11

Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* em florestas naturais e em plantios estabelecidos na região Sul do Brasil

Patrícia Povoa de Mattos
Evaldo Muñoz Braz
Aline Canetti
Aurélio Lourenço Rodrigues
Rafaella de Angeli Curto
Thiago Floriani Stepka
Afonso Figueiredo Filho
Ana Paula Dalla Corte
Carlos Roberto Sanquetta
Sebastião do Amaral Machado
Sylvio Pellico Netto

Foto: Patricia Povoa de Mattos

Introdução

O incremento em diâmetro é uma das mais importantes características dimensionais para avaliação da dinâmica de crescimento de determinada espécie arbórea. Informações sobre o crescimento das espécies arbóreas são grandes auxiliares para o conhecimento de suas fases de vida, estimativas de produção de biomassa e planejamento de seu manejo. Sabe-se que fatores externos e internos podem ser fonte de alteração do padrão de crescimento esperado, sendo importante conhecê-los para poder manejar a floresta.

O incremento em diâmetro muitas vezes é apresentado em valores médios. Entretanto, resultados apresentados dessa forma podem mascarar as simulações de crescimento. Isso dificulta a identificação do incremento potencial máximo, reduzindo expectativas de condução e manejo da espécie.

O crescimento de árvores de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze pode variar em função da altitude, solo, ambiente local, disponibilidade de luz, características genéticas, entre outros fatores. Além disso, mesmo considerando um mesmo ambiente, o incremento de crescimento pode variar de acordo com a idade e, principalmente, a fase de vida da espécie.

Assim, é importante conhecer o padrão de crescimento de araucária, em diferentes situações ambientais. Este capítulo apresenta dados de crescimento diamétrico dessa espécie: a) em diferentes remanescentes da região Sul do Brasil; b) em situações diferenciadas de alteração ou sucessão arbórea; c) em plantio homogêneo, sob condições diferenciadas de competição e d) em plantio de áreas urbanas sob condições de poluição atmosférica.

Crescimento de *Araucaria angustifolia* em remanescentes no Sul do Brasil

Material de estudo

Para entendimento do padrão de crescimento de *Araucaria angustifolia* sob condições de floresta natural, tomar-se-á como base a pesquisa realizada por Stepka (2012), em seis diferentes locais no Sul do Brasil (Figura 1), sendo um no Rio Grande do Sul (Flona de São Francisco de Paula), três em Santa Catarina (Flonas de Chapecó e de Três Barras e Reserva Florestal Embrapa/Epagri de Caçador) e dois no Paraná (Flona de Irati e Estação Experimental da UFPR, em São João do Triunfo). Os dados de crescimento foram obtidos de parcelas permanentes instaladas e medidas em vários anos e de estudos dendrocronológicos realizados em amostras de 30 árvores por local, selecionadas de acordo com a distribuição diamétrica da floresta definida em inventários anteriores. Maiores detalhes quanto à metodologia e à caracterização dos locais de estudo podem ser obtidos em Stepka (2012).

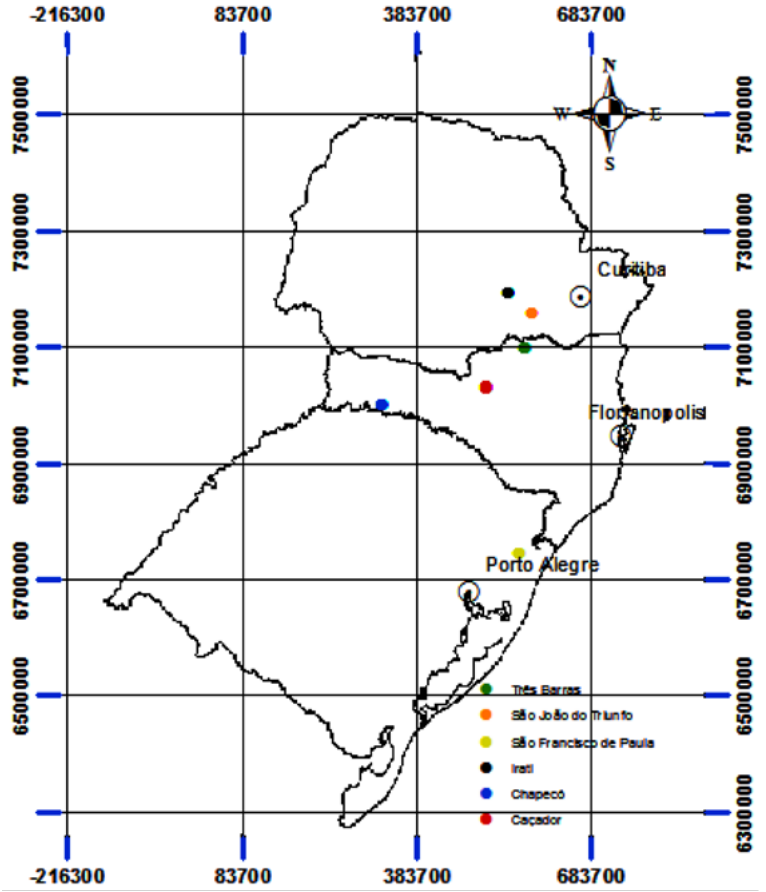

Figura 1. Locais no Sul do Brasil onde foram coletadas as amostras posicionadas em coordenadas UTM, Datum SAD 1969.

Crescimento diamétrico

Os valores médios de diâmetros a 1,30 m de altura do solo (DAP) das 30 árvores de cada local e de incremento diamétrico, com os respectivos desvio padrão e coeficiente de variação, podem ser observados na Tabela 1. O menor valor de crescimento foi observado em Caçador, SC e o maior em Irati, PR. Alguns relatos de crescimento médio em diâmetro de araucária dentro da amplitude observada para os diferentes locais deste estudo (Tabela 1) podem ser encontrados na literatura indicada na Tabela 2.

Embora hajam divergências de valores encontrados por outros pesquisadores, com relação aos resultados desta pesquisa, vale a pena ressaltar que, em tais trabalhos, a amplitude do período de monitoramento é relativamente pequena (no máximo 20 anos) e que os períodos entre medições apresentam intervalos próximos de 3 a 5 anos (Figueiredo Filho et al., 2010; Cubas, 2011) a até 20 anos (Schaaf, 2001), o que poderia retratar um estado de competição ou de crescimento acelerado mais evidente para as árvores nesta fase.

No caso de estudos realizados com dados de análise de tronco, além da medição com efetiva acurácia, os valores representam séries de longos períodos (por exemplo, mais de 240 anos para dados de Caçador, SC), onde é possível avaliar o desenvolvimento dos indivíduos em uma amplitude temporal muito maior que aquela de parcelas permanentes.

Tabela 1. Valores médios de DAP e de incremento diamétrico, com os respectivos desvio padrão e coeficiente de variação por local, para *Araucaria angustifolia*.

Local	DAP médio (cm)	Incremento diamétrico (cm ano^{-1})	Desvio padrão (cm)	C.V. (%)
Caçador, SC	75,0	0,30 a	0,10	33,3
Chapecó, SC	34,6	0,44 b	0,17	39,4
Irati, PR	59,9	0,58 c	0,20	34,5
São Francisco de Paula, RS	39,7	0,39 b	0,10	25,6
São João do Triunfo, PR	39,4	0,40 bc	0,10	25,0
Três Barras, SC	31,9	0,49 bc	0,14	28,9

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey. C.V. = coeficiente de variação.

Tabela 2. Valores médios de incremento diamétrico de *Araucaria angustifolia* em diferentes locais no Sul do Brasil.

Local	Incremento médio (cm ano^{-1})	Fonte
Floresta Nacional de Irati, PR	0,45	Figueiredo Filho et al. (2010)
São João do Triunfo, PR	0,32	Schaaf (2001)
São João do Triunfo, PR	0,42	Durigan (1999)
São João do Triunfo, PR	0,19	Pizatto (1999)
Caçador, SC	0,45*	Rivera (2007)
Três Barras, SC	0,27	Cubas (2011)

* Incremento de um intervalo de 10 anos usando dados de análise de tronco parcial.

Crescimento por classe diamétrica

O padrão de crescimento ao longo da vida das árvores varia de acordo com o local de crescimento. Na análise do incremento médio por classe de diâmetro, com amplitude de 10 cm, foi possível observar comportamento distinto entre os diferentes locais (Figura 2).

Várias causas podem ter provocado essas diferenças de crescimento entre locais. Por exemplo, no município de Irati foi observado maior crescimento médio nas três primeiras classes diamétricas, enquanto que, em Chapecó, o crescimento na quarta e quinta classes apresentaram os maiores valores. Possivelmente, os indivíduos crescendo em Irati refletem uma condição com maior espaço vital, ou seja, pouca competição no dossel da floresta para o seu desenvolvimento, enquanto que as árvores de maiores dimensões entre copas de árvores, que ocupam o estrato arbóreo superior da floresta, apresentam maior competição entre suas copas, nestas condições. No caso de Chapecó, o dossel estaria mais fechado, tornando a competição por espaço nas classes de menor diâmetro mais evidente, pelo baixo crescimento nestas classes.

Também é possível observar a diminuição do incremento diamétrico médio à medida que o DAP aumenta, demonstrando a perda de potencial de crescimento das árvores com o aumento das dimensões e da idade dos indivíduos. O crescimento das árvores é compatível com o padrão sigmoidal proposto para seres vivos, segundo Odum (1988).

Novos estudos deveriam incluir em suas avaliações, características dos solos, microclima, variabilidade genética, idade do povoamento, dentre outros fatores provocando essas diferenças de crescimento entre locais.

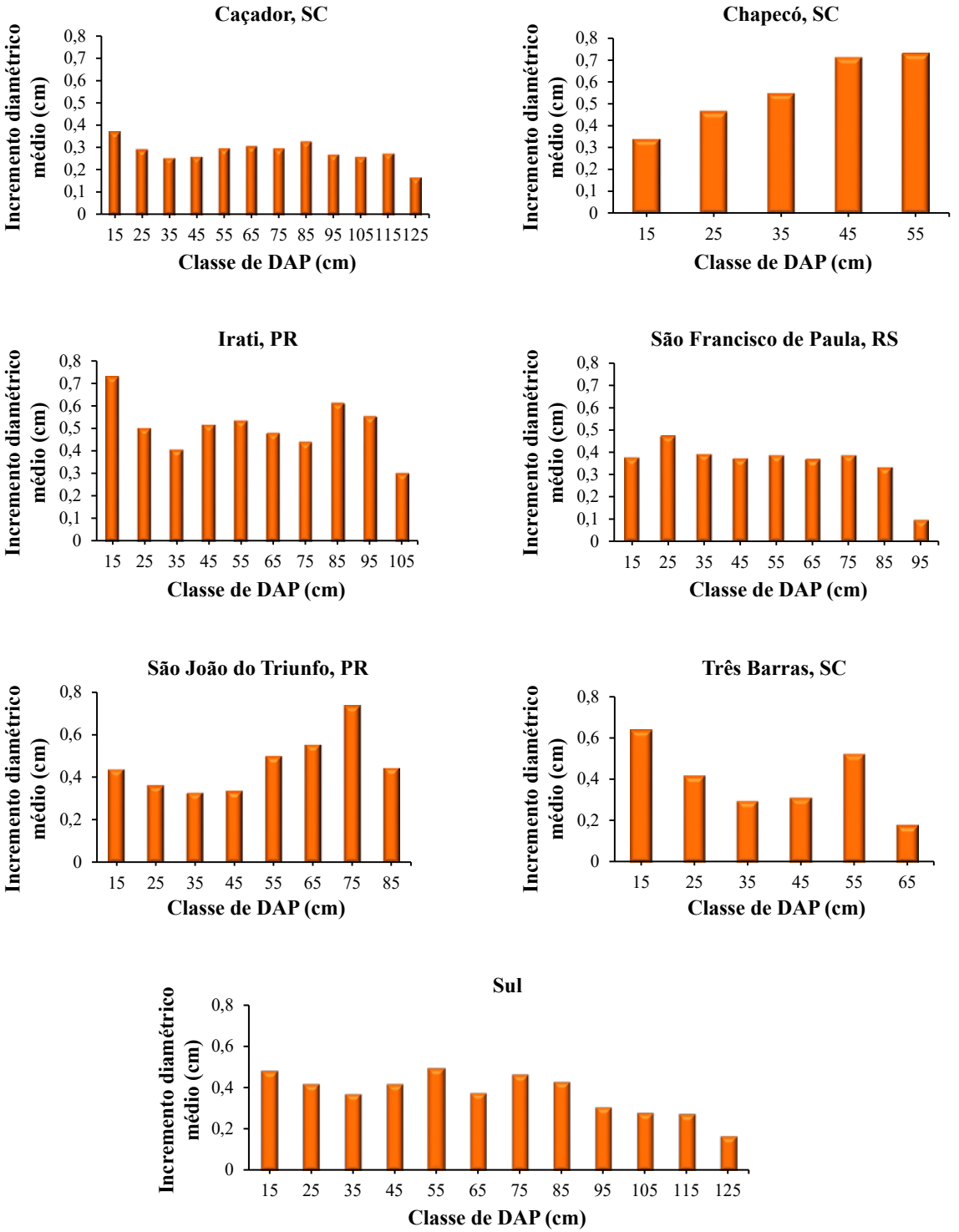

Figura 2. Incremento diamétrico médio anual de *Araucaria angustifolia*, por classe de diâmetro, nos diferentes locais e para a região Sul como um todo.

Comparação do incremento diamétrico médio por década, nos diferentes locais

Os resultados da análise

Analisando-se os dados de médias de incremento diamétrico das araucárias crescendo em Caçador, constataram-se diferenças significativas entre as décadas estudadas, porém, quando se observa os dados de Chapecó, as diferenças não foram significativas (Tabela 3). Segundo Gomes (1987), podem ocorrer situações em que o teste F é significativo, mas as diferenças entre as médias não são significativas pelo teste de Tukey, semelhante ao observado para as amostras de Chapecó, da mesma forma que pode ocorrer o inverso, com o resultado do teste F não significativo, mesmo quando um ou mais contrastes sejam significativos. Fatos semelhantes também podem acontecer com o teste de Duncan, que pode apresentar resultados discordantes do teste de F.

Tabela 3. Crescimento médio anual em diâmetro (cm ano^{-1}) de *Araucaria angustifolia*, por década, para os diferentes locais.

Década	Caçador, SC	Chapecó, SC	Irati, PR	São Francisco de Paula, RS	São João do Triunfo, PR	Três Barras, SC
	Crescimento diamétrico médio anual (cm)					
1770	0,62 a	-	-	-	-	-
1780	0,40 a	-	-	-	-	-
1790	0,30 a	-	-	-	-	-
1800	0,17 a	-	-	-	-	-
1810	0,28 a	-	-	-	-	-
1820	0,25 a	-	-	-	-	-
1830	0,21 a	-	-	-	-	-
1840	0,25 a	-	0,15 cd	-	-	-
1850	0,28 a	-	0,20 cd	-	-	-
1860	0,35 a	-	0,17 cd	-	-	-
1870	0,33 a	-	0,18 cd	-	-	-
1880	0,27 a	-	0,17 cd	-	-	-
1890	0,27 a	-	0,11 d	-	-	-
1900	0,29 a	0,49 a	0,13 d	-	-	-
1910	0,27 a	0,21 a	0,19 cd	0,41 abc	-	-
1920	0,24 a	0,30 a	0,30 bcd	0,58 a	0,49 abc	-
1930	0,24 a	0,23 a	0,58 abc	0,44 ab	0,54 a	-
1940	0,25 a	0,19 a	0,67 ab	0,46 ab	0,51 ab	0,44 abc
1950	0,26 a	0,31 a	0,66 a	0,45 ab	0,34 abc	0,58 ab
1960	0,30 a	0,34 a	0,69 a	0,40 ab	0,33 abc	0,76 a
1970	0,30 a	0,44 a	0,69 a	0,37 abc	0,35 abc	0,57 a
1980	0,30 a	0,50 a	0,49 abc	0,34 bc	0,37 abc	0,41 bc
1990	0,28 a	0,49 a	0,38 bc	0,25 cd	0,31 bc	0,29 c
2000	0,23 a	0,47 a	0,34 bcd	0,18 d	0,28 c	0,23 c
F	1,20 ns	5,43 **	13,08 **	9,93 **	3,26 **	15,88 **
Fcrít	1,85	2,39	2,06	2,47	2,59	2,91
pvalor	0,2300	0,0000	0,0000	0,0000	0,0015	0,0000

** = significativo a 1%; ns = não significativo; F = valor calculado do teste F; Fcrít = valor tabelado do teste F a 1%; Média = incremento médio anual por década (cm); Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

O autor ainda relata que tais discordâncias se devem à aceitação de hipóteses diferentes nas decisões teóricas, e são de pouca importância prática.

Foi possível verificar alguns picos de crescimento, tais como aqueles verificados em Chapecó e Irati. No primeiro local, verificaram-se os maiores crescimentos diamétricos médios para a araucária nas décadas de 1980 e 1990. No segundo local, os maiores crescimentos diamétricos ocorreram nas décadas de 1940, 1950, 1960 e 1970, demonstrando ter havido algum fator ambiental nestes períodos que tenha favorecido o incremento diamétrico da espécie. Nos demais locais, observou-se uma redução do crescimento nas últimas duas décadas, sendo a maior diferença verificada em Caçador e São Francisco de Paula (Tabela 3).

Mattos et al. (2010), analisando o crescimento interdecadal médio de seis espécies estudadas em Caçador, SC, relataram que *A. angustifolia* responde aos estímulos ambientais com aumento do incremento médio anual, seja por variações nas condições climáticas ao longo do tempo ou por interferências antrópicas, mesmo em árvores com grandes diâmetros e com altura já estabilizada, independentemente de sua posição fitossociológica ou de suas características ecológicas.

Neste caso, por tratar-se de remanescentes florestais preservados sem a intervenção antrópica há pelo menos 50 anos, a diminuição do crescimento nas últimas décadas pode ter como causas prováveis a fase avançada do ciclo de vida das árvores mais velhas e a competição das mais jovens, sobretudo em Caçador, uma vez que as árvores amostradas neste local apresentam os maiores diâmetros.

Estas informações podem ser de grande utilidade para subsidiar estratégias de corte seletivo, de maneira a favorecer o crescimento das árvores remanescentes pela abertura de espaço e diminuição da competição na floresta, sobretudo nas classes diamétricas e estratos inferiores. Este estudo permitiu verificar a existência de diferenças estatísticas no crescimento das árvores de araucária nos diferentes locais, inclusive diferenças significativas entre os incrementos obtidos, com tendências de redução destes valores, nas últimas décadas. Tais diferenças podem ser atribuídas, ao fator genético e, ou às variações climáticas, edáficas e estruturais de cada remanescente, proporcionando informações importantes para o manejo florestal, uma vez que modelos generalistas de intervenções silviculturais para espécie apresentam maior dificuldade de utilização.

Crescimento de populações naturais de araucária em diferentes estágios sucessionais

Material de estudo

Esta análise baseou-se nos estudos conduzidos por Rodrigues (2016), onde foi avaliado o crescimento de populações de araucária sob diferentes estágios sucessionais, analisadas por meio de oito parcelas permanentes monitoradas continuamente durante anos (1999 a 2013). A área de estudo envolveu remanescentes de Floresta Ombrófila Mista Montana localizados em propriedades das Indústrias Pizzatto, município de General Carneiro (26º25’39”S e 51º18’56”O), extremo sul do estado do Paraná. O clima local é subtropical úmido mesotérmico (Cfb), segundo classificação de Köppen, com verões amenos e invernos com geadas frequentes (Paraná, 1987). Os principais solos na região são os Neossolos e Nitossolos (Bhering; Santos, 2008) e o relevo predominante é o montanhoso, com partes onduladas e planas (Maack, 1981).

A vegetação predominante, conforme classificação do IBGE (2012), é a Floresta Ombrófila Mista Montana, composta majoritariamente por indivíduos de *A. angustifolia*, *Ilex paraguariensis* (erva-mate), *Ocotea porosa* (imbuia), *Sapium glandulatum* (leiteiro) e *Drimys brasiliensis* (cataia). Juntas, essas cinco espécies perfazem aproximadamente 60% dos indivíduos da comunidade arbórea (Mognon, 2011).

Em 1999 foram instaladas oito unidades amostrais permanentes de 1 ha cada, distribuídas aleatoriamente sobre a área. As parcelas fazem parte do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD), Sítio 9, apoiado pelo CNPq. As áreas onde se localizam as parcelas permanentes apresentam diferentes graus de intervenção antrópica. De modo geral, no passado, essas áreas foram sujeitas à exploração madeireira de espécies de valor comercial como a araucária e a imbuia, além da exploração da erva-mate e criação de animais, conforme Barth Filho (2002). Esse autor, em trabalho desenvolvido na área, classificou previamente as oito parcelas nas três tipologias florestais principais:

- Formação mista de araucária no dossel (A), com gramíneas (G) no sobosque (parcelas 1 e 4).
- Formação florestal, com predomínio de araucária (A) no dossel (parcelas 2 e 6).
- Formação florestal natural mista de araucária, com folhosas (F) no dossel (parcelas 3, 5, 7 e 8).

Incremento periódico anual nos diferentes estágios sucessionais

Analisando-se o incremento periódico anual (IPA) em DAP para as populações de araucária, observa-se que os valores de incremento variaram de 0,12 cm ano^{-1} (parcela 5) a 0,36 cm ano^{-1} (parcela 2), com diferenças significativas entre as parcelas (Tabela 4). A média do incremento para a espécie foi 0,25 cm ano^{-1}.

Tabela 4. Incremento periódico anual (IPA) em valores de DAP de *Araucaria angustifolia*, em parcelas permanentes, em fragmentos florestais no extremo sul paranaense, no período de 1999 a 2013.

Parcela	Número de árvores de araucária (N ha^{-1})	Área basal total de araucária (m² ha^{-1})	IPA DAP* (cm ano^{-1})
5 (F)	147	20,47	0,12 a
3 (F)	159	13,35	0,20 b
4 (AG)	167	25,57	0,20 b
1(AG)	62	14,69	0,26 bc
7(F)	81	8,20	0,29 cd
6 (A)	213	19,51	0,33 cd
2 (A)	37	11,37	0,36 d
Média	123,71	16,16	0,25

* Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste SKN a 5% de probabilidade. Análise de variância significativa (F calculado = 15,64, $p < 0,05$), Teste de Levene para homogeneidade das variâncias = 1,803 ($p = 0,102$). N = número de árvores; DAP = diâmetro a 1,30 m de altura do solo.

Incremento periódico anual em área basal

O IPA da área basal total da espécie variou de 0,1278 m² ha^{-1} ano^{-1} (parcela 5) a 0,3172 m² ha^{-1} ano^{-1} (parcela 6), com média de 0,1840 m² ha^{-1} ano^{-1}. Houve diferença significativa entre as parcelas (Tabela 5). Observa-se a tendência de maior incremento em área basal nas unidades com maior número de indivíduos da espécie. Exceção é a parcela 5 que, embora apresente um número elevado

de indivíduos de araucária, também é a parcela com maior densidade e área basal, o que pode configurar como um fator restritivo ao crescimento da espécie, visto que nessa parcela o incremento em DAP também foi o menor.

Avaliando a correlação entre as variáveis estruturais da floresta (área basal e número de árvores) e o incremento de araucária, observa-se uma relação inversa entre o IPA em diâmetro com área basal ($r = -0,78$; $p = 0,02$) e com o número de árvores ($r = -0,76$; $p < 0,03$), indicando menor incremento diamétrico em ambientes mais estocados. O IPA em área basal apresentou correlação direta apenas com o número de árvores ($r = 0,74$; $p = 0,03$), uma vez que um maior número de indivíduos tende a resultar em maior incremento em área basal.

Tabela 5. Incremento periódico anual (IPA) em área basal (G) de *Araucaria angustifolia* por parcelas em fragmentos florestais no extremo sul paranaense, no período de 1999 a 2013.

Parcela	IPA G* (m^2 ha^{-1} ano^{-1})
5 (F)	0,1278 a
1 (AG)	0,1502 ab
7 (F)	0,1525 ab
2 (A)	0,1522 ab
3 (F)	0,1746 ab
4 (AG)	0,2135 b
6 (A)	0,3172 c
Média	0,1840

* Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste SNK a 5% de probabilidade. Análise de variância significativa (F calculado = 8,29, $p < 0,05$), Teste de Levene para homogeneidade das variâncias = 2,03 ($p = 0,053$).

Considerando o incremento por classe diamétrica (Figura 3), observa-se que a classe de 40-50 cm foi a que apresentou maior incremento em DAP, porém não houve diferença estatística entre os incrementos diamétricos das diferentes classes ($F = 0,63$; $p = 0,70$). O incremento em área transversal individual de araucária apresenta tendência crescente em relação às classes diamétricas, resultando em diferenças significativas entre o incremento das maiores quando comparado ao de menores classes (classes 40-50 cm comparada com a classe > 70 cm; $F = 5,84$ $p < 0,05$).

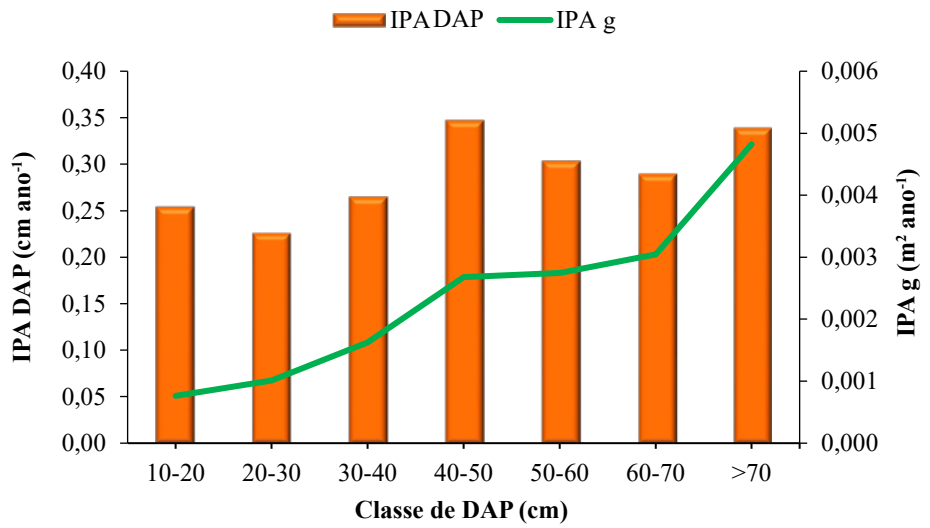

Figura 3. Incremento periódico anual (IPA) de *Araucaria angustifolia* em DAP e da área transversal da árvore individual (g) por classe diamétrica, para cada classe diamétrica avaliada.

O incremento em DAP e área transversal da árvore individual da araucária é bastante variável, quando comparado ao de outros trabalhos desenvolvidos em outras regiões. Stepka (2008) observou incremento diamétrico para araucária de 0,45 cm ano^{-1} e de 0,1217 m² ha^{-1} ano^{-1} em área transversal da árvore individual na região centro-sul do Paraná, considerando um período de seis anos de avaliação. Cubas (2011) registrou incremento em DAP de 0,27 cm ano^{-1} e de 0,1874 m² ano^{-1} em área transversal da árvore individual no planalto norte catarinense, considerando cinco anos de avaliação, valores bem próximos ao deste estudo. Ebling (2012) observou incremento diamétrico de 0,15 cm ano^{-1} na região nordeste do Rio Grande do Sul, em nove anos de monitoramento. Barth Filho (2002), em trabalho desenvolvido na mesma área e no período de 1998 a 2000, constatou incrementos diamétricos para a araucária que variaram de 0,07 cm ano^{-1} a 0,30 cm ano^{-1}. As variações observadas entre os trabalhos podem ser atribuídas a diferentes condições de sítio e estágios sucessionais.

Incremento diamétrico anual de *A. angustifolia* em plantio superestocado

Material de estudo

Para entendimento do padrão de crescimento de *A. angustifolia* sob condições de plantio, será considerado o estudo de caso da pesquisa realizada por Curto (2015), na Floresta Nacional de Assungui, em Campo Largo, PR. O trabalho foi realizado em um plantio superestocado com 65 anos de idade, com relatos de condução de desbaste tardio entre 24 e 34 anos de idade. Foram avaliadas 296 árvores, por dendrocronologia, sendo que o maior diâmetro estudado foi 70 cm. Foram avaliadas 296 árvores, por dendrocronologia com amostras destrutivas e não destrutivas, e análise de copa, sendo que o maior diâmetro estudado foi de 70 cm.

Por se tratar de um povoamento não desbastado adequadamente, a seleção de árvores para coleta de amostra foi distribuída em classes diamétricas para aferição do crescimento.

Incremento diamétrico para diferentes classes de diâmetro atual

Os incrementos diamétricos médios atingidos para cada classe diamétrica atual estão apresentados na Tabela 6. O incremento médio da classe superior indica o potencial de crescimento de *A. angustifolia* no local de estudo, uma vez que um incremento médio anual atingido foi maior que 1,5 cm para as árvores de melhor desempenho.

Tabela 6. Incremento médio anual (IMA) de *Araucaria angustifolia* para diferentes classes de diâmetro atual.

Classes	IMA em diâmetro (cm)
Superior - 3 (50 ≤ DAP < 70 cm)	0,71 ± 0,45 a
Intermediária - 2 (30 ≤ DAP < 50 cm)	0,57 ± 0,43 b
Inferior - 1 (10 ≤ DAP < 30 cm)	0,46 ± 0,38 c
Média geral	0,58 ± 0,44 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Efeito da competição na formação de camadas de crescimento

Com os dados de crescimento obtidos e estimados por equação de crescimento previamente selecionada (Curto, 2015), foram ajustadas curvas de crescimento para cada uma das classes diamétricas avaliadas, sendo possível notar que, nas condições atuais, o crescimento diamétrico entre as classes é bastante distinto. Com base no teste de identidade entre modelos, foi possível comprovar a distinção entre o crescimento das diferentes classes de diâmetro atual, uma vez que o resultado significativo implica na diferença entre as curvas.

Como efeito da intensa competição a que o povoamento estava sendo submetido, além da distinção do crescimento, observou-se ausência de anéis de crescimento, na base e no DAP, até mesmo em árvores com maiores diâmetros ($50 \leq DAP < 70$ cm), ficando evidente o incremento diamétrico apenas nas partes mais altas da árvore. Anéis ausentes em *A. angustifolia* também foram verificados por Seitz e Kanninen (1989).

Um total de 63% das árvores avaliadas por dendrocronologia não formaram anel de crescimento à altura do DAP, em pelo menos um dos anos mensurados, sendo esta ocorrência maior em árvores de menores dimensões diamétricas, observando-se até dez anos de estagnação do crescimento do DAP causado pela falta de desbaste. Além dos menores diâmetros do fuste, menores diâmetros de copa mostraram influenciar a maior frequência de anéis ausentes. Isso porque, de acordo com Durlo (2001), assim que se inicia a competição entre as árvores, devido ao fechamento do espaço aéreo pelas copas, inicia-se também a diferenciação de classes sociológicas, nas quais alguns indivíduos se sobressaem no dossel da floresta, enquanto outros são dominados por seus vizinhos. Como resultado do decréscimo e ou estagnação do crescimento, consequentemente, há inibição da formação de anéis.

A competição está diretamente relacionada com o espaço vital que cada árvore tem disponível para o seu desenvolvimento (Kramer; Kozlowski, 1960; Assmann, 1970). Deste modo, as árvores podem responder de forma diferente às condições de crescimento a que estão sendo submetidas (Husch et al., 1982). Recuperar informações detalhadas sobre o ritmo de crescimento ao longo dos anos surge como possibilidade de compreender as limitações impostas pela competição entre árvores, possibilitando o planejamento da exploração florestal.

O crescimento diamétrico até atingir cinco anos de idade foi igual nas três classes avaliadas, mostrando que ainda não seria possível identificar com precisão árvores que seriam futuramente suprimidas mediante desbaste, quando considerado apenas a variável incremento em diâmetro. A partir dos 5 anos, as árvores que posteriormente formaram a classe superior (atualmente com 50-70 cm) já se destacavam em termos de crescimento diamétrico, atingindo a partir dos 10 anos incrementos médios significativamente diferentes das demais classes.

Crescimento por classe de diâmetro

A partir da análise das variações de incremento diamétrico e área transversal ao longo do fuste, observa-se que as árvores da menor classe de diâmetro atual ($10 \leq DAP < 30$ cm) atingiram a altura próxima ao DAP quando o povoamento completou 10 anos de idade. As árvores que posteriormente alcançariam diâmetros intermediários ($30 \leq DAP < 50$ cm) e maiores ($50 \leq DAP < 70$ cm) estavam com altura superior, indicando uma diferenciação no crescimento em altura nos primeiros anos do povoamento. Entre 10 e 20 anos, para as árvores de diâmetros menores e intermediários, ocorreu desvio de crescimento após a altura do DAP, com maior incremento diamétrico, resultante de uma maior competição para essas árvores, quando comparadas com as árvores de maior diâmetro.

Assim, a partir dos 10 anos de idade, já seria possível identificar as árvores em desvantagem em termos de competição. A primeira intervenção de desbaste já deveria ter sido realizada, possibilitando a liberação de espaço para as árvores mais competitivas. No entanto, o crescimento diamétrico até os 20 anos apresentou-se igual entre as classes de diâmetro atual intermediária (30 ≤ DAP < 50 cm) e inferior (10 ≤ DAP < 30 cm). Considerando-se que essas classes ainda não haviam se diferenciado pelo crescimento diamétrico ao nível do DAP, deduz-se que um desbaste naquele período ainda poderia ser bem-sucedido, apesar de que evidências relacionadas ao incremento ao longo do fuste já tenham possibilitado uma tomada de decisão.

Considerando os incrementos diamétricos médios atingidos para cada classe diamétrica atual (Figura 4), verificou-se semelhança entre as diferentes classes de diâmetro atual até atingir 10 cm de DAP. No entanto, na classe diamétrica de 10-20 cm houve diferença de ritmo de crescimento entre as três classes de diâmetro atual, sendo que a atual classe superior (50 ≤ DAP < 70 cm) apresentava incremento maior que o dobro da classe inferior (menores diâmetros observados no povoamento atualmente – 10-30 cm).

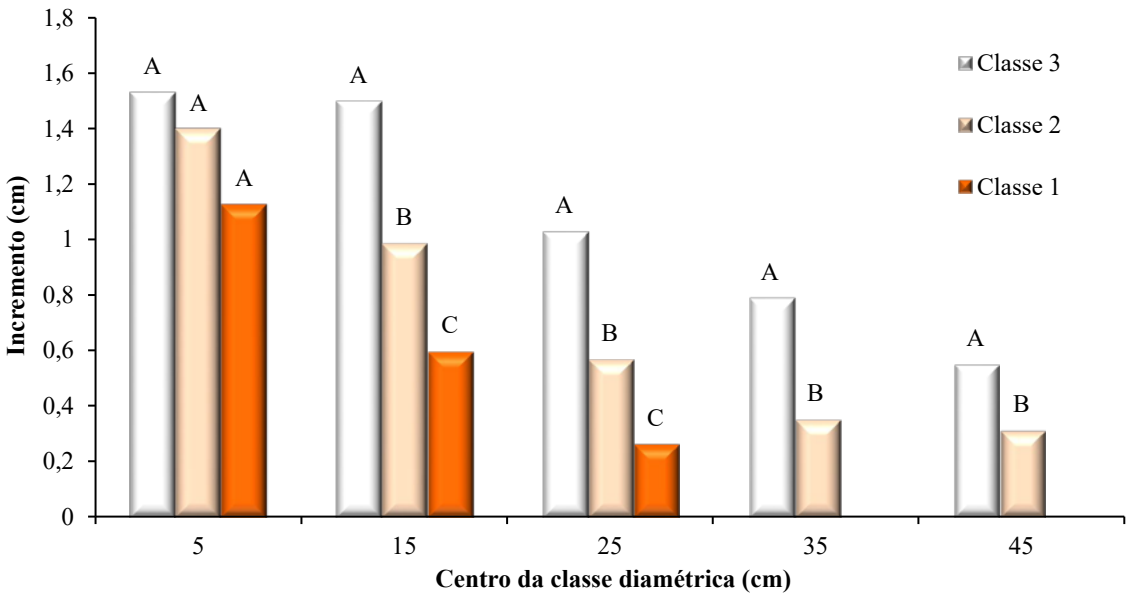

Figura 4. Dinâmica do incremento médio de árvores *Araucaria angustifolia* das classes de diâmetro atual, dentro de cada classe diamétrica. Para as comparações foi empregado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre as médias de incremento para uma mesma classe diamétrica considerando diferentes classes de diâmetro atual, sendo Classe 1 (10 ≤ DAP < 30 cm), Classe 2 (30-50 cm) e Classe 3 (50 ≤ DAP < 70 cm).

Crescimento diamétrico ao longo do fuste

Um aumento do incremento diamétrico nas partes mais altas do fuste ocorreu em maior proporção para as árvores das menores classes diamétricas, mas também ocorreu para as árvores de maiores dimensões (50 ≤ DAP < 70 cm), no período entre 20 e 30 anos, sugerindo uma alta competição para todas as árvores, independente da classe diamétrica a que pertenciam. Neste período foi também evidente a mudança da forma do tronco (de cônicas a mais cilíndricas), resultante do maior incremento no topo do que na base, em decorrência da competição.

Entre os 30 e 40 anos, com relação ao acúmulo de área transversal, os troncos apresentaram-se cada vez mais cilíndricos, com maior formação de lenho nas partes superiores e, a partir de 60% da altura, as árvores apresentaram anéis de crescimento mais largos que os anéis do DAP. Nessa idade houve indicativos de que o povoamento já se encontrava superestocado. Nos 20 anos posteriores, as árvores apresentaram comportamento semelhante ao observado até aos 40 anos, com efeitos mais expressivos da competição. Assmann (1970) menciona que árvores sujeitas ao efeito intenso da competição tendem a depositar maiores incrementos na região superior do fuste, tendendo a uma forma mais cilíndrica.

Apesar do padrão verificado, as árvores respondem diferentemente à recuperação do crescimento, após interferência, tal como desbaste (Plauborg, 2004). Uma tendência de mais rápido crescimento radial nas partes inferiores do caule continua ao longo de toda a vida de árvores, às quais é oferecido espaço livre para crescimento (Assmann, 1970). Com o aumento da competição ocorre a redução do incremento nas partes inferiores do fuste. Assim, o histórico de manejo da área pode resultar em situações distintas do desenvolvimento espaço temporal da floresta (Krumm et al., 2012), gerando maior complexidade para a aplicação de protocolos de manejo específicos.

Crescimento e posição sociológica

Verificaram-se eventuais mudanças de posição sociológica de algumas árvores. Nos primeiros dez anos, uma árvore da menor classe de diâmetro do povoamento ($10 \leq DAP < 30$ cm), possuía crescimento semelhante e até maior que algumas árvores que atualmente estão na maior classe de diâmetro ($50 \leq DAP < 70$ cm). Outras, que apresentavam menor crescimento, recuperaram o desempenho, apesar de não terem ultrapassado a classe intermediária atualmente ($30 \leq DAP < 50$ cm), bem como árvores que apresentavam crescimento semelhante ao de árvores médias no início do povoamento e atualmente está entre as de maiores diâmetros. Tais árvores parecem ter sido favorecidas pelo desbaste, uma vez que os seus DAPs aumentaram consideravelmente entre os 30 e 40 anos, período após a intervenção no povoamento, resultando em maiores diâmetros nos anos posteriores. Há também casos contrários, em que inicialmente o crescimento atingiu classes intermediárias a superiores, reduzindo muito o diâmetro ao longo de sua vida. Essas árvores claramente sofreram com a competição estabelecida entre elas.

Assim, pode haver diferenciação do padrão de crescimento ao longo da vida das árvores decorrente de superação da competição e intervenções de desbaste, sendo possível verificar que a falta de manejo em momentos em que a competição se tornava expressiva comprometeu o desenvolvimento do povoamento de acordo com o potencial de crescimento. Isso resultou no que se observa hoje, que são árvores com incremento muito inferior ao potencial da espécie, apresentando DAP entre 10 cm e 70 cm.

Crescimento de *A. angustifolia* em área urbana

Material de estudo

As árvores em ambientes urbanos agregam qualidade de vida aos seres vivos, diminuindo, inclusive, a incidência de doenças respiratórias (Küchelmeister, 2000). Por meio de suas atividades metabólicas, como a fotossíntese e a transpiração foliar, filtram a poluição, amenizam extremos de

temperatura e controlam a umidade relativa, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e o conforto térmico da população (Brack, 2002).

Adicionalmente, as árvores contribuem com o conforto proporcionado pela infraestrutura urbana, fazendo sombra para veículos e pedestres, atuando como barreiras físicas para a propagação sonora e amenizando efeitos visuais de componentes antrópicos, como prédios, muros e vias públicas (Brack, 2002; Silva Filho, 2002).

Entretanto, o espaço disponível nas áreas urbanas geralmente não é adequado ao crescimento das árvores. A predominância de locais asfaltados e com construções de concreto aumenta o calor do verão, por elevar a temperatura do ar e do solo, que perde a umidade. O espaço limitado de solo exposto dificulta a infiltração das águas e a aeração dos solos, o que compromete as características de um solo sadio para a vegetação. Além disso, há compactação do solo e danos às raízes, troncos e galhos pelo tráfego de caminhões e máquinas de grande porte. Os veículos também produzem emissões de poluentes, que se combinam com as emissões industriais, dificultando o crescimento e a sobrevivência das árvores devido à má qualidade do ar (Poracsky; Scott, 1999).

O contato com poluentes aéreos pode ser prejudicial ao crescimento e desenvolvimento das árvores, resultando na limitação da capacidade fisiológica das raízes e folhas (Ashby; Fritts, 1972; Mclaughlin, 1985; Muzica et al., 2004). A redução de fontes de carbono, água e nutrientes requeridos para a saúde da floresta causa, principalmente o decréscimo da produção de carboidratos pelas árvores afetadas. Essas mudanças tipicamente conduzem a um deslocamento na alocação relativa de energia para o crescimento, às custas de redução da resistência a estresses bióticos e abióticos (Mclaughlin; Percy, 1999).

Entretanto, Poracsky e Scott (1999) demonstraram que árvores podem sobreviver e prosperar em áreas industriais, apesar de estarem submetidas às diversas condições negativas do local, que servem como barreira ao crescimento. As limitações ao crescimento podem ser superadas pela seleção de espécies, cuidados no plantio e manutenção silvicultural adequados (Canetti, 2015).

Neste contexto, foram avaliados os crescimentos de árvores de araucária em áreas urbanas caracterizadas por forte presença de indústrias, em trabalho desenvolvido por Canetti (2015). O município em que a pesquisa foi desenvolvida é Araucária, localizado na região metropolitana de Curitiba, PR, um polo industrial estabelecido a partir da década de 1970, quando foram implementados pelo governo incentivos fiscais para a instalação de indústrias (Silva, 2006).

A análise de crescimento foi realizada mediante dendrocronologia, coletando-se 144 amostras não destrutivas das árvores em diferentes bairros do município. Como foi observada forte correlação entre diâmetro e idade, optou-se por estratificar os dados em três classes diamétricas, que representam a fase de estabelecimento das árvores no município. As árvores de menores dimensões ($20 \leq DAP < 40$ cm) se estabeleceram em meio ao desenvolvimento da industrialização do município, aproximadamente no início da década de 1980. Já as árvores da classe 2 ($40 \leq DAP < 60$ cm) se estabeleceram aproximadamente na década de 1960, dez anos antes do início do período de industrialização do município, e as árvores da classe 3 ($DAP \geq 60$ cm) na década de 1930.

Os dados de poluição atmosférica foram provenientes de estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar, cedidos pelo Instituto Ambiental do Paraná. Foram analisados dados de SO_2, NO, NO_2, O_3, CO e partículas totais suspensas e partículas inaláveis. A poluição do ar no município encontrava-se dentro de níveis aceitáveis. Mais detalhes sobre os níveis de poluição entre 2003 a 2013 podem ser encontrados em Canetti (2015).

Crescimento de *A. angustifolia* em condições de poluição atmosférica urbana

Foi possível observar que *A. angustifolia* é uma espécie sinalizadora da poluição atmosférica urbana e pode servir como ferramenta de monitoramento, uma vez que apresenta crescimento diferenciado em áreas antropizadas (Canetti et al., 2017). Ainda que em condições controladas de concentração de poluentes atmosféricos, *A. angustifolia* aparenta sofrer interferência da poluição em seu crescimento, sendo de diferentes intensidades, de acordo com a fase de estabelecimento das árvores e a intensidade da poluição.

Os anéis de crescimento em áreas mais poluídas, frequentemente, são pouco distintos (Figura 5), sinalizando que os distúrbios causados por diversos fatores característicos destas áreas, como podas inadequadas, vandalismo e a influência de poluentes, podem gerar respostas distintas às variáveis ambientais nesses ambientes, quando comparados ao ambiente da floresta natural (Wilczynski, 2006).

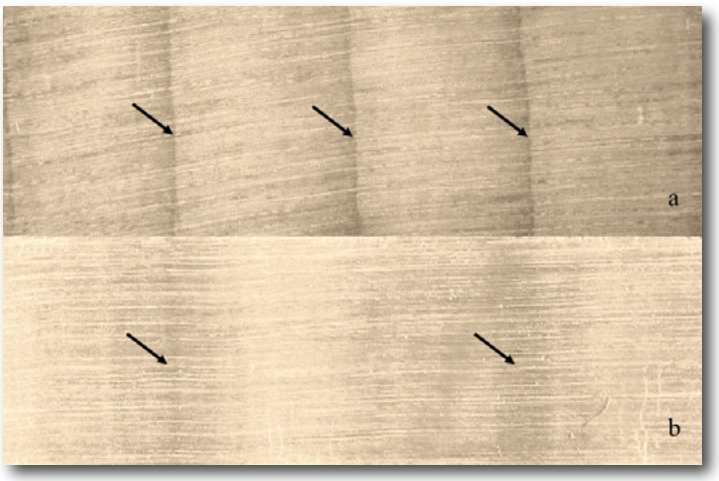

Figura 5. Ilustração dos anéis de crescimento de *A. angustifolia* bem demarcados (a) e trechos de menor distinção (b), em área urbana.

O crescimento da espécie em áreas urbanas resulta em redução devido aos efeitos da antropização, especialmente das árvores jovens (Canetti et al., 2017). Além de possíveis danos mecânicos a que as árvores possam ter sido submetidas, existe também o efeito de substâncias tóxicas na atmosfera, que podem inibir a capacidade de fotossíntese e de outros processos metabólicos (Ashby; Fritts, 1972).

As árvores de *A. angustifolia* em áreas urbanas apresentaram envelhecimento precoce (Classe 1), atingindo uma fase de crescimento desacelerado e tendendo à estagnação em ciclos mais curtos do que o esperado nas florestas naturais (Canetti et al., 2017). Entretanto, quando as árvores foram estabelecidas no município em períodos anteriores à acentuada urbanização (Classe 3), seu crescimento não foi afetado, permanecendo similar ao que ocorre em ambiente de floresta natural (Figura 6).

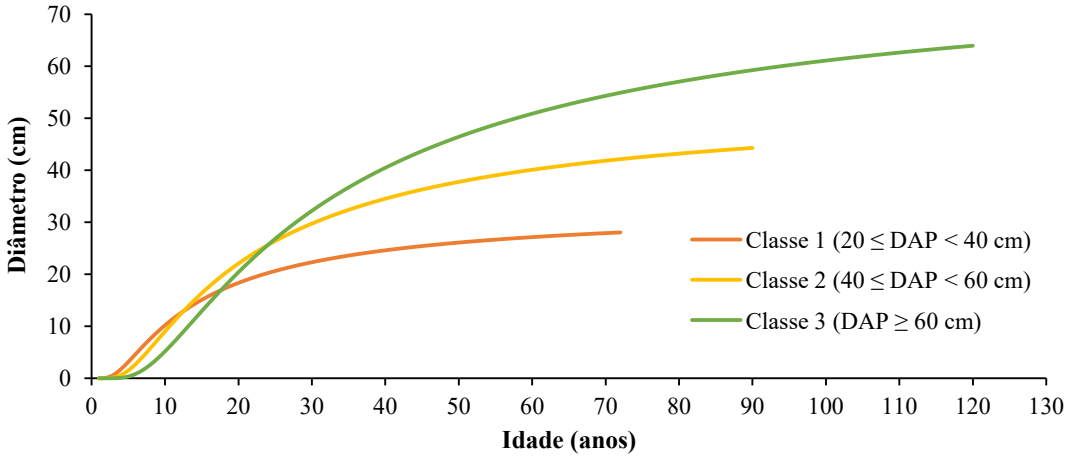

Figura 6. Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo de Schumacher, para as três classes diamétricas de *Araucaria angustifolia*.

O crescimento de araucária sofreu efeitos negativos com a presença de óxido de nitrogênio (NO) na atmosfera, apresentando correlações negativas (significativas a 5% de probabilidade) enquanto o dióxido de nitrogênio (NO_2) teve efeito positivo. Entretanto, novamente as árvores que foram influenciadas pelas concentrações destes elementos na atmosfera foram as mais jovens (Canetti et al., 2017).

A. angustifolia mostrou indicativos de sofrer interferência da poluição em seu crescimento, mesmo em condições controladas de poluentes atmosféricos. Notaram-se diferentes intensidades de interferência, de acordo com a idade das árvores e do período em que se estabeleceram no município, considerando o início da sua exposição à poluição atmosférica. Essas informações são úteis para gestão de áreas florestais urbanas.

Considerações finais

A. angustifolia apresenta grande variação de incremento diamétrico, de acordo com as condições do local em que se estabeleceu. As fases de crescimento da espécie são bem definidas (juventude, maturidade e senescência) ao longo da vida. Apesar de ser uma espécie longeva, com limite biológico de vida e grande potencial de crescimento em diâmetro, normalmente atinge seus incrementos diamétricos máximos entre 60 cm e 70 cm, considerando árvores individuais. O incremento diamétrico responde às variáveis de espaçamento e luminosidade, indicando a importância do manejo para garantir o espaço vital para seu crescimento ótimo, apesar de outras condições ambientais ou características da própria árvore poderem afetar o incremento anual.

Observa-se que a espécie tem grande potencial para manejo em condições de floresta natural ou plantada, quando se considera o seu incremento em diâmetro.

Ressalta-se a importância de novas pesquisas que busquem aprofundar o conhecimento sobre a influência de fatores ambientais, como fertilidade e profundidade dos solos, altitude, disponibilidade hídrica, variações climáticas no crescimento de araucária, presença de poluição no ar, entre outros, para subsidiar o gestor florestal na tomada de decisão sobre o estabelecimento de plantios da espécie, visando à produção madeireira otimizada, em função das características de cada sítio.

Referências

ASHBY, W. C.; FRITTS, H. C. Tree growth, air pollution, and climate near LaPorte, Ind. **Bulletin American Meteorological Society**, v. 53, n. 3, 1972.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.

BARTH FILHO, N. **Monitoramento do crescimento e da produção em Floresta Ombrófila Mista com uso de parcelas permanentes**. 2002. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos (ed.). **Mapa de solos do estado do Paraná**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 74 p.

BRACK, C. L. Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 195-200, 2002.

CANETTI, A. **Alteração da floresta urbana, poluição atmosférica e crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em polo industrial**. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CANETTI, A.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; PÉLLICO NETTO, S. Life pattern of urban trees: a growth-modelling approach. **Urban Ecosystems**, v. 20, n 5, p. 1057-1068, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s11252-017-0659-0.

CUBAS, R. **Florística, estrutura e dinâmica em uma Floresta Ombrófila Mista no norte do estado de Santa Catarina**. 2011. 148 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná, Irati.

CURTO, R. A. **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O Ktze**. 2015. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise protéica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo - PR**. Curitiba, 1999. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p. 141-149, 2001. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/19805098501

EBLING, A. A. **Dinâmica e projeção diamétrica em remanescente de Floresta Ombrófila Mista na FLONA de são Francisco de Paula, RS**. 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; STEPKA, T. F.; SAWCZUK, A. R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Revista Floresta**, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/rf.v40i4.20328.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel, 1987. 467 p.

HUSCH, B.; MILLER, I. C.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. New York: John Wiley, 1982. 402 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2012. 274 p.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960. 745 p.

KRUMM, F.; KULAKOWSKI, D.; RISCH, A. C.; SPIECKER, H.; BRÄNDLI, U. B.; BEBI, P. Stem exclusion and mortality in unmanaged subalpine forests of the Swiss Alps. **European Journal of Forest Research**, v. 131, p. 1571-1583, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007/s10342-012-0625-6.

KÜCHELMEISTER, G. Trees for the urban millennium: urban forestry update. **Unasylva**, v. 51, p. 49-55, 2000.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Jose Olympio, 1981. 442 p.

MATTOS, P. P.; OLIVEIRA, M. F.; AGUSTINI, A. F.; BRAZ, E. M.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y, M. M.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Aceleração do crescimento em diâmetro de espécies da Floresta Ombrófila Mista nos últimos 90 anos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 319-326, 2010. DOI: https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.319.

MCLAUGHLIN, S. B. Effects of air pollution on forests. **Journal of Air Pollution Control Association**, v. 35, p. 512-534, 1985.

MCLAUGHLIN, S. B.; PERCY, K. Forest health in North America: some perspectives on actual and potential roles of climate and air pollution. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 116, n. 1-2, p. 151-197, 1999. https://doi.org/10.1023/A:1005215112743.

MOGNON, F. **Dinâmica do estoque de carbon como serviço ambiental prestado por um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana localizada no Sul do estado do Paraná**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MUZIKA, R. M.; GUYETTEA, R. P.; ZIENLONKAB, T.; LIEBHOLD, A. M. The influence of O_3, NO_2 and SO_2 on growth of *Picea abies* and *Fagus sylvatica* in the Carpathian Mountains. **Environmental Pollution**, v. 130, n. 1, p. 65-71, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.10.021.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434 p.

PARANÁ. Secretaria de Estado de Agricultura e Abastecimento. Instituto de Terras, Cartografia, Florestas. **Atlas do Estado Paraná**. Curitiba, 1987. 73 p.

PIZATTO, W. **Avaliação biométrica da estrutura e da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo - PR**: 1995 a 1998. 1999. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PLAUBORG, K. U. Analysis of radial growth responses to changes in stand density for four tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 188, p. 65-75, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.022.

PORACSKY, J.; SCOTT, M. Industrial-area street trees in Portland, Oregon. **Journal of Arboriculture**, v. 1, n. 1, p. 9-17, 1999.

RIVERA, H. **Ordenamento territorial de áreas florestais utilizando avaliação multicritério apoiada por geoprocessamento, fitossociologia e análise multivariada**. 2007. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica demográfica e simulações de manejo em remanescente de Floresta Ombrófila Mista**. 2016. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SCHAAF, L. B. **Florística, estrutura e dinâmica no período 1979-2000 de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no Sul do Paraná**. 2001. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SEITZ, R. A.; KANNINEN, M. Tree ring analysis of *Araucaria angustifolia* in Southern Brazil: preliminary results. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 2, p. 170-174, 1989.

SILVA FILHO, D. F. da.; PIZETTA, P. U. C.; ALMEIDA, J. B. S. A. D.; PIVETTA, K. F. L.; FERRAUDO, A. S. Banco de dados relacional para cadastro, avaliação e manejo da arborização em vias públicas. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 629-642, 2002. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000500014.

SILVA, M. N. da. Indústria e produção do espaço urbano em Araucária. **Revista Raega**: O Espaço Geográfico em Análise, v. 12, 2006.

STEPKA, T. F. **Modelagem da dinâmica e prognose da estrutura diamétrica de uma floresta ombrófila mista por meio de matriz de transição e razão de movimentação**. 2008. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil**. Curitiba, 2012. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

WILCZYNSKI, S. The variation of tree-ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) affected by air pollution. **European Journal of Forest Research**, v. 125, n. 3, 2006. DOI: https://doi.org/10.1007/s10342-005-0106-2.