



Contribuições para a harmonização de estimativas de atributos florestais por área de inventários florestais de larga escala

Alexander Christian Vibrans¹, Laio Zimmermann Oliveira¹, Débora Vanessa Lingner¹, André Luís de Gasper²

¹Universidade Regional de Blumenau, Departamento de Engenharia Florestal, Rua São Paulo, 3250, CEP 89030-000, Blumenau, SC, Brasil

²Universidade Regional de Blumenau, Departamento de Ciências Naturais, Rua Antônio da Veiga, 140, CEP 89030-903, Blumenau, SC, Brasil

*Autor correspondente:
acv@furb.br

Termos para indexação:

Inventário florestal nacional
Amostragem em cluster
Atributos florestais

Index terms:

National forest inventory
Cluster sampling
Forest attributes

Histórico do artigo:

Recebido em 26/06/2021
Aprovado em 04/03/2022
Publicado em 20/06/2022

Resumo - Em inventários florestais de larga escala, regionais ou nacionais, dados de campo são coletados em unidades amostrais (UAs) de área fixa, alocadas sistemática ou aleatoriamente, sendo elas total ou parcialmente cobertas por florestas. Nesta nota científica, são abordadas diferenças entre a predição de um atributo florestal por unidade de área que leva em consideração outros usos da terra além de floresta, e quando se considera apenas a área efetivamente florestada. A primeira é uma predição mais realista para um ponto amostral, enquanto a segunda é comparável a estudos clássicos de fitossociologia.

Contributions to the harmonization of forest attribute estimates per unit area of large-scale forest inventories

Abstract - Large-scale regional or national forest inventories collect field data on sample plots systematically- or randomly-distributed, fully or partially covered by forests. This scientific note addresses differences between a prediction of a forest attribute per unit area that also considers land uses other than forest, and a prediction based only on the forested area of a sample plot. The former approach yields a more realistic prediction for the sample point, whereas the latter yields a prediction that is comparable to classical phytosociological studies.



Introdução

O Inventário Florestal Nacional Brasileiro (IFN-BR) (Freitas et al., 2010), ao qual o Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC) está integrado, projetou a unidade amostral (UA) em forma de conglomerado, visando representar satisfatoriamente a vegetação e o uso da terra em um dado ponto da grade amostral sistemática (Figura 1). Para isso, cada uma das quatro subunidades de 1.000 m² (20 × 50 m) é composta por 10 subparcelas de 100 m² (10 × 10 m), totalizando 40

subparcelas por UA; para levantamentos na Amazônia, por sua vez, as subunidades cobrem área de 20 × 100 m (Vibrans et al., 2017, 2020; Serviço Florestal Brasileiro, 2020). As subparcelas de 100 m² possibilitam uma quantificação mais acurada, de eventuais usos da terra, em um determinado ponto amostral da grade sistemática empregada pelo IFN-BR (Serviço Florestal Brasileiro, 2020). Não obstante, é necessário classificar cada uma das subparcelas de 100 m² em relação à sua aptidão em ser considerada na predição de um atributo florestal por unidade de área, nesse caso, hectare (10.000 m²).

A área total de uma UA do IFN-BR e do IFFSC é de 4.000 m². Contudo, essa é a área potencial para a coleta de dados referentes à estrutura florestal, pois nem sempre todas as subparcelas de 100 m² que compõem uma UA devem ser incluídas na predição de um atributo florestal por hectare. Para fins de harmonização de obtenção e processamento dos dados de campo e da utilização coerente das informações geradas, é necessário esclarecer o conceito de medidas válidas e inválidas, introduzido por T.G. Gregoire (Yale University, EUA, comunicação pessoal). Conceitualmente, medidas válidas são consideradas na predição de um atributo florestal por hectare, enquanto medidas inválidas não são. As definições de uma medida válida e inválida em diferentes situações encontradas em campo pelas equipes do IFFSC constam na Tabela 1.

Além disso, faz-se necessário esclarecer a diferença entre a (i) predição de um atributo florestal por hectare que visa representar o "ponto amostral", seja ele coberto inteiramente por floresta ou não, e a (ii) predição de um atributo florestal baseada na "área efetivamente florestada" de uma UA. Essa questão surgiu a partir de solicitações de uso de dados do IFFSC para compor bancos de dados mais amplos, compostos por compilações de estudos fitossociológicos. O primeiro método retorna uma predição de um atributo florestal que representa o ponto amostral, i.e., considerando a heterogeneidade da floresta, como clareiras naturais, afloramentos rochosos, assim como outros usos eventuais da terra dentro do perímetro da UA. O segundo método, por sua vez, retorna uma predição de um atributo florestal para um hectare efetivamente florestado. Logo, as duas formas de computar predições podem fornecer resultados com diferenças substanciais, quando houver grande diferença entre o número de subparcelas de 100 m² válidas com floresta e o número de subparcelas de 100 m² válidas com outros usos da terra em uma UA.

A rigor, predições de atributos florestais por unidade de área (e.g., densidade ha⁻¹ e área basal ha⁻¹) que visam representar o ponto amostral não são comparáveis a predições de estudos clássicos de fitossociologia. Nesses levantamentos, a área levantada costuma ser inteiramente coberta por floresta, ou outro tipo de vegetação natural (e.g. campos naturais), a depender do objeto de estudo, uma vez que o fragmento florestal é geralmente escolhido arbitrariamente. Nesses estudos, não são levados em consideração eventuais impedimentos ou outros usos da terra, pois não fazem parte dos seus objetivos iniciais

(Moro & Martins, 2011). Para ser comparável a estudos clássicos de fitossociologia, a predição de um atributo florestal por unidade de área a partir de uma UA do IFFSC (ou de qualquer outro estado inserido no IFN-BR), deve se basear exclusivamente na área efetivamente florestada da respectiva UA.

Diante disso, com o intuito de contribuir para a harmonização do processamento de dados e da geração de resultados do IFN-BR e de outros inventários de larga escala, o objetivo desta nota científica é apresentar em detalhes as metodologias de predição de um atributo florestal por área para um ponto amostral e para a área efetivamente florestada atualmente empregadas pelo IFFSC.

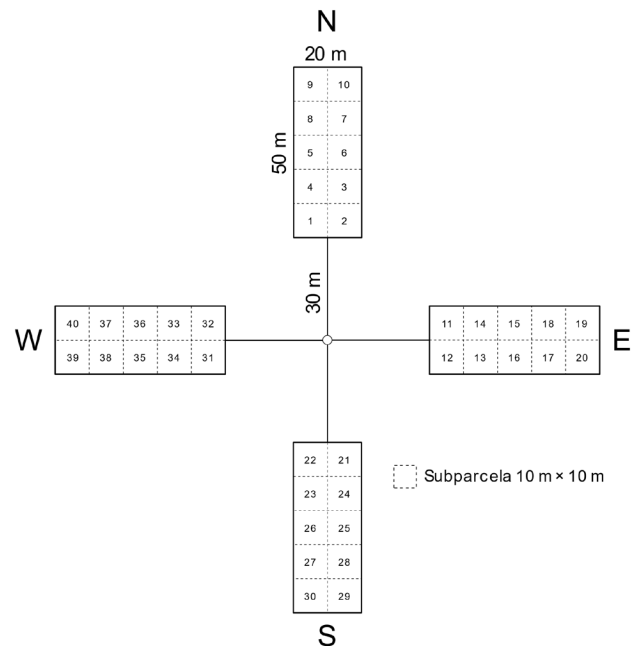


Figura 1. Unidade amostral em forma de conglomerado utilizada pelo Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina.

Figure 1. Cluster sample plot employed by the Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina.

Predição para o ponto amostral

A predição de um atributo florestal por unidade de área baseada no conceito de medidas válidas e inválidas visa representar o ponto amostral a partir da UA em forma de conglomerado. Os dois tipos de medida definidos são:

- Medida válida: (i) Toda subparcela de 100 m² cujo acesso foi possível — independente da classe de uso da terra ou distúrbio antrópico/natural.

(ii) Toda subparcela de 100 m² cujo acesso não foi possível, mas que certamente não continha floresta, é uma medida válida e, portanto, é considerada na predição para o ponto amostral.

- Medida inválida: Toda subparcela de 100 m² inacessível por impedimentos naturais (e.g., penhasco ou corpos d'água) ou por restrição do proprietário da área, mas que continha floresta. Essa não deve ser considerada na predição para o ponto amostral.

Considera-se dada subparcela de 100 m² uma medida válida ou inválida se mais da metade de sua área atende aos requisitos acima mencionados, mediante avaliação visual, não sendo consideradas áreas fragmentadas de subparcelas no cômputo das predições. A Tabela 1 traz situações de campo e a respectiva classificação de uma subparcela em relação à sua aptidão em ser considerada nas predições de atributos florestais por área.

Tabela 1. Classificação de medidas válidas e inválidas em diferentes situações de campo.

Table 1. Classification of valid and invalid measurements for different field situations.

Uso da terra	Acessibilidade	Classificação da subparcela
Floresta*	Acessível	Válida
Corte raso	Acessível ou não, devido a impedimentos	Válida
Agricultura	Acessível ou não, devido a impedimentos	Válida
Pastagem	Acessível ou não, devido a impedimentos	Válida
Afloramento rochoso	Acessível ou não, devido a impedimentos	Válida
Corpo d'água	Acessível ou não, devido a impedimentos	Válida
Floresta	Inacessível, devido a impedimentos	Inválida

*Inclui áreas em regeneração e clareiras com uso do solo predominantemente florestal.

Na predição de um atributo florestal por hectare, cada subparcela de 100 m² é considerada uma medida (ou observação). A área de uma UA empregada na predição para hectare é de 4.000 m² quando as 40 subparcelas são classificadas como medidas válidas (Figura 2A). Entretanto, quando medidas inválidas são observadas, a

área da UA empregada na predição para hectare é menor que 4.000 m² (Figura 2B).

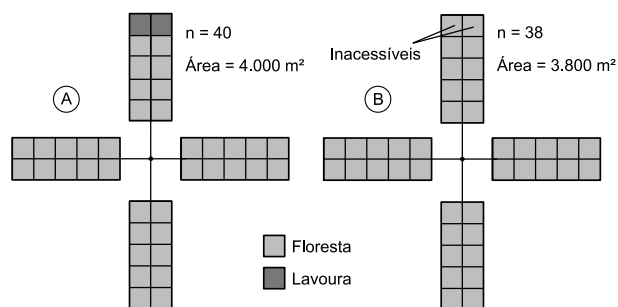


Figura 2. Representação de diferentes situações de campo e respectivas classificações das subparcelas de 100 m², com base no conceito de (A) medidas válidas e (B) inválidas para geração de predições para o ponto amostral.

Figure 2. Representation of different field situations and the respective classification of subplots (100 m²) using the concept of (A) valid and (B) invalid measurements for computing predictions for the sample point.

Assim, o valor do atributo florestal 'y' por hectare para um ponto amostral, obtido a partir de uma UA com área ≤ 4.000 m², é predito pela Equação 1.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J y_{ij} \cdot 10.000}{n \cdot 100} \quad (1)$$

onde y_{ij} = valor do atributo florestal da j-ésima árvore ($j = 1, 2, \dots, J$) na i-ésima subparcela válida ($i = 1, 2, \dots, n$) de uma UA; e n = número de subparcelas de 100 m² válidas.

Predição para a área efetivamente florestada

A predição de um atributo florestal baseada na área efetivamente florestada de uma UA retorna um valor de um atributo por hectare de floresta, mas não necessariamente representa fielmente o ponto amostral, uma vez que não considera outros usos da terra. Por serem comparáveis a predições de estudos clássicos de fitossociologia, essas informações podem compor bancos que reúnem dados de diferentes levantamentos fitossociológicos. Naturalmente, a área utilizada nessa predição diz respeito apenas à área de floresta em uma UA, mesmo que exista outro uso da terra em subparcelas válidas (Figura 3A). Subparcelas inválidas, por sua vez, não são consideradas (Figura 3B).

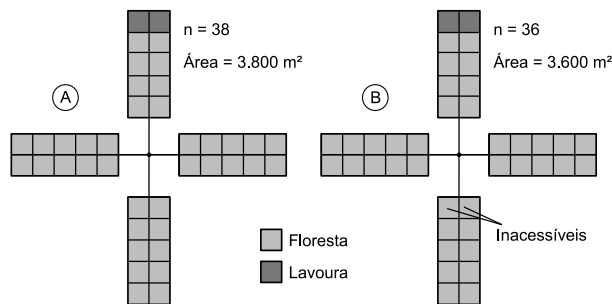


Figura 3. Representação da área florestada de uma unidade amostral empregada para calcular a predição de um atributo florestal por área efetivamente florestada.

Figure 3. Representation of the forested area of a sample plot employed to calculate a prediction of a forest attribute per forested area.

O valor do atributo florestal ‘y’ por hectare considerando a área efetivamente florestada numa UA é predito pela Equação 2. Entretanto, apenas as subparcelas de 100 m² florestadas, i.e., com mais de 50% de área florestada (Serviço Florestal Brasileiro, 2020) - e válidas são consideradas.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J y_{ij} \cdot 10.000}{n \cdot 100} \quad (2)$$

onde y_{ij} = valor de dado atributo florestal da j-ésima árvore ($j = 1, 2, \dots, J$) na i-ésima subparcela válida ($i = 1, 2, \dots, n$) de uma UA; e n = número de subparcelas válidas efetivamente florestadas.

Estimativas de médias populacionais, intervalos de confiança e suficiência amostral

Com base nas predições de um atributo florestal por hectare para cada UA, tanto representando o ponto amostral como a área efetivamente florestada, é possível gerar estimativas de parâmetros populacionais, como média e variância do estimador da média, para uma determinada região fitoecológica, bacia hidrográfica ou outra delimitação geográfica.

A metodologia para o cálculo das predições de atributos florestais por hectare para cada UA apresentado nos primeiros quatro volumes dos livros do IFFSC (Vibrans et al., 2012a, 2012b, 2013a, 2013b) não é mais empregada. Atualmente, o IFFSC emprega os métodos descritos nesta nota para calcular predições de atributos florestais por hectare em nível de UA. Estimativas de parâmetros populacionais para todo o estado, i.e.,

utilizando todas as UAs do IFFSC instaladas nas três principais tipologias florestais catarinenses, devem ser calculadas por meio de estimadores estratificados, devido às grades com diferentes intensidades empregadas para amostrar os diferentes tipos florestais (McRoberts et al., 2015; Oliveira et al., 2019). Isso vale também para outros estados inseridos no IFN-BR, que possuem grades amostrais com intensidades diferentes.

Os estimadores da média populacional, $\hat{\mu}$, e $\widehat{\text{VAR}}(\hat{\mu})$, são dados pelas Equações 3 e 4, respectivamente.

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3)$$

$$\widehat{\text{VAR}}(\hat{\mu}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\mu})^2 \quad (4)$$

onde n = número de UAs alocadas na região fitoecológica em questão; y_i = valor do atributo florestal por hectare para a i-ésima UA ($i = 1, 2, \dots, n$); e $\hat{\mu}$ = média populacional estimada com base nas UAs alocadas na respectiva região fitoecológica.

O intervalo de confiança para a média é então construído com base no erro padrão da média, $\sqrt{\widehat{\text{VAR}}(\hat{\mu})}$, e na distribuição t Student (Equação 5).

$$P = \left(\hat{\mu} - t \cdot \sqrt{\widehat{\text{VAR}}(\hat{\mu})} \leq \mu \leq \hat{\mu} + t \cdot \sqrt{\widehat{\text{VAR}}(\hat{\mu})} \right) = 1 - \alpha \quad (5)$$

onde μ = média populacional; $\hat{\mu}$ = média populacional estimada; e t = quantil da distribuição t Student bicaudal com $n - 1$ graus de liberdade e nível de confiança $(1 - \alpha)$.

O estimador da média populacional é um caso particular do estimador Horvitz-Thompson, com probabilidades de inclusão iguais. Esse estimador pode ser utilizado com base no pressuposto da amostragem aleatória simples. O tratamento de um desenho amostral sistemático como aleatório — conforme proposto aqui — é válido. Entretanto, é preciso ter ciência de que a estimativa da variância do estimador da média populacional é conservadora, no sentido de que ela pode ser superestimada, mas jamais subestimada; não obstante, o estimador da média populacional não é enviesado (Särndal et al., 1992; Magnussen et al., 2020).

No âmbito da amostragem aleatória simples, o estimador do tamanho amostral (n') necessário para atingir dada magnitude do intervalo de confiança em relação à média populacional estimada, $\hat{\mu}$, com nível de confiança $(1 - \alpha)$ é dado pela Equação 6.

$$n' = \frac{\widehat{\text{VAR}}(\hat{\mu}) \cdot n \cdot t^2}{(\hat{\mu} \cdot \text{PA})^2} \quad (6)$$

onde $\widehat{\text{VAR}}(\hat{\mu})$ = variância do estimador da média populacional; n = número de UAs alocadas na região fitoecológica em questão; t = quantil da distribuição t Student bicaudal com $n - 1$ graus de liberdade e nível de confiança $(1 - \alpha)$; $\hat{\mu}$ = média populacional estimada; e PA = precisão admitida (e.g., 10%; na expressão deve-se utilizar 0,10).

Comparação entre estimativas geradas pelos dois métodos

As diferenças médias entre as médias populacionais de, por exemplo, área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) para os três principais tipos florestais catarinenses (Floresta

Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Decidual), estimadas a partir das previsões por UA obtidas pelos dois métodos são significativamente diferentes de zero, de acordo com o teste t pareado ($p < 0,001$). Não obstante, as diferenças médias estimadas não são elevadas (Tabela 2).

O erro padrão relativo percentual (PRSE), dado por $\text{PRSE} = \sqrt{\widehat{\text{VAR}}(\hat{\mu})} / \hat{\mu} \cdot 100$, é ligeiramente inferior quando as previsões por UA, representando a área efetivamente florestada, são empregadas para a estimativa das médias populacionais (Tabela 2).

Em nível de UA, entretanto, as diferenças podem ser substanciais (Figura 4). Previsões computadas para a área efetivamente florestada são até 81%, 100% e 160% maiores que as previsões computadas para o ponto amostral na Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Decidual, respectivamente.

Predições anível de UA geradas pelo IFFSC para as florestas nativas do estado com base nos dois métodos estão disponíveis em Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (2020).

Tabela 2. Estimativas de médias populacionais ($\hat{\mu}$), erros padrão da média ($\text{SE}(\hat{\mu})$), erros padrão relativos percentuais (PRSE), diferenças pareadas e respectivos intervalos de 95% de confiança (IC) para área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) em três tipos florestais amostrados pelo IFFSC, utilizando os métodos de previsão por ponto amostral (pa) e área efetivamente florestada (af).

Table 2. Estimates of population means ($\hat{\mu}$), standard errors ($\text{SE}(\hat{\mu})$), percent relative standard errors (PRSE), paired differences and respective 95% confidence intervals for basal area ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) for three forest types sampled by the IFFSC using predictions for the sample point (pa) and for the effectively forested area (af).

Tipo florestal	Ponto amostral (pa)			Área florestada (af)			$(\hat{\mu}_{af} - \hat{\mu}_{pa})$ $\pm \text{IC } 95\%$
	$\hat{\mu}_{pa}$	$\text{SE}(\hat{\mu}_{pa})$	PRSE	$\hat{\mu}_{af}$	$\text{SE}(\hat{\mu}_{af})$	PRSE	
FOD (n = 197)	21,8	0,5	2,5%	23,3	0,5	2,2%	1,5 \pm 0,3
FOM (n = 143)	24,4	1,1	4,4%	24,9	1,1	4,3%	0,5 \pm 0,2
FED (n = 78)	18,1	0,8	4,3%	19,5	0,8	3,8%	1,4 \pm 0,6

FOD: Floresta Ombrófila Densa; FOM: Floresta Ombrófila Mista; FED: Floresta Estacional Decidual.

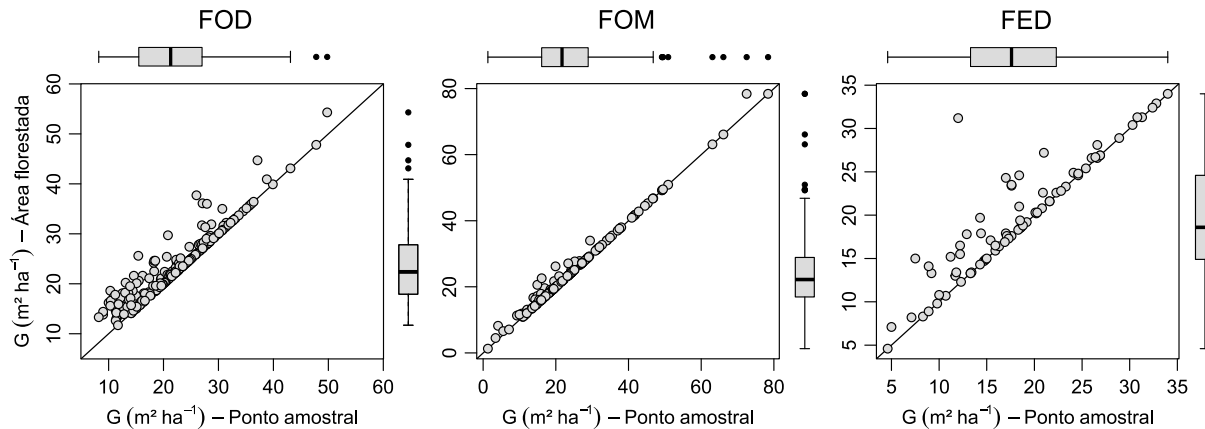


Figura 4. Predições de área basal (G ; $m^2 ha^{-1}$), representando o ponto amostral e a área efetivamente florestada. As linhas representam a função identidade ($x = y$). FOD: Floresta Ombrófila Densa ($n = 197$); FOM: Floresta Ombrófila Mista ($n = 143$); FED: Floresta Estacional Decidual ($n = 78$).

Figure 4. Predictions of basal area (G ; $m^2 ha^{-1}$), representing the sample point and the effectively forested area. Lines represent the identity function ($x = y$). FOD: evergreen rainforest; FOM: Araucaria forest; FED: semi-deciduous forest.

Considerações finais

Esforços são investidos na elaboração e aplicação de métodos que visam harmonizar as informações obtidas por diferentes inventários florestais nacionais (IFNs). A Europa se destaca com a implementação da COST Action E43 – *Harmonization of National Forest Inventories in Europe: techniques for common reporting* (Tomppo et al., 2010; Tomppo & Schadauer, 2012), cujo objetivo, dentre outros, é harmonizar informações geradas pelos IFNs Europeus.

Por questões políticas, administrativas e logísticas, o IFN-BR conduz inventários por Unidade da Federação (estados e Distrito Federal). Grande parte da metodologia de coleta de dados de campo é padronizada para os principais biomas e ecossistemas florestais que ocorrem no país. É importante que os dados provenham de uma amostragem padronizada, sendo também desejável que a metodologia de estimativa de atributos florestais seja padronizada. Dessa forma, comparações diretas entre informações geradas para diferentes estados do país ou biomas podem ser conduzidas, além de pesquisas diversas, em diferentes escalas.

É necessário que aqueles que pretendem usar os dados do IFFSC e/ou do IFN-BR em outros estados, para fundamentar políticas públicas ou em estudos científicos, pensem na pergunta a ser respondida para decidir quais são as predições mais adequadas a serem utilizadas. Diante disso, propõe-se que: (i) a predição de um atributo florestal por área para o ponto

amostral seja baseada no conceito de medidas válidas e inválidas, conforme apresentado nesta nota científica; (ii) predições de atributos florestais por área efetivamente florestada sejam computadas, visando gerar informações comparáveis a estudos clássicos de fitossociologia.

Agradecimentos

Os autores tiveram apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), para executar as pesquisas relacionadas ao manuscrito (processo 2018TR1021).

Referências

- Freitas, J. V. et al. National Forest Inventories: Brazil. In: Tomppo, E. O. et al. (ed.). **National Forest Inventories: pathways for common reporting**. Amsterdam: Springer, 2010. p. 89-96.
- Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina. Blumenau: FURB; [Florianópolis]: Governo do Estado de Santa Catarina, [2020]. Disponível em: <https://www.iff.sc.gov.br/produtos/estimativas-de-atributos-florestais>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- Magnussen, S. et al. Comparison of estimators of variance for forest inventories with systematic sampling: results from artificial populations. **Forest Ecosystems**, v. 7, p. 1-19, 2020. <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00223-6>.
- McRoberts, R. E. et al. A general method for assessing the effects of uncertainty in individual-tree volume model predictions on large-area volume estimates with a subtropical forest illustration. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 45, p. 44-51, 2015. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0266>.

- Moro, M. F. & Martins, F. R. Métodos de levantamento do componente arbóreo-arbustivo. In: Felfili, J. M. et al. (ed.). **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos**. Viçosa, MG: Ed da UFV, 2011. p. 175-208.
- Oliveira, L. Z. et al. Towards the fulfillment of a knowledge gap: wood densities for species of the subtropical Atlantic Forest. **Data**, v. 4, p. 104, 2019. <https://doi.org/10.3390/data4030104>.
- Särndal, C. et al. **Model assisted survey sampling**. New York: Springer-Verlag, 1992. 695 p.
- Serviço Florestal Brasileiro. **Manual de campo**: procedimentos para coleta de dados biofísicos e socioambientais. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2020. 67 p.
- Tomppo, E. O. et al. **National Forest Inventories**: pathway for common reporting. Heidelberg: Springer, 2010. 612 p.
- Tomppo, E. O & Schadauer, K. Harmonization of National Forest Inventories in Europe: advances under COST Action E43. **Forest Science**, v. 58, n. 3, p. 191-200, 2012. <https://doi.org/10.5849/forsci.10-091>.
- Vibrans, A. C. et al. Amostragem dos remanescentes da Floresta Estacional Decidua em Santa Catarina. In: Vibrans, A. C. et al. (ed.). **Inventário florístico florestal de Santa Catarina**: vol. II: Floresta Estacional Decidua. Blumenau: Edifurb, 2012a. p. 33-77.
- Vibrans, A. C. et al. Amostragem dos remanescentes florestais da Floresta Ombrófila Densa. In: Vibrans, A. C. et al. (ed.). **Inventário florístico florestal de Santa Catarina**: vol. IV: Floresta Ombrófila Densa. Blumenau: Edifurb, 2013a. p. 37-95.
- Vibrans, A. C. et al. Amostragem dos remanescentes florestais da Floresta Ombrófila Mista. In: Vibrans, A. C. et al. (ed.). **Inventário florístico florestal de Santa Catarina**: vol. III: Floresta Ombrófila Mista. Blumenau: Edifurb, 2013b. p. 33-93.
- Vibrans, A. C. et al. Análise estatística do IFFSC e estimativas dendrométricas. In: Vibrans, A. C. et al. (ed.). **Inventário florístico florestal de Santa Catarina**: vol. I: diversidade e conservação dos remanescentes florestais. Blumenau: Edifurb, 2012b. p. 79-95.
- Vibrans, A. C. et al. Insights from a large-scale inventory in the southern Brazilian Atlantic Forest. **Scientia Agricola**, v. 77, n. 1, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2018-0036>.
- Vibrans, A. C. et al. **Manual de campo do IFFSC**: remediações. Blumenau: Edifurb, 2017. 63 p.