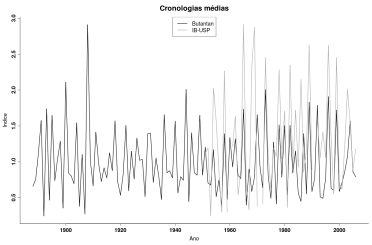
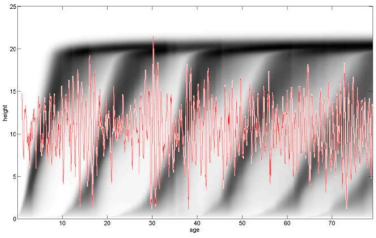




Análise dendroclimatológica do cedro (Cedrela fissilis L. - Meliaceae) para reconstrução do cenário ambiental recente da cidade de São Paulo, SP.

Versão Corrigida

Gustavo Burin Ferreira

2012

Gustavo Burin Ferreira

“Análise dendroclimatológica do cedro (*Cedrela fissilis* L. - Meliaceae) para reconstrução do cenário ambiental recente da cidade de São Paulo, SP.”

"Dendroclimatological analysis of cedro (*Cedrela fissilis* L. - Meliaceae) for the reconstruction of recent environmental scenario from São Paulo, SP."

São Paulo

2012

Gustavo Burin Ferreira

“Análise dendroclimatológica do cedro (*Cedrela fissilis* L. - Meliaceae) para reconstrução do cenário ambiental recente da cidade de São Paulo, SP.”

"Dendroclimatological analysis of cedro (*Cedrela fissilis* L. - Meliaceae) for the reconstruction of recent environmental scenario from São Paulo, SP."

Versão corrigida

A versão original encontra-se disponível no Instituto de Biociências da USP

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, para a obtenção de Título de Mestre em Ciências, na Área de Botânica.

Orientador:
Prof. Dr. Gregório Ceccantini

São Paulo

2012

Burin, Gustavo

Análise dendroclimatológica do cedro (*Cedrela fissilis* L.) para reconstrução do cenário ambiental recente da cidade de São Paulo, SP.

Número de páginas: 86

Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Botânica.

1. Dendrocronologia 2. *Cedrela fissilis* 3. Ambiente urbano I. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências. Departamento de Botânica.

Comissão Julgadora:

_____

Prof(a). Dr(a).

_____

Prof(a). Dr(a).

_____

Prof(a). Dr. Gregório Ceccantini

Orientador(a)

"Reaching out to embrace the random.

Reaching out to embrace whatever may come.

(...)

Spiral out, keep going..."

Tool - Lateralus (Justin Chancellor, 2001)

Dedico este trabalho à minha família,

à Tássia (meu grande amor)

e aos meus amigos

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ter sido realizado sem a ajuda de inúmeras pessoas. Certamente esquecerei de alguns nomes, porém os que cito marcaram de forma especial estes últimos anos (ou mais) da minha vida.

Primeiramente agradeço à minha Família: Carlos, Isabel, Caio, Camila, Deusa, Gabriel e Fábio, por sempre me darem plenas condições (em todos os sentidos) de me dedicar exclusivamente ao mestrado. Por também terem dedicado tanto tempo de suas vidas à mim, possibilitando que eu me torne quem sou hoje, me incentivando ou brigando comigo quando necessário. Sei que não sou o filho mais carinhoso do mundo, mas saibam que amo demais todos vocês e tenho muito orgulho de fazer parte dessa família.

Agradeço também à Tássia, minha companheira, meu amor, minha tudo-de-bom-que-existe-no-mundo. Eu sempre te digo e não canso e nem tenho vergonha de repetir: eu não seria nada sem você. Obrigado por me fazer a pessoa mais feliz do mundo e espero que eu possa retribuir pelo menos um pouco de tudo o que você faz por mim. Te amo! Todos os dias! Pra sempre!

À família da Tássia: Cláudio, Tânia, Zélia, Carlos, agradeço por me acolherem por tanto tempo, por me aguentarem dormindo tantas vezes na casa de vocês, muitas delas tirando alguém da própria cama. Tenham a certeza que sou muito grato a todos vocês, e que os considero minha família também.

Ao Gregório, orientador, parceiro de cervejas, piadas e assuntos aleatórios. Apesar de nossa relação orientador-aluno ser um pouco mais distante do que o normal, saiba que aprendi muito e amadureci muito ao longo destes anos que trabalhamos juntos, e espero que eu tenha feito valer a pena aceitar aquele aluno chato que ficou insistindo para conseguir um estágio, mesmo quando você estava cheio de outros alunos. Espero que nosso relacionamento pessoal/profissional dure por muitos anos.

Ao Giuliano Locosselli, Ricardo Cardim, Bruno "Carioca" Balboni e Cairo Faleiros (membro honorário), agradeço pelo companheirismo no lendário DendroTeam, pela companhia nas viagens (Suíça e Argentina), pelas conversas científicas (e outras nem tão científicas assim), e pela certeza de

que tenho pessoas com quem sempre poderei contar, por mais distante que estejamos.

Aos amigos do lab (são tantos), agradeço por me aturarem na sala de pós, na copa, no laboratório e fora dele. Não vou lembrar de todos, mas José, Renata, Carla, Paula, Guilherme, Vivi Jono, Pigozzo, Cairo, Celina, Bianca, Luiz Horta, Sílvia, André Brahma, Vitor, Luiza, Rafa, Mario, Mariane, Marcelo, Aline participaram de uma forma ou de outra.

À Gisele, técnica-ninja-veterana do laboratório, por sempre ajudar no que foi preciso, além de grande amiga (que faz um fraquíssimo café que só ela gosta) e companheira quase-gêmea da Tássia nos afazeres diários.

Ao "Seu" Antônio Carlos Franco Barbosa, o "Tonico", por ter participado de forma especial destes últimos anos com seu coração sem tamanho, sempre disposto a ajudar nem que seja com uma palavra amiga e um convite para um café.

Aos meus amigos da BIO-USP, que proporcionaram alguns dos melhores anos da minha vida, em viagens curriculares, viagens "extra-curriculares" (que, admito, que tiveram maior impacto na minha vida do que muitas das viagens curriculares), churrascos, interbios, cafés, procrastinações nossas de cada dia. Em especial, agradeço ao Guilherme "Pato" Garcia, André "Mingau" Dávila, Ricardo Pereira, Marcel Urabayashi, Pedro Henrique Imenez, Cyrus Villas-Boas, Mateus "Xodó" Adolfi, Fábio "Lugar" Machado, Gabriel "Júnior" Pato, Ivan "Carimbo" Dutra, Cláudia "Crau" Bezerra, Ubirajara "Bira" Gomes, Augusto "Burzun" Crivellari, Guilherme "Muskito" Cruz, Henrique "K.O." Kurosaki, Dayan Sansone, e muitos outros.

Aos professores do Laboratório de Anatomia Vegetal, Verônica, Flávia, Nanuza, Diego e Maria Emília, agradeço por terem me ensinado tudo o que eu sei sobre anatomia vegetal e anatomia da madeira, e por ajudar sempre que preciso com os mais diversos problemas.

Aos funcionários do departamento de botânica, sempre resolvendo os pepinos administrativos/estruturais.

Aos professores do Instituto de Biociências da USP, em especial Paulo Inácio Prado, José Guilherme Berlinck, Marcos Buckeridge, por me fazerem pensar fora da caixinha e descobrir que há mais na biologia do que os olhos podem ver.

À todos os participantes do "Young Scientists Summer Program" de 2011, em especial Taufeeq, Mario, Mariya, Architesh, Ahmed, Danielle, Anna Olsonn, Aika, Yu, Nuno, e à toda a equipe do "International Institute of Applied Systems Analysis", principalmente Ake, Ulf, Oskar, Marianne, Per e todos do "Ecology and Evolution Program", que me cederam uma bolsa para que eu passasse três incríveis meses em Viena, Áustria, trabalhando e me divertindo muito. Consegui muitos novos amigos de verdade em todos os cantos do mundo e aprendi muito ao mesmo tempo.

Ao Instituto Butantan e à COTEC do Instituto Florestal, por me autorizarem a coletar material dentro de suas reservas, material esse que foi essencial para o desenvolvimento de meu trabalho.

À FAPESP, pela bolsa de Mestrado concedida e ao parecerista anônimo, que contribuiu com críticas fundamentadas e que ajudaram no resultado final deste trabalho.

Índice

Agradecimentos **5**

Apresentação **9**

Introdução **10**

Capítulo 1: **25**

Análise dendroclimatológica de cedro (Cedrela fissilis L. - Meliaceae) e reconstrução de temperatura para a cidade de São Paulo, SP, Brasil

Capítulo 2: **59**

Effects of temperature on vegetation structure

Considerações Finais **74**

Conclusões Gerais **77**

Resumo **78**

Abstract **79**

Apresentação

O presente trabalho foi organizado em dois capítulos, escritos no formato de artigo científico, visando auxiliar a avaliação dos resultados e a sugestão de melhorias inclusive em relação ao formato do artigo, além de abreviar a publicação.

O primeiro capítulo, intitulado "Análise dendroclimatológica de cedro (*Cedrela fissilis* L. - Meliaceae) e reconstrução de temperatura para a cidade de São Paulo, SP, Brasil ", está aqui escrito em português e será, após traduzido, submetido à revista **Dendrochronologia**.

Já o segundo capítulo, intitulado "Effects of temperature on a model of forest dynamics" é resultado do trabalho executado pelo primeiro autor no "Young Scientists Summer Program" durante três meses (Junho a Agosto de 2011) no "International Institute for Applied Systems Analysis" (IIASA), em Laxenburg, Áustria. Portanto, este capítulo está escrito em inglês, visto que consiste em um aprimoramento do relatório apresentado à comissão avaliadora do IIASA, e será submetido à revista **Journal of Ecology**.

Introdução

Atualmente as cidades constituem os principais centros de adensamento humano no mundo, muito embora tenham sofrido inúmeras modificações desde seu surgimento. No início, estas cidades se formaram através do estabelecimento de grupos sociais autônomos, que se organizaram de maneira hierárquica.

Estas mudanças tiveram origem em sociedades de regiões como a Mesopotâmia, Egito e Indochina. Algumas cidades chegaram a ter milhares de habitantes e com isso, surgiram também problemas inéditos para essas sociedades, sejam eles políticos (conflitos gerando mudanças na organização das sociedades) ou mesmo ambientais (acúmulo de lixo próximo às regiões residenciais) (Yoffe, 2004).

Com o passar do tempo, essas sociedades passaram a ter uma nova base: o capital. Com isso, vários centros urbanos passaram por um rápido crescimento, alcançando populações de centenas de milhares de habitantes. Como consequência, também aumentaram os problemas relacionados às altas (para o período em questão) densidades populacionais como poluição (ar e água), saúde pública (epidemias) e abastecimento de água potável (Thorns, 2002).

Com os avanços das mais diversas tecnologias, como por exemplo o surgimento dos motores à combustão e por conseguinte os carros, a vida em sociedade tornou-se mais fácil e com isso as cidades ficaram cada vez maiores, frequentemente possuindo alguns milhões de habitantes em áreas

relativamente reduzidas. Os problemas citados anteriormente para cidades das Idades Antiga e Moderna, como podemos notar, não ficaram restritos a essas épocas, mas também estão presentes em escala diferente nos dias de hoje (Thorns, 2002).

Sendo assim, no início da década de 1990, a sustentabilidade e a retomada do planejamento urbano focado no ambiente foram retomados, culminando com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (conhecida como ECO-92), sediada na cidade do Rio de Janeiro.

Porém, as consequências de tantos anos de alterações no ambiente ainda podem ser vistas. De acordo com a figura 1, é possível notar que nos últimos 100 anos os níveis de três importantes "gases-estufa", ou seja, gases, que estão intimamente relacionados com a manutenção/intensificação do efeito-estufa, aumentaram vertiginosamente, atingindo concentrações de até duas vezes mais do que nos últimos séculos (IPCC, 2007). Isso traz inúmeras modificações no clima tanto de áreas naturais quando de áreas urbanizadas. Essas modificações podem ser, por exemplo, alterações em fatores abióticos, como mudanças nos padrões anuais de períodos chuvosos/secos, aumento das temperaturas (mínima, média e máxima), dentre outras (IPCC, 2007).

Além disso, outros problemas também surgem, independentemente ou em decorrência de alterações no meio abiótico, nos seres vivos. Fenômenos como mudanças no metabolismo (quantitativamente e/ou qualitativamente), alteração na dinâmica de relações inter ou intra-específicas, migração, extinção de espécies, entre outras, vem sendo descritas para diversas regiões e

ecossistemas do planeta (Kim & Fukazawa, 1997; Hirano & Morimoto, 1999; Wimmer, 2002; Gazal *et al.*, 2008; Niinemets & Peñuelas, 2008; Newsham & Robinson, 2009;).

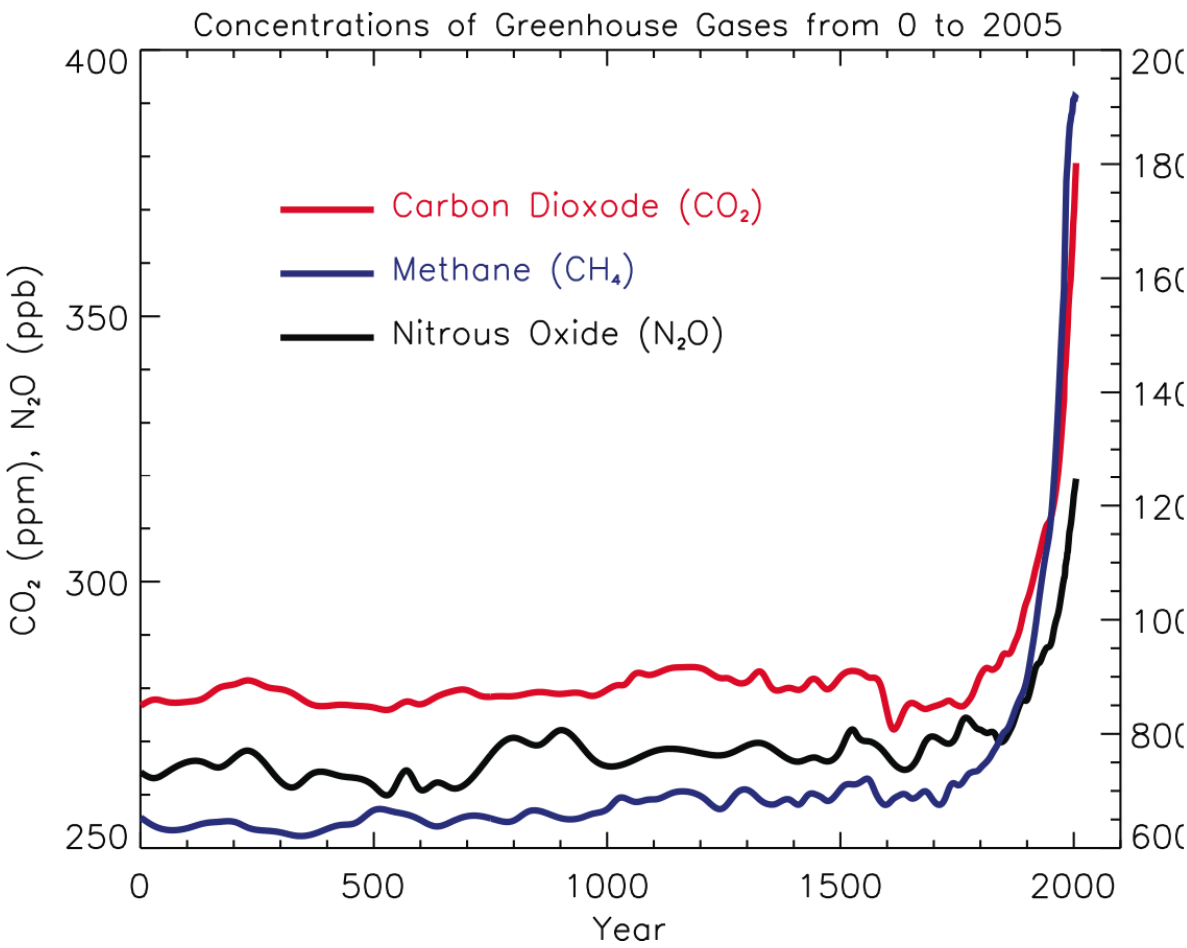


Figura 1: Concentrações atmosféricas dos principais gases-estufa nos últimos 2000 anos (IPCC, 2007).

Algumas dessas mudanças atmosféricas são particulares de ambientes urbanos. O fenômeno de "Ilhas de Calor" é um exemplo de fenômenos atmosférico típico de centros urbanizados. As "Ilhas de Calor" consistem, geralmente, em regiões com alto grau de urbanização que apresentam temperaturas superiores a de outras localidades próximas, com menor grau de urbanização. Características destas regiões altamente urbanizadas como baixa

cobertura vegetal, grande porção de solo exposto, grandes quantidades de asfalto/cimento, são as principais responsáveis por esse aumento na temperatura, atuando na retenção de calor devido à ausência de estruturas dissipadoras de calor, bem como alterando os fluxos de convecção atmosférica, impedindo que o calor incidente e o calor refletido pelas estruturas de cimento/concreto deixem estas regiões (Freitas, 2003; Freitas & Silva Dias, 2005).

Este fenômeno acaba por afetar diversas esferas do cotidiano. Em primeiro lugar, afeta a qualidade de vida dos habitantes de grandes cidades, visto que não há conforto térmico nem circulação de ar (Freitas, 2003; Freitas & Silva Dias, 2005). Em segundo lugar, e como consequência parcial da pequena circulação do ar, é notória uma maior incidência de problemas de saúde nos grandes centros, afetando geralmente as faixas etárias mais extremas (crianças e idosos) (Gouveia *et al.*, 2003; Moore *et al.*, 2003). Com base nestes exemplos, é possível então assumir que essas mudanças no clima das cidades podem ser vistas,inclusive, como questão de saúde pública.

Porém, não são sós os humanos que são afetados por estas mudanças no clima. Outros membros da biota de uma cidade também são impactados, como no caso das plantas. Como mencionado anteriormente, as plantas apresentam respostas às mudanças no clima ao qual são submetidas que vão desde alterações em processos metabólicos (quantitativa ou qualitativamente) até mudanças na fenologia de diversas espécies (Gazal *et al.*, 2008), bem como nas relações ecológicas dentro de uma espécie ou entre espécies diferentes (Ferreira & Tidon, 2005). Sabe-se também que em escalas de tempo maiores, mudanças no clima podem gerar também eventos de migração de

uma espécie para uma localidade de clima mais ameno para seu metabolismo, ou até mesmo a extinção de espécies em uma localidade no caso de mudanças muito abruptas no ambiente (Davis & Shaw, 2001; Honnay *et al.*, 2002; Jump & Peñuelas, 2005).

Devido ao fato de o metabolismo dos seres vivos se comportar como uma rede, com seus nós e links sendo representados por moléculas e reações nas suas mais diversas escalas, é de se esperar que alterações nos nós dessa rede metabólica, em um determinado nível de organização, altere o comportamento da mesma em escalas superiores (Barabasi, 2009). Assim sendo, as mudanças no metabolismo causadas por mudanças no clima se refletirão em processos em um nível de organização mais amplo, como por exemplo, na atividade cambial.

O câmbio é um meristema secundário encontrado nas coníferas, em basicamente todas as Angiospermas basais e nas Eudicotiledôneas, e que é responsável pela formação de alguns tecidos do corpo secundário da planta como xilema e floema secundários (Raven *et al.*, 2002). Ele é composto por células iniciais com características meristemáticas que se dividem, dando origem aos diversos tipos celulares presentes no xilema e no floema secundários (elementos de vaso, fibras, parênquima axial do xilema e elementos de tubo crivado, células companheiras, parênquima axial e fibras do floema) (Raven *et al.*, 2002; Evert, 2006).

As células do câmbio, como todas as outras células de uma planta, tem seu metabolismo regulado por fatores endógenos (concentrações intracelulares de metabólitos) ou por fatores exógenos a elas, como os hormônios vegetais

(Uggla *et al.*, 1998; Gartner *et al.*, 2002). Estes hormônios são produzidos em regiões específicas do corpo vegetal, e são produzidos em maior ou menor quantidade dependendo de estímulos provenientes do ambiente. Assim sendo, por serem processos interligados, a atividade meristemática do câmbio possui atividade que flutua de acordo com flutuações nas condições ambientais.

É então razoável assumir que devido ao caráter sazonal do clima ao longo dos anos, a atividade do câmbio também se apresente como sazonal, tanto quantitativa quanto qualitativamente (Wimmer, 2002). Quantitativamente, o câmbio pode formar um número de células maior ou menor de acordo com a duração da estação de crescimento, por exemplo. Já quanto ao caráter qualitativo, diferentes tipos de células podem ser formadas em diferentes épocas do ano, gerando assim marcas na madeira do tronco (Wimmer, 2002). Devido ao fato de o câmbio formar células do xilema secundário sempre para o lado de dentro do corpo da planta, este xilema secundário permanece presente por toda a vida de uma planta lenhosa.

Portanto, como união dessas duas características, é possível descrever estruturas que se repetem sazonalmente na madeira de uma planta. Estas estruturas são os anéis de crescimento, que nada mais são do que uma porção de madeira formada em um determinado intervalo de tempo que é demarcada pela presença de algum sinal morfológico/anatômico que torna possível a individualização de um período de crescimento (Schweingruber, 1996).

Se este período de crescimento for de um ano, e se nesse período somente um anel for formado, a sequência desses anéis de crescimento pode ser estudada por uma área da ciência chamada de Dendrocronologia. Esta

sequência de anéis contém registros sobre as condições de crescimento às quais uma planta foi submetida ao longo de toda a sua vida. Sendo assim, analisando estes anéis, podemos obter variadas informações valiosas sobre o ambiente (biótico e abiótico) de tempos passados (Stokes & Smiley, 1996). Essas informações podem ser aplicadas em diversos tipos de estudo: eventos de avalanches (Dendroglaciologia), de fogo (Dendropirologia), de variações na topologia do local (Dendrogeomorfologia), de proliferações de insetos, dentre outros (Schweingruber, 1996).

Porém, um tipo de estudo vem sendo usado com grande intensidade nos últimos anos, principalmente devido à preocupação com o aquecimento global: a dendroclimatologia, que consiste na análise das relações entre o crescimento das árvores e o clima (Schweingruber, 1996). Estes estudos possibilitam tanto a compreensão de como as árvores responderam/respondem a variações no clima passado/presente como também permitem reconstruir o clima de passados próximos ou remotos (de décadas até milhares de anos atrás), em épocas onde não existiam registros instrumentais.

Vários exemplos de reconstruções climáticas através de dendroclimatologia podem ser facilmente encontrados, para diversas regiões e com diferentes propósitos e abordagens. Lara & Villalba (1993), que utilizaram os anéis de crescimento de *Fitzroya cupressoides* do sul do Chile para obterem registros de temperatura para um período de 3620 anos. Roig *et al.* (2001) utilizaram os anéis de crescimento de fósseis dessa mesma espécie datados de 50000 anos para analisar variações no clima desta época. Já Briffa *et al.*(2004) reuniram e analisaram diversas reconstruções climáticas baseadas em características dos anéis de crescimento (densidade máxima do lenho

tardio) para gerar inferências de temperatura em larga escala para o hemisfério norte. De maneira semelhante, Cook *et al.*, (2007) foram capazes de analisar a distribuição espacial de eventos de seca na América do Norte nos últimos 1000 anos.

Nas regiões tropicais da América do Sul, Dünisch *et al.*, (2003), analisando indivíduos de duas espécies da família Meliaceae (*Swietenia macrophylla* e *Cedrela odorata*), encontraram relações entre o crescimento destas espécies e a precipitação de diferentes épocas da estação de crescimento. Além disso, Schöngart *et al.* (2004), também encontraram efeitos da influência do fenômeno El-Niño no crescimento de *Piranhea trifoliata* (Euphorbiaceae) nas planícies alagáveis da Amazônia, bem como Dünisch, 2005, encontrou efeitos deste fenômeno em árvores de *Cedrela odorata*. Espécies da África também apresentam relações com o clima (Schöngart *et al.*, 2006), sendo passíveis de utilização para reconstruções climáticas para este continente.

Schöngart *et al.* (2005), analisando o crescimento de *Macrolobium acaciifolium* (Leguminosae) em regiões com ciclos de inundação na Amazônia, encontraram relações entre este crescimento e a duração da fase seca do ciclo (período vegetativo). Além disso, encontraram também relações entre o crescimento desta espécie e os eventos de El-Niño, que nesta região causa um aumento no período vegetativo (de seca), podendo ser identificado por um crescimento maior do que a média.

Além disso, é possível também estudar como árvores de diferentes biomas se relacionam com o ambiente nas quais vivem. Analisando árvores de

duas espécies de jatobá, Locosselli *et al.*, (em preparação) notaram que estas espécies, que vivem em duas fisionomias distintas, apresentam respostas semelhantes (embora diferentes quanto à intensidade e época do ano) a variações no clima. Além disso, as árvores de *Hymenaea stigonocarpa*, que vive em formações de cerrado, apresentaram aumento na 'eficiência intrínseca no uso da água' (*Wi*) ao longo do tempo, enquanto para *Hymenaea courbaril*, a espécie de matas semi-decíduas, a *Wi* não se alterou.

Além do Brasil, outras regiões tropicais também vem sendo estudadas. Schöngart *et al.* em 2006 encontraram provas, através da relação das larguras dos anéis com diferentes variáveis climáticas, da anualidade dos anéis de seis espécies desta região. Além disso, confirmaram o potencial destas espécies para reconstrução climática, apesar de não encontrarem efeitos do El-Niño. Pumijumnong *et al.*, 1995, encontraram relações significativas entre o crescimento de *Tectona grandis* (Verbenaceae) e a precipitação de Abril a Junho, na Tailândia, enquanto Soliz *et al.*, 2009, observaram variações espaço-temporais no crescimento de *Polylepis tarapacana* (Rosaceae), no altiplano Boliviano.

De maneira similar à dendrocronologia tropical, a dendrocronologia urbana também apresenta um pequeno número de trabalhos quando comparada à dendrocronologia de árvores crescendo em ambiente natural. Apesar de similares, o motivo pelo qual o número de trabalhos é pequeno é o fato de que o ambiente urbano possui inúmeras perturbações (tanto naturais quanto antropogênicas) que fazem com que o crescimento das árvores neste tipo de ambiente seja afetado por mais fatores do que em ambientes naturais. Sendo assim, as árvores apresentam um crescimento determinado por um

grande número de fatores que não necessariamente apresentam padrões ou sazonalidade, dificultando assim o estudo dos anéis de crescimento.

Dentre os fatores que podem alterar o crescimento das árvores em ambiente urbano estão fatores relacionados às concentrações de CO_2 e poluentes no ar. Bukata & Kyser, 2007, encontraram alterações significativas nas razões isotópicas (chamadas de delta - δ) de $\delta\ ^{13}C$ e $\delta\ ^{15}N$ nos anéis de crescimento de árvores crescendo em regiões urbanizadas no Canadá, que são consistentes com o aumento da influência de atividades humanas na região. Além disso, os autores também notaram que há uma dependência destas relações isotópicas com a distância que as árvores crescem dos centros de influência antropogênica. Dongarrà & Varrica, em 2002, também observaram diminuição das relações de $\delta\ ^{13}C$ em indivíduos de *Platanus hybrida* crescendo em região urbana próximo à Palermo, na Itália. Essa redução, segundo os autores, é devida provavelmente ao aumento da emissão de CO_2 relativamente mais pobre em ^{13}C, advindo da queima de combustíveis fósseis por atividade humana na região.

Com relação à poluição do ar, Hirano & Morimoto, em 1999, observaram uma considerável redução no crescimento de indivíduos de *Pinus thunbergii* crescendo nas imediações de complexos industriais no Japão. Os autores creditam esta redução à um aumento nas concentrações atmosféricas de SO2 durante um período de cerca de 30 anos, atingindo picos de concentração na década de 1970. Este comportamento foi também observado na Koreia, quando Kim & Fukazawa (1997) estudaram o crescimento da mesma espécie, crescendo também próxima à complexos industriais. Estes autores puderam concluir que a redução no crescimento radial dos indivíduos

estudados teve início cerca de 3 anos após a instalação do complexo industrial, indicando assim forte influência dos poluentes lançados ao ar. Além disso, mais uma vez, os autores notam a influência negativa das concentrações de SO2 no crescimento destas árvores.

No entanto, as informações contidas nos anéis de crescimento podem ser analisadas não somente utilizando métodos de dendrocronologia. A análise de crescimento de uma árvore pode servir como um bom ponto de partida para a calibração de modelos matemáticos que simulam a dinâmica de uma floresta por exemplo. Modelos matemáticos são uma ferramenta extremamente interessante para o estudo de fenômenos biológicos, pois apesar de serem simplificações das realidades destes fenômenos, podem reproduzir com um grau de fidelidade bastante elevado o comportamento de um sistema, seja ele uma única célula ou mesmo uma floresta por completo.

Cammarano (2011) desenvolve um conjunto de equações que descrevem a dinâmica de uma floresta temperada baseado em diversos parâmetros ecológicos, como proporções entre árvores adultas e jovens, superfície média da copa de uma árvore adulta, taxas de mortalidade, dentre outras, para analisar as relações entre estes parâmetros populacionais, características individuais e estágios sucessionais na floresta modelada. Falster *et al.* (2011), desenvolveram outro modelo, baseado principalmente em parâmetros fisiológicos, da dinâmica de uma floresta simulada de uma única espécie. Com esse modelo, foi possível analisar a influência de quatro características da espécie em propriedades emergentes da população, como produtividade primária líquida e distribuição de biomassa.

Esses modelos vem sendo utilizados com frequência para o estudo de redes de processos cada vez mais complexos devido ao constante aumento no poder computacional disponível, como por exemplo as projeções climáticas globais e regionais desenvolvidas pelo IPCC (2007). Assim sendo, é possível esperar que grandes descobertas acerca de fenômenos em larga escala como as mudanças climáticas sejam feitas através do uso destes modelos.

O cedro vem sendo estudado por muitos pesquisadores em toda a América, porém nenhum estudo foi desenvolvido com árvores urbanas. O entendimento do comportamento destas árvores é crucial para desenhar e entender o cenário ambiental das grandes cidades nos dias de hoje, além de fornecer dados que possibilitem a criação de previsões e ainda atos preventivos com relação às mudanças climáticas globais.

O estudo com árvores urbanas ainda revela informações importantes sobre o clima da cidade ao longo do tempo de vida destas árvores, possibilitando assim identificar efeitos da urbanização acelerada ocorrida e seus efeitos, como o surgimento de ilhas de calor, etc.

O objetivo geral deste trabalho é, portanto, estudar os anéis de crescimento e caracterizar suas variações, tentando relacionar essas variações com o ambiente no qual as árvores estão inseridas, tornando assim possível reconstruir o clima para a cidade de São Paulo no último século. Como objetivos específicos, tem-se:

- Construir cronologias de anéis de crescimento para as árvores urbanas e utilizar estas cronologias para a construção de modelos de reconstrução climática;

- Testar se as áreas de vaso do cedro apresentam algum tipo de relação com as variáveis climáticas analisadas;

- Utilizar os dados de crescimento inerentes a este tipo de estudo para estabelecer uma nova equação a ser inserida no modelo de Falster *et al.*, 2011, de dinâmica florestal.

Referências Bibliográficas

BARABASI, A.L, (2009), "Linked: a nova ciência dos Networks", 1a ed., 256pp., Hemus.

BRIFFA KR, OSBORN TJ & SCHWEINGRUBER FH (2004). Large-scale temperature inferences from tree rings: A review. *Global and Planetary Change* 40:11–26

BUKATA, A. R., & KYSER, T. K. (2007). Carbon and nitrogen isotope variations in tree-rings as records of perturbations in regional carbon and nitrogen cycles. *Environmental science & technology*, *41*(4), 1331-8

CAMMARANO, M. (2011). Co-dominance and succession in forest dynamics: The role of interspecific differences in crown transmissivity. *Journal of theoretical biology*, *285*(1), 46-57

COOK, E. R., SEAGER, R., CANE, M. a., & STAHLE, D. W. (2007). North American drought: Reconstructions, causes, and consequences. *Earth-Science Reviews*, *81*(1-2), 93-134.

DAVIS, M. B., & SHAW, R. G. (2001). Range shifts and adaptive responses to Quaternary climate change. *Science (New York, N.Y.)*, *292*(5517), 673-9.

DONGARRÀ, G., & VARRICA, D. (2002). δ13C variations in tree rings as an indication of severe changes in the urban air quality. *Atmospheric Environment*, *36*(39-40), 5887-5896.

DÜNISCH, O., MONTÓIA, V. R., BAUCH, J., (2003). "Dendroecological investigation on Swietenia macrophylla King. and Cedrela odorata L. (Meliaceae) in the central Amazon." Trees 17: 244-250.

DÜNISCH, O. (2005). "Influence of the El-nino southern oscillation on cambial growth of Cedrela fissilis Vell. in tropical and subtropical Brazil." Journal of Applied Botany and Food Quality 79(1): 5-11

EVERT, R. F., (2006), "Esau's Plant Anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development", 3rd ed., Wiley-interscience, New Jersey.

FALSTER DS, BRÄNNSTRÖM Å, DIECKMANN U & WESTOBY M (2011). Influence of four major plant traits on average height, leaf-area cover, net primary productivity, and biomass density in single-species forests: A theoretical investigation. *Journal of Ecology* 99:148–164

FERREIRA, L. B., & TIDON, R. (2005). Colonizing potential of Drosophilidae (Insecta, Diptera) in environments with different grades of urbanization. *Biodiversity and Conservation*, *14*(8), 1809-1821.

FREITAS, E. D. (2003). *Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de Poluentes*., Tese de Doutorado, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo

FREITAS, .E. D. & SILVA DIAS, P. L., (2005), "Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor", *Revista Brasileira de Meteorologia,* 20(3):355-366.

GARTNER, B. L., ALONI, R., FUNADA, R., LICHTFUSS-GAUTIER, A. N., & ROIG, F. A. (2002). Clues for dendrochronology from studies of wood structure and function. *Dendrochronologia*, *20*(1-2), 53–61.

GAZAL, R., WHITE, M. A., GILLIES, R., RODEMAKER, E., Sparrow, E., & Gordon, L. (2008). GLOBE students, teachers, and scientists demonstrate variable differences between urban and rural leaf phenology. *Global Change Biology*, *14*(7), 1568-1580

GOUVEIA, N., HAJAT, S., & ARMSTRONG, B. (2003). Socioeconomic differentials in the temperature-mortality relationship in Sao Paulo, Brazil. *International Journal of Epidemiology*, *32*(>3), 390-397

HIRANO, T., & MORIMOTO, K. (1999). Growth reduction of the Japanese black pine corresponding to an air pollution episode. *Environmental Pollution*, *106*(1), 5–12

HONNAY, O., VERHEYEN, K., & BUTAYE, J. (2002). Possible effects of habitat fragmentation and climate change on the range of forest plant species. *Ecology*, *5*(4), 525-530.

IPCC (2007).Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M & Miller HL eds. Climate change 2007: The physical sciences basis. Contributions of the Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

JUMP, A. S., & PEÑUELAS, J. (2005). Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecology Letters*, *8*(9), 1010-1020.

KIM, J. K., & FUKAZAWA, K. (1997). Changes in tree ring width and density ofPinus thunbergii growing in the vicinity of industrial complex in Korea. *Journal of Forest Research*, *2*(2), 109–113

LARA A & VILLALBA R (1993). A 3620-year temperature record from *Fitzroyacupressoides* tree rings in southern South America. *Science* 260:1104–1106

LOCOSSELLI, G. M., BUCKERIDGE, M., CECCANTINI, G., (em preparação) "A dendroecological multi-proxy analysis of two tropical species (Hymenaea, Leguminosae) from a vegetation mosaic, using tree ring length, vessel area and intrinsic water-use efficiency."

MOORE, M., GOULD, P., & KEARY, B. S. (2003). Global urbanization and impact on health. *International journal of hygiene and environmental health*, *206*(4-5), 269-78.

NEWSHAM, K. K., & ROBINSON, S. A. (2009). Responses of plants in polar regions to UVB exposure: a meta-analysis. *Global Change Biology*, *15*(11), 2574-2589.

NIINEMETS, U., & PEÑUELAS, J. (2008). Gardening and urban landscaping: significant players in global change. *Trends in plant science*, *13*(2), 60-5.

PUMIJUMNONG, N., ECKSTEIN, D., SAAS, U., (1995), " Tree-ring research on *Tectona grandis* in northern Thailand". IAWA Journal 16(4): 385-392.

RAVEN, P. H., EVERT, R. F., EICHHORN, S. E., (2002), "Biologia Vegetal", 6ª ed., Rio de Janeiro, Guanabara-Koogan

ROIG, F. a, LE-QUESNE, C., BONINSEGNA, J. A, BRIFFA, K. R., LARA, A, GRUDD, H., JONES, P. D., et al. (2001). Climate variability 50,000 years ago in mid-latitude Chile as reconstructed from tree rings. *Nature*, *410*(6828), 567-70.

SCHÖNGART J, JUNK WJ, PIEDADE MTF, AYRES JM, HUTTERMANN A, WORBES M (2004). Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño-Southern Oscillation effect.*Global Change Biology* 10:683–692

SCHÖNGART, J., ORTHMANN, B., HENNENBERG, K. J., POREMBSKI, S., WORBES, M., (2006), "Climate-growth relationships of tropical tree species in West Africa and their potential for climate reconstruction.", Global Change Biology 12: 1139-1150.

SCHWEINGRUBER FH (1996). *Tree Rings and Environment:Dendroecology* (3rd ed.).Paul Haupt, Berne, Switzerland

SOLÍZ, C., VILLALBA, R., ARGOLLO, J., MORALES, M. S., CHRISTIE, D. A., MOYA, J., & PACAJES, J. (2009). Spatio-temporal variations in Polylepis tarapacana radial growth across the Bolivian Altiplano during the 20th century. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *281*(3-4), 296-308.

STOKES, M. A., SMILEY, T. L., (1996) "An introduction to tree-ring dating" – Chicago: University of Chicago Press.

THORNS, D. C. (2002). *The Transformation of Cities: Urban Theory and Urban Life*.

UGGLA, C., MELLEROWICZ, E., & SUNDBERG, B. (1998). Indole-3-acetic acid controls cambial growth in scots pine by positional signaling. *Plant physiology*, *117*(1), 113-21. Retrieved from

WIMMER, R., (2002), "Wood anatomical features in tree-rings as indicators of environmental change", Dendrochronologia 20(1-2) 21-36.

YOFFE, N., (2004), "Myths of the Archaic State"., Cambridge, 293pp.

Análise dendroclimatológica de cedro (*Cedrela fissilis* L. - Meliaceae) e reconstrução de temperatura para a cidade de São Paulo, SP, Brasil

Burin, G.[1], Ceccantini, G. T. C.[1]

[1]Laboratório de Anatomia Vegetal, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo

Resumo

Em tempos de aquecimento global, ainda não se sabe como exatamente o clima vai mudar com o impacto humano na atmosfera. Essa lacuna no conhecimento é especialmente grande para áreas urbanas, onde grande parte da população humana vive nos dias de hoje. Uma das áreas da ciência mais produtivas nesses estudos é a Dendrocronologia, que analisa os anéis de crescimento de uma ou mais espécies de árvores para analisar diversos tipos de informação, que vão de clima a proliferação de insetos. Neste trabalho, analisou-se como árvores de cedro (*Cedrela fissilis* L.) respondem ao clima em ambiente urbano, e também foram construídos modelos de reconstrução para temperatura e precipitação mensais para uma região da cidade de São Paulo. Foram analisadas 43 árvores de 3 locais de coleta, e XX delas foram usadas para construir 2 cronologias, abrangendo um período de 119 anos. As cronologias residuais foram testadas contra temperatura e precipitação mensais e foi possível encontrar relações significantes entre a temperatura e a precipitação e o crescimento das árvores para diferentes períodos do ano. Ainda, utilizou-se os modelos de correlação clima-crescimento para reconstruir essas duas variáveis climáticas. Por fim, através da medição da área de vasos de determinados anéis, foi possível também encontrar relações entre estas áreas e as variáveis climáticas.

Abstract

In times of Global Warming we still do not know how exactly will the climate change with all the human impact in World's atmosphere. This lack of knowledge is specially intense for urban areas, where most of the human population lives today. One of the most productive areas of science in these studies is Dendrochronology, which analyses the growth rings of one or more tree species to assess various types of information, from climate to insect outbreaks. In this work, we analyzed how *Cedrela fissilis* trees respond to climate in an urban environment, and we also built reconstruction models for temperature and precipitation in one region of the city of São Paulo. We analyzed 43 trees from 3 sampling sites inside São Paulo, and XX of them were used to build 2 chronologies, with a total time span of 119 years. The residual chronologies were tested against monthly precipitation and temperature, and we have found relations between tree growth and temperature and precipitation, for different periods of the year. Then, we used the correlation models to reconstruct both climatic variables. Lastly, by measuring vessel area in some predetermined rings, it was also possible to find relations between these areas and climatic variables.

Introdução

Desde a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento de 1992 (conhecida conhecida por ECO-92 ou ainda RIO-92), as mudanças climáticas vem sendo intensamente discutidas, tanto em mídia de ampla divulgação (Arini 2007; Cordeiro 2007; Dantas 2008) ou em mídia especializada (Lashof & Ahuja 1990; Glynn 1991; Pearce 1991; Vitousek 1994; Peñuelas *et al.* 2008).

As projeções de clima para o sudeste da América do Sul, segundo o IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, em seu último relatório (2007), indicam alterações na precipitação devido a alterações na dinâmica de fenômenos meteorológicos como a Zona de Convergência do Atlântico Sul. Isso deve causar uma diminuição no comprimento da estação chuvosa, com intensificação destas, ou seja, as chuvas se concentrarão em um menor período, porém a quantidade de chuva será maior.

Já em grandes centros urbanos dessa região as projeções tornam-se mais incertas devido ao impacto que características climáticas típicas de áreas urbanas, como as ilhas de calor urbanas, causam nos modelos de previsão.

Unido a toda esta problemática está o pequeno conhecimento sobre as respostas de árvores tropicais a mudanças no clima, diferentemente das árvores temperadas que tem seu crescimento estudado há mais de um século. A dendrocronologia, ciência que estuda a sequência de anéis de crescimento de espécies arbóreas (Schweingruber, 1996; Stokes & Smiley, 1996), é extremamente bem desenvolvida para árvores de regiões temperadas, sendo usada para diversos propósitos que vão desde análise de eventos de avalanches até estudos geomorfológicos (Dansgaard *et al.*, 1993; Greenwood & Wing, 1995; Jouzel *et al.*, 1997; Koch, 1998; Petit *et al.*, 1999; Fricke & Wing, 2004; McDermott, 2004). Porém nas regiões tropicais, os estudos de dendrocronologia ainda são bastante incipientes quando comparados aos de regiões temperadas (Worbes, 2002).

Uma das razões para esse atraso é o fato de que por décadas acreditou-se que as árvores tropicais não possuiriam anéis de crescimento

anuais, pois não há uma diferença climática (em especial de temperatura) entre as estações do ano tão marcada quanto há em regiões temperadas (frequentemente com neve no inverno e altas temperaturas no verão) (Worbes, 2002). Porém, nos últimos anos um grande número de estudos (Pumijumnong *et al.*, 1995; Dünisch *et al.*, 2003; Schöngart et al, 2004, Schöngart *et al.*, 2006, Soliz *et al.*, 2009) vem comprovando a existência de anéis de crescimento visíveis e anuais em diversas espécies de árvores tropicais, possibilitando assim que estas espécies sejam estudadas à luz da dendrocronologia e ciências correlatas.

Dünisch *et al.* (2003), em estudo utilizando duas espécies tropicais (*Swietenia macrophylla* e *Cedrela odorata*, ambas pertencentes à família Meliaceae) na Amazônia central, observaram a anualidade dos anéis de crescimento dessas duas espécies, além de terem encontrado relações entre o crescimento dessas duas espécies e a precipitação em diferentes momentos da estação de crescimento, indicando o importante papel da disponibilidade de água para a formação dos anéis de crescimento de árvores desta região.

Sendo o conhecimento das respostas de árvores tropicais a mudanças no clima escasso, mais escasso ainda é o conhecimento sobre estas respostas em árvores urbanas. Portanto, devido à grande parte da população mundial morar em ambientes urbanos, é de extrema importância compreender como o crescimento das árvores destas regiões se comporta.

Alguns estudos já encontraram efeitos da urbanização ou de poluição do ar no crescimento de algumas espécies (Kim & Fukazawa, 1997; Hirano & Morimoto, 1999; Dongarrà & Varrica, 2002; Bukata & Kyser, 2007).

Adicionalmente, é importante ressaltar que estes estudos apontam também a presença de relações entre o crescimento das diversas espécies analisadas e o clima da região, principalmente relacionando precipitação e temperatura a este crescimento. Isso reforça a ideia de que estudos dendroclimatológicos são viáveis em áreas urbanas, apesar de apresentarem uma série de fatores que podem influenciar nos resultados obtidos, sendo assim necessário cuidado na análise destes resultados.

Sabe-se também que fenômenos típicos de grandes centros urbanos podem afetar a formação de estruturas em escalas menores, como por exemplo células condutoras, dentre outras (Bernal-Salazar *et al.* 2004), Estas estruturas anatômicas também têm sua produção pelo câmbio influenciada pelas condições ambientais, e podem assim ser correlacionadas com parâmetros climáticos (Antonova & Stasova 1993). O mecanismo exato de como fatores ambientais regulam a formação de madeira ainda é pouco conhecido, mas estudos indicam que diferenças temporais na transcrição de determinados genes afetam a sensibilidade das células cambiais à auxina, regulando assim a formação de xilema secundário de acordo com a época do ano (Moyle *et al.* 2002).

Segundo Wimmer (2002), características como área e diâmetro de células (vasos, células parenquimáticas, fibras, etc.), comprimento de fibras, espessura da parede celular, dentre outras, podem ser usadas para a construção de cronologias e/ou para a tentativa de traçar paralelos entre as condições ambientais. Wimmer & Grabner (2000) mostraram ser possível a construção de cronologias com 16 características anatômicas diferentes, encontrando relações significativas entre clima e algumas destas

características. Porém, estes autores afirmam que na maioria dos casos, os parâmetros anatômicos dos anéis de crescimento não respondem individualmente ao ambiente, sendo assim necessário o entendimento destas relações para interpretações mais acuradas.

O cedro (*Cedrela fissilis*) pertence à família Meliaceae, que comporta outras árvores das quais são extraídas madeiras de ótima qualidade e que possuem demarcação do crescimento, como por exemplo, o mogno (*Swietenia macrophylla*), a toona (*Toona ciliata*) e o mogno-africano (*Khaya senegalensis*). Essa família possui distribuição pan-tropical, e no neotrópico é encontrada do México até a Argentina. A espécie *Cedrela fissilis* pode ser encontrada desde as regiões Sul do Brasil e Norte da Argentina até países da América Central, como Panamá e Costa Rica (Pennington 1981). Da mesma família e com anatomia da madeira similar, o mogno (*Swietenia macrophylla*) e outra espécie de cedro (*Cedrela odorata*) já possuem cronologias construídas para a Amazônia central, utilizando dados de largura dos anéis (Dünisch *et al.*, 2003)

O cedro possui uma madeira de densidade intermediária, da ordem de 0,53 g/cm^3 e apresenta ampla distribuição nas Regiões Sul e Sudeste (Pennington 1981, Mainieri & Chimelo 1989). Possui anéis de crescimento anuais muito bem definidos, reconhecíveis por anéis semi-porosos. (Worbes 2002, Marcati *et al.* 2006). Esse tipo de anel é caracterizado por possuir vasos de grande diâmetro no lenho inicial e vasos menores no lenho tardio, porém com uma diminuição gradativa. Foi comprovado que anéis são anuais tanto em estágios iniciais do desenvolvimento da planta, quanto na planta já adulta (Dünisch *et al.* 2003, Marcati *et al.* 2006).

Estudos com outras espécies do mesmo gênero apresentam relações entre o crescimento das árvores e o clima dos locais onde vivem. Villalba *et al.*, (1998) encontraram relações entre o crescimento de *Cedrela lilloi* e a temperatura e precipitação em florestas montanas no noroeste da Argentina, enquanto que também florestas montanas no sul do Equador, Bräuning *et al.*, (2009), observaram relações entre temperatura e o crescimento de *Cedrela montana.*

O cedro está presente em diversos parques e reservas florestais dentro ou nos arredores da cidade de São Paulo, e acredita-se que fosse comum nas formações vegetais originalmente encontradas nesta região, pois supõe-se que o município de São Paulo fosse originalmente coberto por uma formação composta por um mosaico entre floresta ombrófila densa, floresta estacional semi-decídua (formação onde o cedro ocorre tipicamente) e cerradão (Dislich *et al.* 2001; Catharino *et al.* 2006). Atualmente, esta espécie é encontrada em ambientes com diferentes graus de fragmentação, que varia desde árvores plantadas ao longo de vias até árvores presentes em parques e florestas urbanas, com diferentes tamanhos. Porém, não se sabe se árvores vivendo em locais tão diferentes, semelhantes ou não quanto ao tamanho e estrutura da comunidade, respondem de forma semelhante às variações nas condições ambientais.

A cidade de São Paulo, localizada na região sudeste do Brasil, é a maior cidade do país, com uma densidade populacional de cerca de 7.400 habitantes por km2. Devido à esta alta densidade populacional, a cidade sofre com diversos problemas relacionados à poluição advinda de indústrias e da queima de combustíveis fósseis, já que carros e ônibus são os principais meios

de transporte utilizados pela população diariamente. Estes altos índices de poluição no ar, aliados aos altos níveis de urbanização, geram fenômenos típicos de ambientes urbanos como as ilhas de calor (Freitas, 2003; Freitas & Silva Dias, 2005). Além disso, são também altos os índices de doenças respiratórias devido à poluição (Gouveia *et al.*, 2003; Moore *et al.* 2003).

Apesar de ser um caso específico, entender a dinâmica do clima da cidade de São Paulo nos últimos anos é bastante útil, pois como apresentado anteriormente, é extremamente importante que novas descobertas acerca do ambiente urbano sejam feitas, visto que uma grande parte da população mundial dos dias atuais vive em grandes cidades. Sendo assim, estudos dendroclimatológicos com árvores urbanas são interessantes tanto por prover informações sobre as respostas das árvores a mudanças no clima (Rakowski *et al.*, 2004) quanto por possibilitar a reconstrução do clima para períodos sem dados instrumentais, auxiliando na compreensão do ambiente urbano passado e atual e no planejamento das cidades futuras. Portanto, este trabalho tem como objetivos estudar os anéis de crescimento de indivíduos de cedro crescendo na cidade de São Paulo e investigar as relações de suas características (largura do anel e áreas de vaso) com variáveis climáticas como temperatura e precipitação, visando entender como se dão essas relações e também reconstruir o comportamento dessas variáveis para o último século.

Material e Métodos

As amostras de madeira coletadas provém de coletas em quatro locais de três unidades de conservação com remanescentes naturais de floresta estacional semi-decídua urbana, a Reserva de Mata do Instituto de Biociências

da Universidade de São Paulo, e dois núcleos do Parque Estadual da Cantareira (Pedra Grande e Engordador), ambos localizados na zona norte da cidade de São Paulo. Além disso, também foram coletadas amostras em uma área urbana, localizada no Instituto Butantã. Todas essas áreas se localizam na região metropolitana da cidade de São Paulo/SP (Figura 2).

Figura 2: Mapa da cidade de São Paulo com os locais de coleta destacados

A coleta das amostras das amostras de árvores vivas localizadas na Reserva de Mata do IB-USP, no Parque Estadual da Cantareira e no Instituto Butantan foram feitas de maneira não destrutiva. Com o auxílio de um trado de incremento (comprimento=30 cm, ∅= 5 mm), foram extraídas baquetas à altura do peito (1,30 m). Depois de extraídas as baquetas, foi aplicada uma solução

de Sulfato de Cobre e Óxido de Cálcio na árvore, para evitar o ataque de patógenos, além de facilitar a cicatrização.

A tabela 1 contem os principais dados sobre as amostras coletadas.

Tabela 1: Lista de material coletado para os três locais. * = amostras para a incerteza na determinação da idade foi grande por dificuldades na datação, ** = amostra danificada.

Amostra	Circunferência	Diâmetro Calculado	Idade mínima	Localidade	SPFw
GC3051	239	38,04	119	Butantan	3342
GC3052	62	9,87	23	Butantan	3343
GC3053	89	14,17	20	Butantan	3344
GC3054	273	43,45	93	Butantan	3345
GC3055	196	31,20	98	Butantan	3346
GC3056	70	11,14	*	Butantan	3347
GC3057	195	31,04	93	Butantan	3348
GC3058	117	18,62	77	Butantan	3349
GC3059	30	4,77	*	Butantan	3350
GC3060	48	7,64	*	Butantan	3351
GC3061	200	31,83	48	Butantan	3352
GC3062	156	24,83	*	Butantan	3353
GC3063	**	**	**	Butantan	3354
GC3064	260	41,38	75	Butantan	3355
GC3065	256	40,74	29	Butantan	3356
GC3066	262	41,70	41	Butantan	3357
GBF01	168	26,74	25	IB-USP	3358
GBF02	140	22,28	55	IB-USP	3359
GBF03	157	24,99	37	IB-USP	3360
GBF04	98	15,60	33	IB-USP	3361
GBF05	143	22,76	44	IB-USP	3362
GBF06	49	7,80	28	IB-USP	3363
GBF07	97	15,44	*	IB-USP	3364
GBF08	142	22,60	44	IB-USP	3365
GBF09	210	33,42	50	IB-USP	3366
GBF10	100	15,92	44	IB-USP	3367
GBF11	185	29,44	80	Cantareira – Pedra Grande	3368
GBF12	170	27,06	64	Cantareira – Pedra Grande	3369
GBF13	135	21,49	53	Cantareira – Pedra Grande	3370
GBF14	100	15,92	*	Cantareira – Pedra Grande	3371
GBF15	165	26,26	*	Cantareira – Pedra Grande	3372
GBF16	120	19,10	12	Cantareira – Pedra Grande	3373
GBF17	200	31,83	59	Cantareira – Pedra Grande	3374
GBF18	93	14,80	*	Cantareira – Pedra Grande	3375
GBF19	117	18,62	*	Cantareira – Pedra Grande	3376
GBF20	129	20,53	*	Cantareira – Pedra Grande	3377
GBF21	133	21,17	57	Cantareira – Pedra Grande	3378
GBF22	145	23,08	*	Cantareira – Pedra Grande	3379
GBF23	134	21,33	*	Cantareira – Engordador	3380
GBF24	143	22,76	42	Cantareira – Engordador	3381
GBF25	132	21,01	71	Cantareira – Engordador	3382
GBF26	175	27,85	37	Cantareira – Engordador	3383
GBF27	166	26,42	*	Cantareira – Engordador	3384

Para o estudo das amostras, as baquetas foram coladas em suportes de madeira próprios para a sua acomodação, com os vasos voltados para cima (Schweingruber, 1989). Após a colagem, o material foi seco ao ar livre e posteriormente polido utilizando-se de navalha de micrótomo (Schweingruber, 1989).

De posse das amostras já polidas, inicia-se o processo de datação destas amostras, que constitui em atribuir um ano do calendário para cada anel formado, de maneira regressiva, iniciando-se no último anel formado. Devido ao fato de no Hemisfério Sul a estação de crescimento iniciar-se em um ano e terminar no ano seguinte, convencionou-se que o ano que deve ser atribuído a um anel de crescimento é o ano de início da formação deste anel (Ricardo Villalba, comunicação pessoal)..

Assim, como as baquetas (IB-USP e Instituto Butantan) foram coletadas no início do ano de 2007, o último anel (todas as árvores amostradas estavam vivas; portanto podemos afirmar que o último anel presente nas amostras foram os anéis formados na última estação de crescimento) teve o ano de 2006 atribuído a ele (figura 3). Para as amostras obtidas no Parque Estadual da Cantareira, atribuiu-se o ano de 2010 para o último anel presente.

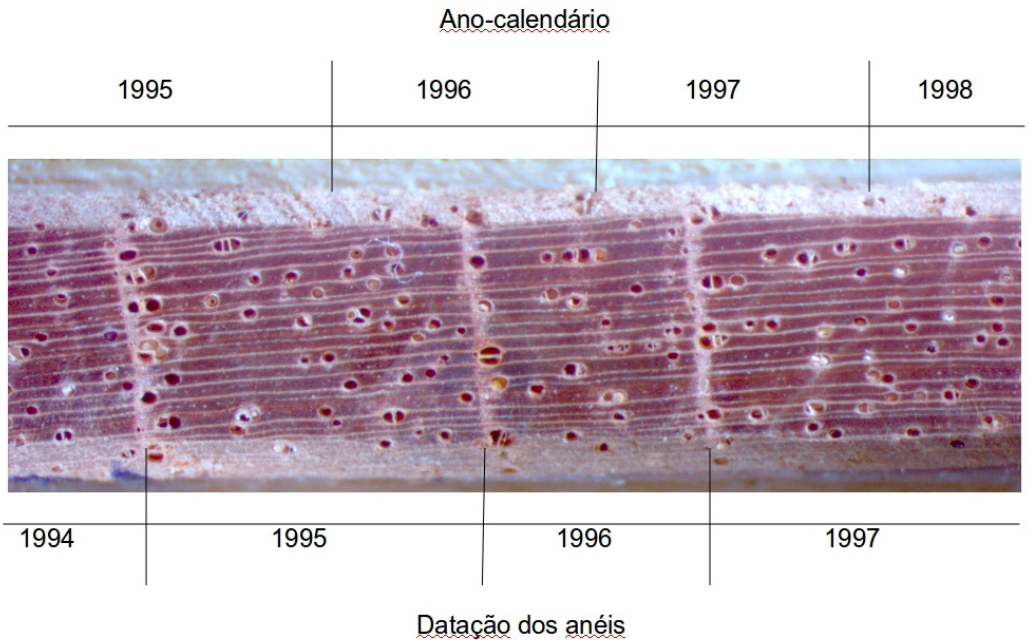


Figura 3: Fotografia de amostra com representação da diferença entre o ano-calendário e a datação dos anéis, segundo convenção.

Após essa preparação do material a ser estudado, o próximo passo foi a medição dos anéis. Isso foi feito fotografando-se cada baqueta polida com o auxílio de uma câmera digital acoplada a um estereomicroscópio (Leica). Foram tomadas medidas dos raios de cada anel utilizando-se o programa de medição digital ImageJ versão 1.45 (Rasband, 1997-2011) e essas medidas foram registradas, para posterior datação-cruzada dos indivíduos ("cross dating") (Stokes & Smiley, 1996).

A datação-cruzada consiste em identificar os anos marcadores em uma sequência de anéis de crescimento, ou seja, identificar períodos de crescimento peculiar que possam ser reconhecidos e alinhados entre diferentes indivíduos. Fazendo isso com todos os indivíduos, torna-se possível a construção de cronologias da largura dos anéis de crescimento, que mostram as variações comuns à maioria dos indivíduos e, assim, um comportamento do crescimento da população em questão.

Para testar a qualidade das cronologias construídas após a datação-cruzada dos indivíduos analisados, utilizou-se o pacote de programas para dendrocronologia COFECHA 6.06P (Holmes & Cook, 2001).

Além disso, foi também construída uma cronologia-média e uma cronologia-residual para as árvores coletadas no IB-USP e no Instituto Butantan, não sendo possível construir estas cronologias para as árvores da Cantareira, por não serem estatisticamente significantes. A primeira contém as principais variações no crescimento apresentadas pelas árvores de cada um dos locais de coleta, e a segunda contém os desvios em relação a modelos predeterminados de crescimento, desvios estes que são atribuídos a outros fatores que influenciam o crescimento, que não o padrão de crescimento dependente da idade, que a maioria dos seres vivos apresenta; estes outros fatores podem ser, por exemplo, precipitação e temperatura, que são os dois principais alvos do presente trabalho. Para isso, utilizaram-se as cronologias-residuais de cada um dos locais de coleta. Estas cronologias, como o nome indica, são compostas pelos resíduos (diferenças) entre o crescimento observado dos anéis de crescimento e modelos de previsão de crescimento destas plantas. Estes modelos geralmente são modelos de crescimento linear ou de crescimento exponencial, ambos negativos, que procuram simular as tendências de crescimento dependentes da idade das árvores (assim como nos animais, espera-se que as plantas apresentem diminuição nas taxas de crescimento com o passar do tempo, crescendo mais quando são jovens e menos quando são adultas). Para isso, utilizou-se o software ARSTAN (Cook, 1985).

Devido à natureza matemática destas cronologias residuais, segue-se o

raciocínio de que, removidas as tendências naturais de crescimento, as variações apresentadas na curva de crescimento residual devem-se a algo que não seja relacionado a essas tendências (como por exemplo o clima).

Para testar, portanto, a relação entre esses fatores e o crescimento das árvores, utilizaram-se testes de correlação de Pearson, visto que a premissa deste teste foi atendida (resíduos obedecendo a uma distribuição normal). A figura 4 apresenta um climadiagrama da cidade de São Paulo, indicando a variação de temperatura e precipitação ao longo do ano e evidenciando a estação seca no período de maio a agosto aproximadamente. Foram utilizados os dados de precipitação e temperatura das estações de crescimento do ano corrente à formação do anel, do ano anterior e de dois anos antes à formação de um anel de crescimento (Holmes & Cook, 2001; Cook & Kairiukstis, 1990; Fritts, 1976). Para todos os testes, foi utilizado o software R (R Development Core Team, 2011).

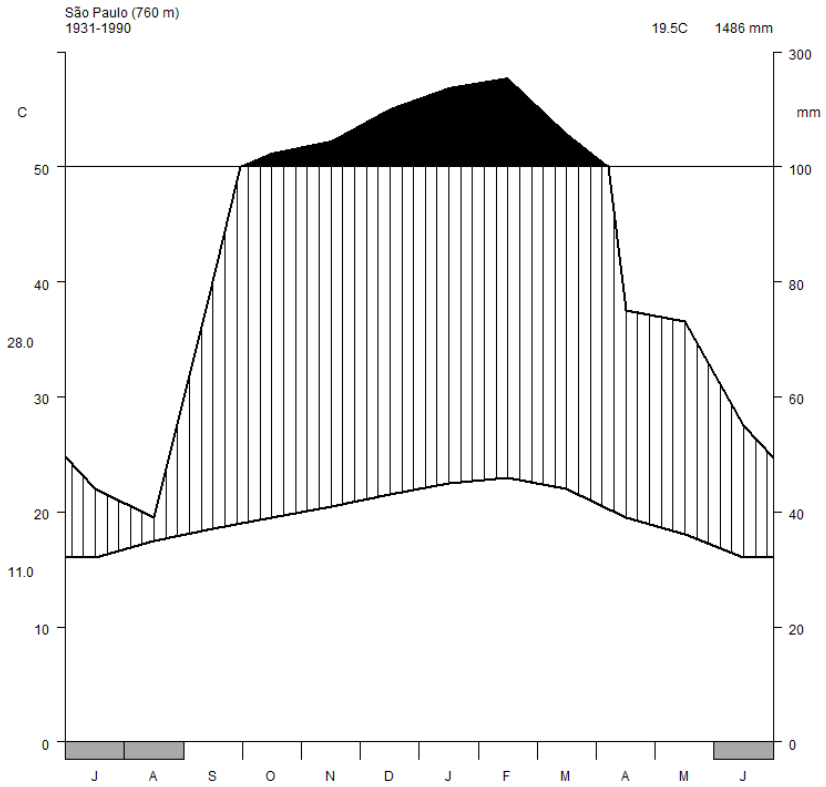


Figura 4: Climadiagrama para a cidade de São Paulo, evidenciando o período de poucas chuvas compreendendo os meses de maio a agosto.

Os resultados foram expressos na forma indexada. Isso significa que as reconstruções dos parâmetros climáticos foram apresentadas na forma de anomalias de temperatura/precipitação, ou seja, os valores nos gráficos indicam a proporção de variação para mais ou para menos do parâmetro em questão em relação à média daquele parâmetro. Por exemplo, se para um determinado ano a reconstrução indicou uma anomalia de temperatura de 0,03, isso quer dizer que para aquele ano, a temperatura foi 3% acima da média de todo o período analisado. O mesmo vale para valores negativos. Isso é feito pois com estes resultados comparativos (sempre em relação à média do período) fica mais fácil e direto avaliar quais os tipos de mudanças (aumento,

decréscimo, oscilações, etc.) que estes parâmetros apresentaram. Áreas de Vaso

De posse dos resultados das avaliações das cronologias, e devido ao fato de as cronologias individuais apresentarem muitos anéis faltantes, foram escolhidos alguns períodos de crescimento bem demarcado (i. e. Eventos registrados pela maioria dos indivíduos) nos quais as medidas de área de vaso seriam tomadas. Além disso, algumas amostras não possuíam anéis bem definidos para os melhores períodos (segundo a análise estatística). Sendo assim, nem todas as amostras puderam ser utilizadas para esta parte do trabalho.

Para a escolha desses períodos e das amostras foram levados em consideração a importância de determinada amostra na cronologia média (indicada pela correlação com a série-mestre) e também o comportamento das cronologias em comparação com as demais, ou seja, o quão bem uma amostra isoladamente representava o comportamento da maioria das amostras de uma localidade. Sendo assim, foram selecionadas 7 amostras, que tiveram os anéis dos anos 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1988, 1989, 1990, 1991, 1998, 1999 e 2000.

Além disso, devido ao cedro possuir porosidade do tipo “anel semi-poroso”, nos deparamos com um problema: não é possível distinguir em um anel já formado, qual porção corresponde ao lenho inicial e qual porção pertence ao lenho tardio. Sendo assim, para ter certeza sobre a qual lenho um determinado vaso medido pertence, somente os primeiros (lenho inicial) e os últimos vasos (lenho tardio), ambos em contato com as faixas de parênquima

marginal, foram medidos.

De posse das medidas, para testar as relações entre estas áreas de vaso e os parâmetros climáticos, foi empregado o mesmo procedimento para teste da relação entre a largura dos anéis de crescimento e o clima, ou sejam modelos lineares com dados climáticos usando o software R (R Development Core Team, 2011).

Resultados

Análise de crescimento

Os dados de largura de anel de crescimento possibilitam, inicialmente, a construção de curvas de incremento radial anual acumulado para cada uma das amostras (figura 5). As curvas de todas as árvores utilizadas para a construção das cronologias nas três localidades de coleta estão representadas na figura.

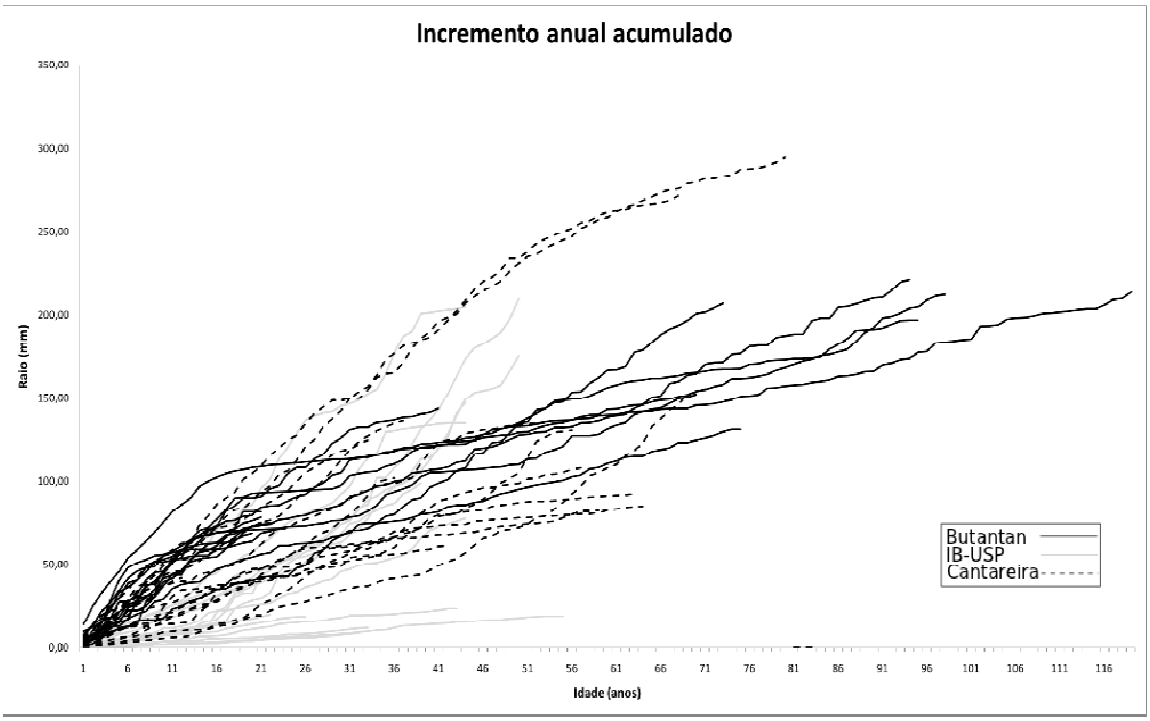


Figura 5: Curvas de incremento radial anual acumulado das árvores utilizadas para a construção das cronologias dos três locais de coleta (Butantan: linha contínua preta, IB-USP: linha contínua cinza, Cantareira: linha interrompida preta).

A partir destes dados, calcularam-se os incrementos médios por ano para cada uma das localidades, (figura 6)

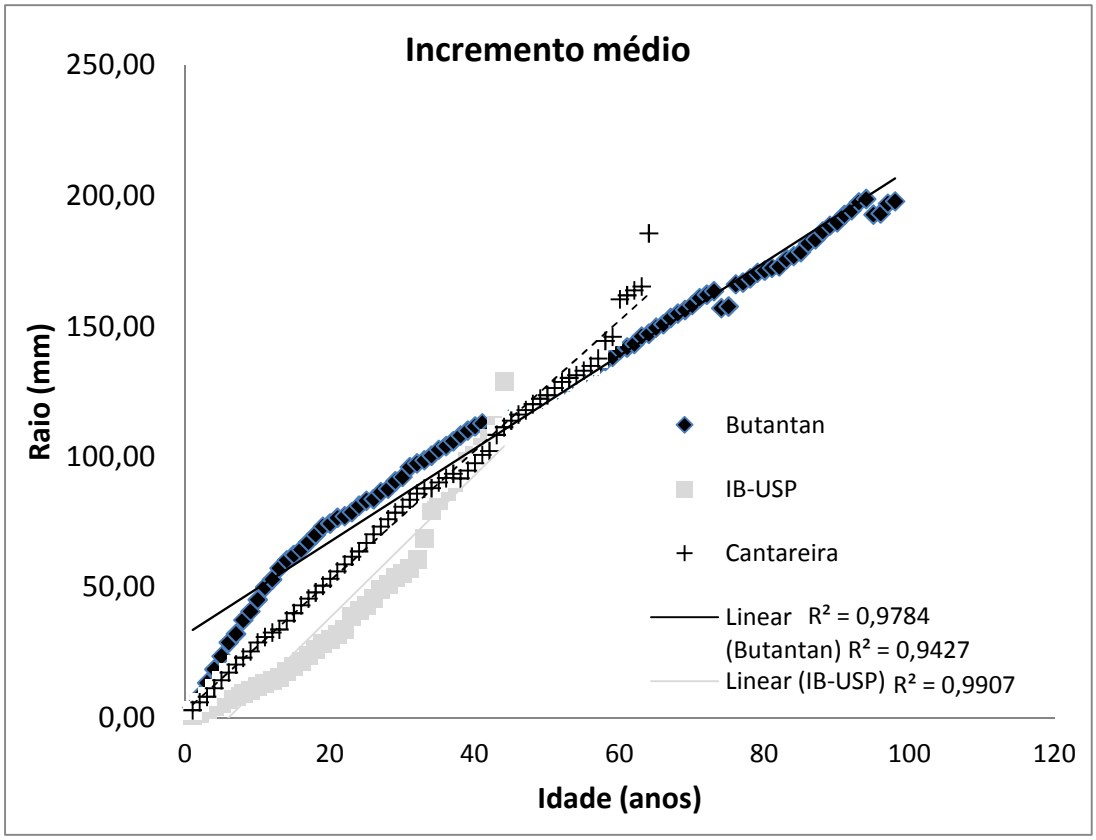


Figura 6: Incrementos médios por ano para as três localidades, juntamente com suas linhas de tendência lineares. (Losangos e linha contínua pretos: Butantan, Quadrados e linha contínua cinzas: IB-USP, Cruzes e linha interrompida pretas: Cantareira) Nesta figura estão apenas representados os incrementos para os anos que estavam presentes em mais de uma árvore.

Por fim, calculou-se o incremento médio total para cada uma das localidades, dividindo-se o incremento médio por ano pelo comprimento total de cada série (tabela 2)

Tabela 2: Incrementos médios anuais para cada um dos locais. Estes valores foram calculados utilizando a média dos incrementos entre todas as árvores de um local, dividido pelo tamanho da série média.

	Instituto Butantan	IB-USP	Cantareira
Incremento médio anual (mm/ano)	1,8	2,68	3,68

Largura de anéis de crescimento

O conjunto de amostras de cada localidade de coleta nos permitiu confeccionar cronologias individuais para cada árvore de cada um desses locais. Os conjuntos de cronologias apresentaram as seguintes características, apresentadas na tabela 3 (após serem analisadas usando o software

COFECHA):

Tabela 3: Estatísticas das cronologias obtidas após análise pelo software COFECHA. As duas últimas linhas correspondem aos dados de cada núcleo do Parque Estadual da Cantareira analisados individualmente. O valor crítico de intercorrelação entre séries foi de 0,4226, exceto para o Instituto Butantan, que foi de 0.3281.

	Intercorrelação entre séries	**Sensitividade média**	**Amostras coletadas**	**Amostras utilizadas**	**Comprimento médio**	**Comprimento total**
IB-USP	*0,429*	0,759	20	12	36,3	55,0
Butantan	*0,350*	0,876	22	15	53,9	119,0
Cantareira	0,298	0,653	24	10	50,1	71,0
Núcleo Pedra Grande	0,187	0,649	12	9	62,6	80,0
Núcleo Engordador	0,162	0,649	12	5	44,0	71,0

Podemos notar que de todas as cronologias, apenas as obtidas para as árvores do Instituto Butantan e para a reserva de mata do IB-USP se mostraram significativas (itálico), sendo as únicas passíveis de serem usadas para outras análises. Sendo assim, utilizando os dados das duas cronologias (Butantan e IB-USP), foram obtidas duas cronologias médias e duas cronologias residuais para cada localidade, através do software ARSTAN. As cronologias médias representam o padrão médio de crescimento de todas as árvores, indicando padrões de crescimento comuns à maioria dos indivíduos. Essas cronologias podem ser utilizadas para a datação de outras amostras coletadas na mesma localidade ou mesmo para comparação entre o crescimento de árvores de locais distintos. Já as cronologias residuais foram utilizadas para testes de relação entre o crescimento das árvores e parâmetros climáticos.

A figura 7 apresenta as cronologias médias de cada local de coleta para os quais foi possível construir este tipo de cronologia.

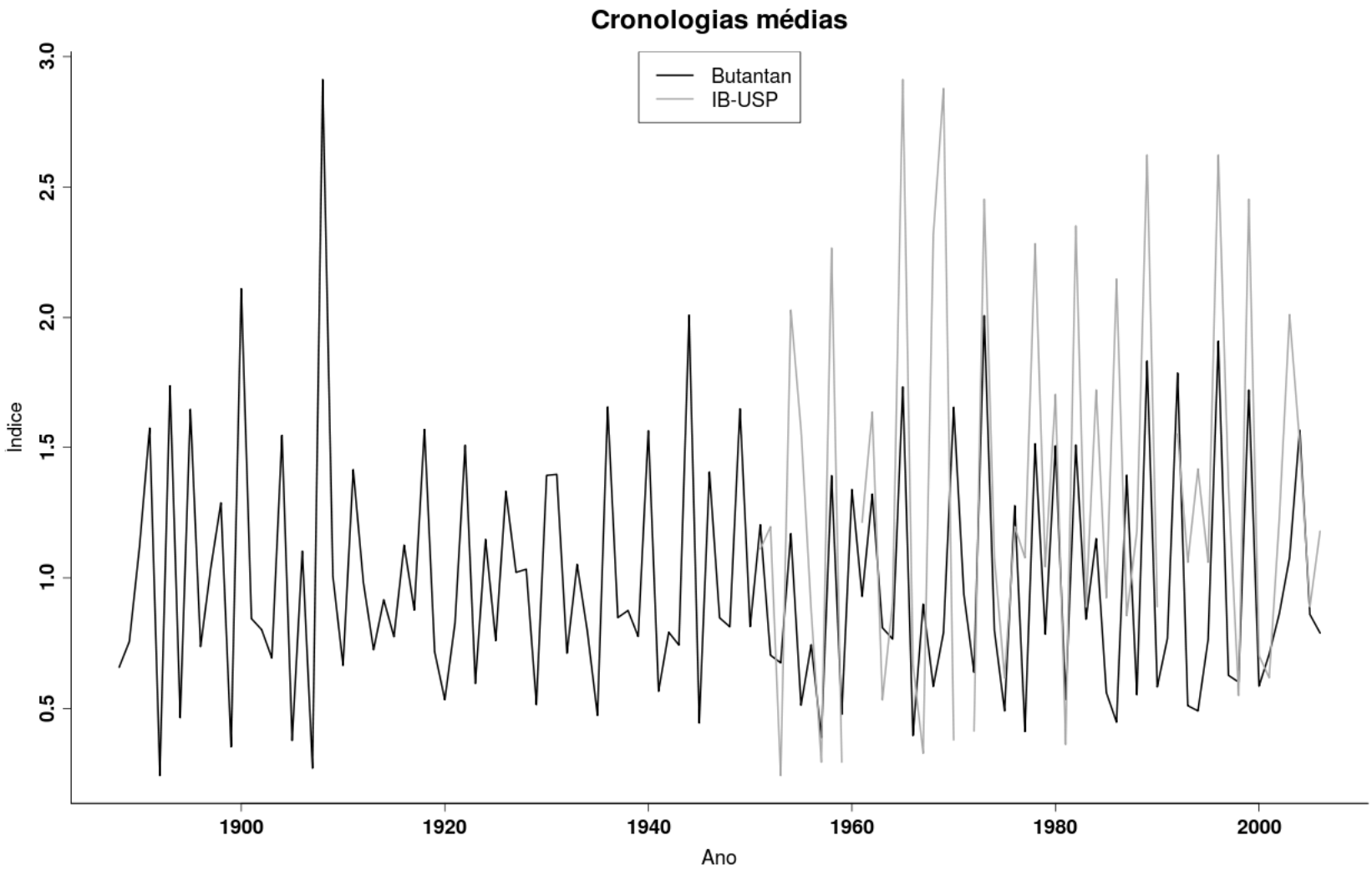


Figura 7: Cronologias médias dos dois locais para os quais foi possível a construção deste tipo de cronologia (Butantan e IB-USP).

É possível notar que a cronologia das árvores do IB-USP possuem dois anos faltantes: 1960 e 1966. Estes anéis foram dados como faltantes após o alinhamento visual das duas cronologias.

De posse das cronologias residuais, foi possível testar a existência de correlações entre estas cronologias e valores mensais de temperatura média e precipitação acumulada. Para isso, foram construídos modelos lineares para cada uma das cronologias e para cada um dos 12 meses do ano, utilizando os dados do ano corrente à formação do anel, do ano anterior à formação do anel e de 2 anos anteriores à formação do anel. A tabela 4 apresenta os modelos que apresentaram significância estatística.

Tabela 4: Modelos significativos (para α = 0,05 de relação entre clima e crescimento (p out: precipitação de outubro, t ago: temperatura de agosto, t set: temperatura de setembro).

	Modelo	**R^2**	**p-value**
p out e butantan	y = 0,72 + 0,002x	0,09	< 0,05
t ago e butantan	y = 4,21 – 0,19x	0,27	< 0,001
t set e butantan	y = 4,9 – 0,23x	0,22	< 0,01
t set e ib-usp	y = -3,17 + 0,245x	0,31	< 0,001

Após isso, foi possível a obtenção de modelos matemáticos simples para reconstrução de ambos os parâmetros analisados (temperatura média e precipitação acumulada mensais). Utilizando esses modelos lineares, foi possível então reconstruir o clima passado utilizando os valores de largura dos anéis de crescimento. Visto que apenas as árvores do Butantan possuíam mais dados de largura dos anéis do que dados climáticos, apenas a cronologia deste local de coleta foi utilizada para o passo de reconstrução climática. As figuras 8 e 9 apresentam os gráficos para cada um dos modelos de reconstrução.

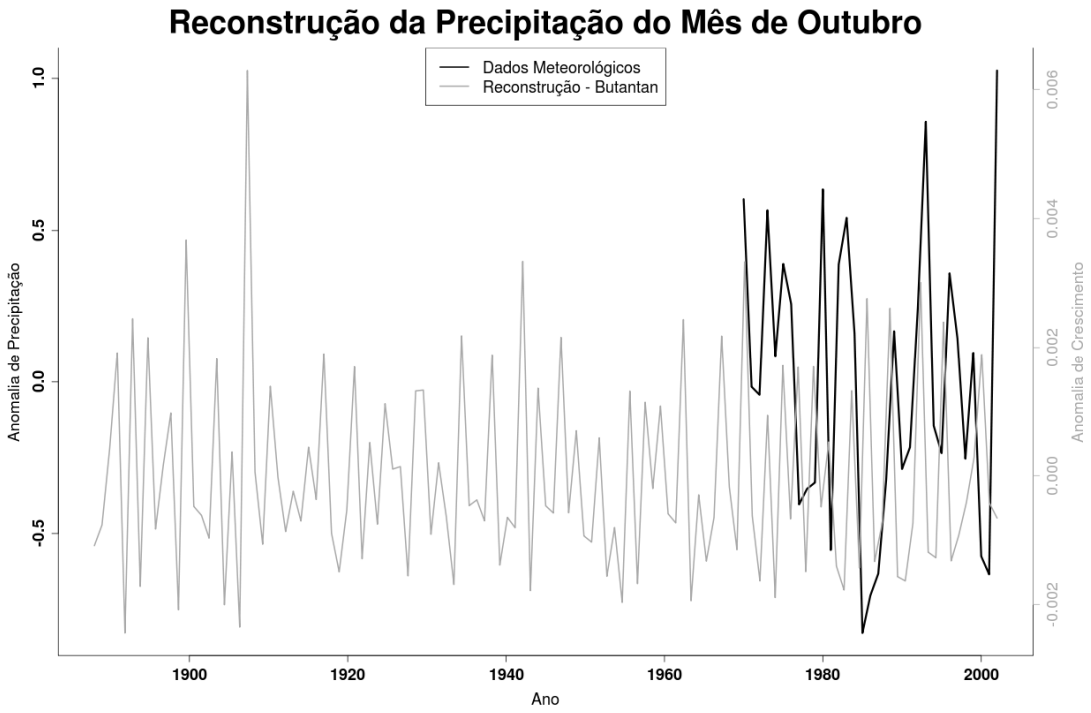
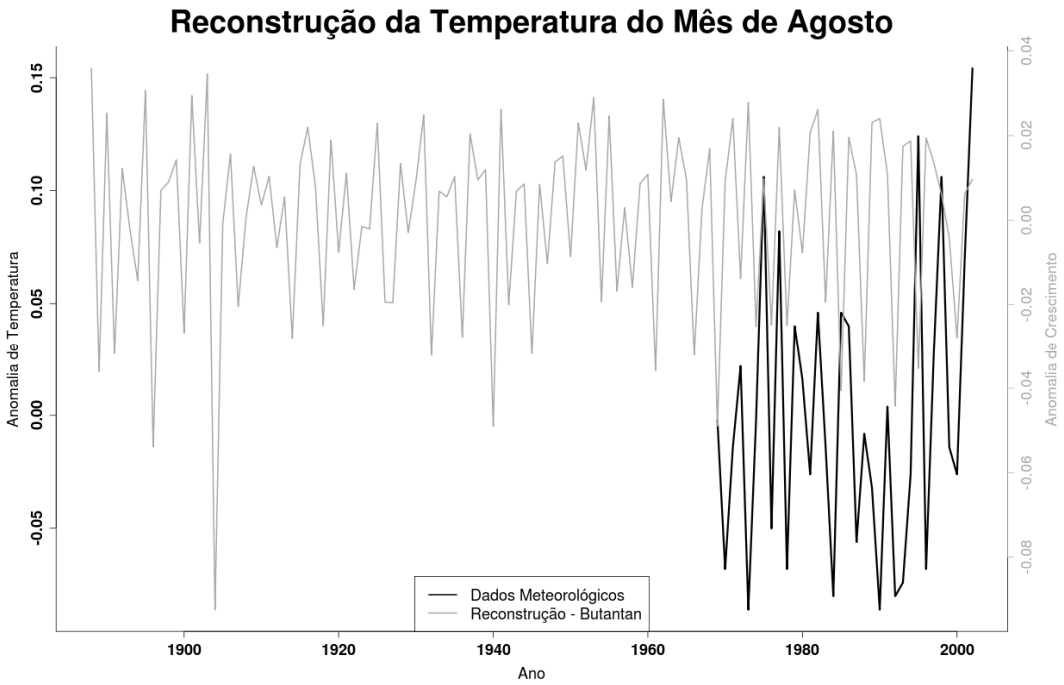


Figura 8: Gráfico de reconstrução das anomalias de precipitação de outubro, utilizando os dados coletados no Instituto Butantan.



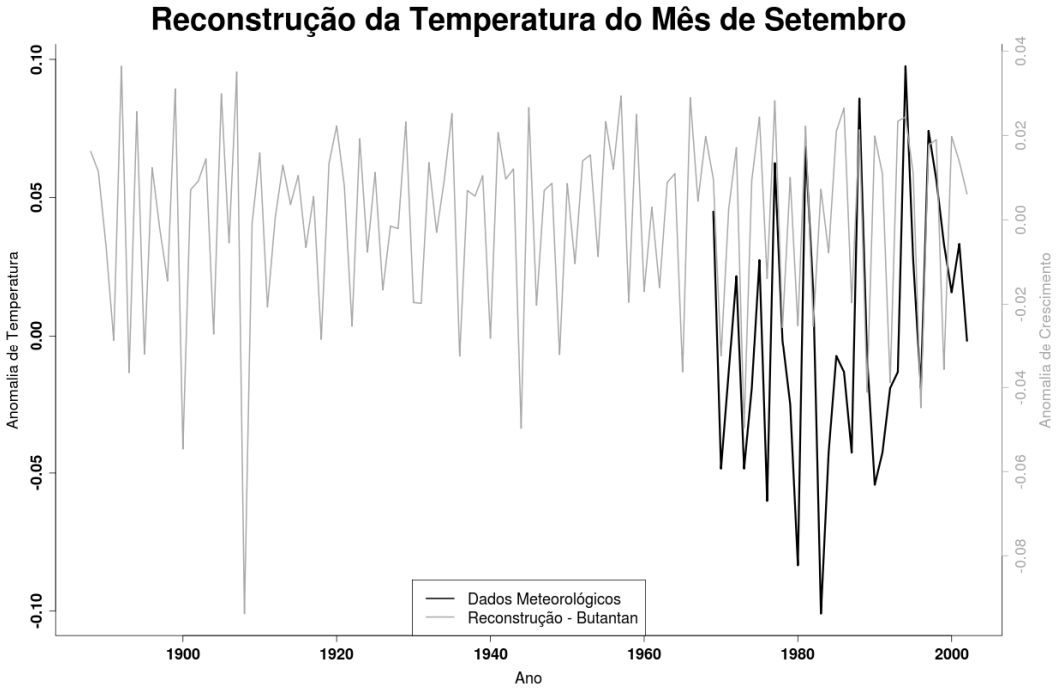


Figura 9: Gráficos de reconstrução das anomalias de temperatura de agosto (topo) e de setembro (abaixo) utilizando os dados coletados no Instituto Butantan.

Áreas de Vaso

A tabela 5 apresenta os valores de áreas de vaso obtidos para os vasos do lenho inicial dos anéis selecionados.

Tabela 5: Número de vasos medidos no lenho inicial nos anos selecionados, com respectivas médias e desvio padrão das áreas de vaso para cada ano.

Ano	Número de Vasos Medidos	Média das áreas (mm^2)	Desvio Padrão das áreas
2000	20	0,034	0,021
1999	18	0,031	0,018
1998	20	0,032	0,019
1991	26	0,027	0,014
1990	26	0,023	0,023
1989	18	0,035	0,029
1988	19	0,024	0,018
1977	11	0,037	0,017
1976	05	0,054	0,011
1975	07	0,037	0,020
1974	07	0,030	0,018
1973	06	0,033	0,021

A tabela 6 apresenta os valores de áreas de vaso obtidos para os vasos do lenho tardio dos anéis selecionados.

Tabela 6: Número de vasos medidos no lenho tardio nos anos selecionados, com respectivas médias e desvio padrão das áreas de vaso para cada ano.

Ano	Número de Vasos Medidos	Média das áreas (mm^2)	Desvio Padrão das áreas
2000	12	0,004	0,002
1999	08	0,003	0,001
1998	09	0,004	0,001
1991	15	0,004	0,003
1990	11	0,004	0,003
1989	09	0,003	0,003
1988	12	0,003	0,002
1977	03	0,004	0,001
1976	05	0,004	0,003
1975	08	0,003	0,001
1974	04	0,007	0,006
1973	03	0,006	0,005

Utilizando esses valores, testou-se a relação destas medidas de área de vaso com temperatura média e precipitação acumulada mensais. Os resultados destes testes encontram-se nas tabelas 7 e 8 (Apenas os modelos significativos).

Tabela 7: Resultados dos testes de correlação entre temperatura e precipitação e as áreas de vaso do lenho inicial. Estão listados nesta tabela somente os resultados dos testes significativos (α < 0.05). (Notação: (-1) – estação de crescimento anterior à formação do anel; (-2) – duas estações de crescimento anteriores à formação do anel)

	Modelo	**R^2**	**p-value**
Precipitação – Julho	Y = 0,028 + 0,00007x	0,2915	< 0,05
Precipitação – Agosto	Y = 0,029 + 0,00012x	0,2974	< 0,05
Precipitação - Setembro	Y = 0,023 + 0,0001x	0,4996	< 0,01
Temperatura – Abril (-1)	Y = 0,107 – 0,0038x	0,388	< 0,05
Temperatura – Agosto (-1)	Y = -0,041 + 0,0045x	0,288	< 0,05
Precipitação – Janeiro (-1)	Y = 0,046 – 0,00005x	0,3683	< 0,05

Tabela 8: Resultados dos testes de correlação entre temperatura e precipitação e as áreas de vaso do lenho tardio. Estão listados nesta tabela somente os resultados dos testes significativos (alfa < 0.05). (Notação: (-1) – estação de crescimento anterior à formação do anel; (-2) – duas estações de crescimento anteriores à formação do anel)

	Modelo	**R^2**	**p-value**
Temperatura – Junho (-1)	Y = -0,016 + 0,0013x	0,7157	< 0,001
Temperatura – Abril (-2)	Y = 0,018 - 0,0007x	0,4138	< 0,05

A figura 10 ilustra um segmento de uma baqueta, indicando o grande número de anéis estreitos, com faixas de parênquima axial que se confundem entre si, dificultando a datação.

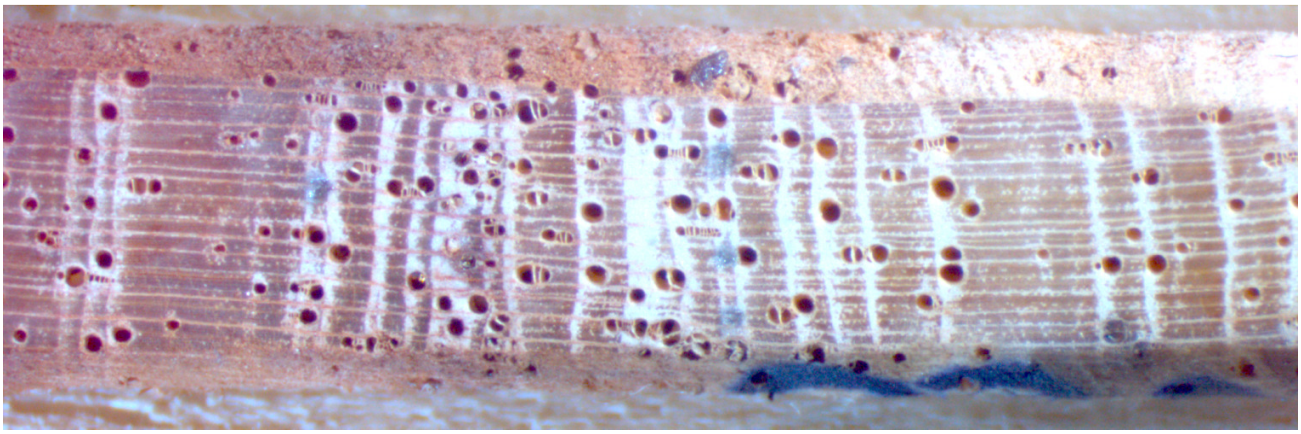


Figura 10: Porção de baqueta com grande quantidade de anéis estreitos, dificultando a identificação de anéis verdadeiros e, por conseguinte, a tomada de medidas de áreas de vaso.

Discussão

Observando as figura 5 e 6, podemos notar que as árvores apresentam curvas de crescimento bastante distintas entre si. Além disso, não é possível notar a existência de padrões para os diferentes locais. Isso reflete a pluralidade de condições microclimáticas dos três locais, tornando assim qualquer detecção de respostas comuns à maioria das árvores de extrema importância. Analisando as curvas médias de crescimento para cada localidade, notamos que, apesar de pequenas variações, as árvores tendem a apresentar crescimentos lineares.Porém, ao analisar os incrementos médios para cada localidade (tabela 2), podemos notar que existem diferenças entre cada um dos locais de coleta, sendo que as ávores do Instituto Butantan crescem em média menos do que as do IB-USP, que por sua vez crescem mais lentamente do que as da Cantareira. Isso nos dá indícios de que as condições para o crescimento das árvores é melhor na Cantareira do que nos outros dois locais, provavelmente pela falta de fatores limitantes. Analisando a tabela 3, podemos notar que alguns locais as árvores apresentaram respostas comuns às variações no ambiente (representadas pelos valores de intercorrelação média acima do crítico), ao passo que todas elas apresentaram altos valores de sensitividade. Com isso fica evidenciado que, apesar de individualmente as árvores de cedro na cidade responderem às variações nas condições ambientais de maneira evidente, apenas em alguns locais essas variações geram respostas similares a todos os indivíduos.

Isso provavelmente se deve ao fato das diferenças entre as paisagens de cada localidade. No caso da Reserva do IB-USP e do Instituto Butantan, locais com maior grau de fragmentação, as árvores estão sujeitas a condições mais estressantes e limitantes ao crescimento, como compactação e impermeabilização do solo, efeito de borda, dentre outros. Provavelmente a intensificação do estresse por esses fatores leve os indivíduos a apresentarem mais respostas em comum entre si do que em regiões onde as condições de crescimento são mais adequadas. Com isso, as árvores desses dois ambientes geram cronologias significativas, ao contrário das árvores da Cantareira que, como mencionado anteriormente, não aparentam sofrer limitação de seu crescimento por nenhum fator ambiental, o que faz com que os anos marcadores (tipicamente anos de restrição de crescimento) não sejam detectados, dificultando assim o alinhamento das cronologias individuais.

Mesmo assim, ainda podemos notar a diferença no crescimento gerada pela fragmentação do habitat nesses dois locais. Essas diferenças nas paisagens podem explicar, portanto, o fato de em uma fisionomia florestal como na Reserva do IB-USP as cronologias apresentarem maiores valores de intercorrelação entre as séries, devido ao microclima formado no interior da floresta ser mais uniforme (Matlack, 2003; Begon *et al.*, 2006), o que "amortece" variações nas condições atmosféricas no interior dessa fisionomia, fazendo então com que os anéis apresentem menor variação em suas larguras (indicada pelo menor valor de sensitividade média). O oposto se aplica às árvores do Butantan, que por estarem isoladas, sofrem influência mais direta de variações nas condições climáticas, apresentando maior variação na largura dos anéis, apesar de cada árvore apresentar respostas diferenciadas às mesmas variações microclimáticas, pois também estiveram sujeitas a números e tipos variáveis de interferências.

Com relação aos testes de correlação e modelos lineares construídos para relações clima-crescimento, foi possível notar que, diferentemente do que era proposto pela literatura (Pumijumnong *et al.* 1995, Worbes 2002, Dünisch *et al.* 2003, Fichtler *et al.* 2004, Brienen & Zuidema 2005, Schöngart *et al.* 2006), a temperatura desempenha um papel de extrema importância na determinação do crescimento dos cedros analisados, sendo sobremaneira importantes as temperaturas do final da estação seca, correspondentes aos meses de agosto e setembro. Isso parece ser uma diferença importante no que diz respeito ao comportamento de árvores urbanas, como neste caso, em relação ao de plantas em condições tropicais naturais. Além disso, também foram encontradas relações com condições ambientais de um e dois anos anteriores à formação de um determinado anel, similares ao encontrado por Iwasaki-Marochi (2007).

Essa última relação pode ter relação com o modo pelo qual a faixa de parênquima marginal é formada. Esta faixa de tecido é formada parte no final da estação de crescimento de um determinado ano e parte no início da estação de crescimento do ano seguinte (Marcati *et al.*, 2006). Sendo assim, lembrando que há comunicação entre estas duas porções de parênquima marginal através de pontoações e possivelmente de plasmodesmas, é possível supor que exista algum tipo de "memória do clima" de estações passadas na formação de um anel de crescimento, seja ela na forma de carboidratos, hormônios ou outras substâncias que indiquem quais foram as condições ambientais pelas quais as plantas passaram num

passado recente.

Outra possível interpretação seria a de que essas temperaturas estariam interferindo no regime de dormência da árvore, alterando sua deciduidade e fazendo com que a árvore gaste reservas em períodos diferentes, gerando assim alterações na atividade cambial que ficam registradas na madeira.

As árvores coletadas no Instituto Butantan apresentaram relações mais robustas com temperatura e precipitação quando comparadas às árvores coletadas na Reserva do IB-USP. Isso pode ter relação, como explicitado anteriormente, com o grau de isolamento das árvores estudadas, visto que as árvores do Instituto Butantan encontram-se dispostas ao longo de uma via pavimentada, com pouca ou nenhuma interferência de outras árvores crescendo próximas. Ainda, a presença de um curso d'água no interior da reserva do IB-USP pode acabar mascarando os efeitos diretos da precipitação no crescimento das árvores.

As árvores da Reserva do IB-USP crescem em uma localidade com fisionomia florestal, com dossel bem definido (exceto em regiões de clareiras), e com forte competição inter e intra específica por luz. Além dessas interações biológicas, presentes em uma formação florestal, o microclima formado no interior de uma mata (Matlack, 2003; Begon *et al.*, 2006) faz com que parte das flutuações diárias de alguns parâmetros abióticos, como temperatura, sejam amenizadas, seja pelo sombreamento, seja pela proteção contra ventos. Essa amenização provavelmente gera uma resposta mais fraca das árvores devido, naturalmente, à menor força de eventos atmosféricos extremos.

Analisando as escalas dos gráficos das figuras 8 e 9, notamos que as respostas do crescimento a variações na temperatura são mais intensas do que as respostas a variações na precipitação pois, neste último caso, enquanto as anomalias de precipitação chegam a atingir níveis que correspondem ao dobro da média de precipitação, as anomalias de crescimento variam apenas de 0,2% abaixo a 0,6% acima da média de crescimento.

Para espécies tropicais, isso seria considerado surpreendente. Porém, a espécie estudada é encontrada em uma ampla gama de localidades, indo desde regiões tipicamente tropicais até locais onde a subtropicalidade começa a ser evidente (Pennington, 1981). Sendo assim, estas relações não são estranhas para a cidade de São Paulo, que se encontra no limite da tropicalidade, há cerca de 5km, apenas do trópico de Capricórnio.

No caso da relação entre temperatura e crescimento, as variações tanto na temperatura quanto no crescimento se dão na mesma escala de grandeza, ambas variando, em média, de 2% abaixo a 9% acima da média. Esta relação mais estreita também pode ser encontrada nos valores de R^2 encontrados tanto para o modelo de precipitação quanto para os dois modelos de temperatura. Os valores de precipitação explicam apenas 9,3% da variação nos valores de crescimento, enquanto que para os modelos de temperatura a variação explicada por essa variável ambiental é maior do que 20%.

Além disso, podemos notar que alguns eventos de precipitação abaixo da média não foram registrados nos anéis de crescimento, provavelmente devido à essa relação fraca entre a quantidade de chuvas e o crescimento das árvores. A proximidade de um curso de água existente no interior da Reserva do IB-USP, associado a eventos de aterramento ocorridos no passado para a implantação do Instituto de Biociências, e ainda com a pavimentação e constante interferência antrópica no Instituto Butantan podem interferir na dinâmica da água nos dois locais, possivelmente mascarando os efeitos diretos da precipitação.

No caso dos modelos de crescimento versus temperatura, podemos notar um grande alinhamento entre os picos e vales de ambas as curvas para os dois meses. Mais uma vez, a maior robustez do modelo já nos indica isso (os cedros apresentam respostas de crescimento em grande sincronia com as variações na temperatura atmosférica).

Com relação às áreas de vasos, foi possível encontrar relações entre as condições climáticas e as áreas de vaso tanto no lenho inicial quanto no lenho tardio, apesar de os vasos do lenho inicial demonstrarem relações com as condições de mais meses do que o lenho tardio. Apesar da quantidade de vasos medidos por ano não ser elevada (resultando em maior variância dos dados), os modelos apresentaram fortes graus de significância e, além disso, se mostraram bastante explicativos em relação à variação nos valores de área (R^2 mínimo de 28,8%), possuindo inclusive sinais mais fortes do que a largura de anéis de crescimento. (Fonti & García-Gonzáles, 2008).

Por fim, podemos também notar que a importância do clima no início da estação de crescimento na determinação da quantidade e qualidade do xilema secundário (principalmente do lenho inicial) formado é muito grande. Porém, diferentemente da largura

dos anéis, as áreas de vaso do lenho inicial são influenciadas mais fortemente pelas variações na precipitação desta época do ano.

As relações positivas encontradas entre as precipitações de julho, agosto e setembro com as áreas de vaso do lenho inicial podem estar relacionadas com o grau de hidratação dos indivíduos. Uma explicação seria que com maiores precipitações nesse período (que corresponde ao início da estação de crescimento – figura 4), as árvores teriam uma oferta de água no solo geralmente acima de sua capacidade de absorção, estando assim sempre em altos níveis de hidratação. Com isso, as células cambiais poderiam possuir uma pressão de turgor mais elevada. Essa pressão elevada, aliada aos altos níveis de auxina produzidos pelas folhas jovens (que começam a se desenvolver neste período) que regulam o tempo de atividade das expansinas, gerariam vasos mais largos (Mellerowicz *et al.*, 2001, Taiz & Zeiger, 2004).

Segundo o mesmo raciocínio, as relações inversas entre temperatura de abril da estação de crescimento anterior (ou seja, logo antes da parada cambial que ocorre geralmente no mês de Maio – Figura 4) e as áreas de vaso do lenho inicial podem ser explicadas pelo grau de hidratação das árvores, visto que temperaturas mais altas aumentam a demanda evaporativa do solo, diminuindo a disponibilidade hídrica para as plantas. Assim, estas plantas se hidratam menos, as células do câmbio possuem menos pressão de turgor, gerando assim vasos menores (Mellerowicz *et al.*, 2001, Taiz & Zeiger, 2004).

Os outros modelos indicam relação entre a temperatura de agosto da estação de crescimento anterior e a precipitação de janeiro deste mesmo ano, porém são relações que do ponto de vista biológico são difíceis de serem explicadas.

Com relação aos casos do lenho tardio, a temperatura de julho da estação de crescimento anterior (logo antes da parada cambial) pode causar uma deciduidade mais rápida, gerando uma perda menor de água durante o período de parada cambial. Com isso, novamente devido a um maior grau de hidratação, os vasos do lenho tardio tornam-se maiores devido à maior pressão de turgor (Mellerowicz *et al.*, 2001, Taiz & Zeiger, 2004). Do mesmo modo que alguns modelos para o lenho inicial, as relações entre as áreas de vaso do lenho tardio e a temperatura de abril de duas estações de crescimento anteriores à formação de um anel é difícil de ser explicada biologicamente.

Apesar de apresentarem resultados robustos e promissores, as árvores urbanas ainda apresentam empecilhos contra a confecção e utilização de cronologias de áreas de vaso: o grande número de anéis faltantes e alguns anéis que são difíceis de serem identificados (figura 10). Isso faz com que não seja possível obter esses valores de áreas de vaso para todos os anéis de uma determinada árvore. Pelo fato de que cronologias de áreas de vaso tendem a apresentar menores valores de intercorrelação entre séries do que cronologias de largura do anel de crescimento, e também devido aos valores de intercorrelação para as cronologias de largura de anel de crescimento já estarem próximos aos valores limite, a construção de cronologias de áreas de vaso se torna inviável.

Conclusões

Com o presente trabalho, é possível construir cronologias de anéis de crescimento de árvores de cedro urbanas; estas cronologias são também adequadas para reconstruções climáticas. Para o cedro, as áreas de vaso, tanto no lenho inicial quanto no lenho tardio, apresentam informações sobre o clima; porém não foi possível construir cronologias completas de áreas de vaso devido ao grande número de anéis duplos/faltantes.

O início da estação de crescimento é um período de grande importância para a quantidade e qualidade da madeira formada em um determinado ano, afetando tanto a largura do anel de crescimento quanto o tamanho dos vasos do lenho inicial. As árvores de diferentes localidades apresentaram comportamentos de crescimento bastante diferentes entre si, o que provavelmente é reflexo da heterogeneidade dos ambientes em uma paisagem urbana.

Referências Bibliográficas

ANTONOVA, G. F. & STASOVA, V. V., (1993), "Effects of environmental factors on wood formation in Scots pine stems.", Trees, 7: 214-9.

ARINI, J., (2007), "Como o aquecimento global vai afetar o Brasil e que medidas o país precisa adotar para amenizar os impactos negativos." Revista Época, nº 463.

BEGON, M., TOWNSEND, C. R., HARPER, J. R., (2006), "Ecology: from individuals to ecosystems", 4ª ed., Blackwell Publishing Ltd., 746 pp.

BERNAL-SALAZAR, S., TERRAZAS, T., ALVARADO, D., (2004), "Impact of air pollution on ring width and tracheid dimensions in *Abies religiosa* in the Mexico City basin.", IAWA Journal, 25(2): 205-15.

BRÄUNING, A., VOLLAND-VOIGT, F., BURCHARDT, I., GANZHI, O., NAUß, T., & PETERS, T. (2009). Climatic control of radial growth of Cedrela montana in a humid mountain rainforest in southern Ecuador. *Erdkunde*, *63*(4), 337-345

BRIENEN, R. J. W, ZUIDEMA, P. A., (2005), "Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis.", Oecologia, 146:1-12.

BUKATA, A. R., & KYSER, T. K. (2007). Carbon and nitrogen isotope variations in tree-rings as records of perturbations in regional carbon and nitrogen cycles. *Environmental science & technology*, *41*(4), 1331-8

CATHARINO, E. L. M., BERNACCI, L. C., FRANCO, G. A. D. C., DURIGAN, G., METZGER, J. P., (2006), "Aspectos da composição e diversidade do componente arbóreo das florestas da Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP.", Biota Neotropica, 6(2): 1-28.

COOK, E. R., (1985), "ARSTAN 6.05P".

COOK, E. R. & KAIRIUKSTIS, L. A., (1990), “Methods of Dendrochronology: Applications in the environmental sciences.”, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers and International Institute for Applied Systems Analysis.

CORDEIRO, T., (2007), “Quanto você contribui para o aquecimento global?” Revista Superinteressante, nº 237.

DANSGAARD W, JOHNSEN SJ, CLAUSEN HB, DAHL-JENSEN D, GUNDESTRUP NS, HAMMER CU, HVIDBERT CS, STEFFENSEN JP, SVEINBJÖRNSDTTIR AE, JOUZEL J, BOND G (1993).Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature* 364:218–220

DANTAS, I., (2008), “Grupo contraria teorias sobre o aquecimento global e critica IPCC” Folha de São Paulo, 15/02/2008.

DISLICH, R., CERSÓSIMO, L., MANTOVANI, W., (2001), “Análise da estrutura de fragmentos florestais no Planalto Paulistano – SP.”, Revista Brasileira de Botânica, 24(3): 321-32.

DONGARRÀ, G., & VARRICA, D. (2002). δ13C variations in tree rings as an indication of severe changes in the urban air quality. *Atmospheric Environment*, *36*(39-40), 5887-5896.

DÜNISCH, O., MONTÓIA, V. R., BAUCH, J., (2003). "Dendroecological investigation on Swietenia macrophylla King. and Cedrela odorata L. (Meliaceae) in the central Amazon." Trees 17: 244-250.

FLICHTER, E., TROUET, V., BEECKMAN, H., COPPIN, P., WORBES, M., (2004), “Climatic signals in tree rings of *Burkea africana* and *Pterocarpus angolensis* from semiarid forest in Namibia. Trees 18: 442-451.

FONTI, P. & GARCÍA-GONZÁLES, I., (2008), “Earlywood vessel size of oak as a potential proxy for spring precipitation in mesic sites.”, Journal of Biogeography **35**: 2249-2257.

FREITAS, E. D. (2003). *Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de Poluentes*.

FREITAS, .E. D. & SILVA DIAS, P. L., (2005), "Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor", *Revista Brasileira de Meteorologia,* 20(3):355-366.

FRICKE, H. C., & WING, S. L. (2004). Oxygen isotope and paleobotanical estimates of temperature and δ18O - latitude gradients over North America during the early Eocene. *American Journal of Science*, *304*(7), 612.

FRITTS, H. C., (1976). “Tree rings and climate”. Academic Press, London

GLYNN, P. W., (1991), “Coral reef bleaching in the 1980s and possible connections with global warming.”, Trends in Ecology & Evolution, 6(6): 175-179.

GOUVEIA, N., HAJAT, S., & ARMSTRONG, B. (2003). Socioeconomic differentials in the temperature-mortality relationship in Sao Paulo, Brazil. *International Journal of Epidemiology*, *32*(>3), 390-397.

GREENWOOD, D. R., & WING, S. L. (1995). Eocene continental climates and latitudinal temperature gradients. *Geology*, *23*(11), 1044–1048. Geological Society of America.

HIRANO, T., & MORIMOTO, K. (1999). Growth reduction of the Japanese black pine corresponding to an air pollution episode. *Environmental Pollution*, *106*(1), 5–12

HOLMES, R. L. & COOK, E. R., (2001), ‘COFECHA 6.06P”

IPCC (2007).Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M & Miller HL eds. Climate change 2007: The physical sciences basis. Contributions of the Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

IWASAKI-MAROCHI, C., (2007), "Anéis anuais de crescimento de cedro (*Cedrela fissilis* - Meliaceae) aplicados à avaliação da taxa de crescimento e dendroclimatologia", Tese de Doutorado, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

JOUZEL, J., ALLEY, R. B., CUFFEY, K., DANSGAARD, W., GROOTES, P., HOFFMANN, G., JOHNSEN, S. J., et al. (1997). Validity of the temperature reconstruction from water isotopes in ice cores. *Journal of Geophysical Research*, *102*, 26.471–26.487. AGU AMERICAN GEOPHYSICAL UNION

KIM, J. K., & FUKAZAWA, K. (1997). Changes in tree ring width and density of Pinus thunbergii growing in the vicinity of industrial complex in Korea. *Journal of Forest Research*, *2*(2), 109–113. Springer

KOCH, P. L., (1998), "Isotopic reconstruction of Past Continental Environments"., *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 26:573-613.

LASHOF, D. A. & AHUJA, D. R., (1990), "Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming", Nature, 344**:** 529-531.

MAINIERI, C. & CHIMELO, J. P., 1989, "Fichas de Características das Madeiras Brasileiras" – 2ª ed. – São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Madeiras.

MARCATI, C. R., ANGYALOSSY, V., EVERT, R. F., 2006, "Seasonal variation in wood formation of *Cedrela fissilis* (Meliaceae)". IAWA Journal **27(2)**: 199-211.

MATLACK, G. R., (2003), "Microenvironment variation within and among forest edge sites in the eastern United States", Biological Conservation 66: 185-194.

MCDERMOTT, F. (2004). Palaeo-climate reconstruction from stable isotope variations in speleothems: a review. *Quaternary Science Reviews*, *23*(7-8), 901-918.

MELLEROWICZ, E. J., BAUCHER, M., SUNDBERG, B., BOERJAN, W., (2001), "Unravelling cell wall formation in the woody dicot system.", Plant Molecular Biology, **47**, 239-274.

MOYLE, R., SCHRADER, J., STENBERG, A., OLSSON, O., SAXENA, S., SANDBERG, G., BHALERAO, R. P., (2002), "Environmental and auxin regulation of wood formation involves members of the *Aux/IAA* gene family in hybrid aspen.", The Plant Journal, 31(6): 675-85.

MOORE, M., GOULD, P., & KEARY, B. S. (2003). Global urbanization and impact on health. *International journal of hygiene and environmental health*, *206*(4-5), 269-78.

PEARCE, D., (1991), "The Role of Carbon Taxes in Adjusting to Global Warming", The Economic Journal, 101: 938-48.

PENNINGTON, T. D., 1981, "Flora Neotropica Monograph no. 28: Meliaceae, The New York Botanical Garden, New York.

PEÑUELAS, J., HUNT, J. M., OGAYA, R., JUMP, A. S., (2008), "20th century changes of tree-ring $\delta^{13}C$ at the southern range-edge of *Fagus sylvatica*. Increasing water-use efficiency does not avoid the growth decline induced by warming at low altitudes.", Global Change Biology, 14: 1-13.

PETIT JR, JOUZEL J, RAYNAUD D, BARKOV N, BARNOLA J, BASILE I, BENDER M, CHAPPELLAZ J, DAVIS M, DELAYGUE G, DELMOTTE M, KOTLYAKOV VM, LEGRAND M, LIPENKOV VY, LORIUS C, PÉPIN L, RITZ C, SALTZMAN E. STIEVENARD M (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399:429–436.

PUMIJUMNONG, N., ECKSTEIN, D., SAAS, U., (1995), " Tree-ring research on *Tectona grandis* in northern Thailand". IAWA Journal 16(4): 385-392.

R DEVELOPMENT CORE TEAM, (2011), "R: A Language and Environment for Statistical Computing"., R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria,URL: http://www.r-project.org.

RAKOWSKI, A., NAKAMURA, T., & PAZDUR, A. (2004). Changes in radiocarbon concentration in modern wood from Nagoya, central Japan. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, *223-224*, 507-510.

RASBAND, W. S., ImageJ, U.S. National Institute of Health, Bethesda, Maryland, USA, http://imagej.nih.gov/ij/, 1997-2011

SCHÖNGART J, JUNK WJ, PIEDADE MTF, AYRES JM, HUTTERMANN A, WORBES M (2004). Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño-Southern Oscillation effect.*Global Change Biology* 10:683–692

SCHÖNGART, J., ORTHMANN, B., HENNENBERG, K. J., POREMBSKI, S., WORBES, M., (2006), "Climate-growth relationships of tropical tree species in West Africa and their potential for climate reconstruction.", Global Change Biology 12: 1139-1150.

SCHWEINGRUBER, F. H., (1989). "Tree rings: basics and applications of dendrochronology". Kluwer Academic Press Publishers, Dordrecht

SCHWEINGRUBER FH (1996). *Tree Rings and Environment:Dendroecology* (3rd ed.).Paul Haupt, Berne, Switzerland

SOLÍZ, C., VILLALBA, R., ARGOLLO, J., MORALES, M. S., CHRISTIE, D. A., MOYA, J., & PACAJES, J. (2009). Spatio-temporal variations in Polylepis tarapacana radial growth across the Bolivian Altiplano during the 20th century. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *281*(3-4), 296-308.

STOKES, M. A., SMILEY, T. L., (1996) "An introduction to tree-ring dating" – Chicago: University of Chicago Press.

TAIZ, L. & ZEIGER, E., (2004), "Fisiologia Vegetal", 3ª ed., Porto Alegre, Artmed.

VITOUSEK, P. M., (1994), "Beyond Global Warming: Ecology and Global Chance", Ecology, 75(7): 1861-76.

WIMMER, R., (2002), "Wood anatomical features in tree-rings as indicators of environmental change", Dendrochronologia 20(1-2) 21-36.

WIMMER, R. & GRABNER, M., (2000), "A comparison between tree-ring features in *Picea abies* as correlated with climate." IAWA Journal, 21(4): 403-16.

WORBES, M. (2002). "One hundred years of tree-ring research in the tropics: A brief history and an outlook to future challenges." Dendrochronologia 20(1-2): 217-231.

Effects of temperature on vegetation structure

Burin, G.[1,2], Brännströmm, Å.[2], Dieckmann, U.[2]

[1] Department of Botany, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

[2] International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria

Abstract

The impressive biodiversity that we can see nowadays is the result of evolutive processes over millions of years, and climate has had a big role on this processes. The climate has changed several times in the past millions of years, and plants are particularly affected by these changes, as they are not able to migrate fast enough. To overcome this, they have developed different strategies, both metabolic, physiological and ecological. Several studies tried to assess these strategies, but most of them only observed a limited period of a plant's life. Quantitative models might help to address these challenges, being a promising approach to this kind of study, and dendrochronology is able to provide long-term growth records, that can be used to calibrate models. Thus, this work aims to incorporate dependencies on temperature in a model of forest growth. We used dendrochronological data from *Cedrela fissilis* L.to calibrate modifications in the assimilation equation from Falster *et al.*, 2011, model, which was then run on Matlab with simulated temperature series based on empirical data. Furthermore, we run the model also for plausible future temperature scenarios of 1, 2 and 5 degrees above current average temperature. It was possible to observe changes in the periodicity of population cycles after the addition of temperature, probably related to changes in the light environment and/or changes in the Masting cycles. Additionally, it was also possible to observe that for higher average temperatures, the frequency of these cycles is affected, although this phenomenon is still not completely understood why.

Resumo

A impressionante biodiversidade que podemos ver atualmente é resultado de processos evolutivos ao longo de milhões de anos, e o clima teve importante papel nestes processos. O clima mudou diversas vezes nos últimos milhões de anos, e as plantas são particularmente afetadas por estas mudanças, já que elas não tem a capacidade de migrar suficientemente rápido. Para superar isso, elas desenvolveram diferentes estratégias, de metabólicas a fisiológicas e ecológicas. Vários estudos tentaram analisar estas estratégias, mas a maioria deles analisa apenas um período limitado da vida de uma planta. Modelos quantitativos podem ajudar a solucionar estes desafios, sendo uma abordagem promissora para este tipo de estudo, e a dendrocronologia pode prover longos registros de crescimento que podem ser usados para calibrar estes modelos. Portanto, o presente trabalho objetiva incorporar dependência da temperatura em um modelo de crescimento de floresta. Utilizou-se dados de dendrocronologia de *Cedrela fissilis* L. para calibrar modificações na equação de assimilação do modelo de Falster *et al.*, 2011, que foi executado em Matlab com séries de temperatura simuladas baseadas em dados empíricos. Além disso, também executou-se o modelo usando cenários de temperatura futura plausíveis de 1, 2 e 5 graus acima da temperatura média atual. Foi possível notar mudanças na periodicidade dos ciclos populacionais após a adição da temperatura, provavelmente relacionados a mudanças no ambiente luminoso e/ou alterações nos ciclos de *Masting*. Adicionalmente, foi também possível observar que para temperaturas médias maiores a frequência destes ciclos é afetada, apesar de este fenômeno ainda não ser plenamente compreendido.

Introduction

Current informal estimates place the number of species inhabiting our planet around 8.7 million. This impressive diversity is the result of evolution over millions of years, in which many more species emerged that are now extinct. Though countless factors affect this evolutionary process, climate has clearly played an important role in determining which species lived on and which species went extinct.

Climate on earth has changed several times during the past millions of years, according to studies using a broad range of proxies such as ice cores,

pollen, and tree rings (LaMarche 1974; Dansgaard *et al.* 1993; Lara and Villalba 1993; Briffa *et al.* 1995; Petit *et al.* 1999; Fowell *et al.* 2003). These changes have mainly been due to natural factors, such as solar cycles and biotic influences. Since the 19th century, however, one single species is shifting the natural atmospheric equilibrium: human impacts are causing an unprecedentedly quick elevation of atmospheric carbon-dioxide levels, leading to an elevation in the earth's average temperature. Although every living organism is affected by these changes, plants may be particularly at risk, as they are not able to migrate at the same timescale as the climate changes. Instead, plants largely have to rely on metabolic, physiological, and ecological strategies to compensate for environmental changes.

In an effort to secure understanding of how plants adapt to changing climate, a number of studies have considered changes in observables such as phenological characters and physiological rates, but due to methodological limitations, most of these studies only analyzed a limited period of a plant's life (Schöngart *et al.,* 2002, Chmielewski & Rötzer, 2001, Parmesan, 2006, Randin *et al.*, 2009, Lluisià *et al.,* 2009, Cao *et al.*, 2010). These limitations make it difficult to obtain a comprehensive picture of how species adapt in response to environmental changes. Furthermore, it is difficult to elucidate which responses are occurring in response to natural processes and which are related to anthropogenic influences.

Quantitative models can help address these challenges, by integrating the impacts of a variety of environmental factors on the life cycle of a tree. This yields a particularly promising approach when studying the vegetation consequences of climatic changes. Naturally, such models need to be informed

by empirical data. For this purpose, and also to address the other questions above, it is important to obtain long-term records of how vegetation has changed in response to climatic conditions.

Dendrochronology (from the Greek dendros = trees, chronos = time, and logos= knowledge) is a well-established science that can be used to infer growth rates under different environmental conditions (Schweingruber 1996; Stokes and Smiley 1996). It provides accurate and long series of data that provide yearly records of changes in environment conditions at a study site. As one example, tree-ring width (one of the characters used in dendrochronology) shows strong correlations with temperature and precipitation across different landscapes throughout the world (Lara and Villalba 1993; Briffa *et al.* 2001; Briffa *et al.* 2004).

Although most of dendroclimatic studies have considered trees of temperate species, some tropical tree species have been shown to be especially suited for this kind of study. Worbes (2003), Schöngart *et al.* (2002, 2004, 2005, 2006), and Oliveira *et al.* (2009) have shown that many tropical species are particularly suited for dendroclimatological analyses (in addition unpublished works on the genera *Cedrela*, *Hymenaea*, and *Podocarpus* that also show promising results).

In this project, I incorporated dependences on temperature in an established model of plant growth (Falster *et al.* 2011). The extended model will be used to study how emergent properties of vegetation, such as number of individuals and total biomass, are expected to change in response to future changes in temperature or precipitation changes.

Research questions

The present study aims to elucidate the effects of changes in temperature on vegetation structure. In particular, the following questions will be addressed:

- How do different temperature regimes affect salient aggregate statistics of vegetation structure, in particular, average height, leaf-area index, net primary productivity, and biomass density?
- How will tree stands develop under plausible future environmental scenarios?

Materials and Methods

Model description

Falster *et al.*, 2011, published a trait-, size- and patch-structured model for analyzing a single-species forest dynamics. This model incorporates a physiological growth model, which was calibrated using empirical data from various sources. The final model was proven to show results that lies within commonly observed phenomena ranges. In the work, the authors analyzed theoretically whether four major plant traits (leaf economic strategy, height at maturation, wood density, and seed size) had influence or not in some emergent vegetation properties, such as average height, leaf-area cover, net primary productivity (NPP), and biomass density.

Temperature effects on photosynthesis

In order to make this paper more concise, only the modified parts of the model will be shown here. For information about the original model, see Falster *et al.*, 2011..

The rate of photosynthesis is well known to vary with temperature. This relationship can be accurately represented by an initially exponentially increasing function, usually with a saturating maximum, and it is related to the optimal temperatures of the chemical reactions of this process (Bernacchi *et al.* 2001; Bernacchi *et al.* 2002; Taiz & Zeiger 2004).

In the original model, the assimilation rates[1] were described by the equations 1 and 2.

Equation 1:

$$A = \omega(x, m_1) \int_0^{h(m_1)} A_{1f}(A_0 v, E(z,a)) q(z, h(m_1)) dz$$

Equation 2:

$$A_{lf}\left(A_0 \upsilon, E(z,a)\right) = c_{P1} \frac{E(z,a)}{E(z,a) + c_{P2}}$$

The two coefficients cp1 and cp2 from equation 2 together determine the inclination of the initial part of the curve and the maximum value of this curve (for more details, see appendix S5 from Falster *et al.*, 2011). This way, both of these coefficients are the best target to be changed in order to implement the temperature variation, and because when the two coefficients are changed in the same way, the inclination of the first steps remains unchanged, and the maximum value changes with changes in temperature.

[1] Abbreviations- A: Gross annual CO_2 assimilation; $\omega(x,m_l)$: Leaf area; m_l: Mass of leaves; x: Vector of four traits used in simulation (for this paper, we used the initial values from the original model); $h(m_l)$: Tree height; A_{lf}: Average annual gross assimilation; A_0: Ratio of light-saturated CO_2 assimilation rate to leaf nitrogen mass; υ: Nitrogen mass per leaf area; E(z,a): Canopy openness at height *z* in a patch of age *a*; $q(z,h(m_l))$: Probability density of leaf area at height *z* for an individual of height *h*; c_{p1}: Average assimilation rate parameter 1; c_{p2}: Average assimilation rate parameter 2; T: Temperature; φ_i: Autoregressive model parameters; ε_t: White noise from the autoregressive model.

The new version of these two equations are shown in equations 3, 4 and 5, where T is the temperature for a given time step and a and b are the parameters.

Equation 3:

$$A_{lf}(A_0 v, E(z,a), T) = cp_1(T)\frac{1}{1 + cp_2(T)}$$

Equation 4:

$$c_{p1}(T) = (a + bT)c_{p1}$$

Equation 5:

$$c_{p2}(T) = (a + bT)\ cp_2$$

Dendrochronological data

For this study, we used dendrochronological data from one tropical tree species (*Cedrela fissilis* L., Meliaceae), that were sampled in the city of São Paulo, Brazil. After the standard dendrochronological procedures, a 110 year climate reconstruction, based on linear models that described the relations between climate and growth, was obtained (Burin & Ceccantini in prep). These linear models were then used as the starting point for the parameterization of the new part of the model.

To parameterize this new version of this part of the model, we used the values obtained from dendroclimatological data, where average yearly temperature was found to be significantly related to tree ring width (TRW = -3.3 + 0.38T), as initial values for the optimization. The modified model was run with these values to obtain simulated growth data, which were indexed using the same procedure used in the dendrochronological studies, and these new indexes were compared to the empirical values. The values that showed the

biggest similarity with the empirical data (i.e. lowest sum of squares) are a = -3.3 and b = 0.412, and were very similar to the initial values (from the dendroclimatological model), so we can assume that they simulate realistically the relations between temperature and growth.

Influence of temperature on forest dynamics

To assess the effects of temperature on the dynamics of the modeled forest, we first created an autoregressive model to create a temperature series that could be used on the simulations. This autoregressive time series of factor 5 was created using the values obtained after an autocorrelation analysis of the empirical (meteorological) temperature series for the dendrochronology sampling sites (general form shown in equation 6). Furthermore, three other series were created with average temperatures of 1, 2 and 5ºC higher than the original one, in order to simulate possible responses do future plausible temperature scenarios.

Equation 6:

$$T_{t_1} = \sum_{i=1}^{p} \varphi_i T_{t_i} + \varepsilon_t, \ \varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon)$$

By having the temperature series, and after implementing the previously described changes in the original model, it was run using Matlab version R2007a (MathWorks, 2007). The results for the forest dynamics were thus obtained for four different temperature scenarios and were also compared to the simulated temperature series.

Results

To help us understand the behavior of the whole forest, the model was first run for a single tree, being all the competition effects not taken into consideration, i.e. the light environment was considered to be equal to 1 (full light available). Figures 1, 2 and 3 shows the variation of traits over time for this single simulated tree.

Effects of temperature on photosynthesis

The changes in the assimilation rates for a single tree without and with temperature effect are shown in figure 1.

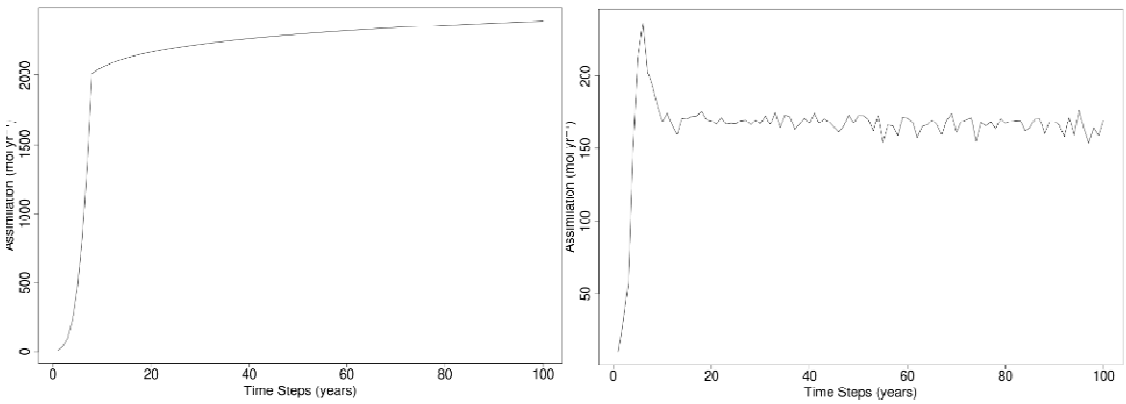


Figure 1 – Plot of assimilation *versus* time for a single tree. A) Without temperature effect; b) With temperature effect.

Since the addition of temperature effects on carbon assimilation generated a very different behavior for this process, we then run the complete model, i.e., taking into account this time the competition for light between trees. The early and the new results for the entire model are shown in figures 2 and 3. These figures show data for the entire forest, and not for a single tree anymore.

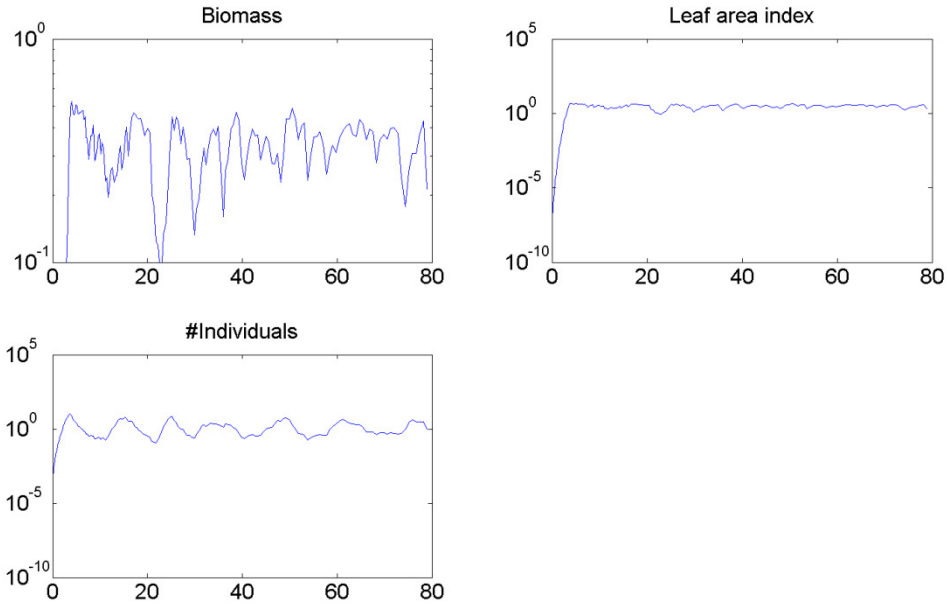


Figure 2: Plots of different tree traits over time.

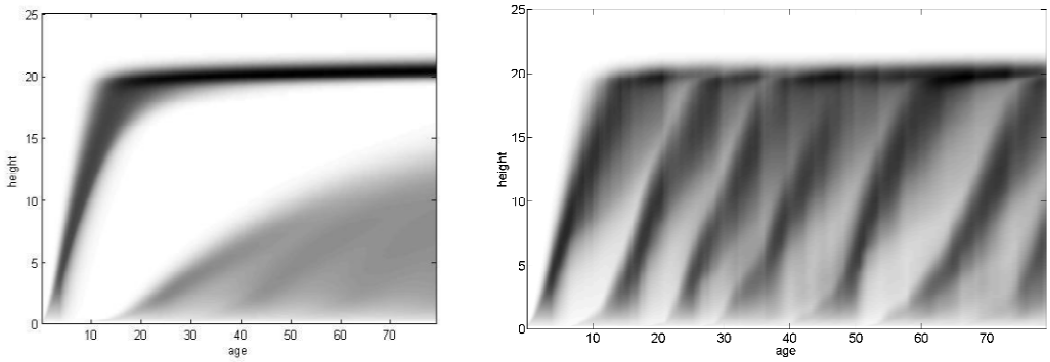


Figure 3: Density of height classes over time. In the plot of the new version of the model it is possible to notice shortened waves of growth in relation to those on the original version.

Finally, we simulated different rough future temperature scenarios (1, 2 and 5ºC above current average temperature, keeping the same autoregressive parameters). The results are shown in figure 4.

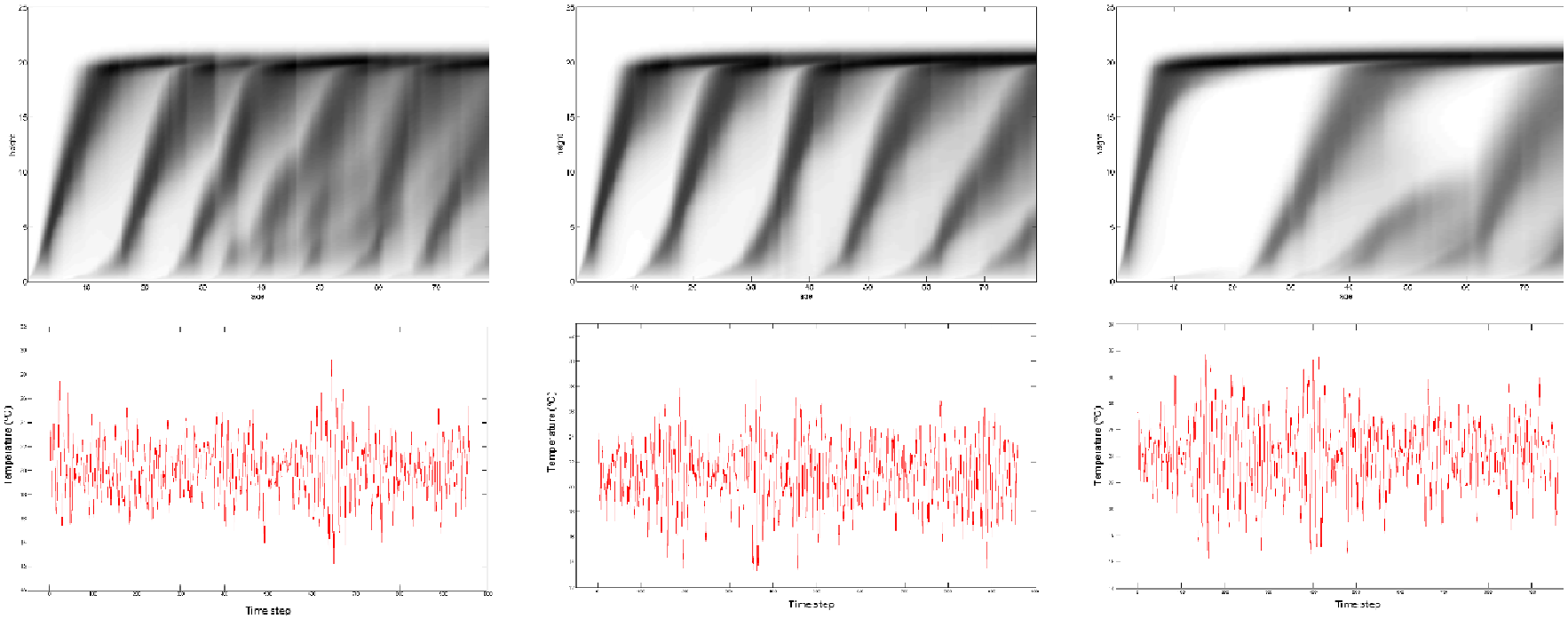


Figure 4: Density of height classes over time for current and three plausible future temperature scenarios. *Left:* 1ºC above current average temperature; *Middle*: 2ºC above current average temperature; *Right*: 5ºC above current average temperature. All plots also show the simulated temperature series used in each run.

Discussion

On figure 1 it is possible to observe that adding the dependence of assimilation on temperature caused this rate to vary following fluctuations on the environmental conditions. This brings the results closer to what is observed in nature, turning the simulations easier to interpret and compare with empirical data.

Since the model consists in several equations to rule different physiological processes, and since these equations are interconnected by some terms calculated in one part of the model and used to calculate another part of it, it can be expected that other traits, such as NPP and Biomass, also showed variations with different environmental conditions over the simulation time (figure 2).

The new features of the model caused changes also in the dynamics of the complete forest. It is possible to see on figure 3 that the new model showed changes in the periodicity of the seemingly “recruitment waves”. In the original model, this recruitment wave occurred just once during the simulated time span while in the new model they appear in a higher frequency.

These cycles can be related to two know phenomena: the first is a change of the light environment inside the forest, caused by the death of older and well-established individuals. When an adult tree dies, it leaves a gap in the canopy, allowing more light to go into the understory (Hubbell *et al.,* 1999). The model does not account for gaps, but since it is also not a spatially-explicit model, it is not possible for us to assess whether these changes in the light environment are local or spread along the entire forest.

The second phenomenon is Masting, which consists in a year in which most of the trees from a determined site produce a large amount of seeds. This is a characteristic typical from monocarpic plants, and thus it is reasonable to assume that the observed changes in the forest dynamics due to high temperatures might be related to the occurrence of this kind of seed production, after what a considerable number of trees dies, leaving an enormous number of seedlings, which some will replace the dead adult individuals (Schauber *et al.*, 2002).

Finally, although the future temperature scenarios are very roughly simulated (taking into account only a variation on the average temperature), simulating the forest dynamics under these scenarios showed that an increase in the average temperature might lead to a decrease in the frequency of the recruitment waves (figure 4). The causes are still unknown, but longer periods of extremely high and low temperatures present in the simulated temperature series might be related to this decrease in the frequency of cycles.

Conclusions

Based on the obtained results so far, we can conclude that temperature plays an important role in the modeled carbon assimilation by making its rates float with different temperature values. Furthermore, it was also possible to observe changes in some emergent properties of the modeled forest, such as the number of individuals and total biomass. Finally, changes in the frequency of recruitment waves is another important effect of temperature variations in the dynamics of the model, and also that future increasing in temperature might disturb the frequency/intensity of these waves, but both of these results still need further investigations to better understand the underlying mechanisms.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge all the EEP crew, for the valuable criticism and suggestions on the work during the progress sessions, Mario Cammarano and Danielle Davidian for all the help with both the model and Matlab coding, Dr. Marianne Hall and Dr. Per Bodin for the help in plant physiology, IIASA for the conceived grant, and professor Gregório Ceccantini, for the supervision in the dendrochronological work, and for the valuable suggestions about turning this paper clearer.

References

BERNACCHI CJ, PORTIS AR, NAKANO H, VON CAEMMERER S & LONG SP (2002). Temperature response of mesophyll conductance. Implications for the determination of Rubisco enzyme kinetics and for limitations to photosynthesis in vivo.*Plant Physiology* 130:1992–1998

BERNACCHI CJ, SINGSAAS EL, PIMENTEL C, PORTISJR AR& LONG SP (2001). Improved temperature response functions for models of Rubisco-limited photosynthesis. *Plant, Cell & Environment* 24:253–259

BRIFFA KR, JONES PD, SCHWEINGRUBER FH, SHIYATOV SG & COOK ER (1995). Unusual twentieth-century summer warmth in a 1,000-year temperature record from Siberia.*Nature* 376:156–159

BRIFFA KR, OSBORN TJ, SCHWEINGRUBER FH, HARRIS IC, JONES PD, SHIYATOV SG & VAGANOV EA (2001). Low-frequency temperature variations from a northern tree ring density network. *Journal of Geophysical Research* 106:2929–2941

BRIFFA KR, OSBORN TJ & SCHWEINGRUBER FH (2004). Large-scale temperature inferences from tree rings: A review. *Global and Planetary Change* 40:11–26

CAO, L., BALA, G., CALDEIRA, K., NEMANI, R., & BAN-Weiss, G. (2010). Importance of carbon dioxide physiological forcing to future climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(21), 9513.

CHMIELEWSKI, F. M., & RÖTZER, T. (2001). Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, *108*(2), 101–112.

DANSGAARD W, JOHNSEN SJ, CLAUSEN HB, DAHL-JENSEN D, GUNDESTRUP NS, Hammer CU,HVIDBERG CS, STEFFENSEN JP, SVEINBJÖRNSDOTTIR AE, JOUZEL J & BOND G (1993).Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature* 364:218–220

FALSTER DS, BRÄNNSTRÖM Å, DIECKMANN U &WESTOBY M (2011). Influence of four major plant traits on average height, leaf-area cover, net primary productivity, and

biomass density in single-species forests: A theoretical investigation. *Journal of Ecology* 99:148–164

BURIN, G. & CECCANTINI, G., (in prep.), "Análise dendroclimatológica de cedro (Cedrela fissilis L. - Meliaceae) e reconstrução de temperatura para a cidade de São Paulo, SP, Brasil".

FOWELL SJ, HANSEN BCS, PECK JA, KHOSBAYAR P, GANBOLD E (2003).Mid to late Holocene climate evolution of the Lake Telmen Basin, North Central Mongolia, based on palynological data. *Quaternary Research* 59:353–363

HUBBEL, S .P., FOSTER, R. B., O'BRIEN, S. T., HARMS, K. E., CONDIT, R., WECHSLER, B., WRIGHT, S. J., LOO DE LAO, S., (1999), "Light-gap disturbances, Recruitment limitation, and tree diversity in a neotropical forest", *Science*, 283:554-557

LAMARCHE VC (1974). Paleoclimatic inferences from long tree-ring records. Intersite comparison shows climatic anomalies that may be linked to features of the general circulation. *Science* 183:1043–1048

LARA A & VILLALBA R (1993). A 3620-year temperature record from *Fitzroyacupressoides* tree rings in southern South America. *Science* 260:1104–1106

LLUSIÀ, J., PENUELAS, J., PRIETO, P., & ESTIARTE, M. (2009). Net ecosystem exchange and whole plant isoprenoid emissions by a mediterranean shrubland exposed to experimental climate change. *Russian Journal of Plant Physiology*, *56*(1), 29-37.

MATHWORKS, (2007), "Matlab R2007a", Natick, MA.

OLIVEIRA JM, SANTAROSA E, PILLAR VD & ROIG FA (200). Seasonal cambium activity in the subtropical rain forest tree *Araucaria angustifolia*. *Trees* 23:107–115

PARMESAN, C. (2006). Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *37*(1), 637-669.

PETIT JR, JOUZEL J, RAYNAUD D, BARKOV N, BARNOLA J, BASILE I, BENDER M, CHAPPELLAZ J, DAVIS M, DELAYGUE G, DELMOTTE M, KOTLYAKOV VM, LEGRAND M, LIPENKOV VY, LORIUS C, PÉPIN L, RITZ C, SALTZMAN E & STIEVENARD M (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399:429–436.

RANDIN, C. F., ENGLER, R., NORMAND, S., ZAPPA, M., ZIMMERMANN, N. E., PEARMAN, P. B., VITTOZ, P., et al. (2009). Climate change and plant distribution: local models predict high-elevation persistence. *Global Change Biology*, *15*(6), 1557-1569.

SCHAUBER, E. M., KELLY, D., TURCHIN, P., SIMON, C., LEE, W. G., ALLEN, R. B., PAYTON, I. J., et al. (2002). Masting by eighteen New Zealand plant species: the role of temperature as a synchronizing cue. *Ecology*, *83*(5), 1214–1225.

SCHÖNGART J, JUNK WJ, PIEDADE MTF, AYRES JM, HUTTERMANN A &WORBES M (2004). Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño-Southern Oscillation effect.*Global Change Biology* 10:683–692

SCHÖNGART J, ORTHMANN B, HENNENBERG KJ, POREMBSKI S &WORBES M (2006). Climate-growth relationships of tropical tree species in West Africa and their potential for climate reconstruction.*Global Change Biology* 12:1139–1150

SCHÖNGART J, PIEDADE MTF, WITTMANN F, JUNK WJ &WORBES, M (2005). Wood growth patterns of *Macrolobium acaciifolium* (Benth.) Benth.(Fabaceae) in Amazonian black-water and white-water floodplain forests.*Oecologia* 145:454–61

SCHÖNGART J, PIEDADE MTF, LUDWIGSHAUSEN S, HORNA V & WORBES, M (2002). Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests.*Journal of Tropical Ecology* 18:581–597

SCHWEINGRUBER FH (1996). *Tree Rings and Environment:Dendroecology* (3rd ed.).Paul Haupt, Berne, Switzerland

STOKES MA & SMILEY TL (1996).*An Introduction to Tree Ring Dating*. University of Chicago Press, Chicago, USA

TAIZ L & ZEIGER E (2004). *Fisiologia Vegetal* (3rd ed.). Artmed, Porto Alegre, Brazil

WORBES M (2003). Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. *Forest Ecology and Management* 173:105–123

Considerações Finais

As árvores de cedro da cidade de São Paulo estudadas apresentaram crescimento e respostas a variações ambientais bastante diversas, o que é um reflexo da heterogeneidade de ambientes encontrada em ambientes urbanos. Porém, ainda assim, foi possível construir cronologias e, mais do que isso, reconstruir componentes do clima da cidade para o último século.

Adicionalmente, também foi possível observar relações entre o clima e as áreas de vaso nesta espécie, reforçando a importância da espécie para estudos de respostas das plantas a mudanças no ambiente e a impactos antrópicos. Isto possibilita a execução de diversos trabalhos futuros, na tentativa de compreender cada vez melhor quais mecanismos estão relacionados a estas respostas.

O fato de observarmos também relações entre o crescimento das árvores e o clima de estações de crescimento anteriores também é bastante estimulante, visto que esta "memória", apesar de citada, ainda não tem seu funcionamento plenamente compreendido. Isto certamente gera um grande número de trabalhos que podem vir a ser desenvolvidos no futuro para elucidar este funcionamento, principalmente relacionados à formação da faixa de parênquima axial marginal nos limites dos anéis, bem como sua função no armazenamento de substâncias potencialmente sinalizadoras desta "memória".

A temperatura ao final da estação seca (de dormência cambial - Agosto e Setembro) se mostrou um período extremamente importante na determinação tanto da largura do anel de crescimento como das áreas de vaso

do lenho inicial, influenciando de maneira negativa a largura do anel e de maneira positiva as áreas de vaso no fim da estação de crescimento anterior. Ainda, os vasos do lenho tardio estão relacionados positivamente com a temperatura do início do período de dormência do câmbio (logo antes de sua formação), ou seja, no mês de Junho.

A utilização de dados de crescimento mostrou-se também importante para o uso em modelos de dinâmica florestal. Apesar de o presente trabalho ter se baseado em um modelo previamente publicado, as modificações propostas e os resultados e conclusões obtidas não seriam possíveis (ou, caso possíveis, demandariam muito tempo e esforço) de serem implementadas sem a longa série de dados de dendrocronologia e os estudos dendroclimatológicos. Ainda, o modelo provou ser uma ferramenta interessante para o estudo de respostas populacionais a variações na temperatura.

Interessante notar também que, ao contrário do que vários artigos mencionam, a precipitação não se mostrou fortemente influente no crescimento dos cedros urbanos, provavelmente pelo fato de estas árvores estarem localizadas em uma região no limite da subtropicalidade, que é bem marcada na região de São Paulo.

Os cenários climáticos simulados de 1, 2 e 5ºC acima da temperatura média atual provavelmente causarão mudanças nos ciclos de recrutamento e/ou de *masting*, o que pode ter um papel determinante em outras escalas (comunidades ou até mesmo ecossistemas inteiros). Ainda há modificações a serem feitas no modelo, como por exemplo a introdução do efeito da temperatura na respiração das árvores, levando também em consideração o

efeito de aclimatação deste processo, modificações estas que já estão sendo desenvolvidas e que já possuem resultados preliminares porém promissores.

Por fim, imaginamos que dados os cenários futuros de temperatura fornecidos pelo IPCC, as árvores urbanas podem vir a sofrer com os aumento de temperaturas, visto que as taxas de crescimento tendem a diminuir com o aumento da temperatura em determinadas épocas do ano. Adicionalmente, os resultados do presente trabalho, juntamente com inúmeros outros trabalhos congêneres, representa um importante avanço no conhecimento das respostas de plantas a fatores ambientais, em especial para os ambientes urbanos tão pouco estudados, apesar de sua importância sócio-econômica. Sendo assim, espera-se que este trabalho estimule o desenvolvimento da dendrocronologia (urbana ou não) no Brasil e nos trópicos, de forma a no futuro possuirmos um número grande de cronologias espalhadas pelos diversos biomas do país, para que possamos compreender melhor como estes biomas se comportam, em diferentes escalas, frente às mudanças previstas no clima.

Conclusões gerais

- Os cedros urbanos são passíveis de serem estudados pela dendrocronologia;
- Os anéis de crescimento apresentaram relações com temperatura e precipitação de determinadas épocas do ano;
- Estas relações tornaram possível a reconstrução da temperatura do último século para a cidade de São Paulo;
- As áreas de vaso dos anéis de crescimento de cedro também apresentaram sinais de influência do clima na sua formação, sendo mais uma característica a ser estudada em futuros estudos;
- Devido ao grande número de perturbações no ambiente urbano, o número de anéis faltantes/duplos foi grande, impossibilitando assim, até o momento, a construção de cronologias de áreas de vaso;
- Os dados de crescimento são passíveis de uso na parametrização de modelos matemáticos de dinâmica populacional;
- O modelo modificado neste trabalho mostra que a temperatura também tem papel fundamental na periodicidade dos ciclos populacionais;
- Futuros cenários de temperatura também modificarão a frequência dos ciclos, podendo gerar alterações em diferentes níveis de organização.

Resumo

Desde a revolução industrial, o consumo de combustíveis fósseis pelo homem vem crescendo em ritmo acelerado. Com isso, aumentam também as concentrações dos chamados gases-estufa (CO_2, CH_4 e N_xO). Isso gera alterações no clima, causando mudanças em fatores bióticos e abióticos, tanto em ambientes naturais quanto em ambientes urbanos. Algumas dessas mudanças são típicas de ambientes urbanos, como as Ilhas de Calor Urbanas e a Inversão Térmica, e devido ao fato de grande parte da população atual viver neste tipo de ambiente, acabam causando diversos problemas de saúde. É importante, portanto, conhecer como o clima destes ambientes tem se comportado nos últimos anos, e isso é possível através da análise dos anéis de crescimento de árvores urbanas. Além disso, os dados de crescimento podem ser utilizados para calibrar modelos de dinâmica florestal. Sendo assim, o presente trabalho pretende construir cronologias de anéis de crescimento de cedro (*Cedrela fissilis* L.) da cidade de São Paulo, e utilizá-las para reconstruir o clima do último século para essa cidade, além de usar estes dados de crescimento para a parametrização de novos elementos em um modelo de dinâmica florestal já existente. Para isso, utilzou-se 43 indivíduos coletados em 4 localidades da cidade de São Paulo, que foram colados em suporte, polidos, datados, fotografados e tiveram a largura dos anéis de crescimento medidas. Além disso, também tomou-se medidas de áreas de vaso para alguns anéis pré-determinados. As larguras dos anéis foram utilizadas para a construção de cronologias, que posteriormente foram usadas para a criação de modelos de reconstrução climática. Foi possível encontrar relações entre precipitação e temperatura e o crescimento das árvores para dois dos locais de coleta, sendo que para um deles foi possível reconstruir estas variáveis climáticas para determinados meses do ano. Com os dados de crescimento, foi possível parametrizar uma nova equação inserida no modelo de Falster *et al.*, 2011, que insere o efeito de temperatura na parte do modelo relacionada à fotossíntese da espécie simulada. Após a inserção da nova equação, foi possível observar mudanças na periodicidade dos ciclos de recrutamento da floresta.

Palavras-chave: Dendrocronologia, Dendroclimatologia, *Cedrela fissilis*, Ambiente Urbano, Dinâmica florestal, Modelos matemáticos

Abstract

Since the Industrial Revolution, fossil fuel consumption by man has been rising steeply. This way the concentration of greenhouse-gases (CO_2, CH_4 and N_xO) rise too. That causes the climate to change, generating alterations in biotic and abiotic factors both in natural and urban environments. Some of these changes are typical from urban environments such as Urban Heat Islands and Thermal Inversion, and since great part of human population live in this type of environment, health problems are common. Thus it is important to know how the climate have behaved in this environments in the past years, and this is possible by analyzing the tree rings from urban trees. Furthermore, growth data can be used to calibrate forest dynamic models. Therefore the present work aims to build tree-ring chronologies of cedro (*Cedrela fissilis* L.) from the city of São Paulo, and to use them to reconstruct climate for the last century in this city, in addition to use these growth data to parameterize new elements in an existent forest dynamic model. For this, 43 individuals were sampled in 4 different sites in São Paulo, which were glued in wood support, sanded, dated, photographed and had their growth rings measured. Furthermore vessel area was measured for some pre-determined rings. The growth rings widths were used to build chronologies, that were later used to generate climate reconstruction models. It was possible to fin relations between temperature and precipitation and the tree growth in 2 of the sampling sites, and in one it was possible to build reconstruction models for some months. With growth data, it was possible to parameterize a new equation inserted in Falster *et al.* Model, which inputs temperature effect in the photosynthesis-related part of the model. After inputting the new equation it was possible to observe changes in the periodicity of the recruitment cycles in this forest.

Keywords: Dendrochronology, Dendroclimatology, *Cedrela fissilis*, Urban environment, Forest dynamics, Mathematical models.