas respostas sazonais dos jatobás ocorram de forma diferente conforme a capacidade de armazenar carbono nas plantas nas estações favoráveis. Em plantas de cerrado, que sofrem severa restrição hídrica durante o inverno, observamos que ocorre maior acúmulo de reservas para uso na estação favorável, especialmente em alto CO₂. Neste caso é possível que os efeitos do aumento de CO₂ sejam menores do que em espécies ou variedades de jatobá crescendo em regiões onde as condições sejam mais estáveis.

Uma consequência disso é a possibilidade de que, em situações com menores variações sazonais de condições climáticas, a taxa de seqüestro de carbono seja significativamente maior do que em condições como o cerrado ou a caatinga (onde há espécies de jatobás), em que as plantas acumulam mais reservas e, portanto, reciclam carbono com maior eficiência, pois o mantém acumulado em uma forma compactada que nas plantas acredita-se ser, preferencialmente, amido.

O CO₂ e o processo de formação da floresta

Em duas outras teses (GODOY, 2007; MARABESI, 2007) e também com a obtenção de resultados recentes ainda não publicados, foram obtidos dados sobre os padrões ecofisiológicos de respostas de cinco espécies de árvores brasileiras: *Senna alata* (mata pasto), *Sesbania virgata* (feijão-do-mato), *Schyzolobium parahyba* (guapuruvú) *Piptadenia gonoacantha* (pau-jacaré) e *Dalbergia nigra* (jacarandá-da-bahia), estudadas pela primeira vez sob este enfoque. O objetivo central foi o de compreender como o CO₂ poderá influenciar no estabelecimento das plântulas dessas espécies, escolhidas por serem de estágios distintos na sucessão

ecológica. De maneira geral, o que concluímos até agora é que as espécies pioneiras *S. alata* e *S. virgata*, que iniciam a formação da floresta no processo de sucessão ecológica, crescem e seqüestram grandes quantidades de carbono rapidamente, enquanto as espécies de crescimento mais lento seqüestram menos carbono no mesmo período, porém vivem mais. Como as espécies que iniciam o processo (mata pasto e feijão-do-mato) vivem entre 5 e 10 anos, as intermediárias (guapuruvú e pau-jacaré) entre 25 a 30 anos, e as finais (jacarandá-da-bahia e o jatobá) mais de 100 anos, uma consequência das nossas descobertas é que uma floresta tropical em regeneração provavelmente seqüestra carbono continuamente por um longo período (Figura 3).

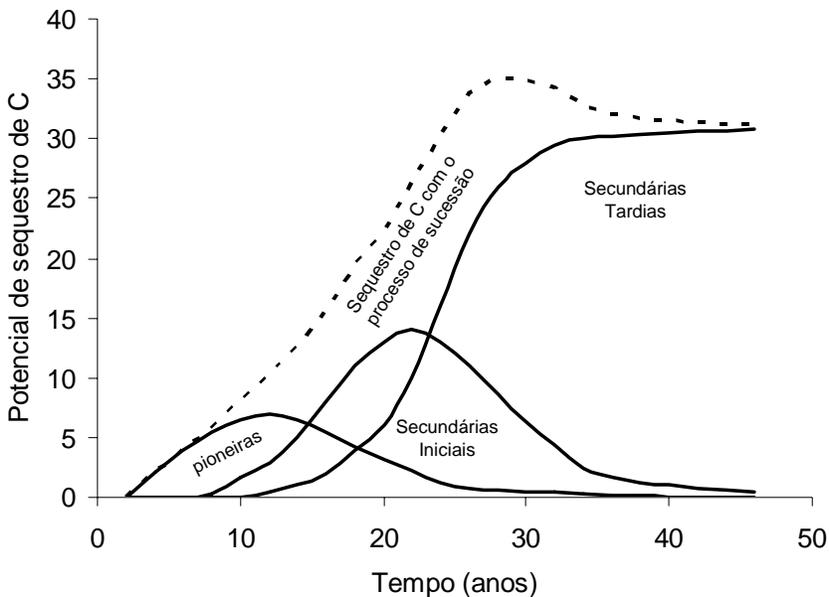


Figura 3. Padrão quantitativo hipotético de seqüestro de carbono por espécies de leguminosas pioneiras, secundárias iniciais e tardias. Neste modelo, considerou-se que a longevidade média das pioneiras seria de aproximadamente 10 anos, das secundárias iniciais de aproximadamente 20 anos, enquanto as secundárias tardias apresentariam maior acúmulo de carbono e por um tempo maior do que 40 anos. A linha tracejada é a soma das taxas de seqüestro de cada grupo funcional. O intuito é mostrar que, teoricamente, o conjunto de plantas crescendo seqüestra significativamente mais carbono do que em modelos onde se usam somente as espécies secundárias tardias que apresentam maior densidade da madeira.

Além disso, os dados obtidos permitiram ainda calcular o desempenho fisiológico em alto gás carbônico de forma comparada, e os resultados sugerem que as espécies intermediárias, principalmente o pau-jacaré, têm um desempenho fisiológico melhor em relação às demais espécies. Estes resultados indicam que o seqüestro de carbono é maior e mais consistente quando se executa o processo de sucessão em contraposição ao plantio de uma única espécie (Figura 3).

Dados sobre o desempenho fisiológico das espécies da Mata Atlântica pertencentes a diferentes estágios sucessionais (GODOY, 2007) sugerem que o aumento na concentração de CO₂ atmosférico tem o potencial de afetar o processo de sucessão ecológica através da melhora relativa do desempenho fisiológico de algumas espécies (as do estágio intermediário) em relação às demais (as iniciais e secundárias tardias).

Impacto do aumento de CO₂ para o tamanho dos organismos e nas redes de interações ecológicas.

Atualmente acredita-se que a regulação do tamanho não seja efetuada somente pelo genoma, mas pela interação entre este e o ambiente. Do ponto de vista do funcionamento do genoma, o controle de tamanho e forma dos organismos vivos é feito por uma classe de genes chamada de homeóticos. Esta é uma classe de genes “administrativos” que de algum modo informa quais devem ser os padrões de divisão celular e expansão de cada uma das células em um tecido ou órgão (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A determinação do tamanho parece estar diretamente relacionada com o fluxo de energia que passa através de um organismo durante o desenvolvimento, e isto parece determinar também a longevidade. Ao se desenvolver, cada órgão irá crescer primeiro lentamente, acelerará o crescimento entrando numa fase exponencial e depois diminuirá drasticamente sua velocidade. O comprimento da fase de aumento exponencial está relacionado com o fluxo de energia, o que faz com que a produção de açúcares e aminoácidos em um organismo aumente consideravelmente, e uma via de sinalização informe às células para interromperem o

processo de divisão e/ou de expansão (Figura 4). Isto leva a um período chamado de Intervalo de Cessação do Crescimento (ICC) (EDGAR, 2006). Como consequência, quando o fluxo de energia em um organismo é muito maior do que o programa de sinalização que o ICC pode suportar, a única solução é “crescer para os lados”, ou seja, armazenar o excesso de carbono e nitrogênio em algum lugar, pois não há como usar para crescer normalmente. No caso dos animais, em geral isso gera obesidade, com acúmulo de gorduras, enquanto que nas plantas o armazenamento ocorre na forma de amido e celulose.

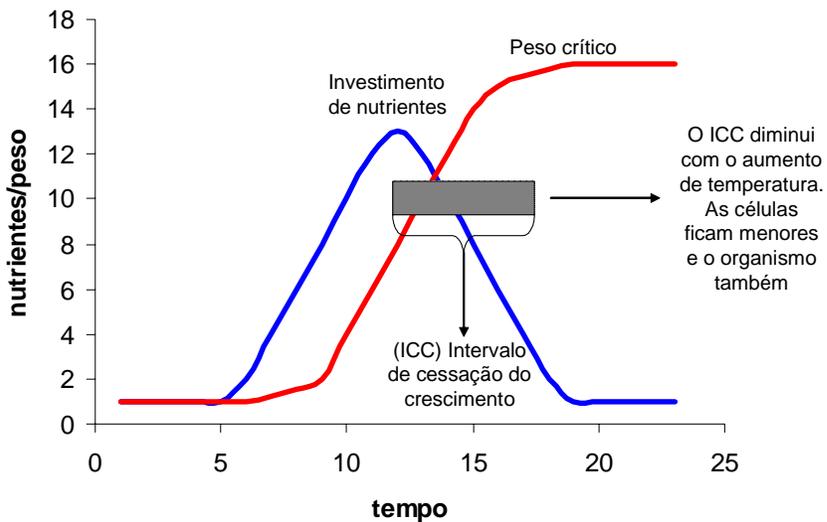


Figura 4. Relação entre o investimento em nutrientes (azul) e o aumento de biomassa (vermelho). O intervalo de cessação do crescimento (ICC) ocorre a partir do pico de investimento de nutrientes e determina o peso crítico, ou o máximo de biomassa que um organismo irá atingir. Genes do metabolismo de carboidratos estão relacionados ao peso crítico. Em maiores temperaturas, aumenta a taxa de divisão celular e as células ficam menores, diminuindo também o tamanho do organismo. Adaptado de Edgar (2006).

Edgar (2006) mostra em seu trabalho uma foto com insetos que foram subalimentados ao longo da vida, e que são menores devido ao tamanho menor de suas células. Contudo que a subalimentação não comprometa o estado nutricional do organismo, os subalimentados irão viver por mais tempo (ver <http://www.accessexcellence.org/WN/SUA11/worm897.html>). Edgar (2006) propõe ainda que a temperatura possa afetar o ICC levando a uma diminuição no tamanho dos organismos por diminuir o tamanho das células.

Como isso pode ser interpretado no âmbito dos efeitos das mudanças climáticas globais sobre os organismos vivos?

Como mencionado acima, o aumento na concentração de gás carbônico vem fazendo com que as plantas façam mais fotossíntese e acumulem mais carbono. Com isso elas deveriam aumentar em tamanho. No entanto, se admitirmos que o aumento na temperatura contrabalance o efeito do CO₂, pois induziria a uma diminuição de tamanho, não veríamos efeitos muito aparentes das mudanças climáticas sobre plantas devido a este equilíbrio. Mas há um problema: o fluxo de carbono tem sido maior nas plantas desde o aumento de CO₂ atmosférico iniciado com a revolução industrial. Além disso, a maioria dos experimentos e observações indica que os efeitos do CO₂ e da temperatura são aditivos e afetarão os ecossistemas através de uma pressão de fluxo de carbono, mesmo com as limitações impostas pela disponibilidade de outros componentes como nitrogênio e fósforo. Como conseqüência, espera-se um aumento geral de biomassa, mas o reflexo seria maior no acúmulo de amido e não tanto no tamanho das plantas. Acima mostramos que este é o caso do jatobá que, apesar de apresentar um grande aumento no conteúdo de amido nas folhas, não demonstrou diferenças proporcionais no tamanho ao final do experimento.

Do ponto de vista ecológico, um aumento de amido leva à maior disponibilidade de carboidratos para os predadores que, por sua vez, obtêm um maior fluxo de energia em seus organismos. Como resultado, devido ao aumento de CO₂ previsto com as mudanças climáticas globais, é possível que as teias alimentares

estejam trabalhando com um fluxo energético significativamente maior do que era encontrado antes da Revolução Industrial.

Se a hipótese de que o maior fluxo energético conduz a uma diminuição da longevidade for estendida à maioria dos organismos vivos, poderíamos propor que a longevidade potencial venha diminuindo ao longo do período de emissões de CO₂ por combustíveis fósseis que o homem vem promovendo no planeta. Como consequência, as atividades humanas teriam como principal resultado uma aceleração dos processos ecológicos, aumentando o fluxo de energia através dos ecossistemas. Com isso, uma diminuição geral de longevidade poderia não apresentar grandes problemas, desde que as relações entre os diferentes organismos nas comunidades mantenham-se proporcionais.

As relações entre os organismos nos ecossistemas e comunidades funcionam como redes nas quais os elementos se interconectam através de processos como predação e reprodução (BUCKERIDGE, 2007). As mudanças climáticas acontecem normalmente em nosso planeta, mas com variações que levam milhares de anos para ocorrer. Eventos rápidos da ordem de centenas de anos, como os que estão ocorrendo desde a Revolução Industrial, são normalmente associados a catástrofes para os organismos vivos. No caso das mudanças climáticas que presenciamos atualmente, é possível que, a partir de certo limite, os efeitos sejam bastante rápidos, tornando a biodiversidade mais vulnerável a instabilidades. Por outro lado, uma das características de sistemas complexos é a resiliência, através de mecanismos que fazem com que um estado de equilíbrio seja mantido, mesmo com perturbações de intensidade razoável (SOUZA; BUCKERIDGE, 2004; BUCKERIDGE, 2007).

No caso das alterações de forma e tamanho, se tudo acontecer da mesma maneira para todas as espécies, as alterações podem sequer ser percebidas, mas se houver respostas distintas nos diferentes grupos de seres vivos, então a grande rede de interações da biosfera poderia começar a perder (ou alterar) suas conexões. Considerando que estas conexões sejam moduladas pelas variações cíclicas no clima, os aspectos fenológicos são de

fundamental importância para compreender o funcionamento dos sistemas complexos de relações ecológicas. Além disso, as observações de alterações fenológicas poderão servir como importantes marcadores do grau de impacto e da vulnerabilidade das redes de interações biológicas às mudanças climáticas globais.

Agradecimentos

A discussão apresentada neste capítulo inclui dados que foram obtidos em conjunto por um grupo de pesquisa constituído por Marcos P.M. Aidar, Marília Gaspar, João Godoy, Mauro Marabesi e Marina Martins. Este trabalho tem o financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Eletronorte e CNPq. Marcelo R. Machado é doutorando do curso de pós-graduação em Biologia Celular e Estrutural da UNICAMP, e Leila C. Mortari é aluna de graduação de Biologia do IB-USP.

Referências

- AIDAR, M. P. M.; MARTINEZ, C. A.; COSTA, A. C.; COSTA, P. M. F.; DIETRICH, S. M. C.; BUCKERIDGE, M. S. Effect of atmospheric CO₂ enrichment on the establishment of seedlings of jatobá (*Hymenaea courbaril* L.-Leguminosae-Caesalpinioideae). **Biota Neotropica**, v. 2, n. 1, 2002. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br/v2n1/en/abstract?article+BN01602012002>>. Acesso em 20 jul. 2007.
- ALCAMO, J.; KREILEMAN, G. J. J.; BOLLEN, J. C.; BORN, G. J. van den; GERLAGH, R.; KROL, M. S.; TOET, A. M. C.; VRIES, H. J. M. de. Baseline scenarios of global environmental change. **Global Environmental Change**, v. 6, n. 4, p. 261-303, 1996.
- BUCKERIDGE, M. S. Mudanças climáticas, biodiversidade e sociedade: como a teoria de redes pode ajudar a compreender o presente e planejar o futuro? **Multiciência: Revista Interdisciplinar dos Centros e Núcleos da Unicamp**, n. 8, [2007]. No prelo. Disponível em: <www.multiciencia.unicamp.br>.
- BUCKERIDGE, M. S.; AIDAR, M. P. M. Carbon sequestration in the rain forest: alternatives using environmentally friendly biotechnology. **Biota Neotropica**, v. 2, n. 1, 2002. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br/v2n1/pt/item?point-of-view>>. Acesso em 28 jul. 2007.

CONVENÇÃO-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima. In: BRASIL. Ministério da Ciência & Tecnologia. **Ministério da Ciência & Tecnologia [home page]**. Brasília, DF, 2006. Disponível em <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/3996.html>>. Acesso em: 29 jul. 2007.

COSTA, P. M. F. **Efeitos da alta concentração de CO₂ sobre o crescimento e o estabelecimento de plântulas do jatobá de mata *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Heyne) Lee & Langenheim (Leguminosae, Caesalpinioideae, Detarieae)**. 2004. 77 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Estrutural) - Instituto de Biologia, Unicamp, Campinas.

EDGAR, B. A. How flies get their size: genetics meet physiology. **Nature Reviews**. Genetics, v. 7, n. 12, p. 907-916, 2006.

GITAY, H.; SUÁREZ, A.; WATSON, R. T.; DOKKEN, D. J. (Ed.). **Climate change and biodiversity**. Geneva: Intergovernmental Panel on Climatic Change, 2002. 86 p. (IPCC Technical paper, 5). Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-en.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2007.

GODOY, J. F. L. **Ecofisiologia do estabelecimento de leguminosas arbóreas da Mata Atlântica, pertencentes a diferentes grupos funcionais, sob atmosfera enriquecida com CO₂: uma abordagem sucessional**. 2007. 109 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica, São Paulo.

GRAY, J. E.; HOLROYD, G. H.; VAN DER LEE, F. M.; BAHRAMI, A. R.; SIJMONS, P. C.; WOODWARD, F. I.; SCHUCH, W.; HETHERINGTON, A. M. The *HIC* signaling pathway links CO₂ perception to stomatal development. **Nature**, v. 408, n. 6813, p. 713-716, 2000.

GRIFFIN, K. L.; SEEMANN, J. R. Plants, CO₂ and photosynthesis in the 21st century. **Chemistry & Biology**, v. 3, p. 245-254, 1996.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC third assessment report: climate change 2001: synthesis report**. Cambridge: Cambridge University Press, [2001]. 398 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers**. Geneva, [2007]. 21 p. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.aas.org/news/press_room/climate_change/media/4th_spm2feb07.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2007.

LAKE, J. A.; QUICK, W. P.; BEERLING, D. J.; WOODWARD, F. I. Plant development: signals from mature to new leaves. **Nature**, v. 411, n. 6834, p. 154, 2001.

MALHI, Y.; PHILLIPS, O. L. Tropical forests and global atmospheric change: a synthesis. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 359, p. 549-555, 2004.

MARABESI, M. A. **Efeito do alto CO₂ no crescimento inicial e na fisiologia da fotossíntese em plântulas Senna alata (L.) Roxb.** 2007. 70 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica, São Paulo.

MIYAMOTO, K. **Renewable biological systems for alternative sustainable energy production.** Rome: FAO, 1997. (FAO. Agricultural services bulletin, 128). Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/w7241e/w7241e00.htm#Contents>>. Acesso em: 29 jul. 2007.

PETERS, R. L.; DARLING, J. D. The greenhouse effect and nature reserves. **Bioscience**, v. 35, p. 707-715, 1985.

PRANCE, G. T. Species survival and carbon retention in commercially exploited tropical rainforest. **Philosophical transactions of the Royal Society of London: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 360, n. 1797, p. 1777-1785, 2002.

SAGE, R. How terrestrial organisms sense, signal and respond to carbon dioxide. **Integrative and Comparative Biology**, v. 42, p. 469-480, 2002.

SOUZA, A. P. **A cana-de-açúcar e as mudanças climáticas: efeitos de uma atmosfera enriquecida com CO₂ sobre o crescimento, desenvolvimento e metabolismo de carboidratos de *Saccharum* ssp.** 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Estrutural) - Instituto de Biologia, Unicamp, Campinas.

SOUZA, G. M.; BUCKERIDGE, M. S. Sistemas complexos: novas formas de ver a botânica. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 3, p. 407-419, 2004.

STITT, M. Fructose 2,6-bisphosphate as a regulatory molecule in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 41, p. 153-185, 1990.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.