

Prognose da estrutura diamétrica de remanescente de floresta com Araucária utilizando a função densidade de probabilidade Weibull

Prognosis of the diametric structure in remnant of Araucaria forest using the Weibull probability density function

Ângelo Augusto Ebling*¹, Allan Libanio Pelissari¹, Simone Filipini Abrão¹, Rogério Bamberg²

Resumo - Estudos referentes à prognose da estrutura diamétrica são essenciais no desenvolvimento de parâmetros de produção das florestas, gerando estimativas para subsidiar o manejo sustentado. Por meio de dados de um remanescente de floresta com Araucária, oriundos de inventário florestal contínuo entre os anos de 2000 a 2008 realizado na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS, formalizou-se o presente estudo, o qual objetivou prognosticar a estrutura florestal. Foram avaliados, em todas as classes diamétricas, o incremento e a probabilidade de migração, mortalidade e recrutamento das árvores com diâmetro à altura do peito igual ou superior a 9,5 cm. Logo, o cálculo de prognose consistiu em atribuir probabilidades de ocorrência em cada evento, considerando o tempo de projeção e o crescimento diamétrico. Os valores foram prognosticados para o ano de 2008, sendo aplicada a função densidade de probabilidade de Weibull na distribuição de frequências, a qual apresentou boa qualidade de ajuste ($R^2_{aj}=0,99$ e $S_{yx\%}=1,25$). As estimativas foram confrontadas com valores observados da floresta no mesmo ano de referência, com a aderência da prognose confirmada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($D_{calc}=0,05782 < D_{tab95\%}=0,05873$). A metodologia foi eficiente para o planejamento e a avaliação florestal, passível de aplicação para demais espécies e comunidades florestais multiâneas. O emprego de uma função densidade de probabilidade promoveu a maior uniformidade da distribuição, principalmente para as estimativas com maior amplitude temporal, reduzindo, dessa forma, as possíveis discrepâncias.

Palavras-chave - Manejo sustentado. Planejamento florestal. Predição diamétrica.

Abstract - Studies on the prognosis of the diametric structure are essential in the development of production parameters of forests, generating estimates to support the sustainable management. With data from an Araucaria forest remnants, originally coming from continuous forest inventory conducted between the years 2000 and 2008 in the National Forest of São Francisco de Paula, RS, Brazil, this study was formalized, aiming to predict the forest structure. In all diametric classes were evaluated diametric increase and migration, mortality and recruitment probabilities of trees with diameter at breast height equal or superior to 9.5 cm. Therefore, the calculation of prognosis consisted in assigning probabilities of occurrence for each event, considering time projection and diameter growth. The values were predicted for the year 2008, the application the Weibull distribution indicated good fit ($R^2_{aj}=0,99$ e $S_{yx\%}=1,25$). The estimates were compared with observed values in the same reference year, with adherence of the prognosis was confirmed by the Kolmogorov-Smirnov test ($D_{calc}=0,05782 < D_{tab95\%}=0,05873$). This methodology was efficient for the planning and evaluation forest, and it can be applied to other species and heterogeneous forests. The probability density function promoted greater uniformity of diametric distribution, especially for estimates with greater time range and reducing possible discrepancies.

Key words - Diametric prediction, Forest planning. Sustainable forest management.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 02/03/2013 e aprovado em 23/01/2014

¹Engenheiro Florestal, Msc., Doutorando em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil, aebbling@hotmail.com; allanpelissari@gmail.com; simone_abrao@hotmail.com

²Engenheiro Florestal, Mestrando em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil, rogeriobamberg@yahoo.com

Introdução

A demanda por informações que auxiliem no planejamento das atividades florestais é fundamental para a efetivação da exploração sustentada, essencialmente em florestas naturais, onde os modelos tradicionalmente empregados são de difícil aplicação. Considerando que o Brasil compreende a segunda maior área florestal do mundo, com 516 milhões de hectares, sendo desse total 98,7% constituído de florestas naturais (SFB, 2010), essa demanda, torna-se mais evidente.

Estudos que propiciem um maior entendimento dos processos dinâmicos das florestas heterogêneas, considerando toda a complexidade encontrada devido às suas interações sincológicas, são essenciais para propiciar o correto manejo desses recursos, promovendo a conservação do ambiente e alavancando o desenvolvimento. Logo, a carência de um planejamento consistente compromete a continuidade dos recursos no meio ambiente e gera estimativas inconsistentes para o adequado manejo florestal (VANCLAY *et al.*, 1997; AUSTREGÉSILO *et al.*, 2004).

Em florestas homogêneas equiâneas, o estudo do crescimento por equações de crescimento e produção possibilitam conhecer o potencial produtivo florestal em um determinado sítio, e favorecem com isso, a tomada de decisões acerca da demanda do mercado (COELHO; HOSOKAWA, 2010). Porém, em florestas heterogêneas inequiâneas os modelos matemáticos tradicionais de produção não podem ser empregados devido à falta da homogeneidade sobre a idade das árvores. Para estimar o volume destas florestas, usualmente empregam-se metodologias como a razão de movimentação dos diâmetros e as cadeias Markovianas.

A razão de movimentação dos diâmetros consiste na teoria de projeção de tabelas de povoamento aplicada às florestas nativas (SCOLFORO *et al.*, 1998). As cadeias de Markov, por sua vez, se constituem de probabilidades associadas a eventos como a migração entre classes diamétricas, recrutamentos e mortalidade (SANQUETTA *et al.*, 1996).

Sanquetta *et al.* (1995) salientam a importância de se aplicarem refinamentos nos modelos matemáticos de prognose, como exemplos, citam: restringir o número de espécies em um mesmo modelo, selecionar amplitudes de classe diamétrica que se adaptem às condições de crescimento da floresta e aplicar funções densidade de probabilidade. Somado a isto, a partir do contexto de distribuições probabilísticas, as funções matemáticas permitem prever fenômenos, favorecendo o estudo do comportamento de variáveis do meio físico ou biológico (SILVA *et al.*, 2003).

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivos desenvolver e aplicar um modelo de prognose com

flexibilidade para determinar a distribuição de frequências e área basal por classes diamétricas, considerando a probabilidade de eventos a que cada árvore da população está sujeita. Com o objetivo de manter a estrutura diamétrica prognosticada semelhante à observada, foi aplicada a função densidade de probabilidade Weibull nesta.

Material e métodos

Os dados que subsidiaram o presente estudo são provenientes de inventário florestal contínuo, realizado entre os anos de 2000 a 2008 na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, localizada entre as coordenadas 29°24' e 29°27' de latitude Sul e 50°22' e 50°25' de longitude Oeste, na mesorregião nordeste do estado do Rio Grande do Sul. A vegetação predominante no local de acordo com a classificação fitogeográfica adotada pelo IBGE (2012) é a Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária.

A altitude média do local é de 900 metros acima do nível do mar. A formação de geadas é frequente, com queda de neve nos meses mais frios (FERNANDES; BACKES, 1998). De acordo com a classificação global dos tipos climáticos desenvolvida por Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, mesotérmico e superúmido, com verão brando e inverno frio (MORENO, 1961).

O inventário teve como objetivo o monitoramento da dinâmica florestal, e abrangeu uma área de 10 parcelas permanentes, com área de 1 ha cada. As remeidições ocorreram anualmente por um processo de repetição total em inventário florestal contínuo, sendo mensurados todos os indivíduos com diâmetro à altura do peito igual ou superior a 9,5 cm. Foram avaliados os diâmetros, número de recrutamentos e mortalidades no período de interesse, sendo estas, observações essenciais para detectar as modificações dinâmicas da floresta (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Os cálculos de prognose foram efetivados com base no inventário contínuo da floresta por um período de oito anos, sendo os quatro primeiros anos utilizados para gerar as estimativas de prognose, e o oitavo ano, para verificar a eficiência da prognose, comparando-se os valores prognosticados com os observados.

A prognose foi realizada seguindo a sequência de execução: a) definir a frequência por classe diamétrica ($N_{\text{observado}}$); b) avaliar as probabilidades referentes à mortalidade, recrutamento e incremento, em cada classe diamétrica, relativizando esses valores para a unidade de tempo de um ano; c) efetivar a projeção para o período de tempo desejado, e aplicar a função densidade de probabilidade selecionada. Os parâmetros usados para apontar a qualidade do modelo foram: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajustado}), erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{y,x\%}$) e gráfico de resíduos.

As probabilidades de eventos, que consistem nos recrutamentos, mortalidades, crescimento e taxa de migração entre classes diamétricas no período inventariado, foram enumerados, sendo seus valores somados ou subtraídos dentro de cada classe de diâmetro. O sistema para gerar as estimativas de frequência projetada ($N_{projetado}$) e ajustada ($N_{ajustado}$) consta na Tabela 1, sendo os valores de referência correspondentes ao período de um ano.

O uso da função Weibull é justificado devido sua ampla utilização no manejo florestal, que se deve a sua versatilidade. Esta função é usualmente empregada para gerar distribuições de florestas homogêneas e heterogêneas, e auxilia desde cálculos de prognose até a fiscalização do desmatamento (WEBER, 2011). Muitos estudos com

ênfase na modelagem florestal têm a tendência de usar como base a função Weibull, salientando seu emprego e eficiência na geração de estimativas (MIGUEL *et al.*, 2010).

Os valores referentes ao segundo momento da prognose são relativos à área basal, sendo obtidos considerando o número de indivíduos ajustados ($N_{ajustado}$) pela função densidade de probabilidade Weibull, multiplicados pelo valor do centro de classe diamétrico considerando o incremento diamétrico proporcional ao período projetado (Tabela 2).

A função Weibull foi ajustada por meio de regressão não linear, pelo método dos mínimos quadrados com múltiplas interações, relativos aos valores de frequências

Tabela 1 - Sistematização utilizada para realizar a prognose da frequência de indivíduos por classe

Centro de classe	N	Recrutamento	Mortalidade	Migração	Balanço	T	$N_{projetado}$	$N_{ajustado}$
K_1	$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	$a_{1,3}$	$a_{1,4}$	$a_{1,5}$	t	$a_{1,1}+(a_{1,5} \cdot t)$	$a_{1,6}$
K_2	$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	$a_{2,3}$	$a_{2,4}$	$a_{2,5}$	t	$a_{2,1}+(a_{2,5} \cdot t)$	$a_{2,6}$
K_3	$a_{3,1}$	$a_{3,2}$	$a_{3,3}$	$a_{3,4}$	$a_{3,5}$	t	$a_{3,1}+(a_{3,5} \cdot t)$	$a_{3,6}$
.
K_n	$a_{n,1}$	$a_{n,2}$	$a_{n,3}$	$a_{n,4}$	$a_{n,5}$	t	$a_{n,1}+(a_{n,5} \cdot t)$	$n_{a,6}$

N - número de indivíduos; Migração – número de árvores que migram para classes superiores; Balanço – número de árvores remanescentes na classe; t – tempo de prognose. Sendo que: $a_{1,5} = a_{1,2}-a_{1,3}-a_{1,4}$; $a_{2,5} = a_{2,2}+a_{1,4}-a_{2,3}-a_{2,4}$; $a_{3,5} = a_{3,2}+a_{2,4}-a_{3,3}-a_{3,4}$ e $n_{a,5} = a_{n,2}+a_{n-1,5}-a_{n,3}-a_{n,4}$

Tabela 2 - Sistematização empregada para realizar a prognose da área basal para as classes diamétricas

Centro de classe	$N_{ajustado}$	ipd	T	ipd _{projetado}	$g_{projetado}$
K_1	$b_{1,1}$	$b_{1,2}$	t	$b_{1,3}$	$\left(\frac{\pi(k_1 + b_{1,3})^2}{4}\right) b_{1,1}$
K_2	$b_{2,1}$	$b_{2,2}$	t	$b_{2,3}$	$\left(\frac{\pi(k_2 + b_{2,3})^2}{4}\right) b_{2,1}$
K_3	$b_{3,1}$	$b_{3,2}$	t	$b_{3,3}$	$\left(\frac{\pi(k_3 + b_{3,3})^2}{4}\right) b_{3,1}$
.
K_n	$b_{n,1}$	$b_{n,2}$	t	$b_{n,3}$	$\left(\frac{\pi(k_n + b_{n,3})^2}{4}\right) b_{n,1}$

ipd – incremento periódico em diâmetro; g – área basal. Sendo que: $b_{1,3} = b_{1,2} \cdot t$; $b_{2,3} = b_{2,2} \cdot t$; $b_{3,3} = b_{3,2} \cdot t$; $b_{n,3} = b_{n,2} \cdot t$

prognosticados ($N_{\text{projetado}}$), gerando a partir destes, a frequência ajustada (N_{ajustado}). A Função Weibull é descrita conforme a equação 1:

$$\frac{c}{b} \cdot \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \cdot e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c} \quad \text{se } x \geq a, b > 0 \text{ e } c > 0$$

$$0 \quad \text{e.o.c.}$$

Em que: a é o parâmetro de locação, b é o parâmetro de escala da distribuição, c é o parâmetro de forma e x é a variável aleatória.

A eficiência da prognose foi testada pelo teste de aderência Kolmogorov-Smirnov (K-S) ao nível de significância de 95%, que avaliou a prognose referente ao ano de 2008, com os dados inventariados no mesmo ano. O teste K-S pode ser obtido pela equação 2:

$$d_{\text{calc}} = \frac{(\max |F_o(X) - F_e(X)|}{n}$$

Em que: $F_o(X)$ é a frequência observada acumulada; $F_e(X)$ é a frequência esperada acumulada e n , o número de observações.

Se d_{calc} for menor que o limite tabelado, aceita-se o ajuste, indicando que as projeções geraram estimativas condizentes com a realidade (aderência).

Resultados e discussão

A metodologia para efetivação da prognose da floresta usada no presente estudo assemelha-se à empregada para projeção de florestas multiâneas de Moser (1972), cadeias de Markov e Razão de Movimentação dos diâmetros, pois emprega a ocorrência de eventos probabilísticos associado à mortalidade, ao recrutamento, ao crescimento e à migração entre classes, atribuídos a um determinado período. No entanto, o modelo global proposto por Moser, é eficiente para inferir genericamente sobre os eventos dinâmicos, desconsiderando as particularidades de cada classe diamétrica. Já as cadeias de Markov e Razão de Movimentação embora normalmente resultem em prognoses consistentes para efetivação do manejo (PULZ *et al.*, 1999), são pouco flexíveis por gerarem prognoses dependentes de períodos múltiplos daqueles amostrados.

Nesse sentido, modelos desenvolvidos a partir de funções probabilísticas constituem de uma alternativa para prognosticar a estrutura diamétrica, sendo que a função de Weibull apresenta grande flexibilidade, mostrando-se adequada na modelagem de diferentes grupos ecológicos e com êxito em quase toda forma de

distribuição (NASCIMENTO *et al.*, 2012). Corroborando, Schneider *et al.* (2008) citam que a distribuição diamétrica e sua dinâmica no tempo, para diferentes situações de manejo podem ser descritas com alta precisão pela função densidade de probabilidade de Weibull.

Observou-se que os recrutamentos ocorrem exclusivamente na primeira classe diamétrica, na proporção de 16,31 ind/ano ha⁻¹. A mortalidade ocorreu nas sete primeiras classes diamétricas, sendo em maior número nas classes iniciais, que apresentam maior frequência, totalizando 50,94 ind/ano ha⁻¹. Considerando que a proporção entre recrutamento e mortalidade é maior para a mortalidade, além de somada à taxa de migração de indivíduos para classes superiores, o balanço resulta em um valor negativo, que indica uma redução de densidade. Corroborando com essa observação, Figueiredo Filho *et al.* (2010) também descrevem redução de densidade na Flona de Irati, PR, que pode ser atribuído ao avanço sucessional das florestas heterogêneas multiâneas. Como o valor total de balanço também resultou em um número negativo, o número total de árvores projetadas resultará em um valor menor que o número observado (Tabela 3).

Vanclay (1994) salienta que embora a modelagem matemática seja de grande valia para gerar estimativas acerca da produção florestal, as características encontradas em florestas heterogêneas multiâneas limitam a efetivação de estimativas. De modo a corrigir as possíveis discrepâncias das prognoses, os valores de frequência projetados ($N_{\text{projetado}}$) foram aplicados na função densidade de probabilidade de Weibull, gerando as frequências ajustadas (N_{ajustado}). O ajuste da função Weibull manteve elevado coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{\text{ajustado}}=0,99$) e baixo erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%=1,25$) com a distribuição observada. A distribuição ajustada indicou pequenas alterações em relação à distribuição projetada, verificada essencialmente nas classes intermediárias, sendo pouco relevantes quando avaliados o valor total entre as distribuições.

A aderência entre os valores observados e calculados foi verificada pelo teste de aderência K-S ($D_{\text{calc}}=0,057$ $82 < D_{\text{tab}95\%}=0,05873$). Logo, a metodologia de predição utilizada favorece a efetivação de prognoses acuradas, consequentemente, gerando estimativas consistentes para a prática do manejo.

Observa-se que a aplicação de uma função densidade de probabilidade a distribuições prognosticadas mantém a estrutura diamétrica da floresta, sendo positiva sua aplicação a fim de reduzir valores prognosticados discrepantes. No entanto, o modelo deve contemplar um bom ajuste à série de dados observados, que serviram de base para os cálculos de prognose.

A projeção indicou área basal igual a 39,98 m² ha⁻¹, valores próximos aos observados para a floresta no mesmo

Tabela 3 - Prognose da frequência de classes diamétricas e valores de frequência ajustados

Centro de classe (cm)	N _{observado} (2004)	Recrutamento	Mortalidade	Migração	Balanço	T	N _{projetado} (2008)	N _{ajustado} (2008)
15	370,3	16,31	36,38	9,19	-29,25	4	253,3	253,2
25	133,7	0	8,50	6,19	-5,50	4	111,7	112,4
35	61	0	2,88	2,81	0,50	4	63	60,4
45	35,1	0	1,88	2,19	-1,25	4	30,1	34,7
55	23,4	0	0,81	1,25	0,13	4	23,9	20,7
65	12,8	0	0,25	0,69	0,31	4	14,05	12,7
75	7,1	0	0,25	0,31	0,13	4	7,6	7,9
85	2,4	0	0,00	0,19	0,13	4	2,9	5
>90	1,7	0	0,00	0,00	0,19	4	2,45	3,2
Σ	647,5	16,31	50,94	22,81	-34,63		509	510,2

Migração- migração de indivíduos para classes superiores; Balanço – considera ao aumento e redução de indivíduos em cada classe a partir dos recrutamentos, mortalidade e migração; T- tempo de projeção em anos.

período, de 38,62 m² ha⁻¹. Durigan (1999) observou valores semelhantes para área basal (G=36,97 m² ha⁻¹) em estudo desenvolvido na mesma região fitogeográfica, no município de São João do Triunfo, PR. As menores classes diamétricas embora representem as maiores frequências, não apresentam os valores mais significativos em área transversal. Esses encontram-se nas classes diamétricas intermediárias (Tabela 4).

Considerando os valores prognosticados de área basal (Figura 1), observa-se que ocorre superestimativa desta nas classes superiores. Esta observação deve-se ao fato que em classes superiores, onde estão inseridos os maiores diâmetros, mesmo variações de poucos indivíduos, resultam em variações grandes no valor de

área basal. No entanto, a estimativa total de área basal mostrou-se eficiente, incluindo as menores classes diamétricas, que por vezes, devido a seu intenso processo dinâmico, dificultam a aplicação de modelos matemáticos e formalização de estimativas (EBLING *et al.*, 2012).

Por meio da análise do gráfico de resíduos (Figura 2), observa-se que não houve tendenciosidade no modelo de prognose utilizado. Observa-se baixa superestimativa nas classes superiores, porém, seu valor é inferior a 1%, não sendo suficiente para comprometer os resultados da prognose.

Entre as vantagens da aplicação de um modelo densidade de probabilidade, está o “alisamento” da distribuição de frequências, que favorece a redução

Tabela 4 - Valores de área basal observada e prognosticada entre classes diamétricas e total

Centro de classe (cm)	N _{observado} (2008)	G _{observado} (2008)	N _{ajustado} (2008)	ipd	T	G _{projetado} (2008)
15	260,9	4,6104	253,2	0,62913	4	4,8576
25	126,3	6,1997	112,4	0,85714	4	5,9022
35	64,3	6,1863	60,4	0,35285	4	5,9289
45	35,1	5,5824	34,7	0,36163	4	5,6078
55	24,5	5,8207	20,7	0,36468	4	4,9834
65	14	4,6456	12,7	0,29729	4	4,2528
75	6,4	2,8274	7,9	0,35254	4	3,5230
85	2,6	1,4753	5	0,47894	4	2,8693
>90	2	1,2723	3,2	0,41263	4	2,0544
Σ	536,1	38,62	510,2	-	-	39,98

ipd – incremento periódico em diâmetro (cm); G – área basal (m² ha⁻¹); T- tempo de projeção em anos.

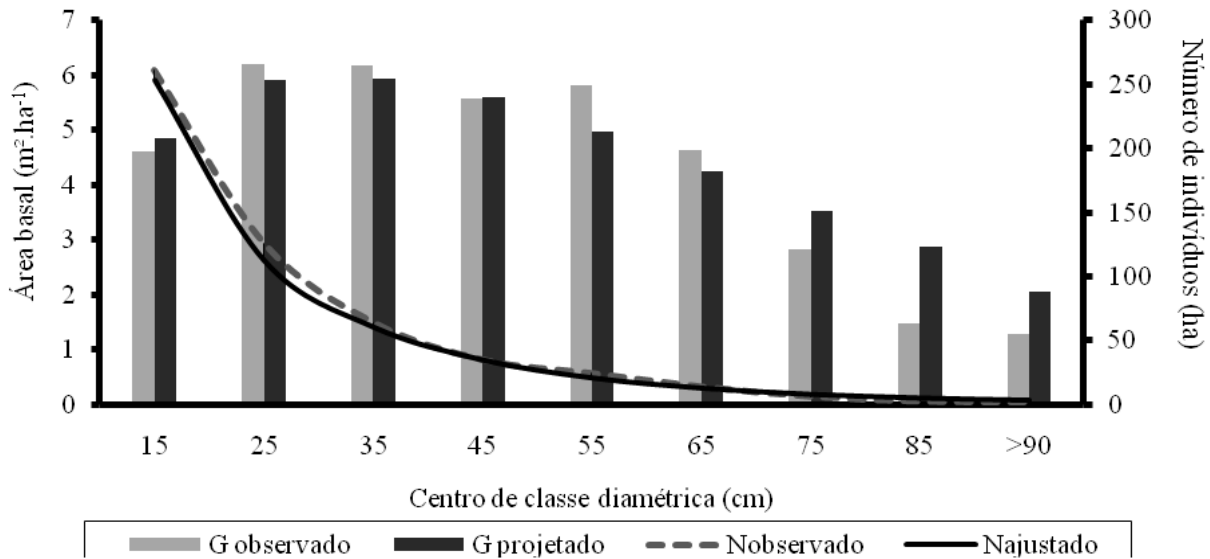


Figura 1 - Distribuição de frequências e área basal, observadas e prognosticadas entre classes diamétricas.

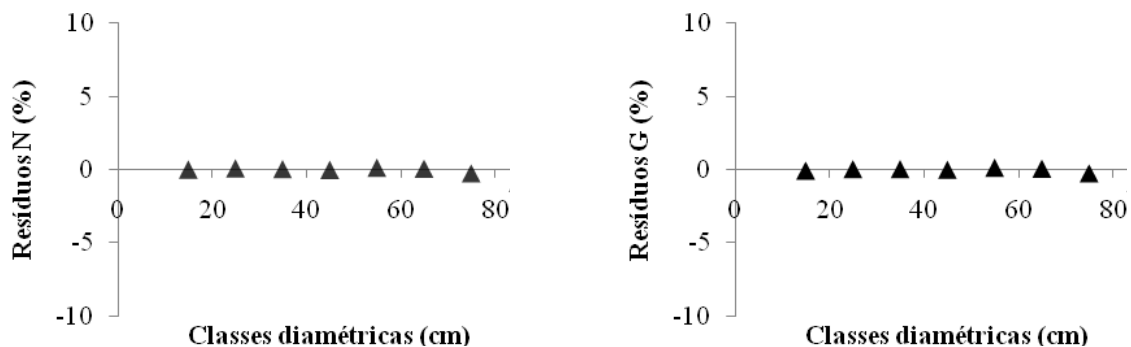


Figura 2 - Resíduos em porcentagem por classes diamétricas para valores reacionados ao número de indivíduos (N) e área basal (G).

de valores prognosticados discrepantes nas classes intermediárias, favorecendo essencialmente as prognoses efetivadas para maiores amplitudes de tempo. Além disso, a prognose contemplando classes diamétricas, ao invés de um valor global, favorece na tomada de decisões acerca do manejo sustentado da floresta, podendo a metodologia ser aplicada a outras populações ou comunidades florestais, desde que, a função densidade de probabilidade corresponda com bom ajuste à série de dados.

Refinamentos dos modelos de prognose devem ser testados, restringindo, estratificando ou ponderando o número de observações aplicadas aos modelos, possibilitando melhores resultados. Também são essenciais

que sejam implementadas e aperfeiçoadas as informações oriundas de parcelas permanentes, que embora sejam relativamente recentes no Brasil (TEIXEIRA *et al.*, 2007), são fundamentais para subsidiar a modelagem matemática das florestas.

Conclusões

O modelo de prognose baseado nas probabilidades de eventos da floresta, associado à função densidade de probabilidade Weibull indica ser consistente para gerar estimativas para o manejo sustentado de florestas. Isto pode

ser observado devido à aderência dos valores observados e projetados relativos à distribuição de frequências pelo teste de *Kolmogorov-Smirnov* ($D_{\text{calc}}=0,05782 < D_{\text{tab}95\%}=0,05873$), da mesma maneira que igualmente próximos foram os valores relativos à área basal observada 38,62 m² ha⁻¹ e projetada 39,98 m² ha⁻¹;

A função densidade de probabilidade aplicada aos valores projetados possibilita maior homogeneidade da distribuição de frequências, reduzindo discrepâncias, propiciando, essencialmente a efetivação de prognoses para maiores amplitudes de tempo. O modelo também favorece análises mais flexíveis entre as classes diamétricas, devido sua independência de gerar prognoses em relação ao período inventariado.

Literatura científica citada

- AUSTREGÉSILO, S. L.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A.; SOUZA, A. L.; MEUNIER, I. M. J.; SANTOS, E. de S. Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Estacional Semidecidual secundária. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 227-232, 2004.
- COELHO, V. C. M.; HOSOKAWA, R. T. Avaliação da reação de crescimento aos desbastes em *Pinus taeda* L. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 4, n. 1, p. 42-48, 2010.
- DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise proteica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo, PR**. 1999. 215 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- EBLING, A. A.; WATZLAWICK, L. F.; RODRIGUES, A. L.; LONGHI, S. J.; LONGHI, R. V.; ABRÃO, S. F. Acuracidade da distribuição diamétrica entre métodos de projeção em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Rural**, v. 42, n. 6, p. 1020-1026, 2012.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; NOGUEIRA DIAS, A.; STEPKA, T. F.; SAWCZUK, A. R. Crescimento. Mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p.
- FERNANDES, A. V.; BACKES, A. Produtividade primária em floresta com *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul. **Iheringia Série Botânica**, v. 51, n. 1, p. 63-78, 1998.
- MIGUEL, E. P.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E. Using the Weibull function for prognosis of yield by diameter class in *Eucalyptus urophylla* stands. **Cerne**, v. 16, n. 1, p. 94-104, 2010.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 41 p.
- MOSER, J. W. Dynamics of an Uneven - Aged Forest Stand. **Forest Science**, v. 18, p. 184-191, 1972.
- NASCIMENTO, R. G.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; HIGUCHI, N. Modelo de projeção por classe diamétrica para florestas nativas: enfoque na função probabilística de Weibull. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 32, n. 70, p. 209-219. 2012.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. 1. ed. Curitiba: Os Autores, 1997. 316 p.
- PULZ, F. A.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D. de; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA FILHO, A. T. de. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiana com a Matriz de Transição. **Cerne**, v. 5, n. 1, p. 1-14, 1999.
- SANQUETTA, C. R.; ANGELO, H.; BRENA, D. A.; MENDES, J. B. Predição da distribuição diamétrica, mortalidade e recrutamento de floresta natural com matriz Markoviana de potência. **Floresta**, v. 24, n. 1, p. 23-36, 1995.
- SANQUETTA, C. R.; BRENA, D. A.; ANGELO, H.; MENDES, J. B. Matriz de transição para simulação da dinâmica de florestas naturais sob diferentes intensidades de corte. **Ciência Florestal**, v. 6, n. 1, p. 65-78, 1996.
- SCHNEIDER, P. R.; FINGER, S. A.; BERNETT, L. G.; SCHNEIDER, P. S. P.; FLEIG, F. D. Estimativa dos parâmetros da função de densidade probabilística de Weibull por regressão aninhada em povoamento desbastado de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 375-385, 2008.
- SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELO, J. M. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e análise estrutural. In: SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. 1. ed. Lavras, MG: UFLA / FAEPE, 1998. Cap. 5, p. 189-246.
- SFB – Serviço Florestal Brasileiro. **Florestas do Brasil em resumo – 2010: dados de 2005-2010**. 1. ed. Brasília: SFB, 2010. 152 p.
- SILVA, E. Q. da; PÉLLICO NETTO, S.; MACHADO, S. do AMARAL; SANQUETTA, C. R. Função de densidade de probabilidade aplicável à ciência florestal. **Revista Floresta**, v. 33, n. 3, p. 285-294, 2003.
- TEIXEIRA, L. M.; CHAMBERS, J. Q.; SILVA, A. R. e; LIMA, A. J. N.; CARNEIRO, V. M. C.; SANTOS, J. dos; HIGUCHI, N. Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra-firme, região de Manaus – AM, com uso da cadeia de transição probabilistic de Markov. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 3, p. 377-384, 2007.
- VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Wallingford: CAB International, 1994. 330 p.
- VANCLAY, J. K.; GILLICON, A. N.; KEENAN, R. J. Using functional attributes to quantify site productivity and growth patterns in mixed forests. **Forest Management**, v. 94, p. 149-163, 1997.
- WEBER, S. H. **Desenvolvimento de uma função densidade de probabilidade multimodal aplicável à ciência florestal**. 2011. 132 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.