



PROCESSOS DE AMOSTRAGEM PARA ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO EM PLANTIO DE TECA

Hudson Santos Souza¹, Arthur Guilherme Schirmbeck Chaves², Diogo Guido Streck Vendruscolo¹, Raiane Scandiane da Silva³, Alessandro Soares Motta⁴

1. Mestrando em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Cuiabá - MT, Brasil. E-mail: hudson.ssh@hotmail.com
2. Professor Mestre do Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), Campus Cáceres - MT, Brasil
3. Mestranda em Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus Cáceres
4. Engenheiro Florestal

Recebido em: 01/07/2015 – Aprovado em: 31/07/2015 – Publicado em: 21/08/2015

RESUMO

No manejo florestal as atividades de inventário florestal são indispensáveis para o monitoramento do crescimento da produção dos povoamentos florestais. Dessa forma, os procedimentos de amostragem fornecem as estimativas de volume da população com alta precisão e custos relativamente baixos. Com isso, o objetivo do presente trabalho foi comparar três tipos de processos de amostragem: Amostragem Aleatória Simples (AAS), Amostragem Sistemática com Parcelas (ASP) e Amostragem em Dois Estágios (ADE) para a estimativa da produção de um povoamento clonal de *Tectona grandis* L.f. (teca) no município de Cáceres – MT. O povoamento foi implantado em janeiro de 2010, em uma área de 10,6 hectares, sob espaçamento de 4x3 m. Para cada processo de amostragem foram alocadas dez parcelas retangulares de 20x24 m no talhão. Para a avaliação da eficiência entre os diferentes processos, considerou-se a intensidade amostral requerida (n), o erro amostral em porcentagem (E%) e o coeficiente de variação (CV%). Dentre os três processos avaliados, o processo de Amostragem Sistemática com Parcelas (ASP) obteve o menor erro amostral com 4,86% e uma intensidade amostral requerida de 2 parcelas, sendo o recomendado para estimativa de volume em plantios de teca. O povoamento de *Tectona grandis* aos 46 meses apresentou uma produção média de 86,4 m³.ha⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: Inventário florestal, *Tectona grandis* L.f., volume.

SAMPLING PROCEDURES FOR PRODUCTION ESTIMATE IN TEAK PLANTATION

ABSTRACT

In forest management the forest inventory activities are indispensable for monitoring the growth and yield of forest stands. Thus, sampling procedures allow to know the estimates of volume of population with high precision and relatively low costs. Thus, the objective of this study was to compare three types of sampling procedures: Simple Random Sampling (SRS), Systematic Sampling with Plots (SSP) and Sampling on Two Stages (STS) for an estimated production of a clonal population of *Tectona grandis* L.f (teak) in the city of Cáceres - MT. The clonal population was

established in January 2010 in an area of 10.6 hectares, under spacing of 4x3 m. For each sampling process were allocated ten rectangular plots of 20x24 m in the field. For assessing the efficiency between different processes, considered the required sampling intensity (n), the sampling error in percentage (E%) and the coefficient of variation (CV%). Among the three types of evaluated processes, the process of systematic sampling with plots (SSP) had the lowest sampling error with 4.86% and a required sampling intensity of 2 installments, recommended for estimating volume in clonal plantations of teak. The population of *Tectona grandis* at 46 months had an average production of 86.4 m³.ha⁻¹.

KEYWORDS: Forest inventory, *Tectona grandis* L.f., volume.

INTRODUÇÃO

A *Tectona grandis* L.f. (teca) é uma espécie arbórea nativa do continente asiático e cultivada em diversas regiões da África e das Américas do Sul e Central, pertence à família botânica Lamiaceae, é uma árvore de grande porte, caducifólia, copa arredondada, com fuste cilíndrico e folhas com 30 a 60 cm de comprimento (FLÓREZ, 2012; PELISSARI et al., 2014a). Entre as espécies madeireiras potencialmente econômicas do país, está a teca com uma área de floresta plantada de aproximadamente 88.270 ha no Brasil (IBÁ, 2014).

No manejo florestal as atividades de inventário florestal são indispensáveis para o monitoramento do crescimento e produção dos povoamentos florestais (PÉLLICO NETTO & BRENA, 1997). No entanto, a enumeração total ou censo é uma operação de alto custo para os inventários florestais.

Dessa forma os procedimentos de amostragem permitem conhecer as estimativas do volume de populações com alta precisão e custos relativamente baixos, onde as informações do povoamento são obtidas através do inventário florestal, baseado nas técnicas de amostragem (PÉLLICO NETTO & BRENA, 1997; UBIALLI et al., 2009).

Os métodos usados para inventariar populações florestais buscam o menor erro para uma mesma quantidade de trabalho, fixada a precisão desejada para as informações a serem levantadas e que, posteriormente, serão usadas no planejamento da floresta. Assim, torna-se importante investigar, para cada tipo florestal específico, os métodos e processos de amostragem que permita, aumentar a precisão das estimativas e reduzir o custo do inventário o qual é diretamente influenciado pelo tempo de medição, equipe executora e pelo caminhamento entre parcelas (CESARO et al., 1994).

De acordo com SANQUETTA et al. (2009), dentre os processos mais utilizados em inventários florestais estão: amostragem aleatória simples: nesse processo qualquer uma das unidades amostrais possui a mesma probabilidade de ser sorteada; amostragem sistemática com parcelas: onde escolhe-se arbitrariamente um quadro de quatro linhas por quatro colunas, realiza o sorteio de uma parcela dentro deste quadro sendo as próximas unidades amostrais selecionadas esquematicamente estendendo o intervalo em ambas as direções; e a amostragem em dois estágios: no qual a área é dividida em unidades amostrais primárias (N) e unidades amostrais secundárias (M).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi comparar a eficiência de três processos de amostragem para a estimativa da produção de um povoamento clonal de *Tectona grandis* L.f. no município de Cáceres – MT.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização geral da área de estudo

A pesquisa foi realizada na Fazenda Mineira sediada em Cáceres – MT. O município está localizado na região Centro Sul de Mato Grosso, entre as latitudes 15°27' e 17°37' sul e as longitudes 57°00' e 58°48' oeste, a uma altitude de 118 m. O clima, segundo classificação de Köppen, é tropical quente e úmido, com inverno seco (NEVES et al., 2011).

O povoamento clonal de teca totaliza uma área de 10,6 hectares, sob o espaçamento de 4x3 m. Para o preparo de solo foram utilizadas: gradagem pesada, subsolagem e gradagem niveladora. O povoamento foi implantado em janeiro de 2010 e vem recebendo desramas anualmente, obedecendo ao critério de retirada de 30% da copa. As informações coletadas para o referido estudo foram realizadas aos 46 meses de idade do povoamento.

Processos de amostragem

Foram testados três processos de amostragem: Aleatória Simples (AAS), Sistemática com Parcelas (ASP) e em Dois Estágios (ADE), sendo definidas para cada um diferentes formas de alocação no campo. Todas as parcelas foram sorteadas para evitar tendências nas estimativas e as unidades amostrais (parcelas) foram constituídas de mesma área (480 m²), independentemente do processo avaliado, como ilustrado abaixo:

- I. Aleatória Simples: 20 x 24 m;
- II. Sistemática com Parcelas: 20 x 24 m;
- III. Dois Estágios: 1º Estágio 40 x 48 m; 2º Estágio 20 x 24 m.

Para cada processo de amostragem foi adotado um sistema de alocação a campo com auxílio de uma imagem do Google Earth. Na AAS a área do povoamento foi dividida em quadrantes de 20 x 24 m, nas quais foram numeradas e sorteadas 10 números aleatórios para representar as parcelas. No processo de ASP, foi sorteada a primeira parcela com base nos quadrantes da AAS, e através desta as outras foram selecionadas sistematicamente obedecendo ao intervalo k entre elas.

Para o processo de ADE a área foi dividida em parcelas de 40 x 48 m no primeiro estágio e posteriormente essa área foi subdividida em quatro parcelas secundárias de 20 x 24 m. Nesse processo primeiramente foi realizado um sorteio de cinco parcelas do primeiro estágio e dentro de cada uma foram sorteadas duas parcelas secundárias, para representar as unidades amostrais.

O caminhamento entre as parcelas, em cada processo de amostragem, foi no sentido da parcela mais próxima a ser coletada. Para cada processo de amostragem foram lançadas 10 parcelas retangulares de 480 m² sendo que em cada parcela constam de 40 covas.

Coleta de dados

Foram coletados os dados referentes ao diâmetro a 1,3 m de altura (DAP) de todos os indivíduos nos diferentes processos testados. Posteriormente o conjunto de dados dos três processos de amostragem foram separados em classes de DAP com amplitude de 2 cm como recomendado por CAMPOS & LEITE (2013). De acordo com a distribuição diamétrica do povoamento, foram abatidas e cubadas rigorosamente 80 árvores que foram utilizadas para o ajuste de um modelo hipsométrico (para obtenção das alturas das árvores das parcelas) e um modelo volumétrico (para estimativa do volume por árvore). A seguir está apresentada a

frequência de árvores que foram cubadas para o povoamento de teca nas diferentes classes de diâmetros (Tabela 1).

TABELA 1. Frequência de árvores cubadas para o povoamento de *Tectona grandis* nas diferentes classes de diâmetros.

Classe	Intervalo da Classe	Centro da Classe	Árvores Cubadas
1	12 – 14	13	4
2	14 – 16	15	27
3	16 – 18	17	47
4	18 – 20	19	2
Total			80

Na a cubagem rigorosa, os diâmetros ao longo do fuste foram mensurados nas seguintes posições: 0,1 m, 1,3 m e posteriormente a cada 1 m, até o diâmetro mínimo de 5 cm. A obtenção do volume foi realizada pelo método de Smaliam. As estimativas das alturas e dos volumes, foram ajustados pelos seguintes os modelos:

Equação hipsométrica (Parabólico): $Ht = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2$;

Equação volumétrica (Schumacher-Hall): $\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \ln(Ht)$;

onde:

Ht = altura total (m);

β_0 ; β_1 ; β_2 = coeficientes do modelo;

DAP = diâmetro à 1,3 m de altura (cm);

Ln = logaritmo neperiano;

V = volume (m³).

Os modelos foram avaliados de acordo com o coeficiente de determinação (R²), erro padrão das estimativas em porcentagem (S_{yx}%), F calculado e análise gráfica dos resíduos. As estatísticas para avaliação dos processos de amostragens avaliados foram de acordo como proposto por SANQUETTA et al. (2009). Para a avaliação da eficiência entre os diferentes processos, considerou-se a intensidade amostral requerida (n), o erro amostral em porcentagem (E%) e o coeficiente de variação (CV%). O limite de erro para os processos de amostragem estabelecido para este estudo foi de 10%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As duas equações ajustadas, apresentaram coeficientes de regressão e valores de F significativos a 5% de probabilidade. Os ajustes forneceram baixos valores erro padrão residual (S_{yx}%), apresentando-se abaixo de 7%. O coeficiente de determinação (R²) também apresentou-se satisfatório com valores de 0,66 e 0,85, para o modelo hipsométrico e volumétrico respectivamente (Tabela 2).

TABELA 2. Coeficientes e estatísticas da equação hipsométrica e volumétrica empregada para estimativa da altura e volume de *Tectona grandis*.

Equação	Coeficientes			R ²	S _{yx} %	Fc
	β_0	β_1	β_2			
1	29,42345*	-2,54255*	0,09391*	0,66	5,00	74,26*
2	-8,77767*	2,04927*	0,33132*	0,85	6,72	214,24*

*significativo ao nível de 5% de probabilidade.

A eficiência do modelo hipsométrico empregado neste estudo, também foi evidenciada por MANFREDI et al. (2013) e BENIN (2014) para estimativa da altura total de *Genipa americana* e *Eucalyptus benthamii* respectivamente, obtendo estimativas precisas e livre de tendências.

Para o modelo volumétrico, resultados semelhantes também foram encontrados por CHAVES (2013), DRESCHER et al. (2014) e VENDRUSCOLO et al., (2014). Nesses estudos, os autores destacam a eficiência do modelo de Schumacher-Hall em estimativas volumétricas para *Tectona grandis* em várias regiões do estado de Mato Grosso. Dessa forma, a avaliação final dos modelos utilizados, foi por meio dos gráficos de distribuição dos erros (Figura 1).

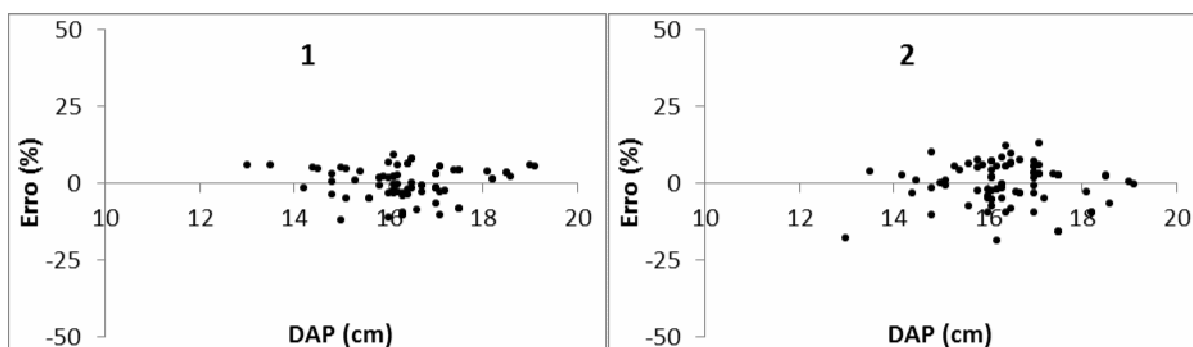


FIGURA 1. Distribuição dos erros do modelo hipsométrico (1) e volumétrico (2).

Pela análise gráfica, foi observado que os erros se distribuíram normalmente tanto para o modelo hipsométrico quanto para o volumétrico, e não apresentaram tendências nas estimativas, indicando que as equações foram precisas nas estimativas.

Foi verificada pouca variação da média entre os três sistemas de amostragem para o volume total por parcela (m^3/par) e por hectare (m^3/ha). Isso também foi observado para os valores mínimos e máximos. Esses resultados inferem que o povoamento clonal apresenta boa homogeneidade (Tabela 3).

TABELA 3. Análise descritiva dos volumes por parcela e por hectare.

Processo de Amostragem	Variável	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
AAS	$m^3/parcela$	3,23	4,06	4,37	0,34
	$m^3/hectare$	67,29	84,53	91,13	7,09
ASP	$m^3/parcela$	3,54	4,15	4,54	0,29
	$m^3/hectare$	73,85	86,41	94,49	6,01
ADE	$m^3/parcela$	3,93	4,25	4,74	0,23
	$m^3/hectare$	81,79	88,49	98,81	4,74

AAS = Amostragem aleatória simples; ASP = Amostragem sistemática com parcelas e ADE = Amostragem em dois estágios.

O volume médio por hectare encontrado da população foi inferior se comparando ao observado por PELISSARI et al. (2014b) em Mato Grosso, para um povoamento de teca aos cinco anos de idade, onde encontraram um volume médio por hectare de $95,7 m^3$.

Os valores dos coeficientes de variação (CV) apresentaram-se baixos, o processo de amostragem em dois estágios (ADE) apresentou o menor valor de CV de 5,24%, seguidos por sistemática com parcelas (ASP) 6,95% e 8,39% para

aleatória simples (ASS). PELISSARI et al. (2014b) encontraram valores de coeficiente de variação de 20,25%, superior quando comparando aos encontrados neste trabalho (Tabela 4).

TABELA 4. Estatísticas obtidas para os três processos de amostragem empregados para estimativa do volume de *Tectona grandis*.

Processo de Amostragem	Intensidade Amostral Requerida	Erro Amostral (%)	CV (%)
ASS	4	5,73	8,39
ASP	2	4,86	6,95
ADE	2	8,28	5,24

Quanto menor for o valor do coeficiente de variação, mais homogêneos serão os dados, ou seja, menor será a dispersão em torno da média. No trabalho realizado por CORTE et al. (2013), avaliando o desempenho de métodos e processos de amostragem para avaliação de diversidade em floresta ombrófila mista, o processo aleatório simples representou melhor o número de espécies em áreas amostradas menores.

Os erros amostrais encontrados para os processos apresentaram-se abaixo do limite de erro estabelecido para o trabalho (menor que 10%). O menor erro amostral obtido foi de 4,86% na amostragem sistemática com parcelas (ASP), 5,73% para aleatória simples (ASS) e 8,28 para amostragem em dois estágios (ADE). A intensidade amostral requerida para um limite de erro de 10% foi de duas parcelas (0,9%) para amostragem em dois estágios (ADE), 2 (0,9 %) para sistemática com parcelas (ASP) e 4 (1,8%) para aleatórias simples (ASS).

Resultados semelhantes foram observados por FARIAS et al. (2011), concluindo que o método sistemático com processo de amostragem em estágio único foi o mais preciso na estimativa da área basal média da população florestal no município de Santa Carmem, norte do estado de Mato Grosso, por ter apresentado menor coeficiente de variação (11,4%). MELLO et al. (2009) também verificaram que a alocação sistemática de parcelas, possibilitou uma boa representatividade da população *Eucalyptus grandis*.

O menor resultado de erro (E%) encontrado por FICK (2011) em um inventário florestal em sistemas silvipastoris foi na amostragem sistemática, devido à melhor representação da população ao adotar tal processo. Isso é explicado pelo fato das unidades amostrais mensuradas serem uniformemente distribuídas sobre a área total a ser avaliada.

Desse modo, observou-se que, a amostragem sistemática com parcelas apresentou o menor erro e intensidade amostral, o que atende à premissa de que toda amostra deve ter uma forma de alocação que permita boa representatividade da população e seja pequena o suficiente para permitir rapidez na coleta dos dados (SOARES et al., 2011).

Em segunda e terceira posição apresentaram-se os processos aleatórios simples e em dois estágios, respectivamente. Dessa forma por meio da amostragem sistemática com parcelas, foi feita a estimativa da produção volumétrica do povoamento avaliado (Tabela 5).

TABELA 5. Estimativas de produção total de um povoamento de *Tectona grandis* aos 46 meses, pelo processo de amostragem sistemática com parcelas.

Descrição	Média	Intervalo de Confiança
Volume (m ³ .parcela ⁻¹)	4,15	3,95 - 4,35
Volume (m ³ .ha ⁻¹)	86,46	82,26 - 90,66
Volume total do talhão (m ³)	915,91	871,39 - 960,43

O intervalo de confiança (IC) para a média por parcela foi de 3,95 à 4,35 m³. O volume total da população estimado pelo processo sistemática com parcelas foi de 915,91 m³, estando em um intervalo de confiança entre 871,39 m³ e 960,43 m³.

CONCLUSÃO

Dentre os três tipos de processos avaliados, o processo de amostragem sistemático com parcelas obteve o menor erro amostral com 4,86% e uma intensidade amostral requerida de duas parcelas, sendo o recomendado para estimativa de volume em plantios clonais de *Tectona grandis* L.f.. O povoamento de teca aos 46 meses apresentou uma produção média de 86,46 m³.ha⁻¹.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida ao primeiro autor, ao IFMT *Campus Cáceres*, ao Sr. Fernando Gouveia pela disponibilização da área da pesquisa e ao Sr. Ademar pelo acompanhamento das coletas de dados na fazenda.

REFERÊNCIAS

- BENIN, C. C. **Efeito do espaçamento na produção, variáveis dendrométricas e propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii***. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati-PR.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: Perguntas e respostas**. 4 ed. rev. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2013. 605 p.
- CESARO de A.; ENGEL, O. A.; FINGER, C. A. G. Comparação dos métodos de amostragem de área fixa, relascopia, e de seis árvores, quanto a eficiência, no inventário florestal de um povoamento de *Pinus sp.* **Ciência Florestal**, v.4, n.1, p. 97-108, 1994.
- CHAVES, A. G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de *Tectona grandis* L.f. até a idade de rotação**. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT.
- CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; FILHO, A. F.; PEREIRA, T. K.; BEHLING, A. Desempenho de métodos e processos de amostragem para avaliação de diversidade em floresta ombrófila mista. **Revista Floresta**. v. 43, n. 4, p. 579 - 582, 2013.
- DRESCHER, R.; GAVA, F. H.; PELISSARI, A. L.; ACOSTA, F. C.; SILVA, V. S. M. Equações volumétricas para *Tectona grandis* Linn F. em povoamentos jovens no estado de Mato Grosso. **Advances in Forestry Science**, v. 1, n. 2, p. 65-70, 2014.

IBÁ - **Indústria Brasileira de Árvores**. Ano base 2013, Brasília: 2014. 100 p. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em: 01 julho 2015.

FARIAS, C.; SILVA, V. S. de M. e; COLPINI, C.; JÚNIOR, F. C.; SOARES, T. S. Comparação entre processos de amostragem para análise da Área basal em florestas tropicais. XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. **Anais**. 2011.

FICK, T. A., Amostragem para inventário florestal em sistemas silvipastoris. **Revista Árvore**, v.35, n.5, p.1033-1038, 2011.

FLÓREZ, J. B. **Caracterização tecnológica da madeira jovem de Teca (*Tectona grandis* L. f.)**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

MANFREDI C.; ALVES, T. F.; BARRETO, P. A. B. Modelos hipsométricos para *Genipa americana* L. em plantio homogêneo no município de Vitória da Conquista, Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, N.16; p. 1495-1502. 2013.

MELLO, J. M.; DINIZ, F. S.; OLIVEIRA, A. D. de; MELLO C. R. de; SCOLFORO, J. R. S.; JUNIOR, F. W. A.; Continuidade espacial para características dendrométricas (número de fustes e volume) em plantios de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.33, n.1, p.185-194, 2009.

NEVES, A. M. A. da S.; NUNES, M. C. M.; NEVES, R. J. Caracterização das condições climáticas de Cáceres/MT Brasil, no período de 1971 a 2009: subsídio às atividades agropecuárias e turísticas municipais. **Boletim Goiano de Geografia**. v. 31, n. 2, p. 55-68. 2011.

PELLISSARI, A. L. FIGUEIREDO FILHO, A.; CALDEIRA, S. C.; MACHADO, S. do A. Geoestatística aplicada ao manejo de povoamentos florestais de teca, em períodos pré-desbaste seletivo, no estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Biometria**. v.32, n.3, p.430-444, 2014b.

PELLISSARI, A. L.; GUIMARÃES, P. P.; BEHLING, A.; EBLING A. A. Cultivo da Teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. **Agrarian Academy**. v.1, n.01; p.127. 2014a.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. v.1, Curitiba, PR. 1997. 316 p.

SANQUETTA, C. R.; WATZALAWICK, L. F.; CÔRTE, A. P. D.; FERNANDES, L. de A. V.; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventário Florestais: Planejamento e Execução**, 2. ed. Curitiba, PR. 2009. 316 p.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. de P.; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e Inventário Florestal**. 2.ed. Ed. UFV. Viçosa, MG. 2011. 272p.

UBIALLI, J. A.; FILHO. A. F.; MACHADO, S. do A.; ARCE, J. E. Comparação de métodos e processos de amostragem para estimar a área basal para grupos de espécies em uma floresta ecotonal da região norte matogrossense. **Acta Amazonica**, v.39, n.2, p. 305-314, 2009.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; SILVA, R. S. da; SOUZA, H. S. CHAVES, A. G. S.; MOTTA, A. S da. Modelos volumétricos para teca em diferentes espaçamentos em Cáceres, Mato Grosso. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.19, p. 1333-1341, 2014.