



ESTIMATIVA DA BIOMASSA DE *Pinus taeda* L. ORIUNDA DE INTERVENÇÕES SILVICULTURAIS PARA FINS ENERGÉTICOS

Juliana Ceccato FERREIRA¹, Amélia Guimarães CARVALHO¹, Fabiana Paiva de FREITAS¹, Larissa Carvalho SANTOS¹, Humberto Fauller de SIQUEIRA¹, Graciela Inês Bolzon de MUÑIZ² e Martha Andreia BRAND³

1 – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil

2 – Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

3 – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, Santa Catarina, Brasil

Resumo: O objetivo do trabalho foi quantificar e definir modelos matemáticos que melhor estimem a oferta de biomassa de *Pinus taeda* L. oriunda das intervenções culturais de poda, desbaste e corte raso. Os povoamentos avaliados possuíam idades de 3 anos (primeira poda), 5 anos (segunda poda), 7 anos (terceira poda), 11 anos (primeiro desbaste), 19 anos (segundo desbaste), 23 e 33 anos (cortes rasos). Para cada idade foram quantificadas acícula, galho, copa e casca de 10 árvores, considerando a sua oferta em quilogramas por árvore ($\text{kg}\cdot\text{árv.}^{-1}$) e toneladas por hectare ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$). Após a intervenção de corte raso, aos 23 anos houve a maior disponibilidade de biomassa total ($372,6 \text{ kg}\cdot\text{árv.}^{-1}$) e de biomassa por unidade de área ($144,4 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$), tendo o galho como componente majoritário, seguido da acícula, casca e copa. Observou-se alta correlação entre os componentes da biomassa e as variáveis dendrométricas altura total e diâmetro à altura do peito (DAP). Os modelos matemáticos foram significativos, com coeficiente de determinação ajustados ($R^2_{\text{aj.}}$) superiores a 83% e baixos coeficientes de variação (CV), considerados satisfatórios para aplicação em análises rápidas e com economia de recursos. Torna-se possível inferir sobre a oferta de biomassa no campo, para florestas em diferentes idades e sistemas de manejo, tendo como base as medições dendrométricas.

Palavras-chave: bioenergia, modelos matemáticos, resíduos florestais.

Abstract: The aim of the work was to quantify and adjust mathematical models that offer better estimate the biomass of *Pinus taeda* L. originating cultural interventions pruning, thinning and clear cutting. The ages of populations were 3 years (first pruning), 5 years (second pruning), 7 years (third pruning), 11 years (first thinning), 19 years (second thinning), 23 and 33 years (clear cutting). For each age were quantified acicula, twig, canopy and bark of 10 trees, considering their offer in kilograms for tree ($\text{kg}\cdot\text{tree}^{-1}$) and tons for hectare ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$). After the intervention of cuts evenness, to the 23 years had biggest availability of total biomass ($372,6 \text{ ton}\cdot\text{tree}^{-1}$) and of biomass for unit of area ($144,4 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$), having the twig as component majority, followed of acicula, bark and canopy. There was a high correlation between the biomass components and variables dendrometric total height and diameter at breast height (DBH). Mathematical models were significant, with a coefficient of determination adjusted ($R^2_{\text{aj.}}$) above 83% and low coefficients of variation (CV), satisfactory for use in fast analysis and resource-saving. This makes it possible to infer the biomass supply in the field, to forests of different ages and management systems based on dendrometric measurements.

Keywords: bioenergy, mathematical models, forest residues.



1. INTRODUÇÃO

Em 2013 as florestas plantadas no Brasil atingiram 7,6 milhões de hectares, o que representa um crescimento de 2,8% na comparação com os 7,39 milhões de hectares registrados em 2012. Na região Sul do Brasil, a área plantada com eucalipto e pinus são de 1.991.276 hectares, correspondendo a 26,2% da área total, plantada no país. Desse total, destaque é dado aos plantios de *Pinus* sp., dos quais 48,45% são plantados no estado do Paraná e 39,54% em Santa Catarina, apresentando as duas maiores áreas de plantio do Brasil, destinadas à produção de celulose, papel, madeira serrada, chapas, madeira reconstituída e biomassa para energia (IBÁ, 2014).

Em 2013, o consumo brasileiro de madeira *in natura* proveniente de plantios florestais foi de 185,3 milhões de m³ (IBÁ, 2014), dos quais se estimou a geração de 12,7 milhões de toneladas de biomassa residual (3,3 e 9,4 milhões de toneladas para pinus e eucalipto, respectivamente), passíveis de uso para geração de energia. Tal material teria um potencial energético equivalente ao de 2,6 milhões de toneladas de óleo ou 19 milhões de barris (ORTOLAN et al., 2011).

Conforme Soares et al. (2003), a tendência atual é que as florestas plantadas passem a ser utilizadas segundo o conceito de multiprodutos, sendo a opção que apresenta maior possibilidade de remuneração a geração de energia a partir de subprodutos florestais.

Para que esse crescimento continue e melhore o uso da biomassa no Brasil e no mundo, é preciso que, além do avanço tecnológico e dos baixos custos que seu uso representa, sejam desenvolvidos modelos de gestão que garantam a sustentabilidade técnica, econômica e ambiental dessa fonte energética (CORTEZ et al., 2008).

Mas, se atualmente a biomassa é uma alternativa energética de vanguarda, historicamente, tem sido pouco expressiva na matriz energética mundial. Ao contrário do que ocorre com outras fontes, como carvão, energia hidráulica ou petróleo, não tem sido contabilizada com precisão. A energia proveniente da biomassa representa cerca de 13% do consumo mundial de energia primária (IEA, 2008).

Além disso, ainda não se tem dados confiáveis e precisos quanto à quantidade de biomassa disponível, o que dificulta o estabelecimento de um mercado estável de negociação da biomassa. Logo, torna-se imprescindível realizar levantamentos referentes à quantidade e qualidade de biomassa disponível nas florestas a partir das intervenções culturais (BRAND, 2007).

E para ter um aproveitamento econômico deste material, faz-se necessário a quantificação do mesmo através de sucessivos inventários de biomassa (BRAND, 2000; SANQUETTA, 2002).

O processo de quantificação da biomassa florestal pode ser realizado por dois métodos principais, o método direto e indireto. De acordo com Vieira et al. (2008), os métodos diretos, ou destrutivos, realizam determinações diretas de biomassa e os métodos indiretos envolvem estimativas da biomassa a partir de relações alométricas.

As equações alométricas são desenvolvidas a partir de estudos diretos realizados no campo, com estimativa de variáveis de difícil mensuração, como biomassa ou carbono, pela mensuração de variáveis comumente obtidas, como altura, diâmetro e densidade básica (CHAVE et al., 2006; SCHIKOWSKI et al., 2013). Podem ser específicos para um determinado local, quando elaborado para um ecossistema particular, ou gerais, que podem ser utilizados para estimar a biomassa em diferentes locais (VIEIRA et al., 2008).

Pelo método direto ainda é possível avaliar a árvore como um todo ou através da separação dos seus diferentes componentes (fuste, galhos e folhas) (SANQUETTA, 2002).



Para a determinação da biomassa no fuste é possível utilizar técnicas gravimétricas e volumétricas. A técnica gravimétrica consiste em pesar secções do fuste da árvore no campo e coletar amostras deste fuste para posterior determinação do seu teor de umidade (TU) em laboratório. Por sua vez, a técnica volumétrica consiste em determinar o volume rigoroso da árvore, através de um método de cubagem e relacioná-lo com a densidade básica média da árvore, obtida pela coleta de discos de madeira. Como resultado tem-se o peso de biomassa da árvore (SANQUETTA, 2002).

Deste modo os objetivos do trabalho foram quantificar a biomassa florestal aérea das árvores disponível após as intervenções de poda, desbaste e corte raso, obtendo uma estimativa da oferta de biomassa dos povoamentos e elaborar modelos matemáticos que estimem a oferta de biomassa com base nas variáveis dendrométricas de altura e diâmetro à altura do peito (DAP), para os povoamentos estudados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área de estudo

O presente trabalho foi realizado em povoamentos florestais de *Pinus taeda*, localizados nos municípios de Mandirituba e Rio Negro, na região metropolitana de Curitiba, no Paraná, em Rio Negrinho, no Planalto Norte de Santa Catarina e em Bocaina do Sul e Lages, no Planalto Serrano do estado.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Química da Madeira, da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC/CAV) e Laboratório de Análises de Combustíveis Automotivos (LACAUT), da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Na Tabela 1 é feita uma breve descrição dos dados do inventário florestal anual realizado em 2011, para os povoamentos utilizados no estudo.

Tabela 1. Dados do inventário florestal dos povoamentos de *Pinus taeda* utilizados no estudo

Idade	Intervenção Cultural	Número de árvores (árv.ha ⁻¹)	Espaçamento (linha x entrelinha - m)	Intensidade da intervenção (%)	DAP (cm)	Altura Total (m)	Altura Comercial (m)
3	Primeira poda	2000	2,0 x 2,5	100	10,92	6,6	Não medida
5	Segunda poda	2000	2,0 x 2,5	100	14,50	9,2	Não medida
7	Terceira poda	2000	2,0 x 2,5	55	16,47	12,1	Não medida
11	Primeiro desbaste	1358	2,0 x 2,5	45	20,85	16,4	10,7
19	Segundo desbaste	741	2,0 x 2,5	50	30,32	24,7	20,0
23	Corte raso	388	2,0 x 2,5	100	35,81	21,7	18,8
33	Corte raso	523	2,0 x 2,5	100	35,00	33,5	29,7

Em que: DAP= diâmetro à altura do peito.

2.2 Descrição do procedimento experimental

Na primeira, segunda e terceira poda os galhos foram retirados até a altura de 1,7 m; 3,3 m e 6,1 m do fuste, respectivamente.

Para a quantificação da biomassa florestal utilizou-se o método direto e o método de árvores individuais, como o apresentado por Sanquetta e Balbinot (2004), com a seleção de 10 árvores por povoamento, selecionadas a partir do DAP, equivalente ao diâmetro da árvore de altura média do povoamento, com seleção aleatória.



Nas podas, foram removidos apenas os galhos e acículas. E para desbaste e corte raso todos os galhos, acículas e copa (parte do fuste com diâmetro inferior a oito centímetros) foram retirados e pesados separadamente.

A estimativa para a massa de casca foi realizada apenas para as árvores sob intervenção de desbaste e corte raso, considerando a relação entre o seu volume (m^3) e sua densidade básica, ou massa específica básica (MEB) média ($kg.m^{-3}$) (SANQUETTA, 2002). A MEB foi determinada segundo a norma NBR 11941, da ABNT (2003).

A determinação do volume de casca foi feita pela diferença entre o volume com casca e o volume sem casca da árvore. Para isso realizou-se a cubagem rigorosa do fuste, feita pelo método de Smalian (MACHADO et al., 2006), considerando a altura comercial (distância da base à ponta do fuste com diâmetro de oito centímetros) para estimativa do volume comercial. Para as cubagens consideraram-se os diâmetros medidos nas alturas da base, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial.

2.3 Análises estatísticas

No estudo utilizou-se um fatorial 7×4 , sendo sete intervenções culturais e quatro componentes de biomassa, com 10 repetições. Os dados de massa dos componentes de biomassa em quilogramas por árvore ($kg.árv.^{-1}$) e toneladas por hectare ($ton.ha^{-1}$) foram submetidos a análise estatística no *software* Statistica, sendo aplicados o teste F e o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Para a produção de biomassa por árvore e por unidade de área, observou-se a variação para cada componente (acícula, galho, copa e casca) entre as idades, identificando em quais idades houve maior oferta de biomassa.

Em seguida, realizou-se a análise de correlação de Pearson (r) entre as variáveis dependentes, peso de biomassa total, peso de acícula, galho, copa e casca para cada árvore com as variáveis independentes, idade, DAP, altura total e altura comercial das árvores, a fim de identificar o grau de interação entre elas e auxiliar na elaboração das regressões.

Através do procedimento *stepwise*, foram elaboradas equações que melhor estimaram o peso da biomassa das árvores, em termos de acícula, galho, copa, casca e peso total através dos fatores DAP e altura total. A seleção dos modelos se baseou no coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) mais elevado, teste F significativo para a equação e coeficientes e no menor coeficiente de variação (CV).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados obtidos, foi realizada análise de variância (ANOVA), descrita na Tabela 2, para verificação do efeito das intervenções culturais (I), componentes da biomassa (C) e da interação entre eles (I x C) sobre o peso de biomassa disponível, em quilogramas por árvore ($kg.árv.^{-1}$) e toneladas por hectare ($ton.ha^{-1}$).



Tabela 2. Análise de variância para os componentes de biomassa de *Pinus taeda* disponível após as intervenções culturais

Fonte de Variação	Quadrados Médios	
	Biomassa (kg.árv. ⁻¹)	Biomassa (ton.ha ⁻¹)
Idade (I)	39003,9*	5308,7*
Componente da biomassa (C)	98791,0*	23612,2*
I x C	45134,8*	8131,9*
Resíduo	546	135,3
CV (%)	23,8	29,6

Em que: CV= coeficiente de variação; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F.

Todos os parâmetros analisados apresentaram diferença significativa, uma vez que cada intervenção cultural foi realizada em idades e intensidades distintas.

A seguir, na Tabela 3 é apresentado o teste de média de Tukey para a disponibilidade de biomassa relacionada aos componentes: acícula, galho, copa e casca, em quilogramas por árvore (kg.árv.⁻¹) e toneladas por hectare (ton.ha⁻¹), nas diferentes idades de intervenção cultural.

Tabela 3. Oferta de biomassa dos componentes de *Pinus taeda* em diferentes idades

Componente	Peso de biomassa (kg.árv. ⁻¹)							
	Idade							
	3	5	7	11	19	23	33	Total
Acícula	2,5Ac	0,6Ac	2,5Ac	18,6Abc	29,7Babc	66,5Ba	38,5Bab	158,9BC
Galho	5,9Ad	4,4Ad	11,0Acd	43,8Ac	128,0Ab	258,4Aa	154,4Ab	605,9A
Copa	-	-	-	15,8Aa	13,8Ba	6,6Ca	10,7Ca	46,9C
Casca	-	-	-	11,0Aa	34,2Ba	41,1BCa	40,2Ba	126,5B
Total	8,4d	5,0d	13,5cd	89,2cd	205,7bc	372,6a	243,8ab	

Componente	Peso de biomassa (ton.ha ⁻¹)							
	Idade							
	3	5	7	11	19	23	33	Total
Acícula	5,0Abc	1,2Ac	3,3Ac	11,2ABabc	11,0Babc	25,8Ba	20,1Bab	77,6B
Galho	11,8Ad	8,9Ad	15,2Ad	26,2Ad	47,4Ac	100,2Aa	80,8Ab	290,5a
Copa	-	-	-	9,5Aa	5,1Ba	2,6Ca	5,6Ca	22,8B
Casca	-	-	-	6,6Ba	12,8Ba	15,9BCa	21,0Ba	56,3B
Total	16,8cd	10,1d	18,5cd	53,5bc	76,3b	144,5a	127,5a	

Em que: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Para as intervenções de poda não houve diferença estatística entre acículas e galhos na mesma idade e entre as idades, uma vez que, a diferença entre eles foi considerada ínfima quando comparada com a biomassa coletada nas demais intervenções.

Entre as intervenções realizadas, o corte raso aos 23 anos foi o que mais disponibilizou biomassa, tendo o galho como componente majoritário, seguido da acícula e casca, que não diferiram entre si e a copa.



O menor número de árvores por hectare aos 23 anos permitiu maior espaçamento entre as árvores e reduziu a competição entre elas, resultando em maior crescimento lateral e maior proporção de galhos. Além disso, o menor número de árvores remanescentes para o corte raso aos 23 anos e o que futuramente será realizado aos 19 anos, fornece maior incremento em espessura ao fuste das árvores, fornecendo madeira para fins de maior valor agregado.

A proporção de copa na árvore não diferiu entre as idades, porém espera-se que quanto mais velha a árvore, menor seja a proporção de copa. No desenvolvimento inicial das árvores, grande parte dos carboidratos acumula-se na copa. Com o crescimento e aumento de competição, a produção relativa do tronco aumenta e da copa diminui (WATZLAWICK e CALDEIRA, 2004).

A espessura de casca é maior conforme o aumento em diâmetro do tronco e em árvores de maior idade, no entanto, sua proporção tende a reduzir gradualmente em relação à biomassa presente no fuste, conforme há o aumento de volume do fuste.

O acúmulo de biomassa entre as diferentes idades analisadas apresentou comportamento semelhante ao apresentado por Schikowski et al. (2013), analisando povoamentos do mesmo gênero.

Em relação à oferta por unidade de área a intervenção de corte raso, aos 23 anos teve a maior disponibilidade de biomassa e não diferiu estatisticamente do corte raso aos 33 anos, sendo o galho o componente majoritário, seguido das acículas, casca e copa.

Para as intervenções de poda, assim como o observado para a oferta de biomassa por árvore, não houve diferença estatística entre acículas e galhos na mesma idade e entre as idades. Apesar da terceira poda ser realizada em menos árvores do que na primeira e segunda, a diferença entre elas foi considerada ínfima quando comparada com a biomassa coletada nas demais intervenções.

De acordo com Leite et al. (1997), a biomassa total por unidade de área aumenta com o aumento da densidade populacional (limitada pela capacidade máxima de produção do sítio e com tendência decrescente com a idade do povoamento), ao passo que a produção de biomassa total por indivíduo diminui, mas, com elevação da alocação de fotoassimilados no tronco.

Tal fato é evidenciado no estudo, uma vez que para os cortes rasos, aos 23 anos foram derrubadas 388 árv.ha^{-1} , enquanto que aos 33 foram 523 árv.ha^{-1} . Apesar de haver mais árvores por hectare aos 33 anos, a maior disponibilidade de biomassa por árvore aos 23 anos permitiu que os dois povoamentos se assemelhassem em termos de toneladas disponíveis por hectare.

Os dados do trabalho assemelharam-se ao encontrado por Brand et al. (2009), ao quantificarem a biomassa florestal em povoamentos de *Pinus taeda*, no município de Bocaina do Sul, Santa Catarina. Os autores encontraram valores de 10, 27 e 8 ton.ha^{-1} de acículas, galhos e copa para povoamentos com 12 anos; 19, 38 e 7 ton.ha^{-1} aos 16 anos, sob o segundo desbaste e 27, 63 e 4 ton.ha^{-1} aos 24 anos, sob corte raso, para os mesmos materiais, respectivamente.

Os valores encontrados também coincidem ao apresentado por Witschoreck (2008), com valores de 9,7 ton.ha^{-1} para acículas e 23,6 ton.ha^{-1} de galhos, para povoamento sobre o primeiro desbaste aos 10 anos. O mesmo não correu para as intervenções de corte raso em povoamentos de 25 e 29 anos, para os quais encontrou quantidades de 7,8 ton.ha^{-1} de acículas e 28 ton.ha^{-1} de galhos para o primeiro e 7,6 ton.ha^{-1} de acículas e 26,8 ton.ha^{-1} de galhos, para o segundo, sendo estes valores muito inferiores aos encontrados no presente estudo.

Realizar o corte raso das florestas aos 23 anos torna-se vantajoso, comparado aos 33 anos, pois permite um retorno econômico em um menor período de tempo, no entanto deve-se levar em conta a maior densidade observada em árvores de maior idade.

Na Tabela 4 foi analisada a correlação entre a quantidade de biomassa disponível entre os diferentes componentes por árvore e os fatores idade, altura e DAP, por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r).

Tabela 4. Coeficiente de correlação linear de Pearson

Peso de biomassa (kg/árv)	Coeficiente de correlação de Pearson (r)			
	Idade (anos)	DAP (cm)	Altura total (m)	Altura comercial (m)
Acícula	0,73*	0,86*	0,66*	0,72*
Galho	0,74*	0,87*	0,66*	0,73*
Copa	0,52*	0,53*	0,57*	0,61*
Casca	0,91*	0,94*	0,88*	0,92*
Total	0,79*	0,91*	0,73*	0,79*

Em que: DAP= diâmetro à altura do peito (cm); *Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.

O peso de cada componente, assim como o peso total da biomassa apresentou correlação positiva com as variáveis idade, DAP, altura total e altura comercial das árvores. Entre elas, o DAP foi o que apresentou maior correlação, superior a 0,86, com exceção da copa. Logo, quanto mais velha as árvores e maior o seu diâmetro, maior será o acúmulo de biomassa na árvore, entre os componentes acícula, galho e casca. O incremento na copa tende a aumentar, mas em menor intensidade, conforme indicado por Watzlawick e Caldeira (2004).

A copa apresentou maior correlação com a altura comercial, seguido da altura total da árvore. O comprimento da copa está relacionado ao diâmetro mínimo de corte para a produção das toras, variável, conforme definição do setor comercial da empresa.

A casca apresentou correlação direta com o DAP, seguido pela altura comercial, mostrando relação direta com qualquer uma das variáveis associadas ao crescimento da árvore.

Com a correlação existente entre as variáveis, foi feita a análise de regressão dos dados e a elaboração de equações que melhor estimaram o peso de biomassa disponível, em função da medição das variáveis dendrométricas DAP e altura total das árvores, facilmente mensuradas a campo (Tabela 5).

Tabela 5. Modelos de regressão para estimar a oferta dos componentes de biomassa de *Pinus taeda*

Componente	Equação	R ² _{aj.}	F	CV (%)
Acícula	$P = -8,92469 - 0,90281 * DAP + 0,07502 * DAP^2 + 1,69398 * H - 0,06201 * H^2$	83,3	324,9*	11,0
Galho	$P = -21,45621 - 7,02704 * DAP + 0,366971 * DAP^2 + 9,90757 * H - 0,29164 * H^2$	87,0	432,6*	16,0
Copa	$P = -14,70854 - 0,61709 * DAP + 3,20835 * H - 0,05356 * H^2$	52,3	18,9*	46,5
Casca	$P = 57,18459 - 10,39604 * DAP + 0,54970 * DAP^2 - 0,00760 * DAP^3$	92,7	333,8*	18,5
Biomassa Total	$P = -69,94709 + 7,77544 * DAP + 0,24715 * DAP^2 - 7,70961 * H$	89,6	227,5*	32,8

Em que: DAP= diâmetro à altura do peito (cm); H= altura total (m); P= peso (kg.árv.⁻¹); * Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.



As equações que melhor estimaram o peso da acícula e galho foram equações quadráticas e para o peso de casca foi utilizada uma equação de terceira ordem. As equações foram significativas, logo, as variáveis dendrométricas podem ser usadas para explicar a oferta de biomassa entre os componentes da árvore. As equações foram significativas, com R^2_{aj} superiores a 83% e baixos CV (%), com exceção da copa.

O modelo quadrático também foi que melhor representou a oferta de biomassa em estudos realizados por Giongo et al. (2011), em inventário de biomassa de *Pinus elliottii*, aos 23 anos de idade, enfatizando ainda o uso da altura da copa como uma variável dependente para a determinação do peso de galhos e acículas.

A estimativa do peso de copa não foi satisfatória, apresentando R^2_{aju} de 52,3% e CV de 46,5%. O peso total de biomassa também não apresentou estimativa satisfatória, com CV de 32,8%, considerado elevado.

Ao observar as tabelas de quantificação em kg/árv, observou-se que o peso de copa não diferiu entre as intervenções. Para essa variável existem outros fatores que podem ter maior influência, mas que não foram considerados para a elaboração das equações, como altura comercial da árvore, que interfere sobre a quantificação da copa.

A variação para o peso total de biomassa pode estar associado à variação de biomassa entre os componentes e a própria inclusão do peso de copa. Deste modo, o ideal é considerar equações específicas para cada componente.

Na Figura 1 observa-se um comportamento razoável dos resíduos, com maiores variações para copa e casca.

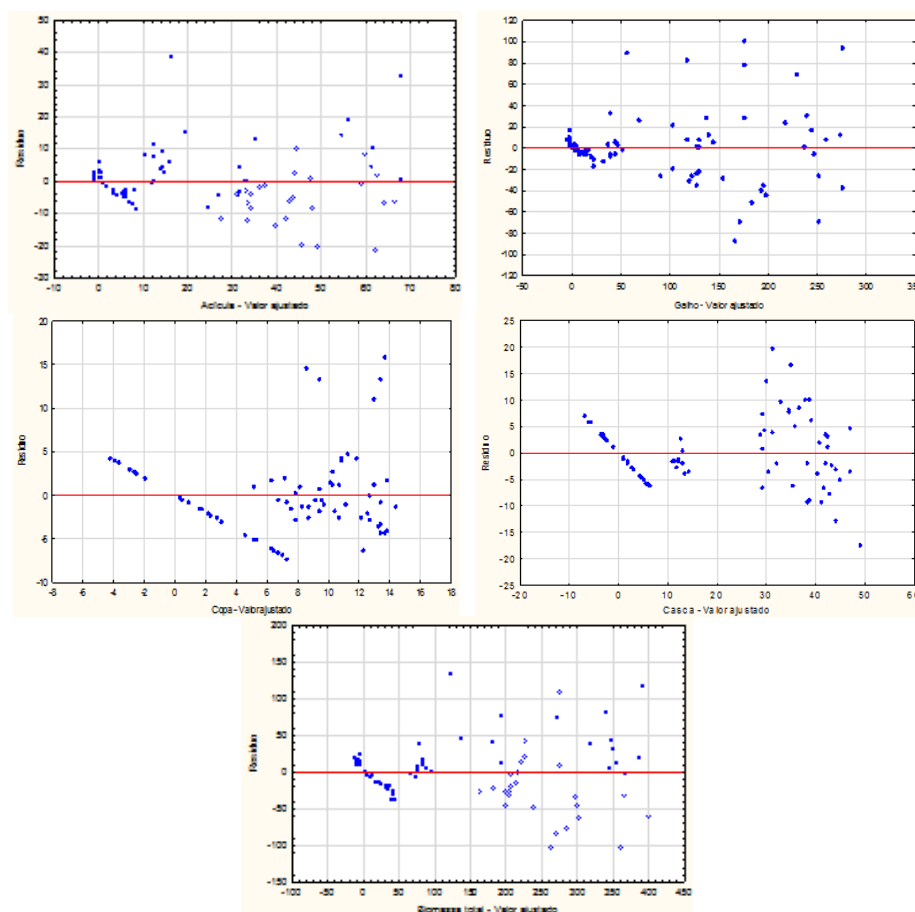
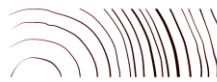


Figura 1. Gráfico dos resíduos das equações obtidas pelo método de *stepwise*



4. CONCLUSÕES

- A oferta de biomassa possui relação direta com a idade.
- Ao longo das idades, quanto maior a produção de galho e casca menor a produção de copa e acículas.
- O corte raso aos 23 anos apresentou a maior oferta de biomassa por unidade de área, sendo o galho o componente principal, seguido da acícula, copa e casca, resultado da idade e do sistema de manejo aplicado.
- As variáveis independentes DAP e altura total apresentaram alta correlação com os componentes da biomassa.
- Recomenda-se estimar o peso de cada componente da biomassa pela medição das variáveis dendrométricas de altura total e DAP das árvores e uso dos modelos matemáticos ajustados ao conjunto de idades dos povoamentos em estudo.

5. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

À MOBASA, por permitir acesso aos seus povoamentos e ao uso de seus materiais.

À UDESC e UFPR pela utilização de suas dependências.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11941**: Madeira - Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

BRAND, M.A. **Rendimento do processo produtivo e energético da matéria-prima de uma indústria de base florestal**. 2000. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

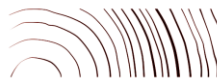
BRAND, M.A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007. 169 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BRAND, M.A.; FURTADO, T.S.; FERREIRA, J.C.; COSTA, L.E.O. da; PESCO, R.D.; NEVES, M.D. Residues production in *Pinus* commercial forests for energy production. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 13., 2009, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: FAO, 2009. 5 p.

CHAVE, J.; LANDAU, H.C.M.; BAKER, T.R.; EASDALE, T.A.; STEEGE, H.T.; WEBB, C.O. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. **Ecological Applications**, Califórnia, v. 16, n. 6, p. 2356-2367, 2006.

CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; AYARZA, J.A.C. Biomassa no Brasil e no mundo. In: CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; GÓMEZ, E.O. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Ed. Unicampi, 2008. p. 15-28.

GIONGO, M.; SILVA, D.B. da; KOEHLER, H.S.; MARCHETTI, M. Inventário de biomassa em um plantio de *Pinus elliottii* Engelm. aos 23 anos de idade. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Tocantins, v. 2, n. 3, p. 81-86, 2011.



INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2013**. Brasília: IBÁ, 2014. 100 p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Key world energy extatistics: Total primary supply in the world, 2007**. 2008.

LEITE, F.P.; BARROS, N.F. de; NOVAIS, R.F. de; SANS, L.M.A.; FABES, A.S. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 313-321, 1997.

MACHADO, S.A.; TÊO, S.J.; URBANO, E.; FIGURA, M.A.; SILVA, L.C.R. da. Comparação de métodos de cubagem absolutos com o volume obtido pelo xilômetro para bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham). **Revista Cerne**, Lavras, v.12, n. 3, p. 239-253, 2006.

ORTOLAN, C.; AZEVEDO, E.W.; ANTIQUEIRA, A.C.; ORTOLAN, F.A.S.; BONISCH, H. **Aproveitamento da biomassa residual de colheita florestal**. 10 p. 2011.

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M.A.B.; GOMES, F.S. **As florestas e o carbono**. Curitiba, PR: FUPEF/UFPR, 2002, p. 119-140.

SANQUETTA, C.R.; BALBINOT, R. Metodologia para determinação de biomassa florestal. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE FIXAÇÃO DE CARBONO, 1., 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR/ Instituto Ecoplan, 2004. p. 77-94.

SCHIKOWSKI, A.B.; CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R. Modelagem do crescimento e de biomassa individual de Pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 269-278, 2013.

SOARES, T.S. ; VALE, A.B. do ; LEITE, H.G. ; MACHADO, C.C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.6, p.811-820, 2003.

VIEIRA, S.A.; ALVES, L.F.; AIDAR, M.; ARAÚJO, L.S.; BAKER, T.; BATISTA, J.L.F.; CAMPOS, M.C. Estimativas de biomassa e estoque de carbono: o caso da Mata Atlântica. **Biota Neotropical**, v. 8, n. 2, 2008.

WATZLAWICK, L.F.; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa de biomassa e carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. **Biomassa e Energia**, Viçosa, v. 1, n. 4, p. 371-380, 2004.

WITSCHORECK, R. **Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* L. de 17 anos de idade no município de Cambará do Sul – RS**. 2008. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Silvicultura, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.