

**Anais da 47^a Reunião Técnico-Científica do
Programa Cooperativo sobre Silvicultura e Manejo
“Adaptação genotípica e silvicultural aos
estresses abióticos e bióticos”**

**De 09 e 10 de maio de 2013
Montes Claros, Minas Gerais, Brasil**

**Rodrigo Eiji Hakamada - ESALQ/USP
José Henrique Bazani - ESALQ/USP
José Carlos Arthur Junior - IPEF
José Henrique Tertulino Rocha - ESALQ/USP
Eduardo Aparecido Sereguin Cabral de Melo - IPEF
José Leonardo de Moraes Gonçalves - ESALQ/USP**



Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

Adaptação às mudanças climáticas de plantações florestais

Rosana Clara Victoria Higa¹, Giampaolo Queiroz Pellegrino²

¹Pesquisador da Embrapa Florestas

²Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária.

E-mail para contato: rosana.higa@embrapa.br

INTRODUÇÃO

Segundo o Quinto Relatório do IPCC – AR5 (ALLEN et al., 2013) o aquecimento do sistema climático é inequívoco, e desde os anos 1950, muitas das mudanças observadas não têm precedentes. Esse crescimento estatisticamente significativo da temperatura média da superfície global pode ser detectado/estimado em regiões onde as observações das variáveis climáticas são consideradas suficientemente completas (1901-2012). O monitoramento de fatores causais do aumento de temperatura reforça a sua forte relação com o aquecimento global como, por exemplo, os aumentos observados nas concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa devido à atividade humana desde 1750. Para o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) as respectivas concentrações em 2011 foram de 391 ppm, de 1803 ppb, 324 ppb, o que superou os níveis pré-industriais por cerca de 40%, 150% e 20%. Assim, é válido considerar que o aquecimento global já é uma das principais preocupações ambientais da atualidade.

MUDANÇAS JÁ DETECTADAS NO CLIMA BRASILEIRO

Deve-se apontar que algumas das mudanças percebidas são decorrentes da variabilidade interanual e interdecadal natural, muitas vezes confundidas com efeitos de mudanças climáticas. No entanto, outras características reforçam os efeitos de uma mudança de clima. Ao se analisarem as séries históricas de temperatura no Brasil, é possível detectar uma significativa tendência de aquecimento, consistente e contínuo ao longo dos anos, nas regiões norte, leste e sul do Brasil, tanto no verão (dezembro a fevereiro) como no inverno (junho a agosto), o que é evidência dessas alterações. Detecta-se também um aumento geral nas temperaturas de inverno acarretando em temperaturas relativamente mais quentes no inverno, associadas a uma menor frequência de temperaturas muito baixas e geadas. No sul do Brasil detecta-se ainda uma diminuição da frequência de noites frias e maior frequência de noites quentes. Particularmente neste caso vale citar a disponibilidade de dados de temperatura diária para reforçar este fenômeno (PBMC, 2013).

PROJEÇÕES DO CLIMA FUTURO PARA O BRASIL

As projeções do clima futuro para o Brasil foram apresentadas no segundo Relatório de Avaliação Nacional (RAN1) do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC). O clima no Brasil nas próximas décadas deverá ser mais quente – com aumento gradativo e variável da temperatura média em todas as regiões do país. A ocorrência de chuvas deverá diminuir significativamente nas regiões central, Norte e Nordeste do país. Nas regiões Sul e Sudeste, por outro lado, haverá um aumento do total precipitado. Embora os modelos climáticos usados tenham melhorado consideravelmente nos últimos anos, ainda são apontadas as dificuldades para as projeções das precipitações e eventos climáticos extremos.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E FLORESTAS

Adaptação e mitigação são as duas principais respostas às mudanças climáticas e tem sido crescente a ênfase sobre a necessidade que sejam feitas de forma concomitante. Mitigação aborda a diminuição da quantidade de gases de efeito estufa presentes na atmosfera e que são a causa das mudanças climáticas. Estratégias de mitigação no setor florestal são focadas principalmente em: redução de emissões por desmatamento e redução de emissões por degradação florestal; retirada de gás carbônico da atmosfera pelas florestas, que atuam como sumidouros de carbono, e ainda podem substituir o uso de combustíveis fósseis (FAO, 2013). Algumas técnicas de manejo que aumentem o acúmulo de matéria orgânica nos solos sob florestas e seu cultivo mínimo ou a redução do uso de

fertilizantes nitrogenados, onde essas práticas no ocorriam, também podem se caracterizar como práticas mitigadoras no setor.

Adaptação se refere ao aumento da resistência ou da resiliência de um determinado sistema quando no novo clima projetado para o futuro. Em outros termos, a adaptação leva à redução da vulnerabilidade do sistema reduzindo sua exposição aos eventos prejudiciais e/ou alterando sua sensibilidade ou características atuais, o que leva à redução dos impactos. Espécies arbóreas são mais sensíveis a mudanças das condições ambientais durante a fase inicial ou de estabelecimento, seja este a partir da regeneração natural ou do plantio de sementes e mudas. O impacto das mudanças climáticas na fenologia e disponibilidade de recursos pode afetar a amplitude espacial e temporal de um nicho de regeneração de espécies. Esse impacto, por sua vez, pode aumentar a sensibilidade das espécies à mudança climática projetada (THOMPSON et al., 2009). A adaptação ainda pode incluir mudanças nas práticas de manejo destinadas a diminuir a vulnerabilidade das florestas às alterações climáticas, como aumento do espaçamento, alteração da época de plantio definido regionalmente e em função da espécie ou material genético.

Vulnerabilidades do setor

A vulnerabilidade é a suscetibilidade de um sistema a impacto negativo e é função do nível de exposição a um determinado fenômeno e da sensibilidade do sistema exposto. Ela só é conhecida quando os fatores que determinam a exposição e os fatores que regem a sensibilidade são conhecidos e, no contexto florestal, a sensibilidade é governada por características intrínsecas à espécie e em caso de exposição a fatores extrínsecos às espécies (WILLIAMS et al., 2008). Para algumas espécies ou comunidades, a sensibilidade dos sistemas florestais pode ser representada por modelos e sua vulnerabilidade pode ser simulada como forma de antecipar sua determinação diante das tendências de mudanças climáticas, ou seja, da alteração da exposição a condições climáticas adversas. Para outras espécies ou comunidades mais complexas, a vulnerabilidade não pode ser antecipada, e só seria conhecida após a ocorrência das alterações no clima. O que define essa dificuldade de antecipação é a lacuna de conhecimento do comportamento da maioria das espécies em condições de estresse abiótico e abiótico.

A vulnerabilidade varia ao longo do tempo de acordo com as diferentes sensibilidades das espécies em função de seus estádios fenológicos e com o agravamento dos fenômenos climáticos. Dessa forma, cada fase de desenvolvimento deve ser observada para se compreender a sua sensibilidade, e também sua vulnerabilidade, e para se melhorar as características que promovem sua adaptabilidade. Espécies arbóreas são mais vulneráveis durante a fase de estabelecimento (NITSCHKE et al., 2008).

Um exemplo de vulnerabilidade no setor florestal está relacionado às pragas e doenças. Condições climáticas são fatores-chave que contribuem para a epidemia de pragas e de doenças florestais. A mudança climática afetará esses organismos, alterando diretamente a sua fisiologia, desenvolvimento e reprodução, e alterando a saúde e vigor de seus hospedeiros. As mudanças climáticas provavelmente aumentarão o estresse abiótico em muitas áreas, e estresse da planta, o que muitas vezes precede as epidemias de patógenos e de insetos (KIRILENKO e SEDJO, 2009). Especialmente plantios comerciais são mais propensos aos ataques de fungos e insetos, no entanto, muitos desses plantios com espécies introduzidas têm apresentado baixa incidência de pragas ou doenças, atribuída a um intenso manejo e ausência de pragas nativas (THOMPSON et al., 2009).

A quantidade de literatura sobre o impacto das mudanças climáticas em florestas nos últimos anos é considerável, no entanto a maioria das publicações tem como foco o impacto nas florestas naturais ou ecossistemas (THOMPSON et al., 2008; FAO, 2010; FAO, 2011, FAO, 2012; FAO, 2013; LOCATELLI, 2010; GUARIGUATA et al., 2012) e são escassas no impacto nas florestas plantadas, especialmente as de rápido crescimento como as do Brasil.

Considerando a extensão territorial brasileira que apresenta uma grande diversidade de condições ambientais, prever o impacto e a vulnerabilidade depende da exposição e sensibilidade de plantações florestais no Brasil torna-se uma atividade complexa. É necessário o acompanhamento dos agentes de perturbação bióticos; quantificação mais precisa da extensão, gravidade e tipos de efeitos nas florestas. Respostas aos desafios das mudanças climáticas dependem do acesso a ferramentas e tomada de decisão adequada (RYAN et al., 2012). A ciência da mudança climática está evoluindo rapidamente em sistemas de monitoramento, coleta e análise de dados e no entendimento de como a mudança climática implica em mudanças nos ecossistemas. (PETERSON, et al., 2011).

Projetar futuras distribuições de aptidão climática de ecossistemas ou espécies tem sido amplamente utilizado para avaliar os potenciais impactos das mudanças climáticas (McKENNEY et al., 2007; IVERSON et al., 2008). No entanto, a variabilidade dessas projeções para os períodos futuros, em particular a variabilidade decorrente de incertezas dos modelos climáticos, permanece um desafio crítico para que possam ser adotadas estratégias de adaptação às alterações climáticas. A combinação de técnicas pode orientar o planejamento de reflorestamento. Os efeitos ambientais e genéticos podem ser quantificados simultaneamente e comparados para se ter um melhor entendimento das relações planta-clima e melhorar a nossa capacidade de prever os efeitos das mudanças climáticas sobre as populações. (WANG et al., 2010)

Adaptação florestal

Adaptação e aclimação são estratégias que as florestas podem adotar para lidar com a mudança climática. Ambas as estratégias consistem em adaptações genótípicas e fenotípicas que permitem que as plantas cresçam e se reproduzam com sucesso sob estresse. Ambos os aspectos podem ser usados nos programas de reflorestamento. As fases principais para isto consistem em (1) seleção das procedências e dos genótipos mais adequados, (2) adoção de técnicas culturais adequadas em viveiro, e (3) monitoramento das plantações. Conhecimento de fisiologia é essencial para auxiliar em todas as fases do processo para monitorar as condições de estresse e da eficácia das práticas culturais. A extensão dos efeitos dependerá da magnitude das alterações climáticas, da capacidade de árvores individuais para aclimação e, no caso de populações naturais, da capacidade para se adaptar *in situ* ou a migrar para habitats adequados. Esses mecanismos de sobrevivência podem ser insuficientes para responder às rápidas mudanças climáticas. Respostas fisiológicas aos estresses climáticos são relativamente bem entendidas na escala do órgão ou em toda a planta, mas não em escala de paisagem, o que é necessário para avaliar a vulnerabilidade de um sistema, como plantações florestais. Abordagens genéticas (CHEN et al., 2010; LEIBING et al., 2013) e silviculturais para aumentar as capacidades de adaptação e para diminuir as vulnerabilidades de plantações florestais relacionadas com o clima podem ser baseadas em conhecimento de processos ecofisiológicos (CHMURA et al., 2010). Chmura et al. (2010) citam, como principais fatores que podem afetar o desenvolvimento de espécies arbóreas, o aumento na concentração de CO₂, o aumento da temperatura, as precipitações muito acima do normal e a estiagem. Entre esses, estiagem, em combinação com o aquecimento e outros agentes de mortalidade, pode ser responsável pelos recentes aumentos na mortalidade de árvores em vários locais do mundo (ALLEN et al., 2010). Secas estão sem dúvidas entre os principais fatores que afetam diretamente as árvores e as florestas predispondo a danos causados por insetos, doenças e incêndios florestais, e impactar de forma negativa a produtividade de florestas plantadas. Em particular, os efeitos de interação de múltiplos fatores de estresse não são bem conhecidos.

Monitoramento e modelagem dos sistemas florestais

A pesquisa é normalmente usada para resolver problemas específicos ou estabelecer ligações entre as ações e os impactos, também pode ser usada para uma compreensão mais aprofundada dos processos. Normalmente uma boa rede de estações meteorológicas e parcelas permanentes podem fornecer uma boa contribuição para o monitoramento e para a análise dos efeitos das mudanças climáticas sobre as florestas.

Um monitoramento eficiente precisa ter objetivos claros, o mais simples possível, nem sempre as atividades necessárias para atingir esses objetivos são evidentes. A razão pode ser atribuída à falta de experiência, a incerteza sobre como o clima vai mudar e como essa possível mudança afetará a floresta e o seu manejo florestal, isso pode tornar o monitoramento impraticável e caro (FAO, 2012).

Uma das ferramentas mais utilizadas, aliadas a um sistema de observação ou monitoramento apropriado, é a modelagem. Modelos estatísticos ou empíricos existentes são limitados para explicar os efeitos das mudanças climáticas e o aumento da concentração de dióxido de CO₂ em florestas. Modelos baseados em processo podem explicar os efeitos do aumento na concentração de CO₂ e das mudanças climáticas, geralmente são complexos e necessitam de uma grande quantidade de informações, mas podem ser eficientes em simular mudanças relativas à produtividade.

Outras estratégias proativas que devem ser consideradas para o monitoramento e a adaptação de florestas às mudanças climáticas dizem respeito à avaliação do risco, reconhecendo as incertezas e o desenvolvimento de novas abordagens que podem tratar de problemas imprevistos.

COMENTÁRIOS FINAIS

Estratégias para a gestão e a conservação dos recursos genéticos florestais e, mais especificamente, a implantação de pomares de sementes para plantios precisam ser ajustados para garantir plantações adaptadas a climas futuros. Isso requer um bom entendimento dos efeitos do clima em fenótipos e a quantificação desses efeitos para prever o impacto da mudança climática sobre a adaptação e a produtividade da floresta.

A estratégia genética deve ser acompanhada da estratégia de manejo, que pode ser bastante variada dependendo da vulnerabilidade do local. Pode variar desde a realocação do plantio para áreas com climas mais adequadas como mudança de práticas silviculturais como espaçamento, fertilização, época de plantio, preparo de solo etc., muitas das quais já vêm sendo alteradas em novos plantios.

Algumas ações devem ser de caráter emergencial como:

- estudos de longo prazo sobre os efeitos do aumento na concentração de CO₂ em povoamentos e árvores individuais que fornecem uma ampla perspectiva sobre o assunto;
- estabelecimento de protocolos;
- definir as medições de longo prazo, simples, qualitativa e quantitativa que são úteis, ou podem ser modificados para acompanhar os efeitos das mudanças climáticas;
- uso de ferramentas como imagens para detectar os efeitos da variabilidade do clima;
- criação de banco de dados intergrados sobre condições climáticas e impacto na produtividade em níveis regionais e nacionais;
- avaliar a incerteza e risco nas avaliações de vulnerabilidade;
- planejamento da adaptação.

Os reflorestamentos vêm se expandindo em novas áreas no Brasil, cada vez mais distantes, mais marginais e mais vulneráveis às condições climáticas. Novas ferramentas, novos conhecimentos, especialmente na área do melhoramento genético, aliados a um sistema de monitoramento, a políticas públicas e aos programas de adaptação estratégicos são essenciais para minimizar os riscos das mudanças climáticas. É necessário que essas estratégias sejam desenvolvidas em conjunto com os diferentes atores do setor florestal, público e privado, e assim resguardar o patrimônio genético e garantir a produção para futuros programas de reflorestamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, M. et al. **Climate change 2013: summary for policymakers** : Working Group I contribution to the IPCC fifth assessment report. Geneva : WMO, IPCC Secretariat, 2013. Disponível em: <http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5-SPM_Approved27Sep2013.pdf>. Acesso em: 30 out. 2013.

CHEN, P.; WELSH, C.; HAMANN, A. Geographic variation in growth response of Douglas-fir to interannual climate variability and projected climate change. **Global Change Biology**, v. 16, n. 12, p. 3374–3385, 2010.

CHMURA, D. J.; ANDERSON, P. D.; GLENN, T.; HOWEA, G. T.; HARRINGTON, C. A.; HALOFSKYD, J. E.; PETERSON, D. L.; DAVID, C.; SHAW, D. C.; ST. CLAIR, J. B. Forest responses to climate change in the northwestern United States: Ecophysiological foundations for adaptive management: review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 7, p. 1121–1142, 2011.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Climate change guidelines for forest managers**. Rome: FAO, 2013. (FAO. Forestry paper, 172).

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Working with countries to mitigate and adapt to climate change through sustainable forest management**. Rome: 2012. 18 p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Forest management and climate change: a literature review: forests and climate change**. Rome: 2011, 45 p. (FAO. Working paper 10).

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Managing forests for climate change**. Rome: 2010. 19 p.

- GUARIGUATA, M. R.; LOCATELLI, B.; HAUPT, F. Adapting tropical production forests to global climate change: risk perceptions and actions. *International Forestry Review*, v. 14, n. 1, p. 27-38, 2012.
- IVERSON, L.; PRASAD, A.; MATTHEWS, S. Modeling potential climate change impacts on the trees of the northeastern United States. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Chang*, v. 13, n. 5, p.487-516, 2008.
- LEIBING, C.; SIGNER, J.; ZONNEVELD, VAN M.; JARVIS, A.; DVORAK, W. Selection of Provenances to Adapt Tropical Pine Forestry to Climate Change on the Basis of Climate Analogs. *Forests*, n. 4, p.155-178, 2013.
- LOCATELLI, B.; BROCKHAUS, M.; BUCK, A.; THOMPSON, I. BAHAMONDEZ, C.; MURDOCK, T.; ROBERTS, G.; WEBBE, J. Forests and Adaptation to Climate Change: challenges and opportunities. In: MERY, G.; KATILA, P.; GALLOWAY, G.; ALFARO, R. I.; KANNINEN, M.; LOBOVIKOV M.; VARJO, J. (Ed). *Forests and Society: responding to global drivers of change*. Vienna: IUFRO, 2010. p. 19-42. (IUFRO World Series, 25).
- McKENNEY, D. W.; PEDLAR, J. H.; LAWRENCE, K.; CAMPBELL, K.; HUTCHINSON, M. F. Potential Impacts of Climate Change on the Distribution of North American Trees. *BioScience*, v. 57, n. 11, p. 939-948, 2007.
- NITSCHKE, C. R.; INNES, J. L. Integrating climate change into forest management in South-Central British Columbia: an assessment of landscape vulnerability and development of a climate-smart framework. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 256 n. 3, p. 313-327, 2008.
- PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. 2013: **contribuição do Grupo de Trabalho ao primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**: Rio de Janeiro: Sumário Executivo GT1, 2013. 24 p.
- PETERSON, D. L.; MILLAR, CONNIE I.; JOYCE, L. A.; FURNISS, M. J.; HALOFSKY, J. E.; NEILSON, R. P.; MORELLI, T. L. **Responding to climate change in national forests: a guidebook for developing adaptation options**. Oregon: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 2011, 109 p. (Gen. Tech. Rep. PNW-GTR, 855)
- RYAN, M. G.; VOSE, J. M.; AYRES, M. P.; BAND, L. E.; FORD, HANSON, P. J.; JEFFREY A. HICKE, J. A.; IVERSON, L.R; KERNS, B. K.; KLEIN, S. L.; LITTELL, J. S.; LUCE, C. H.; MCKENZIE, D.; WEAR, D. N.; AARON S. WEED, A. S. Effects of Climatic Variability and Change. In: VOSE, J. M; PETERSON, D. L.; TORAL PATEL-WEYNAND, T. (Eds). **Effects of Climatic Variability and Change on Forest Ecosystems: A Comprehensive Science Synthesis for the U.S.** Forest Oregon: U.S. Department of Agriculture, 2012. P. 7-63.
- THOMPSON, I.; MACKAY, B.; MCNULTY, S.; MOSSELER, A. **Forest resilience, biodiversity, and climate change**: a synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2009. 67 p.(Technical series, 43).
- WANG, T.; O'NEILL, G. A.; AITKEN, S. N. Integrating environmental and genetic effects to predict responses of tree populations to climate. *Ecological Applications*, v. 1, n. 20, p. 153-163, 2010.
- WILLIAMS, S. E.; SHOO, L. P.; ISAAC, J. L.; HOFFMANN, A. A.; LANGHAM, G. Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change. *PLoS Biol*, v. 6, n. 12, 2008. DOI: e325. doi:10.1371/journal.pbio.0060325.