

# ESTRUTURA DEMOGRÁFICA E PADRÃO ESPACIAL DE UMA POPULAÇÃO NATURAL DE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), NA RESERVA GENÉTICA FLORESTAL DE CAÇADOR, ESTADO DE SANTA CATARINA<sup>1</sup>

Giovani Festa Paludo<sup>2</sup>, Adelar Mantovani<sup>3</sup>, Carine Klauberg<sup>2</sup> e Mauricio Sedrez dos Reis<sup>4</sup>

**RESUMO** – *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze é considerada espécie ameaçada de extinção, e faltam informações sobre sua ecologia para a elaboração de técnicas eficazes para manejo e conservação. Nesse sentido, foi estudada uma população natural na Reserva Genética Florestal de Caçador, com o objetivo de gerar informações sobre a estrutura demográfica da espécie. A população estudada foi dividida em quatro classes: regeneração, juvenis, masculinas e femininas. Foram analisadas a estrutura diamétrica e de altura, a razão sexual e o padrão espacial. A regeneração natural foi baixa, e a razão sexual não diferiu de 1, de acordo com o esperado para a espécie. Na análise do padrão espacial, a agregação apareceu em todas as classes. A regeneração não esteve espacialmente associada com árvores adultas. A regeneração natural da espécie sob a floresta existe, apesar de ocorrer com baixa densidade.

Palavras-chave: Estrutura populacional, regeneração natural e pinheiro-brasileiro.

## **DEMOGRAPHIC STRUCTURE AND SPATIAL PATTERN OF *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) POPULATION IN SANTA CATARINA**

**ABSTRACT** – The *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze is a Brazilian native species considered threatened. There is a lack of information and data about the species ecology that could be used as the basis for preservation and management measures. Intending to alleviate this lack of data, this study was carried out based on a natural population of *A. angustifolia* occurring in the Forest Genetic Reserve of Caçador, located in the Brazilian state of Santa Catarina. The main goal of the present work was to describe the demographic structure of a natural *A. angustifolia* population. Therefore, the population studied was divided into four classes based on stage and gender: regeneration, juveniles, males and females. The diametric and height structures, sexual ratio, spatial and dependence patterns were evaluated. The results demonstrated that there was a small regeneration ratio and the sexual ratio was around 1:1, as previously expected for the species. In the spatial pattern analysis, aggregation groups appear in all classes studied. The regeneration showed clusters that do not seem to be associated to adult specimens. The natural regeneration occurs, but in low density under forest conditions.

Keywords: Population structure, natural regeneration and Brazilian-pine.

### **1. INTRODUÇÃO**

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, conhecida popularmente como pinheiro-brasileiro, araucária ou pinheiro, é uma espécie característica da Floresta Ombrófila Mista. Essa floresta ocorre

principalmente nos três estados do sul do Brasil e originalmente cobria uma área de aproximadamente 20 milhões de ha (REITZ e KLEIN, 1966; KLEIN, 1984). Com grande importância socioeconômica principalmente pela qualidade de sua madeira (REITZ e KLEIN, 1966;

<sup>1</sup> Recebido em 28.04.2008 e aceito para publicação em 23.06.2009.

<sup>2</sup> Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Brasil. Acadêmicos do curso de Engenharia Florestal. E-mail: <giovaniopaludo@yahoo.com.br>.

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Brasil. E-mail: <mantovani@cav.udesc.br>.

<sup>4</sup> Núcleo de Pesquisa em Florestas Tropicais, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Brasil.

RIZZINI, 1978), o pinheiro foi submetido a uma forte exploração predatória, sobretudo, durante a segunda metade do século XX, e sua floresta sofreu acentuado processo de fragmentação (REITZ et al., 1978).

Atualmente, os fragmentos florestais da Floresta Ombrófila Mista estão estimadas em 2-4% da área de cobertura original (GUERRA et al., 2002), o que levou a araucária a ser considerada como vulnerável na lista de espécies em extinção (IBAMA, 2008; Port. 37-N 1992) e, mais recentemente, como criticamente em perigo (CR) na Red List of Threatened Species da IUCN (FARJON, 2006).

Embora muitos estudos tenham abordado diferentes aspectos da ecologia de *A. angustifolia*, poucos são aqueles destinados a descrever sua estrutura demográfica (SOLÓRZANO-FILHO, 2001; SOUZA, 2007) e, conseqüentemente, faltam informações, a fim de elucidar o processo de regeneração.

A eficácia do processo de regeneração de espécies do gênero *Araucaria* foi muitas vezes colocada em dúvida pelo seu estado relictual (VEBLEN, 1982), já que este teve maior dispersão no Terciário (SEWARD e FORD, 1906). Enquanto em algumas espécies do gênero, a regeneração mostra-se suficiente para manter a estrutura demográfica, como a *Araucaria cunninghamii* Aiton ex D. Don e *Araucaria hunsteinii* K. Schum (HAVEL, 1971; GRAY, 1975;), para outras a regeneração aparenta não ser suficiente, como a *A. angustifolia* (REITZ e KLEIN, 1966) e *Araucaria araucana* (Molina) C. Koch (VEBLEN, 1982). Para *A. angustifolia*, vários trabalhos sugerem baixa capacidade de regeneração sob floresta desenvolvida (CALDATO et al., 1996; BACKES, 2001; NEGRELLE e LEUCHTENBERGER, 2001; DUARTE e DILLENBURG, 2000; DUARTE et al., 2002; NARVAES et al., 2005), embora essa espécie apresente comportamento distinto para quantidade de indivíduos regenerantes em função de locais (PUCHALSKY et al., 2006), o que sugere a dependência do ambiente para regeneração.

O entendimento do comportamento da espécie em populações naturais é premissa básica para elaboração de tecnologias adequadas tanto para manejo quanto para a conservação de uma espécie. Para *A. angustifolia*, além do processo de regeneração, o padrão espacial é pouco estudado (ANJOS et al., 2004; SOLÓRZANO-FILHO, 2001; MANTOVANI, 2003). Entre esses trabalhos, apenas Anjos et al. (2004) utilizaram um método que detecta a escala de um padrão espacial.

A análise do padrão espacial não é recente (WATT, 1947; CLARK e EVANS, 1954; PIELOU, 1959), e há pouco tempo ganhou ênfase. Inicialmente, muitos trabalhos têm utilizado a análise espacial apenas de maneira descritiva (BAROT et al., 1999), mas ela é importante ferramenta para inferir sobre processos ecológicos. O estudo do padrão espacial, além de ser o primeiro passo para espécies que não tenham estudos detalhados, permite gerar hipóteses sobre processos que dão origem a determinado padrão (DALE, 1999). Um padrão pode ser resposta à heterogeneidade ambiental, interações intra e interespecíficas, como competição e predação, dispersão, crescimento, senescência, mortalidade e reprodução (JANZEN, 1970; BAROT et al., 1999; DALE, 1999; PERRY et al., 2002; AIBA et al., 2004; PALMIOTTO et al., 2004; STOLL e BERGIUS, 2005; RODRIGUES et al., 2007).

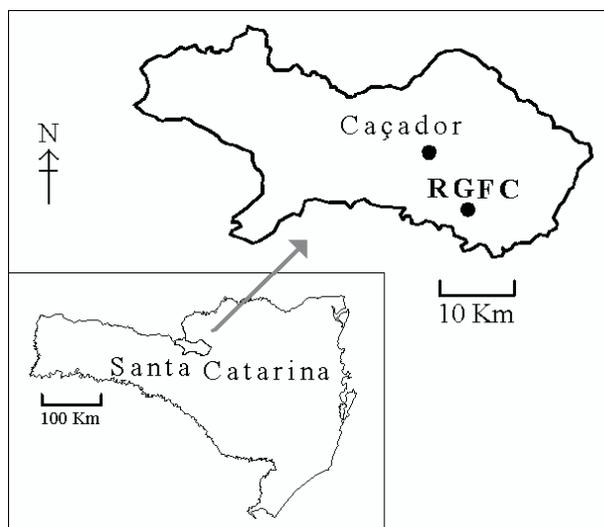
Um padrão é difícil de descrever em termos precisos (CLARK e EVANS, 1954), sendo necessário o uso da estatística para quantificá-lo (RIPLEY, 1981). A função K de Ripley (1981) é um método por medidas de distância (DIGGLE et al., 1976) e de natureza cumulativa (PERRY et al., 2006), contudo ele indica a escala de um padrão, o que é importante na análise espacial (MATTEUCCI e COLMA, 1982; WIENS, 1989; CAMPBELL, 1996; RAHBEK, 2005).

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo o estudo da estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural conservada de *A. angustifolia*, avaliando-se desde plântulas até indivíduos adultos. Para este estudo, foram lançadas algumas hipóteses: (1) O processo de regeneração natural da *A. angustifolia* não permite seu restabelecimento em floresta desenvolvida; (2) A dispersão de sementes de *A. angustifolia* é limitada, fazendo que a regeneração se apresente de forma agregada próximo à planta-mãe; e (3) A competição entre árvores de diâmetros maiores tende a formar um arranjo espacial aleatório ou uniforme.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

O trabalho foi realizado em uma área pertencente à Reserva Genética Florestal de Caçador, Estado de Santa Catarina (Figura 1). A reserva está localizada entre latitudes 26°49' e 26°53' S e longitudes 50°59' e 50°53' W, compreendendo altitudes de 900 a 1.104 m e abrangendo uma área de 1.157,48 ha. O clima, segundo



**Figura 1** – Mapa mostrando a posição da Reserva Genética Florestal de Caçador (RGFC), estado de Santa Catarina.

**Figure 1** – Mapa showing the position of the Forest Genetic Reserve of Caçador (RGFC), Santa Catarina State.

a classificação de Köppen, é do tipo Cfb, ou seja, mesotérmico subtropical úmido, sem estação seca e com verões frescos (KURASZ et al., 2005). Hoje, a área representa um dos maiores remanescentes contínuos com vegetação característica da Floresta Ombrófila Mista no Estado. O histórico de exploração da área foi de corte seletivo há aproximadamente 80 anos, e hoje unidade de conservação, sendo considerada como mata secundária em avançado estado de sucessão/mata primária (PUCHALSKY et al., 2006).

## 2.2. Obtenção e análise dos dados

Demarcou-se uma parcela com dimensões de 170 x 300 m em local com floresta em avançado estágio de sucessão, totalizando uma área de 5,1 ha. A área para instalação dessa parcela foi escolhida por se tratar de um local seguro para a manutenção da parcela permanente. Todos os indivíduos de *A. angustifolia* foram marcados e tiveram sua altura mensurada, bem como esses indivíduos foram localizados dentro da parcela através de coordenadas  $x$  e  $y$ . O diâmetro altura do peito (DAP) foi medido para plantas com altura igual ou superior a 1,5 m. As medições foram realizadas com o auxílio de suta, clinômetro e trena.

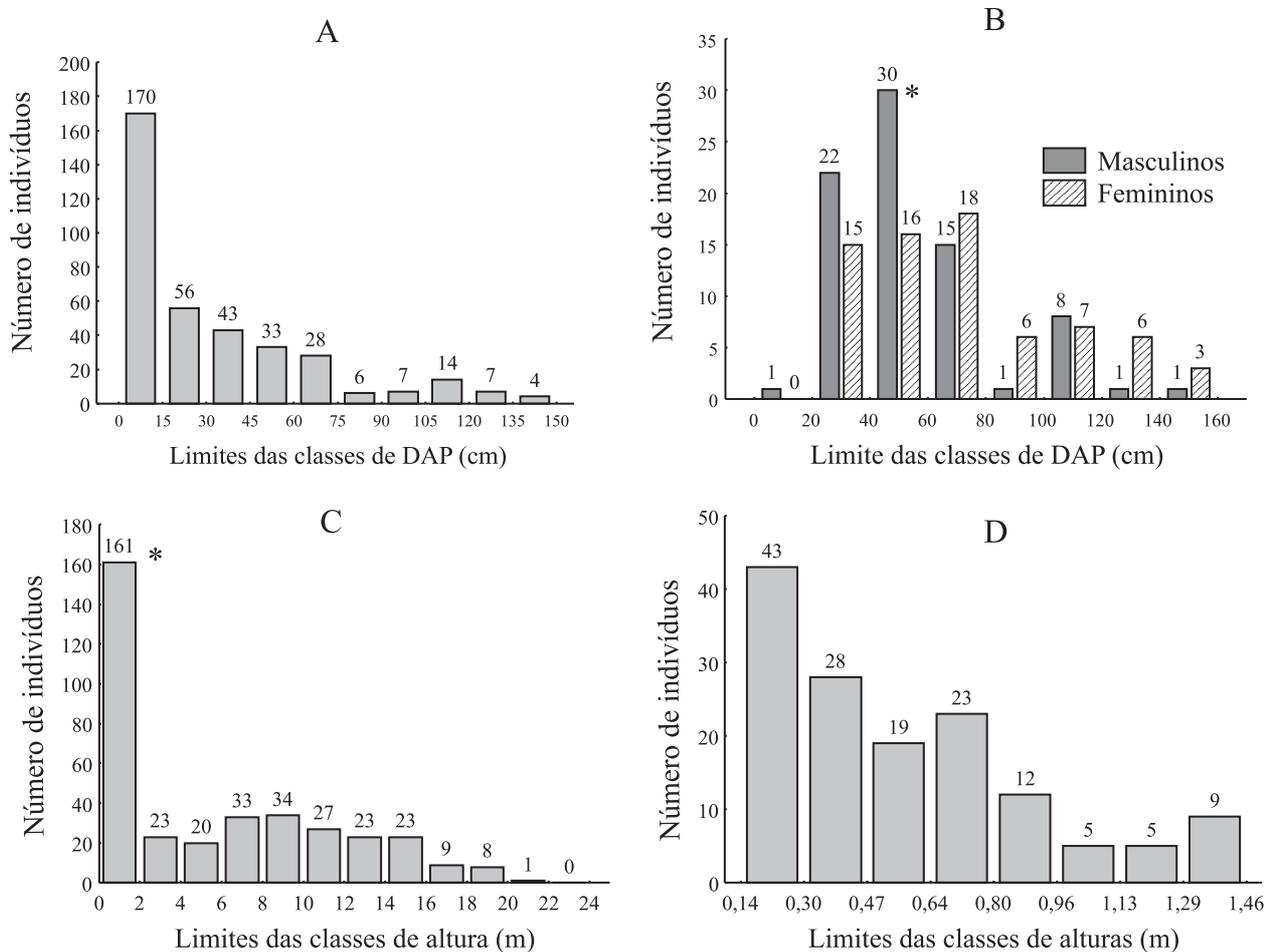
Em todos os indivíduos presentes na área de estudo, foi verificada a existência de estruturas reprodutivas, com o auxílio de binóculos, conforme

Mantovani et al. (2004), e em dois momentos: no mês de junho, devido à facilidade de visualização de estruturas reprodutivas femininas; e no mês de setembro, época em que geralmente ocorre a polinização (REITZ et al., 1978), o que facilitou a identificação das estruturas reprodutivas masculinas. Aqueles indivíduos que apresentaram estruturas reprodutivas foram denominados *adultos* e quando ausentes, *não reprodutivos*.

A população foi dividida em quatro classes: *a*) regeneração (não reprodutiva, com altura inferior a 1,5 m); *b*) juvenis (não reprodutiva com altura igual ou superior a 1,5 m); *c*) masculinas (adulta, com presença de estróbilos masculinos); e *d*) femininas (adulta, com presença de estróbilos femininos).

Calculou-se, nas diferentes classes demográficas, o número total de indivíduos, o número de indivíduos por hectare (ou densidade  $\rho$ ), a média dos DAPs e a média das alturas. Foram testadas as médias de DAPs e alturas entre os indivíduos masculinos e femininos, através do teste de  $t$  para dados não pareados. Em todas as classes demográficas estabelecidas foram testadas as diferenças entre classes, através do teste do  $\chi^2$ . A razão sexual (proporção de masculinos.femininos<sup>-1</sup>) foi calculada e testada utilizando-se o teste  $\chi^2$ .

Para a análise do padrão espacial foi utilizada a Função K-univariada de Ripley (RIPLEY, 1977). O raio ( $h$ ) empregado para o cálculo do  $K(h)$  foi de 1 m, sendo as análises realizadas até a distância de 85 m, correspondente à metade do menor lado da parcela, conforme relatou Ripley (1977). Os valores de  $K(h)$  foram transformados através da função  $L(h)$  para melhor interpretação e visualização dos resultados. Os limites de confiança, também denominados envelope, foram criados utilizando-se 499 simulações de eventos em completa aleatoriedade espacial. Para os testes de associação espacial entre a regeneração e os indivíduos femininos e a regeneração e os adultos, foi utilizada a Função K-bivariada (RIPLEY, 1977). Os envelopes foram construídos utilizando-se 99 simulações com arranjos toroidais (BAROT et al., 1999). Tanto as Funções K-univariada e K-bivariada quanto seus envelopes foram calculados, empregando-se algoritmos escritos no R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008) pacote *splancs* (ROWLINGSON e DIGGLE, 1993).



**Figura 2** – Estrutura demográfica de uma população natural de *Araucaria angustifolia*: distribuição diamétrica para indivíduos adultos e juvenis (A); distribuição diamétrica para masculinos e femininos (B); distribuição de alturas para juvenis e regeneração (C) e; distribuição de alturas para a regeneração (D). \* Diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) de acordo com teste  $\chi^2$ .

**Figure 2** – Demographic structure of a natural *Araucaria angustifolia* population. Diametric distribution for adult and juveniles (A), diametric distribution to males and females (B), height distribution for regeneration and juveniles (C), height distribution to regeneration (D). \* Significant differences ( $p < 0.05$ ) according to  $\chi^2$  test.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Estrutura da população e regeneração natural

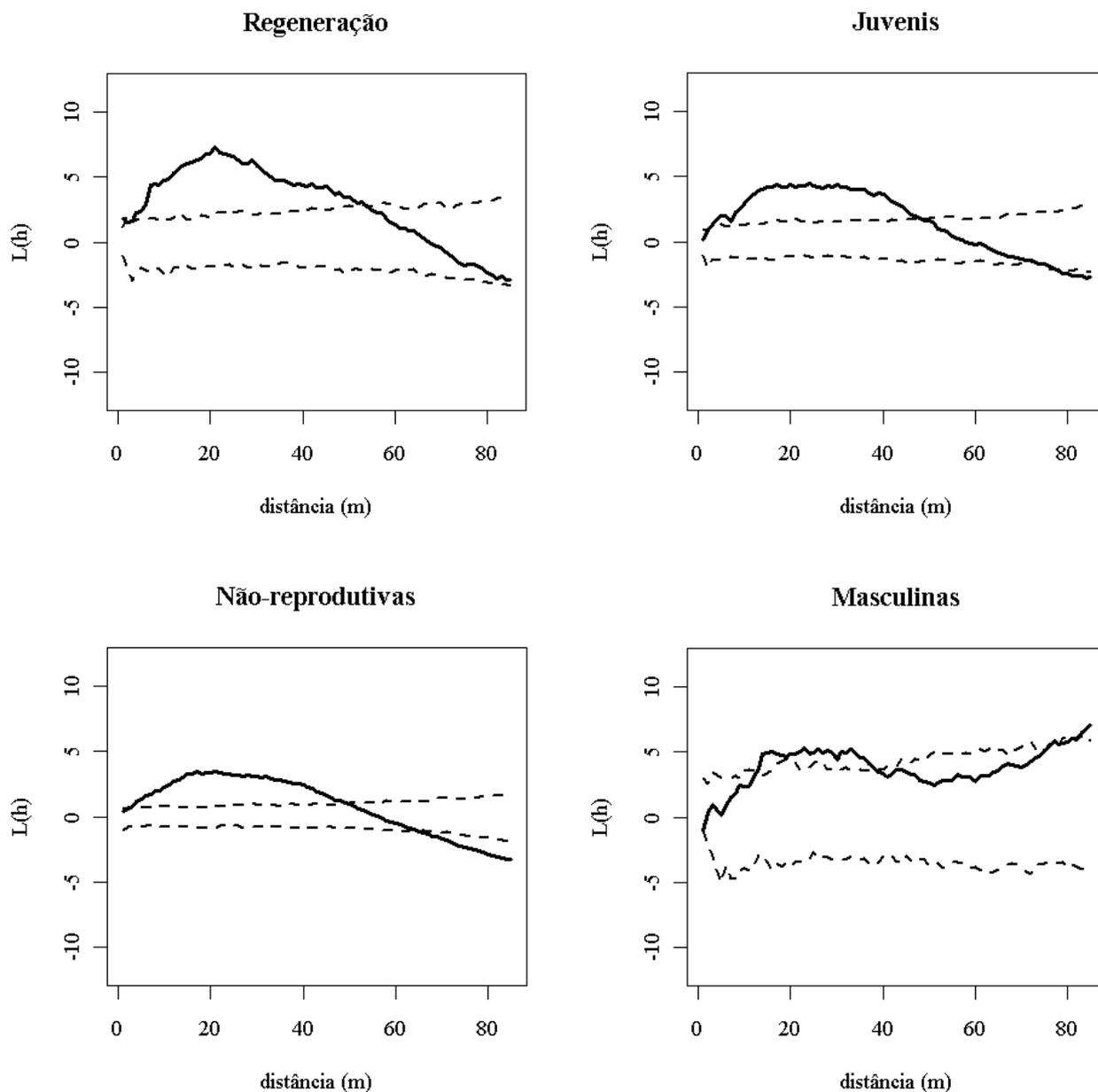
Na área estudada foi encontrado um total de 512 indivíduos ( $100,4 \text{ ind. ha}^{-1}$ ). A regeneração apresentou 144 indivíduos (28,1%) e densidade de  $28,2 \text{ ind. ha}^{-1}$ . Juvenis contaram com 218 indivíduos (42,6%) e densidade de  $42,7 \text{ ind. ha}^{-1}$ , enquanto masculinas e femininas 79 e 71 indivíduos, respectivamente (15,4 e 13,9%), e densidade de  $15,5$  e  $13,9 \text{ ind. ha}^{-1}$ .

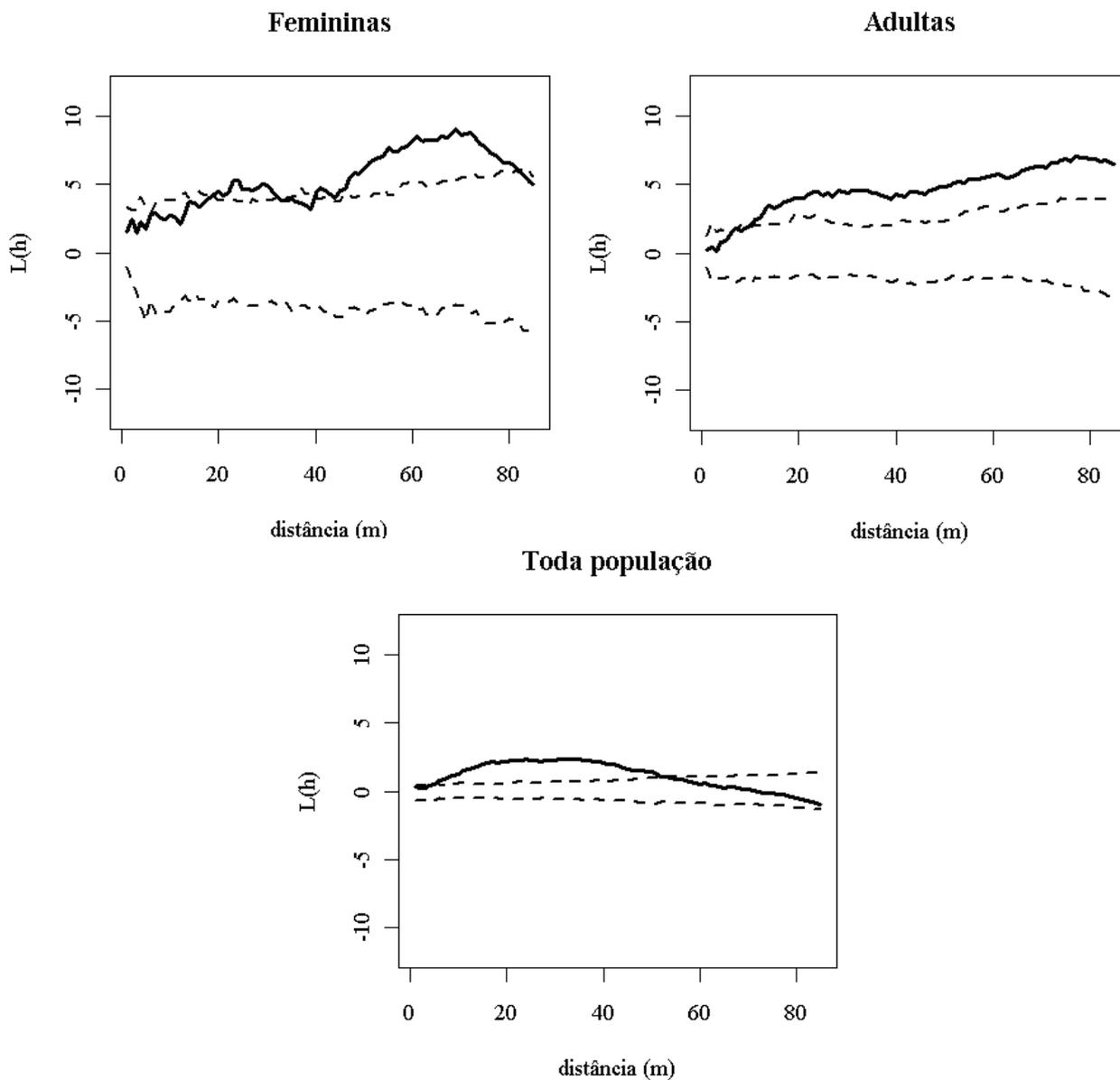
A estrutura da população em classes diamétricas está representada na Figura 2A. Na distribuição diamétrica das plantas adultas, apenas apareceram diferenças significativas a favor dos indivíduos masculinos entre 40 e 60 cm ( $30:16$ ;  $\chi^2 = 4,3$ ;  $p < 0,05$ ) (Figura 2B). Nessa mesma distribuição, notou-se maior frequência de indivíduos femininos nas maiores classes e de masculinos nas menores. Na distribuição de altura para indivíduos não reprodutivos, há redução significativa entre o número de indivíduos da primeira

e segunda classes (161:23;  $\chi^2 = 103,5$ ;  $p < 0,01$ ) (Figura 2C). Nas categorias de altura para a classe regeneração não foram encontradas diferenças significativas, embora 78,5% dos indivíduos estivessem entre as classes 0 e 80 cm (Figura 2D).

A média dos diâmetros para as plantas adultas foi de 63,5 cm, e os masculinos apresentaram a média dos diâmetros significativamente menor do que os

femininos ( $\delta$  56,8 cm e  $n = 79$ ;  $\text{f}$  71,0 cm e  $n = 71$ ;  $t = -2,87$ ;  $p < 0,005$ ). Altura média das plantas adultas foi de 21,9 m, também apresentando diferença significativa entre a média dos masculinos e a dos femininos ( $\delta$  21,1 m e  $n = 79$ ;  $\text{f}$  22,7 m e  $n = 71$ ;  $t = -2,24$ ;  $p = 0,026$ ). Para os juvenis, as médias de altura e diâmetro foram, respectivamente, de 9,3 m e 10,2 cm. A regeneração apresentou altura média de 0,6 m.





**Figura 3** – Análise do padrão espacial para diferentes classes demográficas em uma população natural de *Araucaria angustifolia*, através da função K de Ripley. Linhas pontilhadas representam os intervalos de confiança (envelopes) construídos com 499 simulações de completa aleatoriedade espacial.

**Figure 3** – Spatial pattern analysis through Ripley's K Function in a natural population of *Araucaria angustifolia*. Spotted lines are de confidence limits computed with 499 simulations of complete spatial randomness.

A razão sexual (proporção masculinos.femininos<sup>-1</sup>) foi de 1,11, não diferindo da unidade ( $79:71; \chi^2 = 0,43; p > 0,05$ ).

### 3.2. Padrão e dependência espacial

Na população predominou o padrão agregado, enquanto o uniforme apareceu em apenas duas classes:

juvenis e não reprodutivas (Figura 3). A regeneração mostrou-se agregada entre as distâncias de  $\pm 3$  e  $\pm 50$  m e aleatória a partir disso. Um pico de intensidade na função  $L(h)$  pode ser notado na escala de  $\pm 20$  m. O padrão espacial dos juvenis mostrou-se semelhante à regeneração quanto à agregação, mas diferente pelo padrão uniforme em distâncias maiores que  $\pm 75$  m. Nas plantas não reprodutivas, a agregação manteve-se em distâncias semelhantes à da regeneração e juvenis, enquanto a uniformidade apareceu a partir dos  $\pm 67$  m.

Nos indivíduos masculinos, a análise detectou agregação com pouca intensidade entre as distâncias aproximadas de 12 e 22 m. Já nos femininos ocorreu o padrão agregado entre as distâncias  $\pm 48$  e  $\pm 82$  m. As adultas formaram o padrão agregado a partir da escala dos 10 m. A população como um todo apresentou agregação entre  $\pm 6$  e  $\pm 55$  m.

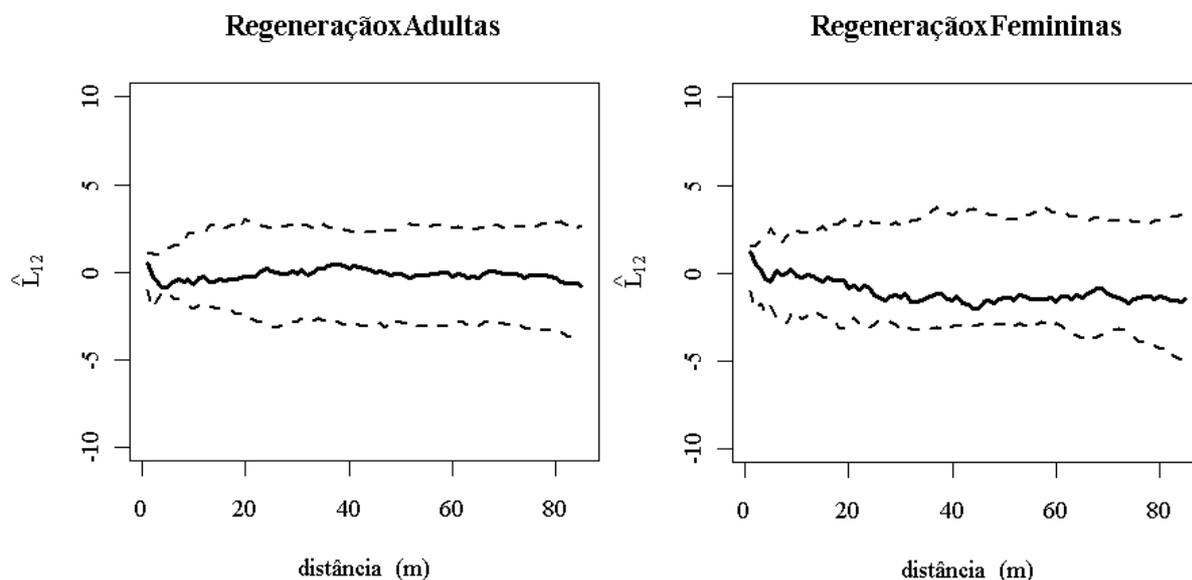
Na análise de dependência espacial, a regeneração mostrou-se independente em relação à presença de indivíduos femininos (Figura 4A) e também não apresentou associação com plantas adultas (Figura 4B).

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Estrutura da população e regeneração natural

Neste trabalho, o número de indivíduos pertencente à classe da regeneração foi pequeno quando comparado com as plantas adultas. São vários os fatores que podem estar afetando a frequência de indivíduos da regeneração. A saber:

(1) o recrutamento pode ser limitado pela oferta de sementes (CRAWLEY e ROSS, 1990). Na araucária, a disponibilidade de sementes para a regeneração pode ser afetada pela coleta feita pelo homem, como mencionado por Souza (2007) e Sampaio et al. (2007). A atividade de coleta ocorre, mesmo, em unidades de conservação, como observado no desenvolvimento deste trabalho e por Negrelle e Leuchtenberger (2001). Entretanto, em estudo conduzido no Rio Grande do Sul, Duarte et al. (2002) salientaram que a quantidade de sementes não seja limitante para o recrutamento sob a floresta, devido à abundância no solo durante a época de oferta. Outro fator pode ser a variação anual na oferta de sementes, mencionada para *A. angustifolia*, que apresenta alternância de produção de sementes (MANTOVANI et al., 2004).



**Figura 4** – Análise da dependência espacial em uma população natural de *Araucaria angustifolia* entre as classes regeneração x indivíduos femininos e regeneração x adultos através Função K bivariada de Ripley. As linhas pontilhadas representam os envelopes de confiança construídos com 99 simulações

**Figure 4** – Dependence spatial analysis in a natural population of *Araucaria angustifolia*, between regeneration and females and between regeneration and adults, through Ripley's K bivariate Function. Spotted lines are the confidence limits computed with 99 simulations.

(2) mesmo com grande disponibilidade de sementes no solo e, principalmente, pelo fato de a sua oferta estar concentrada num período de escassez de frutos de outras espécies (PAISE e VIEIRA, 2005) e, assim, ser considerada como importante alimento para a fauna (MELLO-FILHO et al., 1981), a predação de sementes provavelmente influencia a regeneração, como apontado por Muller e Macedo (1980), Mello-Filho et al. (1981), Sanquetta (1999) e Duarte et al. (2002). A procura das sementes pela fauna ainda faz que plântulas sejam arrancadas (MELLO-FILHO et al., 1981; SANQUETTA et al., 2005), reduzindo-se a quantidade de indivíduos da regeneração.

(3) ambiente inadequado para o desenvolvimento das plântulas de araucária. Uma espécie pode requerer condições ambientais específicas em alguma etapa do seu desenvolvimento para completar o processo de regeneração (CLARK e CLARK, 1987).

A distribuição de alturas para a regeneração assemelhou-se a um J-invertido (Figura 2D), com número de indivíduos superior nas quatro primeiras classes e inferior nas quatro subsequentes. Na distribuição de alturas para os indivíduos não reprodutivos (Figura 2C), notou-se redução significativa (afunilamento demográfico) entre a primeira e a segunda classe de altura. Comportamento semelhante foi observado por Backes (2001) em plântulas sob dois agrupamentos de araucária no Rio Grande do Sul. Estudos fisiológicos indicaram tolerância a sombreamento nos primeiros estágios de desenvolvimento (INOUE et al., 1978; DUARTE e DILLENBURG, 2000; FRANCO e DILLENBURG, 2007). Segundo Duarte et al. (2002), plantas de araucária são hábeis a colonizar novas áreas, bem como regenerar sob floresta desenvolvida de acordo com a plasticidade à radiação fotossinteticamente ativa. No entanto, é conhecido que *A. angustifolia* necessita de luz ou desenvolve-se melhor em sua presença (REITZ e KLEIN, 1966; BACKES, 2001). Em concordância com esse fato, Soares (1979) evidenciou a araucária como espécie séria, ou seja, regenera-se em condições de distúrbios moderados e, portanto, necessita de luz.

Em comparação entre as nove populações naturais de *A. angustifolia*, Puchalsky et al. (2006) indicaram menor regeneração quanto menos perturbada a área. Segundo esses mesmos autores, a Reserva Genética Florestal de Caçador representa a área estudada mais conservada e apresentou relativamente a menor proporção de indivíduos jovens. Tal fato corrobora

a dinâmica sugerida por Reitz e Klein (1966), em que a *A. angustifolia* é gradativamente substituída pela floresta latifoliada e avança sobre áreas de campo que são sítios restritivos, através do processo sucessional.

Por se tratar de espécie com sementes recalcitrantes, a estratégia de regeneração da *A. angustifolia* é através da formação do banco de plântulas, como indicado por Duarte et al. (2002). Dessa maneira, seria esperado grande número de indivíduos na classe da regeneração. No entanto, o número de indivíduos na regeneração foi relativamente baixo quando comparado com os indivíduos adultos. Contudo, a população apresentou estrutura diamétrica compatível com uma espécie que se regenera sob floresta desenvolvida, mesmo de forma pouco expressiva, rejeitando a primeira hipótese. Dessa forma, pouco se conclui a respeito de regeneração natural da *A. angustifolia*, e mais estudos são necessários, principalmente, envolvendo alguns processos ecológicos como mortalidade e predação, em diferentes áreas com estágios sucessionais diversos.

A média dos DAP foi maior nos indivíduos femininos, diferentemente do encontrado por Mantovani (2003), segundo o qual o DAP foi maior nos masculinos, e por Solórzano-Filho (2001), que não obteve diferença entre os sexos. O que se poderia esperar para plantas dioicas seria a predominância de masculinas nas maiores classes de diâmetro, devido ao maior custo reprodutivo das plantas femininas, reduzindo seu crescimento (ÂGREN, 1988; HERRERA, 1988; VASILIAUSKAS e AARSSSEN, 1992). No entanto, do histórico de exploração da área antes de se tornar unidade de conservação, apenas se conhece que houve corte seletivo, o qual pode ter influenciado esses resultados.

Se o custo reprodutivo de uma planta dioica é diferente, masculinas e femininas podem maturar em diferentes fases etárias (VASILIAUSKAS e AARSSSEN, 1992). Conforme o apresentado na Figura 2B, existem diferenças significativas a favor dos indivíduos masculinos na classe entre 40 e 60 cm de DAP. Esse resultado indica que, possivelmente, as plantas masculinas maturam antes, como mencionado por Meagher e Antonovics (1982), porém contradiz com que femininas têm seu crescimento reduzido devido ao custo reprodutivo (ÂGREN, 1988; HERRERA, 1988).

A razão sexual encontrada neste trabalho não diferiu do que seria teoricamente esperado para plantas dioicas (FISHER, 1930; KOLMAN, 1960; OPLER e BAWA, 1978).

Contudo, para outras espécies frequentemente são observados desvios, principalmente a favor de plantas estaminadas (OPLER e BAWA, 1978; MEAGHER, 1981; VASILIAUSKAS e AARSSSEN, 1992). Esse resultado também é coerente com o encontrado na mesma espécie (BANDEL e GURGEL, 1967; PINTO, 1990; SOLÓRZANO-FILHO, 2001; BACKES, 2001; MANTOVANI, 2003), com exceção do trabalho de Bandel e Gurgel (1967), em uma área no Município de São Joaquim, que obtiveram desvio a favor das plantas femininas. A razão sexual de 1:1 é o padrão para *A. angustifolia*.

#### 4.2. Padrão e dependência espacial

As causas de um padrão espacial podem ser divididas em três amplas categorias: 1) fatores morfológicos (e.g. propagação vegetativa e mecanismos de dispersão); 2) fatores ambientais e a heterogeneidade ambiental (e.g. topografia, profundidade do solo, disponibilidade de nutrientes e distúrbios naturais, entre outros); e 3) fatores fitossociológicos (e.g. competição intra e interespecífica) (DALE, 1999). Para a *A. angustifolia*, como fator morfológico, a existência de propagação vegetativa é citada algumas vezes que, após a queda ou corte de uma planta, brotações surgem e podem ocupar o lugar da árvore (LINDMAN, 1974; DUARTE et al., 2002). Propagação vegetativa via raízes e outros fatores morfológicos, formando um padrão espacial, não são relatados. A heterogeneidade ambiental provavelmente tem fortes influências, alterando e formando um padrão. Desta forma, análises espaciais com diferentes variáveis ambientais devem ser abordadas, a fim de esclarecer tal questão (e.g. luz, topografia, solo). E, por fim, a estrutura espacial formada pela *A. angustifolia* em resposta à presença de outras espécies também deverá ser alvo da análise espacial.

A regeneração apresentou pico de intensidade da função  $L(h)$  na escala de  $\pm 20$  m e agregação até  $\pm 50$  m. A interpretação é que a regeneração esteja ocorrendo em agregados com diâmetro de 20 a 50 m, sendo mais evidenciado nos 20 m e tendendo ao padrão uniforme nas maiores distâncias. A análise das plantas não reprodutivas e das juvenis mostrou padrões semelhantes à regeneração, no entanto ambas apresentaram o padrão uniforme nas maiores distâncias. Esse fato sugere distribuição uniforme dos agregados (de diâmetro aproximado de 50 m) pela área. É interessante ressaltar que a Função K de Ripley é de natureza cumulativa, e seu viés pode estar interferindo nos resultados (PERRY et al., 2006).

Suas sementes pesadas e barocóricas à primeira vista sugerem baixa capacidade de dispersão para *A. angustifolia*, como também observado para *A. araucana* (BURNS, 1993). Então, seria esperado encontrar a regeneração agregada próximo às plantas femininas. No entanto, o teste de dependência espacial não detectou associação entre regeneração e femininas, rejeitando a segunda hipótese que a dispersão é limitada, e o recrutamento ocorre agregado próximo à planta-mãe. A partir disso, testou-se também se o recrutamento ocorreria afastado das plantas adultas, mas os resultados indicaram neutralidade, ou seja, a distribuição espacial da regeneração independe da distribuição das adultas. Outros fatores devem estar causando a agregação da regeneração: disponibilidade de nutrientes, predação, luz, densidade do estrato inferior da floresta ou até mesmo interação com alguma outra espécie. Uma conclusão precisa de que a dispersão não é limitada para *A. angustifolia* fica impossibilitada pela falta de esclarecimento dos processos de recrutamento e predação. Contudo, pode-se levantar a hipótese de presença de regeneração natural associada a ambientes de maior disponibilidade de luz, como clareiras, o que merece estudos adicionais.

A continuidade do acompanhamento da população e a avaliação de questões de microambiente poderiam ajudar a esclarecer o comportamento da espécie no local estudado.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao PROBIC e ao CNPq, pela concessão de bolsa aos autores; à EPAGRI/Çaçador-SC, pela autorização do uso da área do experimento e alojamentos; A Cristiano Teixeira, Marina Christofidis e Cilmar Antônio Dalmaso, pelas contribuições no desenvolvimento do trabalho; e ao NPFT/UFSC – Núcleo de Pesquisa em Florestas Tropicais, pela participação e auxílio no projeto; e a FAPESC pelo auxílio financeiro.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÂGREN, J. Sexual differences in biomass and nutrient allocation in the dioecious *Rubus chamaemorus*. **Ecology**, v.69, n.4, p.962-973, 1988.
- AIBA, S. I.; KANEHIRO, K.; TAKYU, M. Habitat associations with topography and canopy structure of tree species in a tropical montane forest on Mount Kinabalu, Borneo. **Plant Ecology**, v.174, n.1, p.147-161, 2004.

- ANJOS, A. et al. Análise do padrão de distribuição espacial da araucária (*Araucaria angustifolia*) em algumas áreas no Estado do Paraná, utilizando a função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, v.66, n.50, p.38-45, 2004.
- BACKES, A. Determinação da idade e regeneração natural de uma população de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em um povoamento florestal localizado no município de Caxias do Sul, RS, Brasil. **Série Botânica Iheringia**, v.56, p.115-130, 2001.
- BANDEL, G.; GURGEL, J. T. A. Proporção do sexo em pinheiro brasileiro *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Silvicultura em São Paulo**, v.6, p.209-220, 1967.
- BAROT, S.; GIGNOUX, J.; MENAUT, J. C. Demography of a savanna palm tree: predictions from comprehensive spatial pattern analyses. **Ecology**, v.80, n.6, p.1987-2005, 1999.
- BURNS, B. R. Fire-induced dynamics of *Araucaria araucana*-*Nothofagus antarctica* forest in the Southern Andes. **Journal of Biogeography**, v.20, n.6, p.669-685, 1993.
- CALDATO, S. L. et al. Estudo da regeneração natural, banco de sementes e chuva de sementes na reserva genética florestal de Caçador, SC. **Ciência Florestal**, v.6, n.1, p.27-38, 1996.
- CAMPBELL, D. J. Aggregation and regularity: an inclusive one-tailed nearest-neighbour analysis of small spatially patchy populations. **Oecologia**, v.106, n.2, p.206-211, 1996.
- CLARK, D. A.; CLARK, D. B. Análisis de la regeneración de árboles del dosel en bosque muy húmedo tropical: aspectos teóricos y prácticos. **Revista de Biología Tropical**, v.35, n.1, p.41-54, 1987.
- CLARK, P. J.; EVANS, F. C. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationship in populations. **Ecology**, v.35, n.4, p.445-453, 1954.
- CRAWLEY, M. J.; ROSS, G. J. S. The population dynamics of plants [and discussion]. philosophical transactions: **Biological Sciences**, v.330, n.1257, p.125-140, 1990.
- DALE, M. R. T. **Spatial pattern analysis in plant ecology**. Cambridge: Cambridge University, 1999. 326p.
- DIGGLE, P. J.; BESAG, J.; GLEAVES, J. T. Statistical analysis of spatial point patterns by means of distance methods. **Biometrics**, v.32, n.3, p.659-667, 1976.
- DUARTE, L. S.; DILLENBURG, L. R. Ecophysiological responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) seedlings to different irradiance levels. **Australian Journal of Botany**, v.48, n.4, p.531-537, 2000.
- DUARTE, L. S.; DILLENBURG, L. R.; ROSA, L. M. G. Assessing the role of light availability in the regeneration of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae). **Australian Journal of Botany**, v.50, n.6, p.741-751, 2002.
- FARJON, A. *Araucaria angustifolia*. In: IUCN 2007. **2007 IUCN Red List of Threatened Species**. Disponível em: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org). Acessado em: 23 de março de 2008.
- FISHER, R. A. **The genetical theory of natural selection**. New York: Oxford University Press, 1930. 268p.
- FRANCO, A. M. S.; DILLENBURG, L. R. Ajustes morfológicos e fisiológicos em plantas jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em resposta ao sombreamento. **Hoehnea**, v.34, n.2, p.135-144, 2007.
- GRAY, B. Size-composition and regeneration of *Araucaria* stands in New Guinea. **The Journal of Ecology**, v.63, n.1, p.273-289, 1975.
- GUERRA, M. P. et al. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: SIMÕES, L. L.; LINO, C. F. (Eds.). **Sustentável Mata Atlântica: A exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: SENAC, 2002. p.85-102.
- HAVEL, J. J. The *Araucaria* Forests of New Guinea and Their Regenerative Capacity. **The Journal of Ecology**, v.59, n.1, p.203-214, 1971.
- R. **Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.6, p.1109-1121, 2009

- HERRERA, C. M. Plant size, spacing patterns, and host-plant selection in *Osyris quadripartita*, a Hemiparasitic Dioecious Shrub. **The Journal of Ecology**, v.76, n.4, p.995-1006, 1988.
- IBAMA. **Lista oficial de flora ameaçada de extinção. Portaria 37-N 1992.** Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/flora/extincao.htm>. Acessado em: 22 de março de 2008.
- INOUE, M. T.; GALVAO, F.; TORRES, D. V. Estudo ecofisiológico sobre *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.: Fotossíntese em dependência à luz no estágio juvenil. **Revista Floresta**, v.10, n.1, p.5-9, 1979.
- JANZEN, D. H. Herbivores and the number of tree species in tropical forests. **The American Naturalist**, v.104, n.940, p.501-528, 1970.
- KLEIN, R. M. Aspectos dinâmicos da vegetação do sul do Brasil. **Sellowia**, v.36, p.5-54, 1984.
- KOLMAN, W. A. The mechanism of natural selection for the sex ratio. **The American Naturalist**, v.94, n.878, p.373-377, 1960.
- KURASZ, G. et al. Diagnóstico da situação do entorno da Reserva Florestal Embrapa/Epagri de Caçador usando imagem de alta resolução Ikonos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: 2005.
- LINDMAN, C. A. M. **A vegetação no Rio Grande do Sul.** São Paulo: Itatiaia, 1974. 377p.
- MANTOVANI, A. **Fenologia reprodutiva e estrutura genética de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze (Araucariaceae).** 2003. 106 p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.
- MANTOVANI, A.; MORELLATO, L. P. C.; REIS, M. S. Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Revista Brasileira de Botânica**. v.27, n. 4, p.787-796, 2004.
- MATTEUCCI, S. D.; COLMA, A. **Metodologia para el estudio de la vegetación.** Washington: Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, 1982. 169p.
- MEAGHER, T. R. Population biology of *Chamaelirium luteum*, A Dioecious Lily. II. mechanisms governing sex ratios. **Evolution**, v.35, n.3, p.557-567, 1981.
- MEAGHER, T. R.; ANTONOVICS, J. The population biology of *Chamaelirium luteum*, A dioecious member of the lily family: life history studies. **Ecology**, v.63, n.6, p.690-1700, 1982.
- MELLO-FILHO, J. A.; STOEHR, G. W. D.; FABER, J. Determinação dos danos causados pela fauna a sementes e mudas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze nos processos de regeneração natural e artificial. **Revista Floresta**, v.12, n.1, p.26-43, 1981.
- MULLER, J. A.; MACEDO, J. H. P. Notas preliminares sobre danos causados por animais silvestres em pinhões. **Revista Floresta**, v.11, n.2, p.35-41, 1980.
- NARVAES, I. S.; BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Estrutura da regeneração natural em Floresta Ombrófila Mista na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS. **Ciência Florestal**, v.15, n.4, p.331-342, 2005.
- NEGRELLE, R. R. B.; LEUCHTENBERGER, R. Composição e estrutura do componente arbóreo de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Floresta**, v.31, p.42-51, 2001.
- OPLER, P. A.; BAWA, K. S. Sex ratios in tropical forest trees. **Evolution**, v.32, n.4, p.812-821, 1978.
- PAISE, G.; VIEIRA, E. M. Produção de frutos e distribuição espacial de angiospermas com frutos zoocóricos em uma Floresta Ombrófila Mista no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.28, n.3, p.615-625, 2005.
- PALMIOTTO, P. A. et al. Soil-related habitat specialization in dipterocarp rain forest tree species in Borneo. **Journal of Ecology**, v.92, n.4, p.609-623, 2004.

- PERRY, J. N. et al. Illustrations and guidelines for selecting statistical methods for quantifying spatial pattern in ecological data. **Ecography**, v.25, n.5, p.578-600, 2002.
- PERRY, G. L. W.; MILLER, B. P; ENRIGHT, N. J. A comparison of methods for the statistical analysis of spatial point patterns in plant ecology. **Plant Ecology**, v.187, NUMERO, p.59-82, 2006.
- PIELOU, E. C. The use of point-to-plant distances in the study of the pattern of plant populations. **Journal of Ecology**, v.47, n.3, p.607-613, 1959.
- PINTO, S. A. A. Influência da diócia no diâmetro e na altura de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze e suas implicações na formação de áreas de produção de sementes na região de Quedas do Iguaçu – Estado do Paraná. **Revista Floresta**, v.20, n.1-2, p.1-1, 1990.
- PUCHALSKY, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M. S. Variação em população naturais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze associada a condições edafo-climáticas. **Scientia Forestalis**, v.70, n.70, p.137-148, 2006.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2008.
- RAHBEEK, C. The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns. **Ecology Letters**, v.8, n.2, p.224-239, 2005.
- REITZ, R.; KLEIN, R. Araucariáceas. In: REITZ, R. (Ed.). **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. p.1-65.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto Madeira de Santa Catarina: levantamento das espécies florestais nativas em Santa Catarina com a possibilidade de incremento e desenvolvimento**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1978. 320p.
- RIPLEY, B. D. Modelling spatial patterns. **Journal of the Royal Statistical Society**, v.39, n.2, p.172-212, 1977.
- RIPLEY, B. D. **Spatial statistics**. London: John Wiley, 1981. 359p.
- RIZZINI, C. T. **Plantas do Brasil: Árvores e madeiras úteis do Brasil - manual de dendrologia brasileira**. São Paulo: Edgar Blucher, 1978. 296p.
- RODRIGUES, L. A. et al. Efeitos de solos e topografia sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, em Luminárias, MG. **Revista Árvore**, v.31, n.1, p.25-35, 2007.
- ROWLINGSON, B.; DIGGLE, P. Splancs: spatial point pattern analysis code in S-Plus. **Computers and Geosciences**, v.19, n.5, p.627-655, 1993.
- SAMPAIO, M. B.; GUARINO, E. S. G. Efeitos do pastoreio de bovinos na estrutura populacional de plantas em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Árvore**, v.31, n.6, p.1035-1046, 2007.
- SANQUETTA, C. R. ARAUSIS: Sistema de simulação para manejo sustentável de florestas de Araucária. **Revista Floresta**, v.29, n.1-2, p.115-121, 1999.
- SANQUETTA, C. R. et al. Sobrevivência de mudas de *Araucaria angustifolia* perante o controle de taquaras (Bambusoideae) no Paraná, Brasil. **Revista Floresta**, v.35, NUMERO, p.127-135, 2005.
- SEWARD, A. C.; FORD, S. O. The Araucarieae, Recent and Extinct. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v.198, p.305-411, 1906.
- SOARES, R. V. Considerações sobre a regeneração natural da *Araucaria angustifolia*. **Revista Floresta**, v.10, n.2, p.12-18, 1979.
- SOLÓRZANO-FILHO, J. A. **Demografia, fenologia e ecologia da dispersão de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze (Araucariaceae), numa população relictual em Campos do Jordão**. Dissertação (Mestrado em Ciências – Área de Ecologia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

STOLL, P.; BERGIUS, E. Pattern and process: competition causes regular spacing of individuals within plant populations. **Journal of Ecology**, v.93, n.2, p.395-403, 2005.

VASILIAUSKAS, S. A.; AARSSSEN, L. W. Sex ratio and neighbor effects in monospecific stands of *Juniperus virginiana*. **Ecology**, v.73, n.2, p.622-632, 1992.

WATT, A. S. Pattern and process in the plant community. **Journal of Ecology**, v.35, n.35, p.1-22, 1947.

SOUZA, A. F. Ecological interpretation of multiple population size structures in trees: The case of *Araucaria angustifolia* in South America. **Austral Ecology**, v.32, n.5, p.524-533, 2007.

VEBLEN, T. T. Regenerations patterns in *Araucaria araucana* forests in Chile. **Journal of Biogeography**, v.9, n.1, p.11-28, 1982.

WIENS, J. A. Spatial scaling in ecology. **Functional Ecology**, v.3, n.4, p.385-397, 1989

