

DENSIDADE DA MADEIRA DE EUCALIPTO

Particularidades, estratégias de amostragem base-topo do fuste e impacto do tipo de amostra

Stéffany Araujo

Eng. Industrial Madeireira
Doutoranda em Ciências Florestais

Gustavo Jaske

Eng. Florestal
Mestrando em Ciências Florestais

Thayanne Neto

Eng. Florestal
Dra. em Ciências Ambientais e Florestais

Agosto de 2025

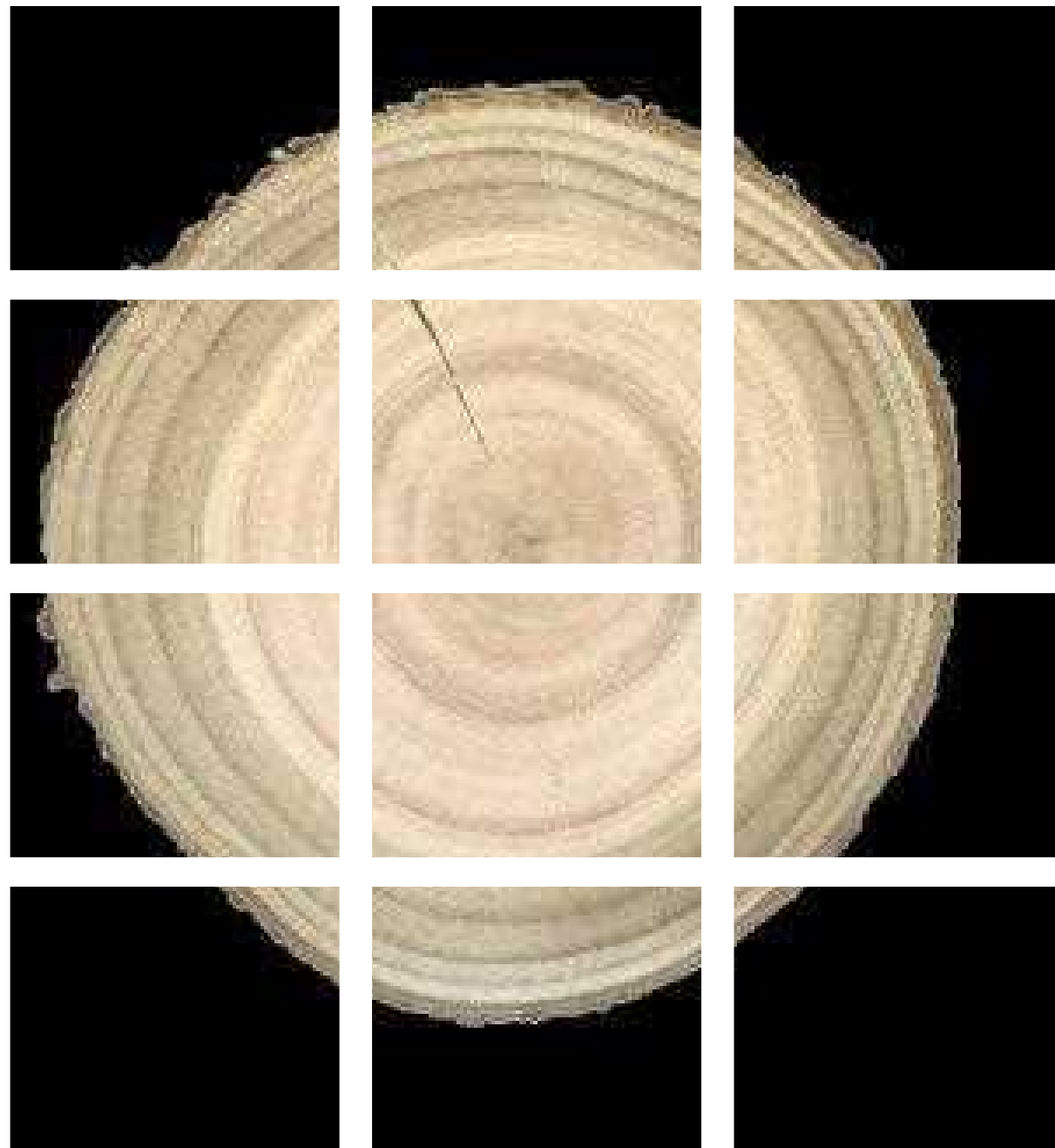


Realização



Madeira de eucalipto

- | Xilema secundário;
- | Células lignificadas;
- | **Variável**, heterogênea e complexa;
- | Um dos materiais naturais mais **versáteis** e utilizados pelo ser humano;
- | **Subestimada**;
- | Variados produtos.



A madeira atualmente



» **Aumento da
demanda**
Criação de novas
indústrias

» **Redução da
oferta**
Restrição territorial

» **Valorização da
madeira**
Aumento do custo

» **Qualidade da
madeira**
Entender de madeira

A qualidade da madeira...



DENSIDADE
BÁSICA

1

Indicador
fundamental de
qualidade
tecnológica

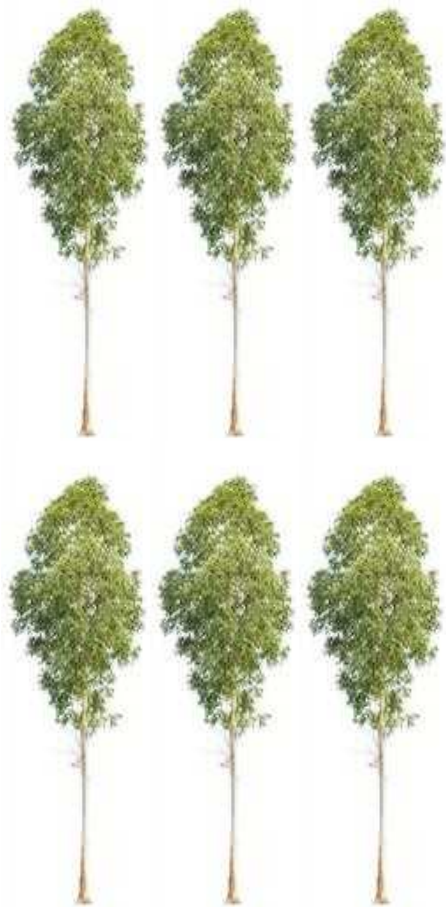
2

Relação com
outras
propriedades

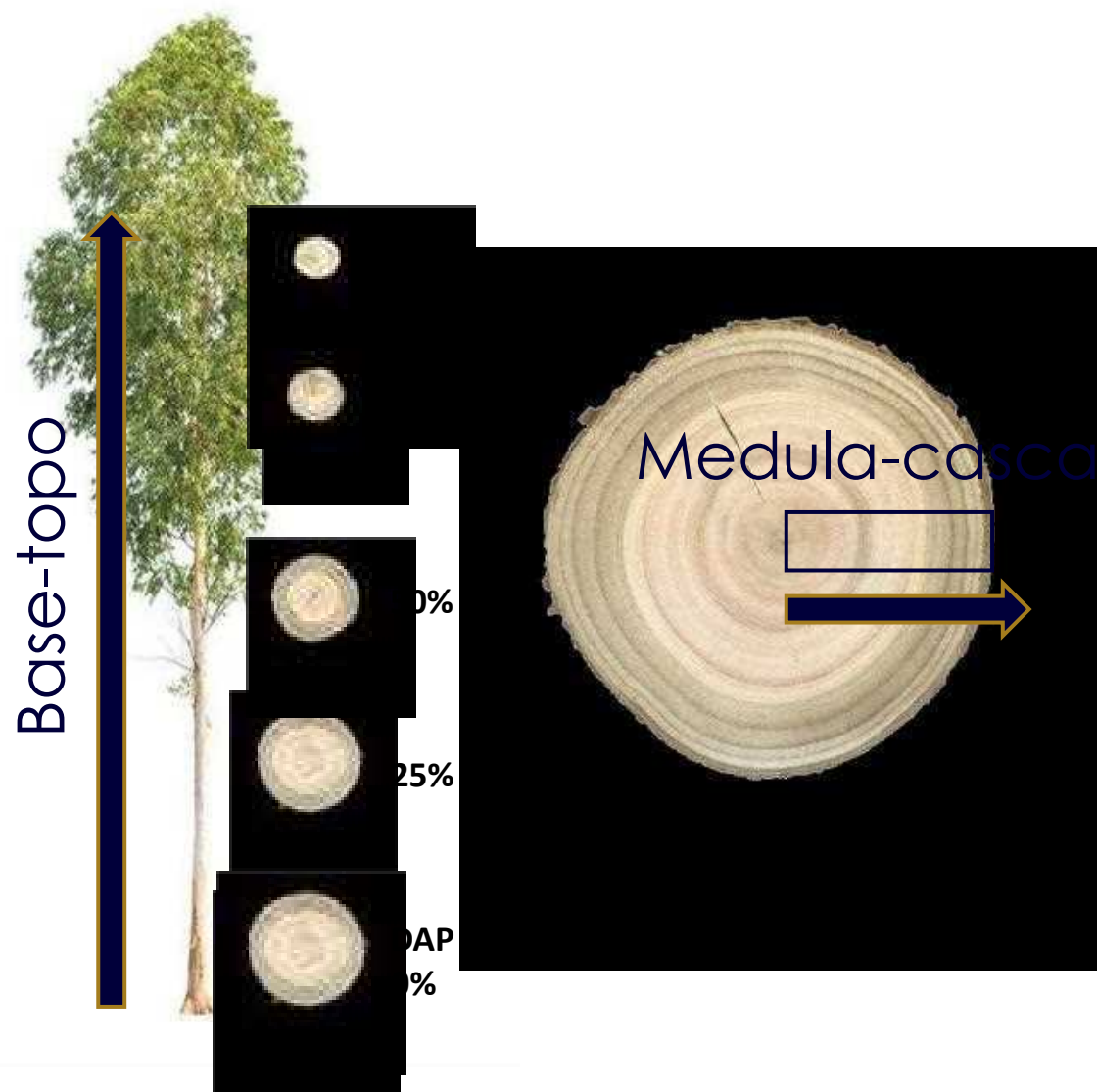
Razão: $\frac{\text{massa seca}}{\text{volume saturado}}$

Densidade da madeira - Variação

Entre árvores



Base-topo



Tipos de amostras



Cálculo da densidade básica ao longo do fuste – média aritmética x ponderada

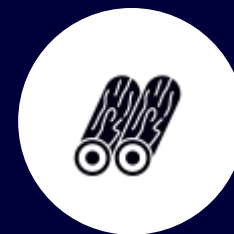
Métodos de determinação da densidade básica – imersão x MTU

Saturação da madeira para densidade básica

Variabilidade base-topo da densidade básica da madeira

Amplitude de variação da densidade básica entre árvores

Amplitude de variação da densidade básica dentro da árvore



Particularidades da densidade básica

Cálculo da DB ao longo do fuste

1

Média aritmética

DB obtida em cada posição tem o **mesmo peso** na média

$$DBm = \frac{DB_{0\%} + \dots + DB_{100\%}}{n}$$

2

Ponderação pelo volume

DB obtida em cada posição é **ponderado pelo volume** da seção correspondente

$$DBp = \frac{(DBm_{0\%-DAP} \times V_{0\%-DAP}) + \dots + (DBm_{75\%-100\%} \times V_{75\%-100\%})}{V_{0\%-DAP} + \dots + V_{75\%-100\%}}$$

Cálculo da DB ao longo do fuste

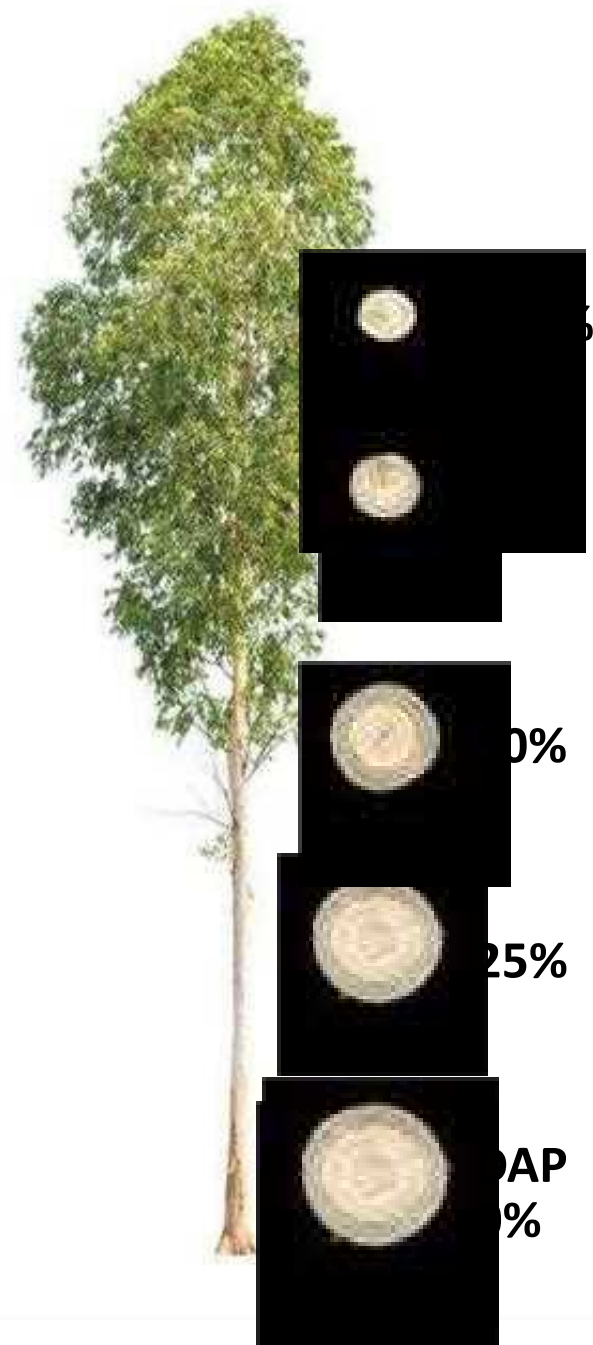
Aritmética

Mais rápida
Direta
Menor precisão

x

Ponderada

Cubagem
Maior precisão
Forma de
ponderação



Aritmética x Ponderada

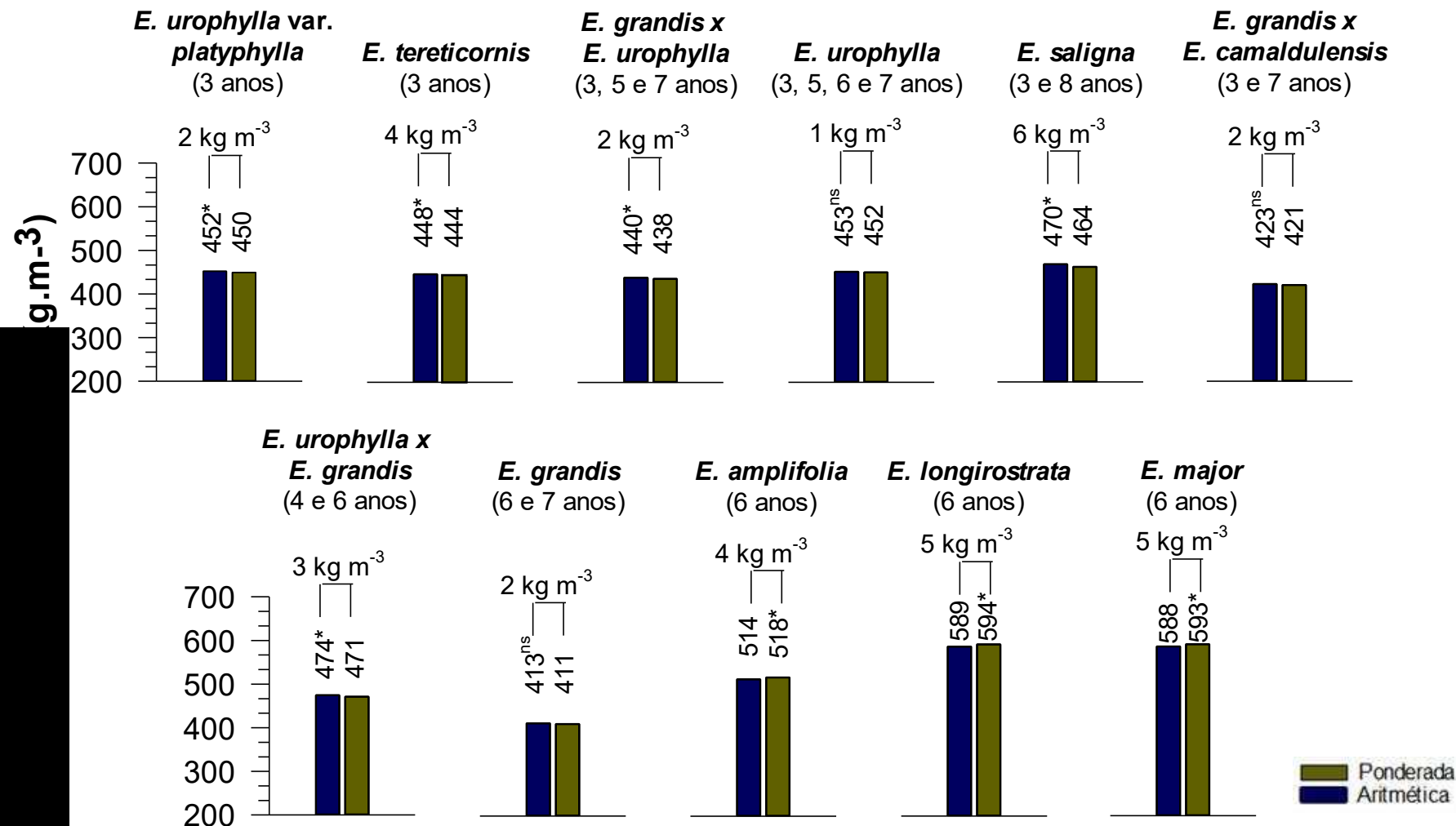
Artigo no prelo



Eucalipto

Diferenças
1 a 6 kg/m³

- 11 espécies
- 3 a 8 anos
- Brasil
- 277 árvores
- Cunha



*significativo pelo teste t para amostras pareadas ($p \leq 0,05$)

Aritmética x Ponderada

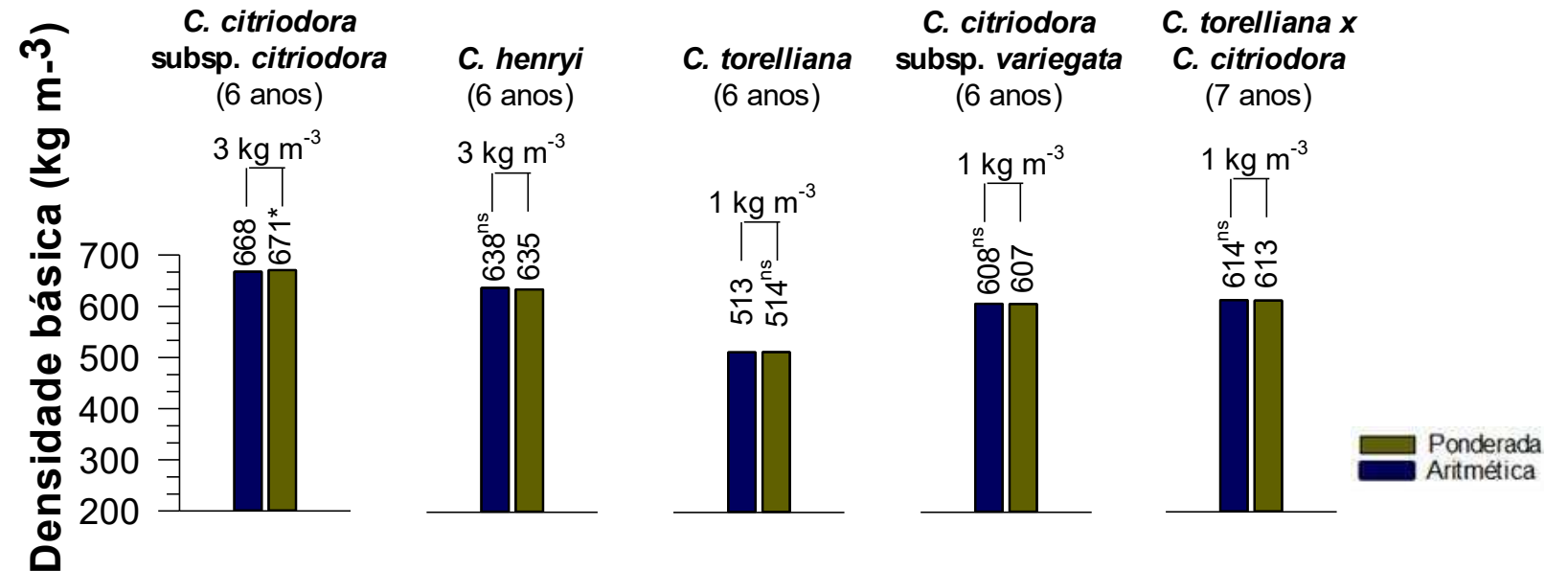
Artigo no prelo



Corymbia

Diferenças
1 a 3 kg/m³

- 5 espécies
- 6 e 7 anos
- Brasil
- 76 árvores
- Cunha



*significativo pelo teste t para amostras pareadas ($p \leq 0,05$)

Aritmética x Ponderada



Otimização de pontos amostrais ao longo do fuste para determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna*

Laise Vençura NÖRNBERG¹, Gabriel Valim CARDOSO², Marco Antônio Muniz FERNANDES¹,
Osmarino Pires dos SANTOS², Nathalia PIMENTEL³

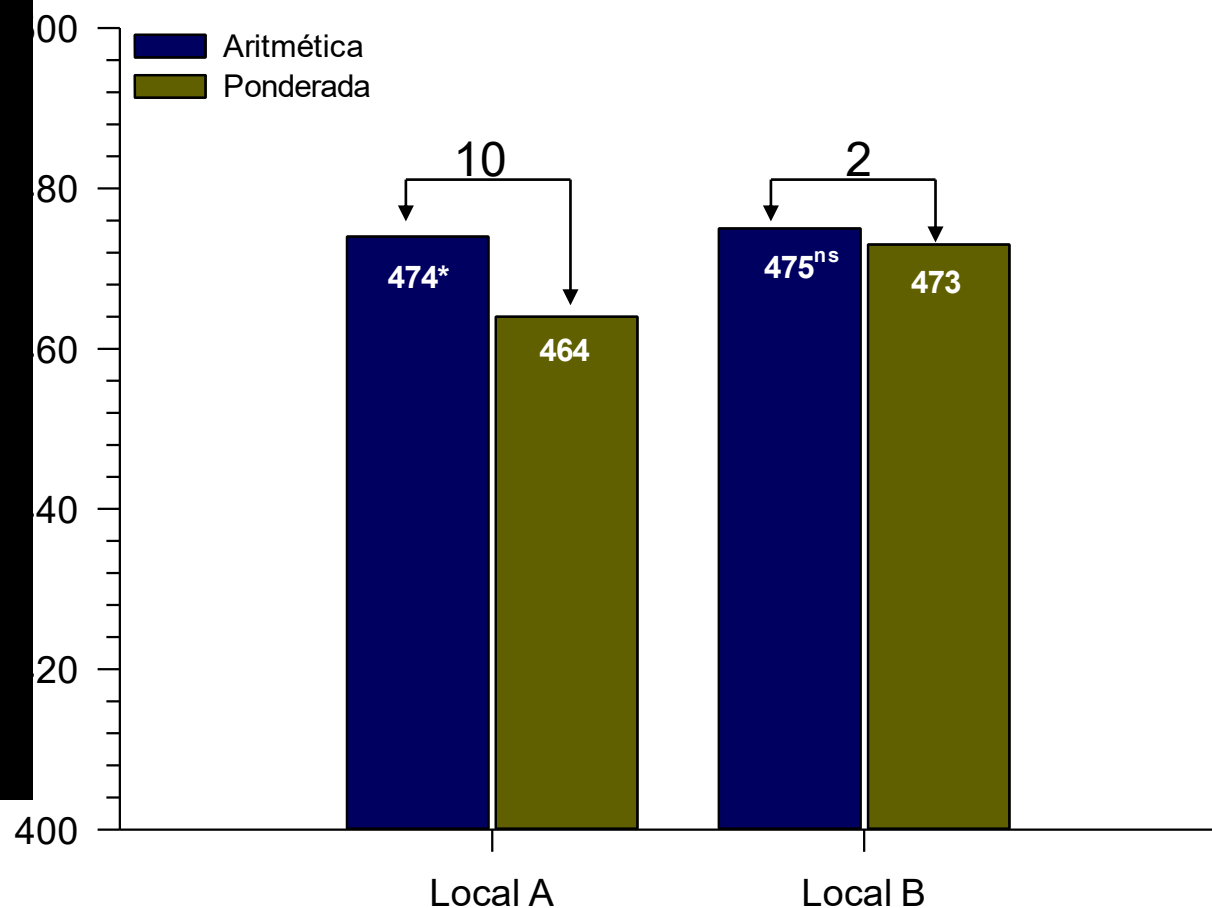
¹ Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil

² CMPC Celulose Riograndense, Gratiot, RS, Brasil

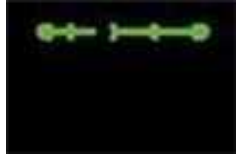
³ E-mail: laisenornberg@gmail.com



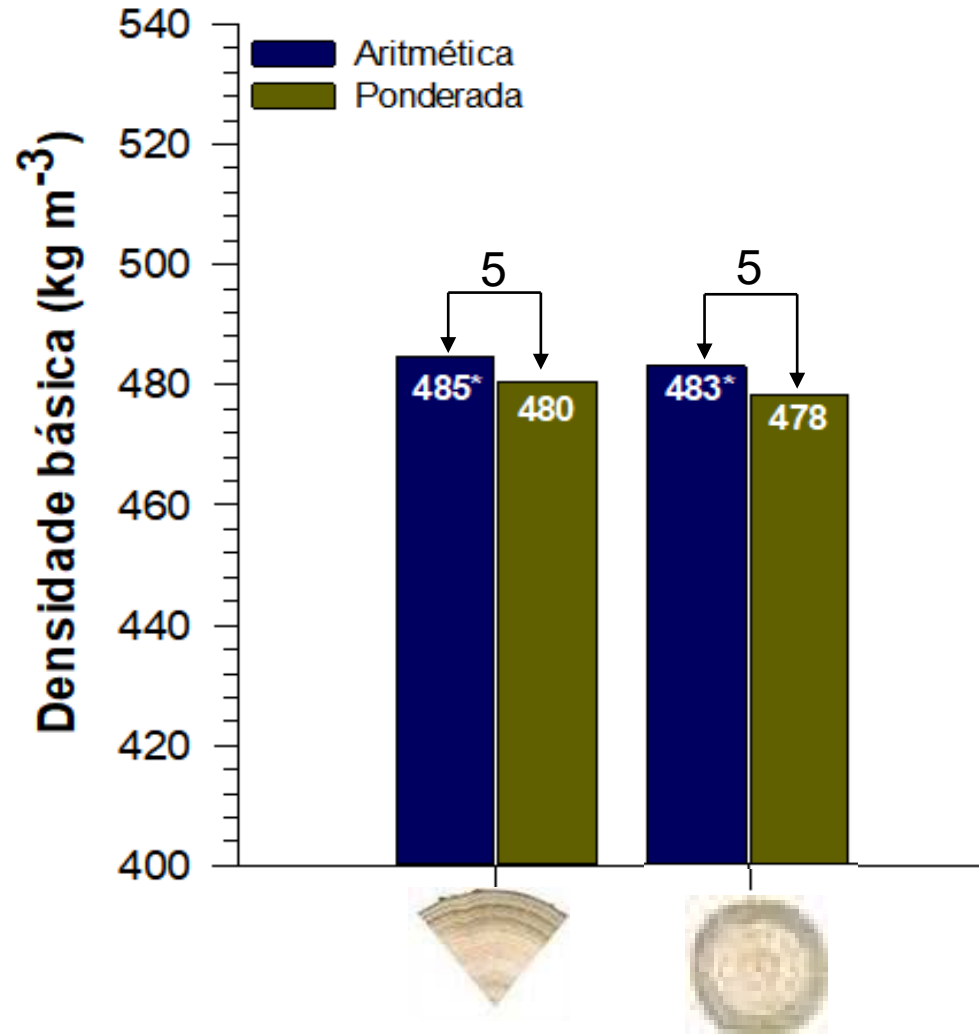
- *E. saligna*
- 8 anos
- RS – 2 locais
- 42 árvores
- 21 árv./local.



Aritmética x Ponderada



- Eucalipto
- 3 clones
- 6 anos
- BA
- 45 árvores
- 15 árv./clon.



23 clones

400 árvores

12 posições base-topo

≠ idades

5 tipos de amostras

15 sítios



IPEF
INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS

CONNECT

O IPEF | PROGRAMAS COOPERATIVOS | DIFUSÃO DO CONHECIMENTO | EVENTOS | SERVIÇOS E EXTENSÃO FLORESTAL

ProDM - Densidade da Madeira

Contato

ProDM - Programa Cooperativo sobre Densidade da Madeira

Criado em 2024, o ProDM é uma rede de pesquisa voltada à padronização dos métodos de determinação da densidade básica da madeira, fator essencial para os processos produtivos do setor.

O programa tem como objetivo avaliar as melhores estratégias de amostragem ao longo do fuste de árvores de eucalipto para uma determinação eficiente e precisa da densidade básica da madeira. Além disso, busca analisar diferentes métodos de amostragem, tipos de amostras (disco, cunha, cunhas opostas, baguetas e cavacos) e procedimentos destrutivos e, em alguns casos, não destrutivos.

Com ampla intensidade amostral e diversidade de materiais genéticos provenientes de diversas localidades do Brasil, o programa pretende aprimorar a qualidade das informações que embasam a tomada de decisão nas áreas de pesquisa e operações industriais, especialmente no que se refere à densidade da madeira de eucalipto.

Cálculo da DB ao longo do fuste

Aritmética x ponderada

Variação - material genético

Cerca de 60% houve diferença*

Aritmética – valores maiores

Qual usar?



Métodos de determinação da DB

1

Imersão

Princípio de Arquimedes

2

MTU

Teor de umidade máximo da madeira

$$DB = \frac{1}{\frac{MS-MA}{MS} + \frac{1}{1,53}}$$

3

Prisma

Volume com paquímetro ou régua

Métodos de determinação da DB

Imersão

Volume real
Clássico
Tempo maior
Imersão - água
Precisão

x

MTU

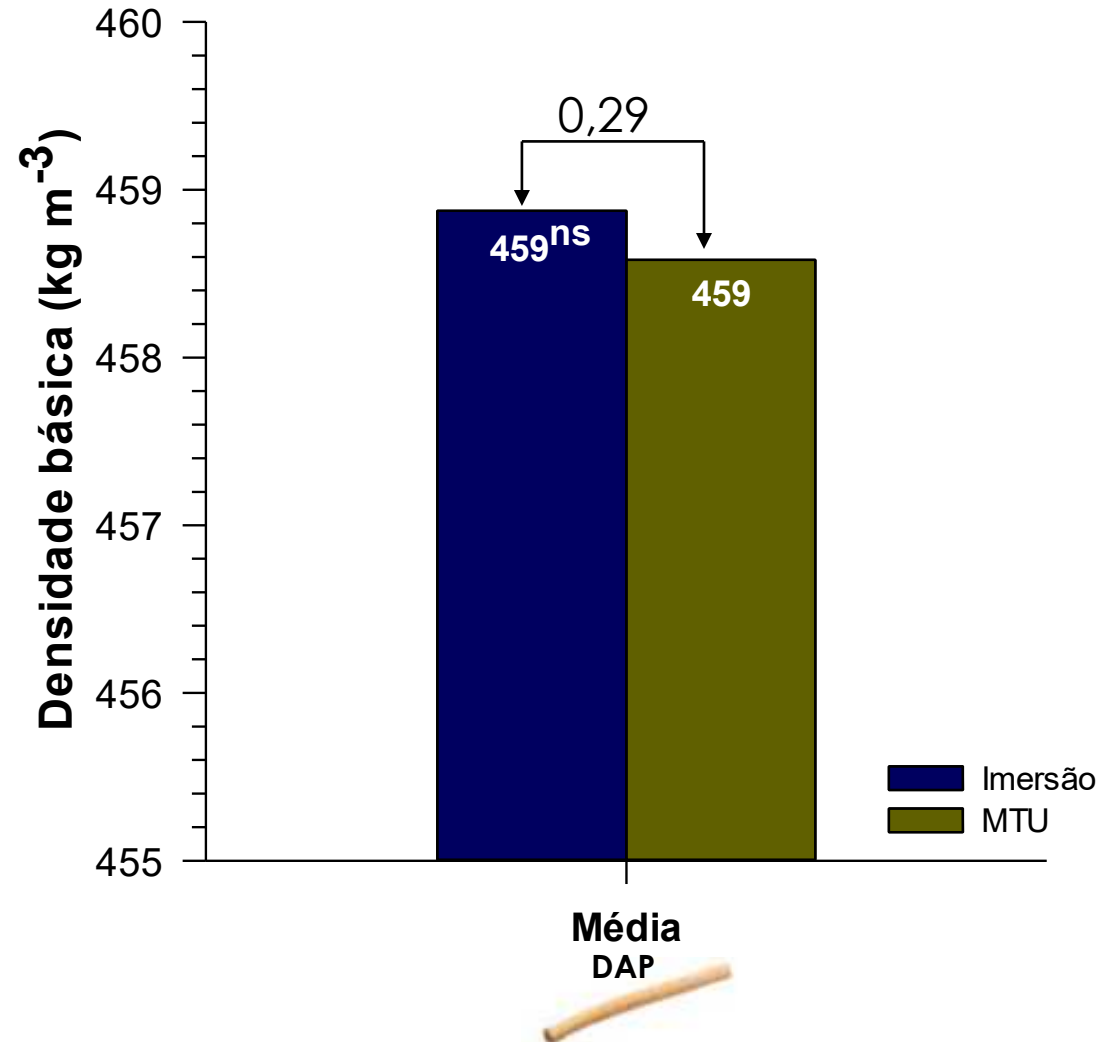
Constante
Mais rápido
Sem imersão
Umidade



Imersão x MTU

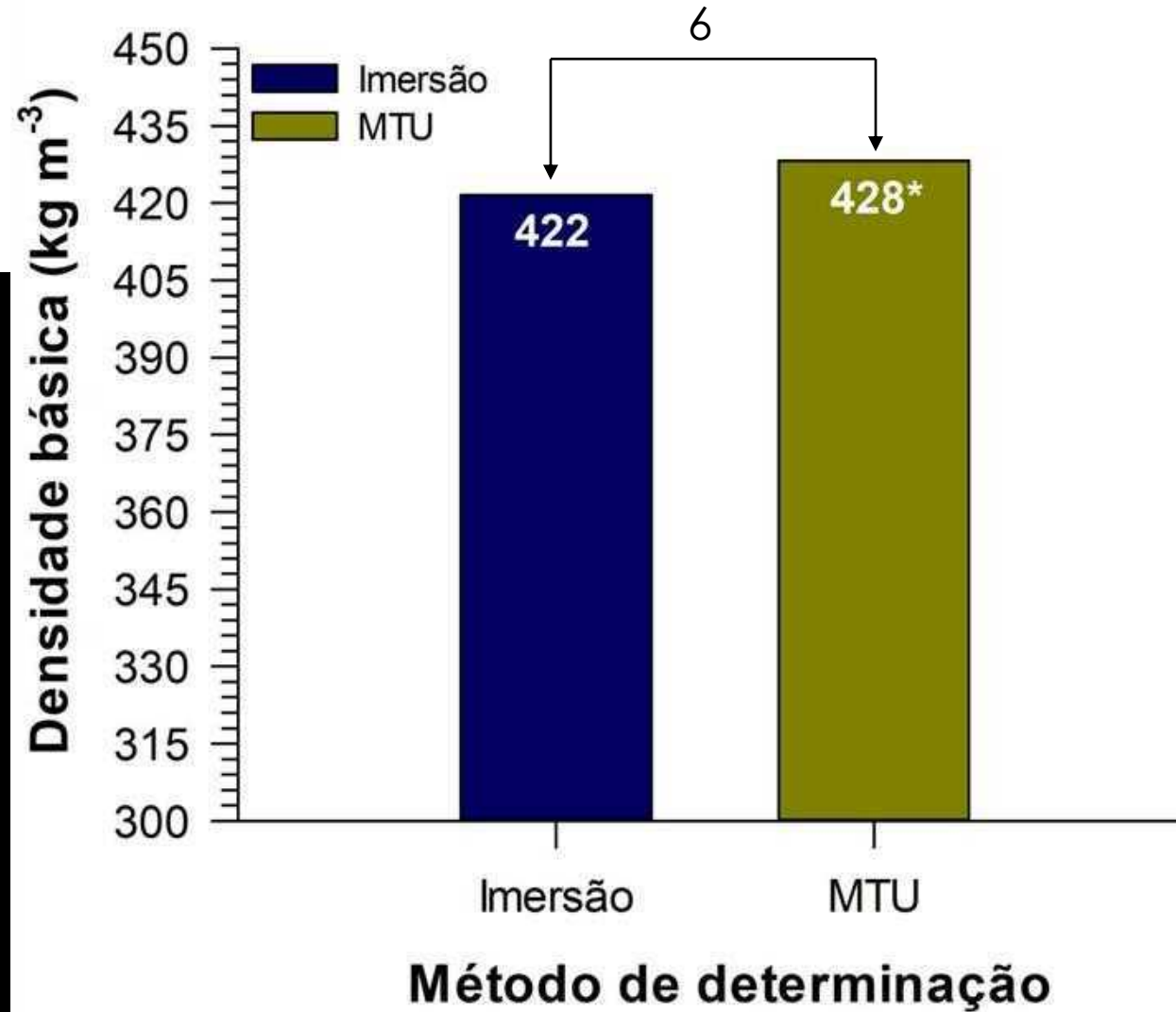


- 4 clones
- 8 anos
- RS
- 120 árvores
- 30 árv./clo.
- Bagueta - DAP.



Imersão x MTU

Empresa parceira



- *Eucalyptus* sp.
- 7 a 9 anos
- São Paulo
- 80 árvores

*significativo pelo teste t para amostras pareadas ($p \leq 0,05$)

Imersão x MTU

CERNE

Sampling strategies along the tree stem to determine the basic density of *Eucalyptus* wood

Stéffany de Lima Araujo^{*@}, Luana Bento Protázio[@], Gabriela Goldner Gimenez[@],
Udson de Oliveira Barros Junior[@], Thayanne Caroline Castor Neto[@],
Daniella Flávia Said Heid Schettini Silva[@], Daniela Andrade Neves de Rezende[@],
Maria Naruna Félix de Almeida[@], João Gabriel Missia da Silva[@], Graziela Baptista Vidaurre[@]

^{*}Federal University of Espírito Santo; Department of Forestry and Wood Sciences; Jerônimo Monteiro, ES, Brazil

[@]Suzano Papel e Celulose S.A., Private Company, Três Lagoas, MS, Brazil

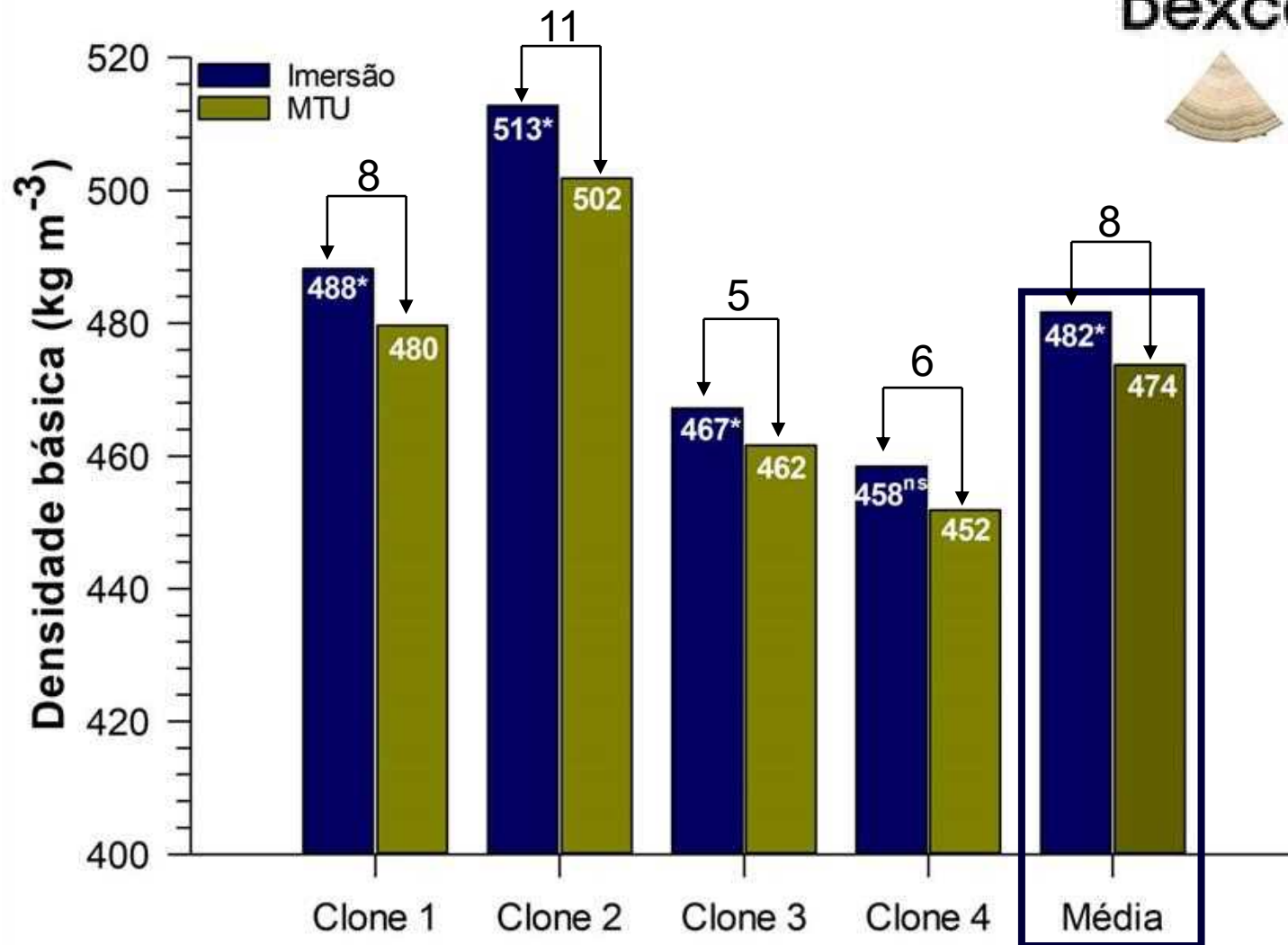
[@]Dexco S.A., Private Company, Agudos, SP, Brazil

[@]State University of Pará; Department of Forest Sciences, Paragominas, PA, Brazil

- 4 clones
- 6 anos
- SP
- 20 árvores
- 5 árv./clo.

Diferenças
5 a 11 kg/m³

DEXCO



C1, C2 – *E. urophylla* x *E. grandis*

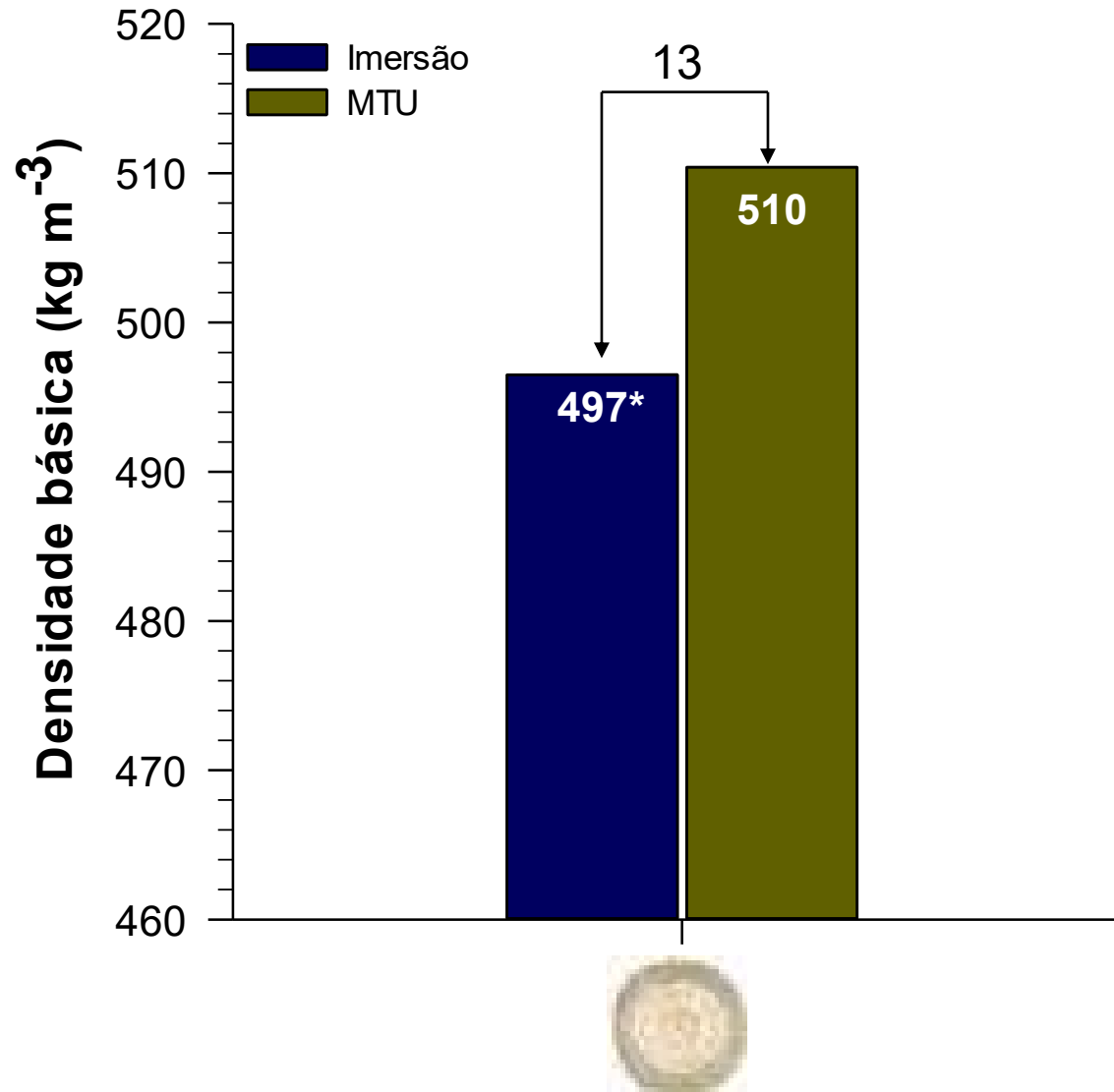
C3 – *E. grandis*

C4 – *E. urophylla*

*significativo pelo teste t para amostras pareadas ($p \leq 0,05$)

Imersão x MTU

- 8 clones
- 6 anos
- MA e PA
- 40 árvores
- 5 árv./clo.



*significativo pelo teste t para amostras pareadas ($p \leq 0,05$)

Métodos de determinação da DB

Variação - material genético

80% houve diferença *

Cavacos e discos – MTU maior

Cunhas – Imersão maior

Baguetas – valores próximos

Qual usar?



Saturação da madeira para DB

1

Saturação completa - correta
determinação do **volume** saturado

2

A ausência de saturação total pode **superestimar** o **volume** saturado

3

Saturação por **imersão** prolongada ou com auxílio de **vácuo** - **penetração** da **água** em todos os capilares

Saturação da madeira para DB

Todos os espaços vazios da madeira estão preenchidos com água



» **Normas técnicas**
A saturação está presente nas principais normas nacionais e internacionais

» **Importância**
Evita erros sistemáticos, garante comparabilidade e qualidade da madeira

» **Métodos comuns**
Imersão simples, vácuo, pressão e temperatura...

» **Controle**
Constância de massa úmida

O que as **normas** mencionam sobre a saturação das amostras?



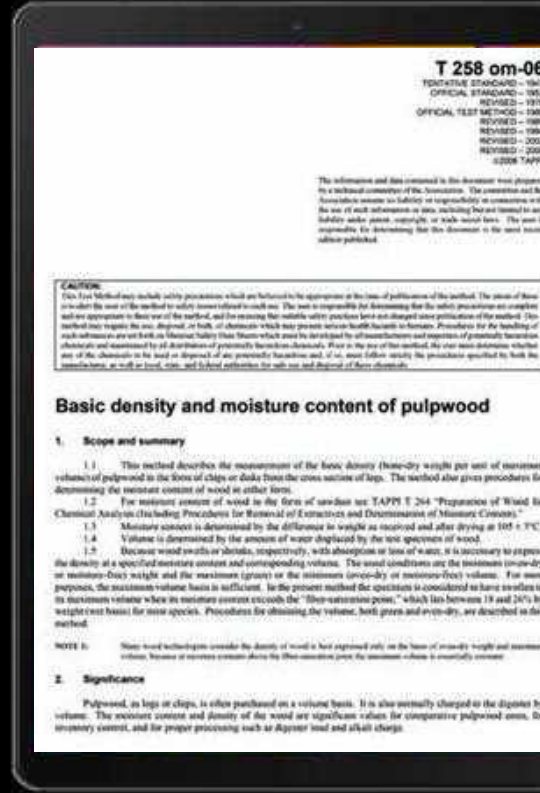
SCAN CM 4

Saturação: quando o **aumento de massa** entre 2 pesagens consecutivas for **inferior a 0,5%**



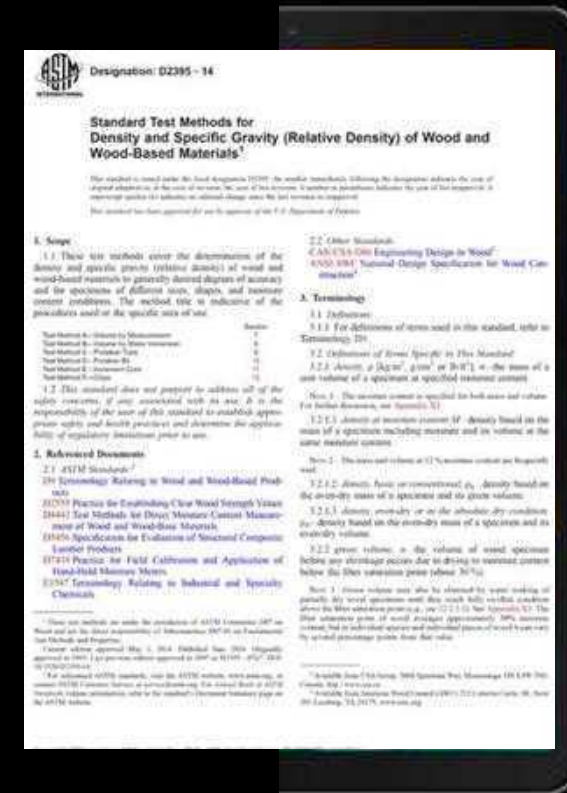
ABNT NBR 11941 (2003)

Volume da amostra **não aumenta** mais entre pesagens consecutivas (**24 horas**)



TAPPI T258-94 (2006)

Madeira verde 4 horas a 3 dias



15-14 (2017)

Completa saturação, mas não fornece um critério rígido

Saturação da madeira para DB



- 5 clones
- 6,8 anos
- SP
- 25 árvores
- 5 árv./clo.
- MTU



Clone	Quantidade de dias		Densidade básica (kg/m³)		
	Submersão	Massa constante	Submersão	Massa constante	Diferença
C1	6	12	422,77	415,15	7,62
C2	6	12	378,77	372,12	6,65
C3	9	12	352,21	350,38	1,83
C4	6	12	426,22	423,86	2,36
C5	6	12	437,38	418,52	18,86
Média	7	12	403,47	396,01	7,46

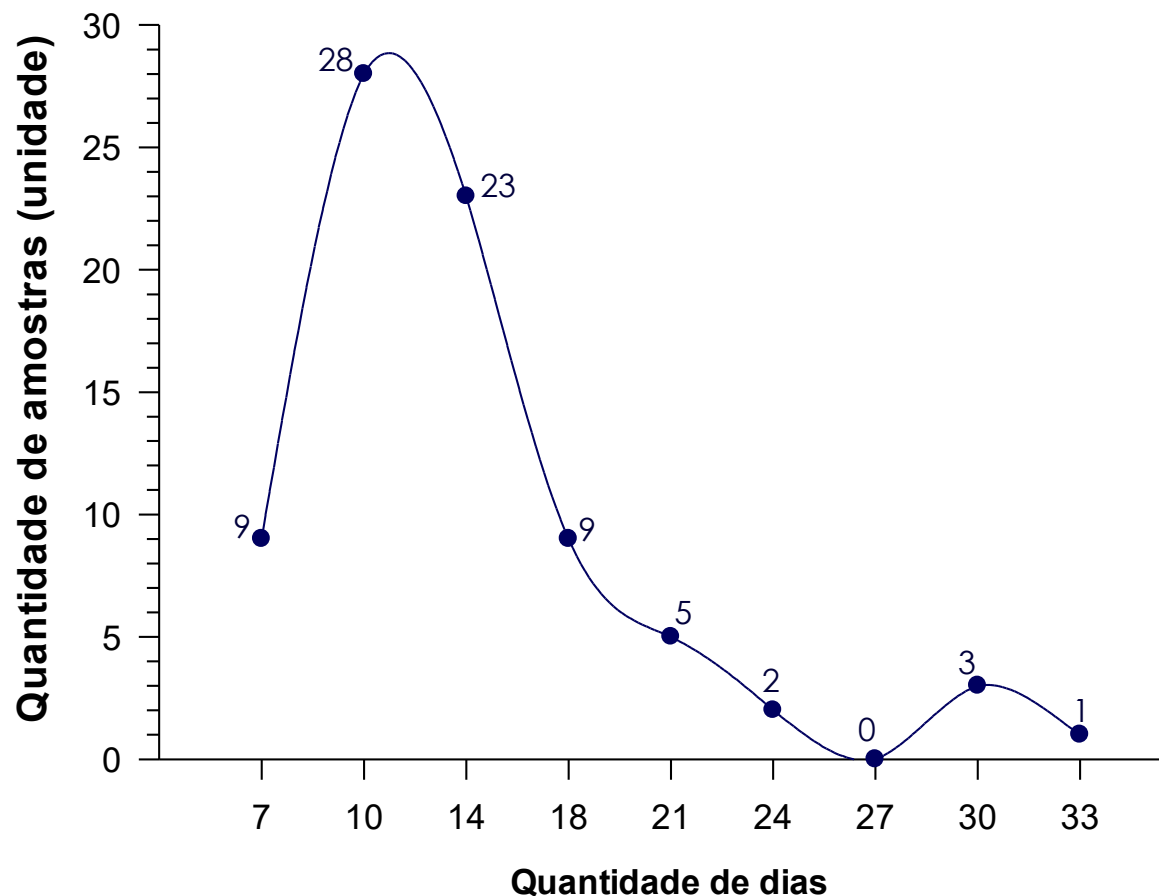
E. urophylla (C1 e C4)
E. grandis (C2 e C3)
Híbrido (C5)

Saturação da madeira para DB

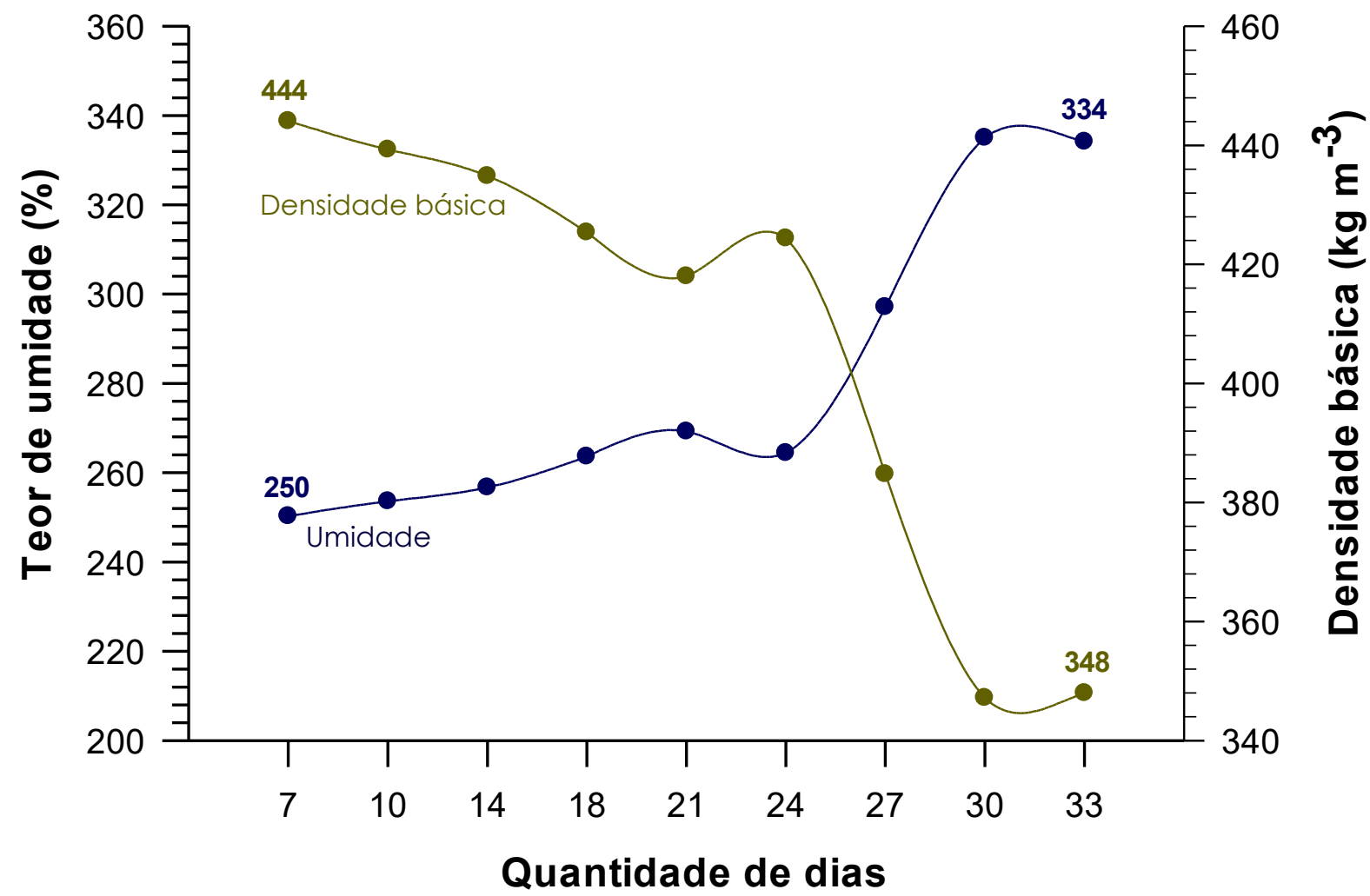
Empresa parceira



- *Eucalyptus* sp.
- 7 a 9 anos
- SP
- 80 amostras
- MTU
- Mas. const.



Saturação da madeira para DB



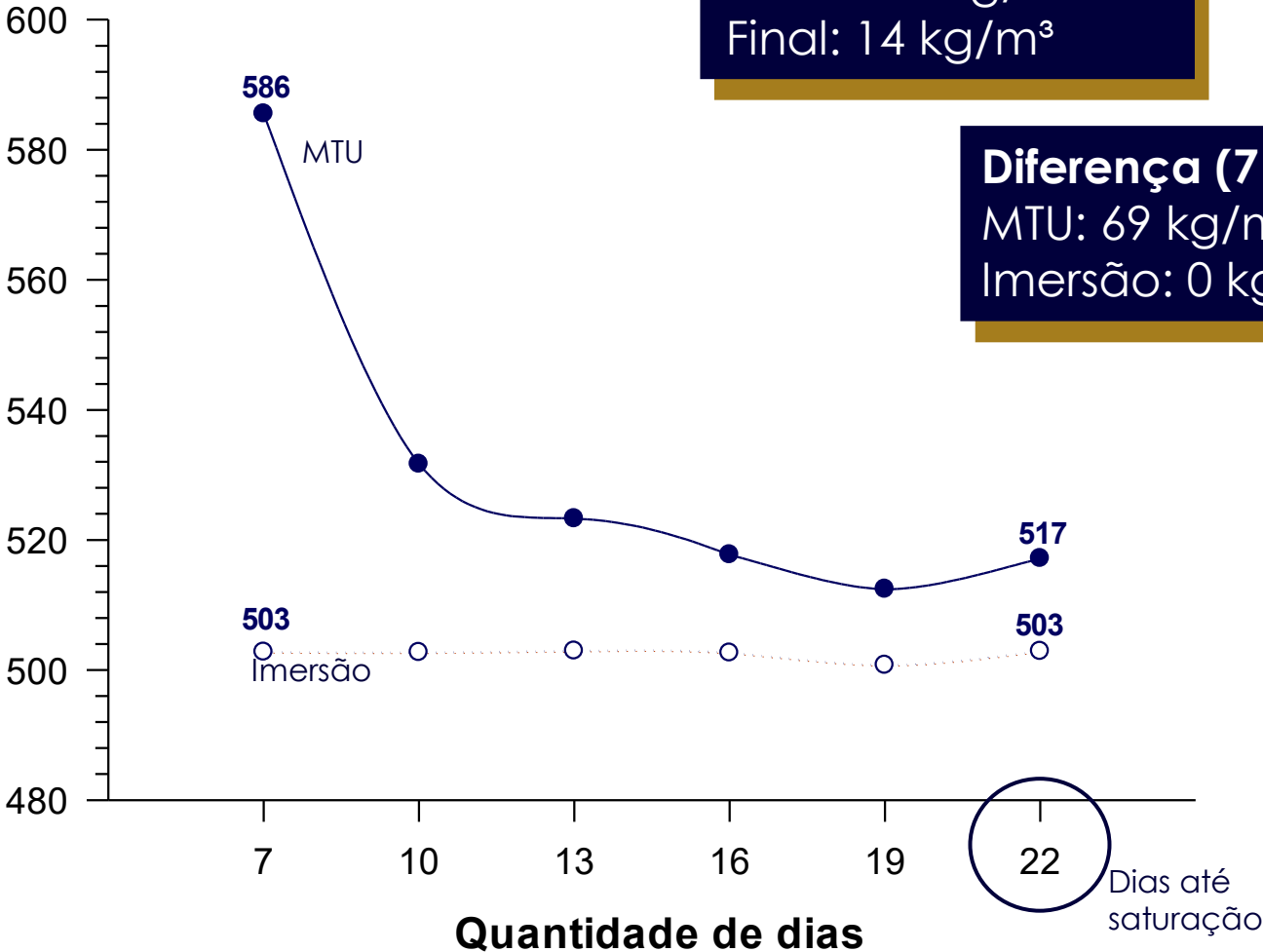
Diferença
Umidade: 84%
DB: 96 kg/m³

Saturação da madeira para DB



E. urophylla

- 3 clones
- 6 anos
- MG
- 90 árvores
- 30 árv./clon.
- MTU e imersão
- Mass. Const.



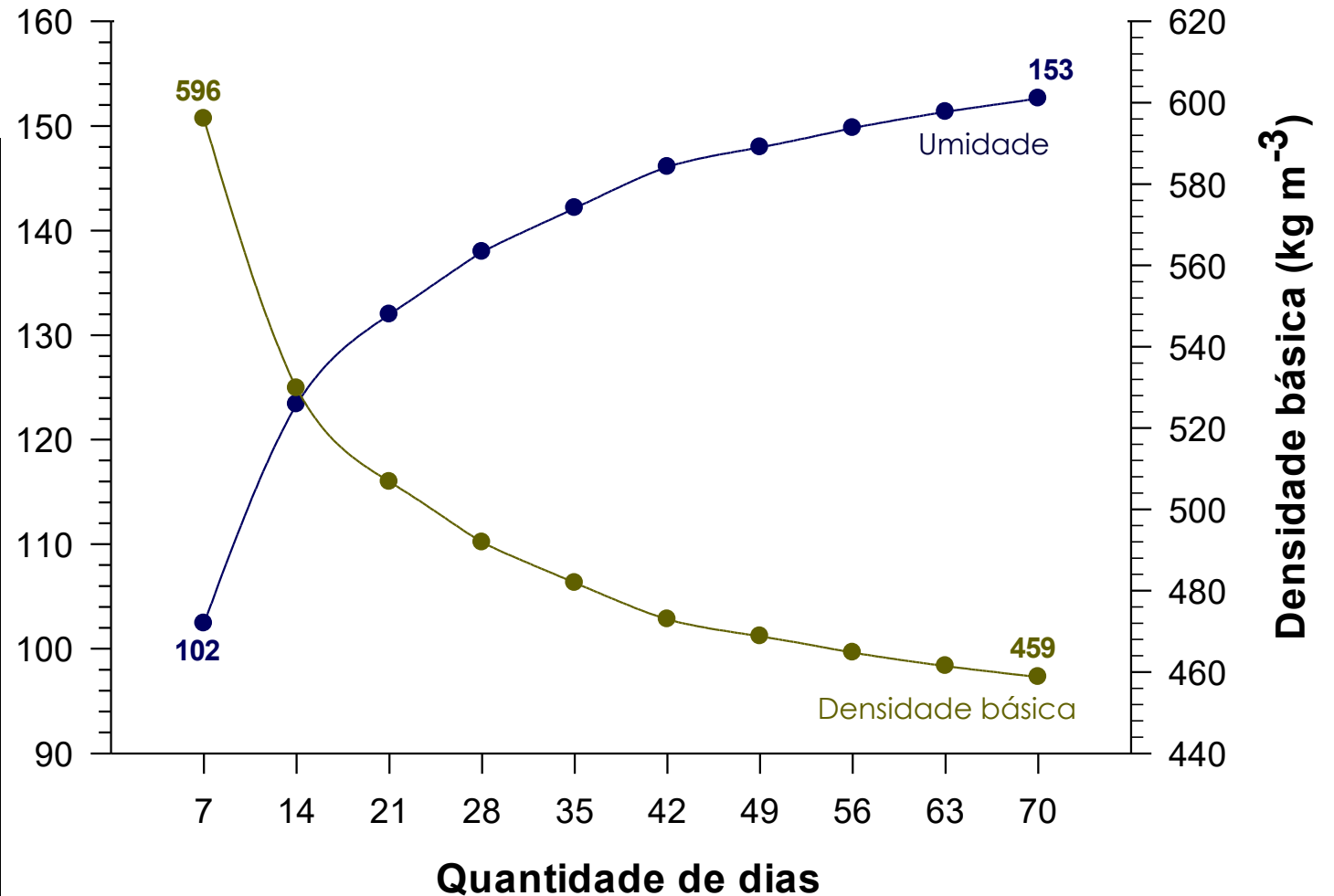
Saturação da madeira para DB

Diferença

Umidade: 137 kg/m³

DB: 51 kg/m³

- 8 clones eucalipto
- 6 anos
- PA e MA
- 40 árvores
- 5 árv./clon.
- MTU
- Mass. Const.



Saturação da madeira para DB

Influenciada pelo **critério** de saturação

Influenciada pelo **método** de determinação

Relação inversa: umidade x densidade

Extremamente importante para a correta mensuração da densidade



Variabilidade base-topo da DB da madeira

1

Caracterização
tecnológica e
utilização

2

Amostragem

Processos
operacionais

3

Predições
eficientes e
precisas com
técnicas **não**
destrutivas

Variabilidade base-topo da DB da madeira

Reflete mudanças estruturais e
funcionais ao longo do fuste.



Anisotropia
Dentro da árvore
Entre espécies
Entre árvores
Idade
Condições de crescimento
Espaçamento
Clima
Materiais genéticos
Sítios

Variabilidade base-topo da DB da madeira



Otimização de pontos amostrais ao longo do fuste para determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna*

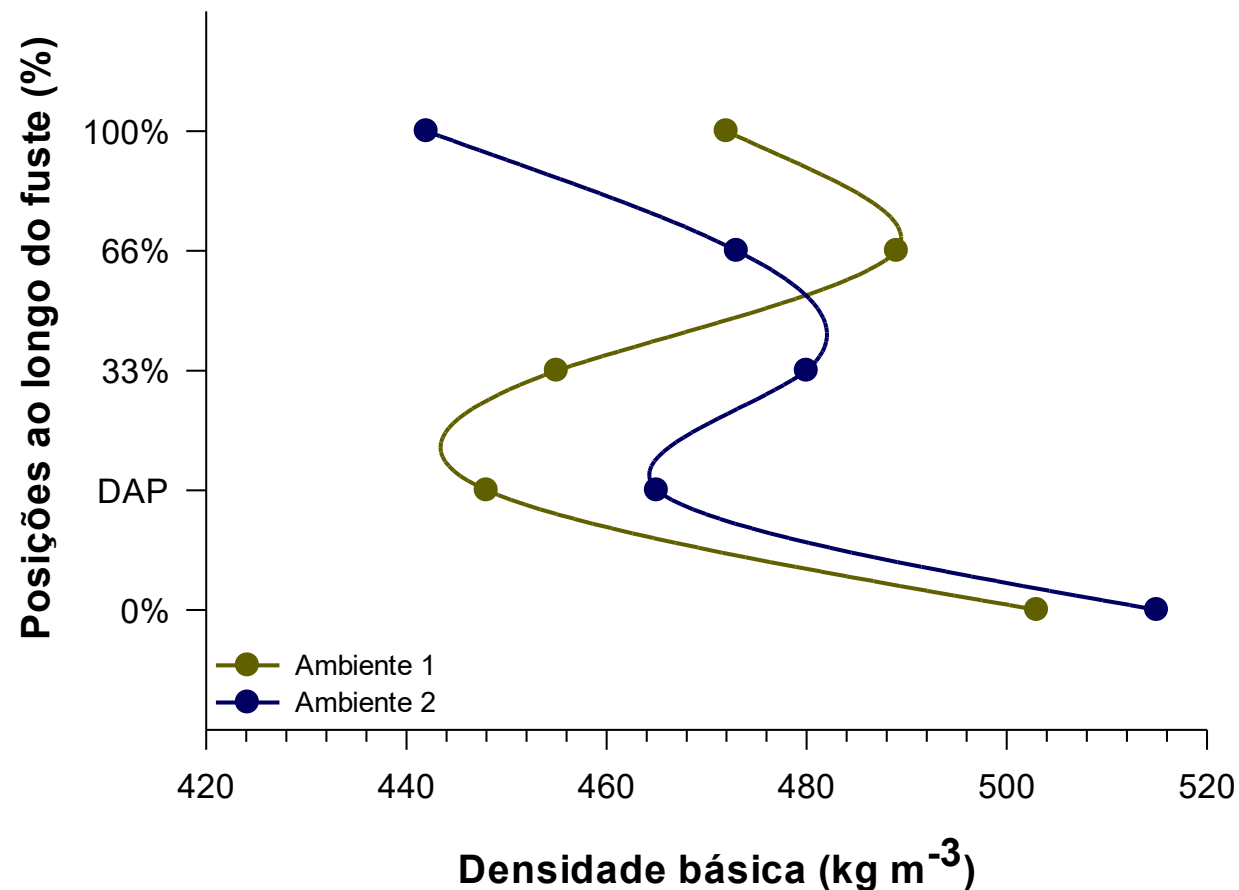
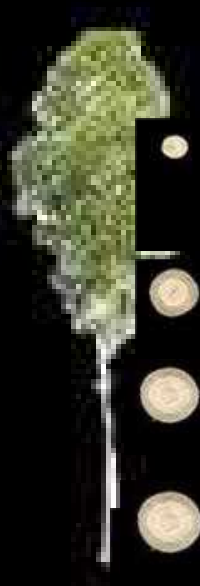
Laise Verjara NÖRNBERG¹, Gabriel Valim CARDOSO², Marco Antônio Muniz FERNANDES³,
Osmani Pinheiro dos SANTOS⁴, Nathalia PIMENTEL⁵

¹ Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil

² CMPC Celulose Riograndense, Gravata, RS, Brasil

³ E-mail: laisenornberg@gmail.com

- *E. saligna*
- 8 anos
- RS – 2 loc
- 42 árvores
- 21 árv./lo



Variabilidade base-topo da DB da madeira

CERNE

Sampling strategies along the tree stem to determine the basic density of *Eucalyptus* wood

Stéffany de Lima Araújo^{1*}, Luana Bento Protázio², Gabriela Goldner Gimenez³,
Udson de Oliveira Barros Junior⁴, Thayanne Caroline Castor Neto⁴,
Daniella Flávia Said Heid Schettini Silva², Daniela Andrade Neves de Rezende³,
Maria Naruna Félix de Almeida⁴, João Gabriel Missia da Silva⁴, Graziela Baptista Vidaurre⁴

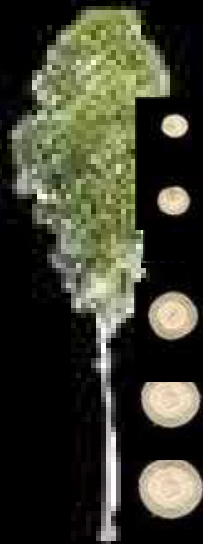
¹Federal University of Espírito Santo, Department of Forestry and Wood Sciences, Jerônimo Monteiro, ES, Brazil

²Suzano Papel e Celulose S.A., Private Company, Três Lagoas, MS, Brazil

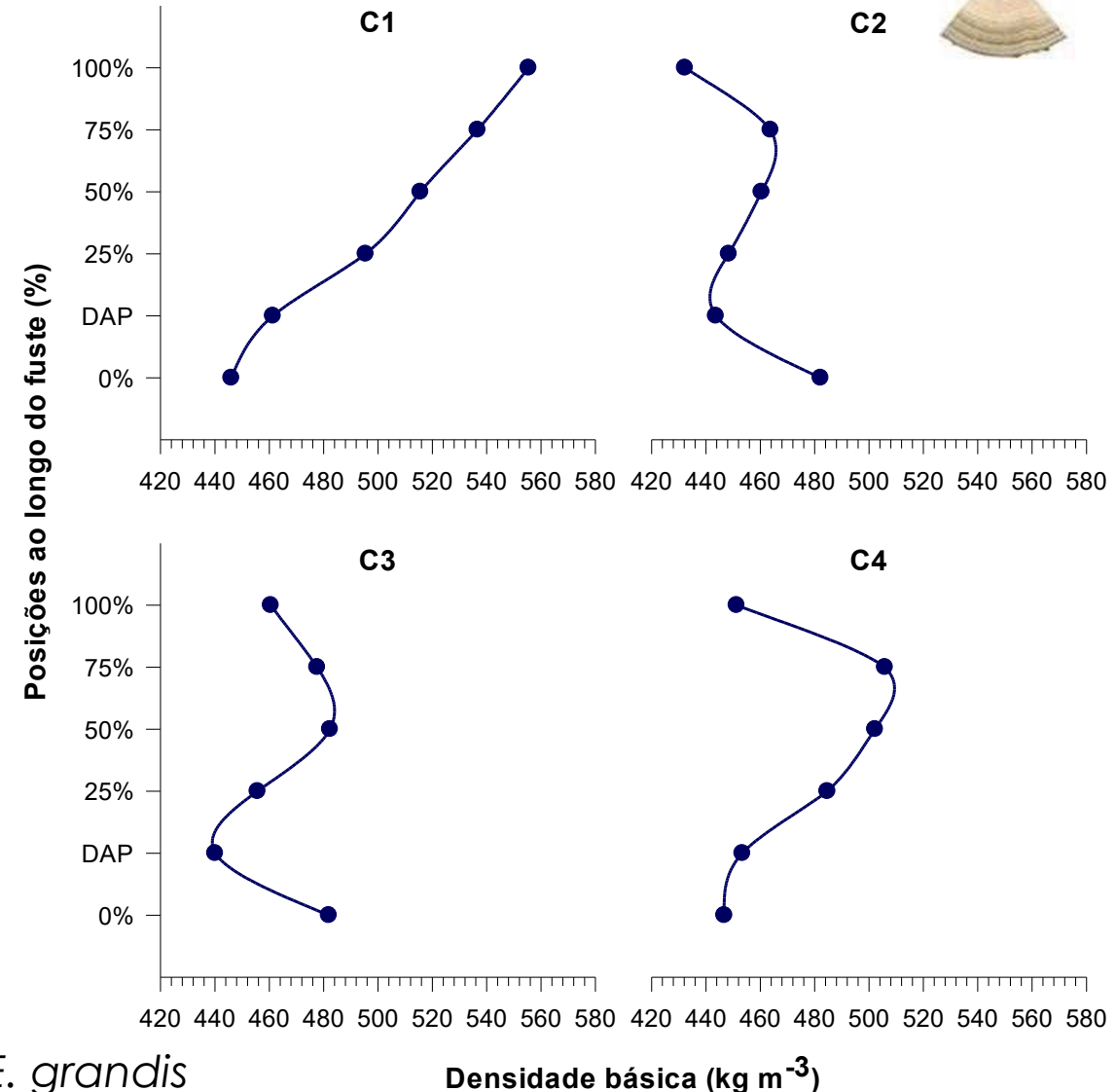
³Dexco S.A., Private Company, Agudos, SP, Brazil

⁴State University of Pará, Department of Forest Sciences, Paragominas, PA, Brazil

- 4 clones
- 6 anos
- SP
- 20 árvores
- 5 árv./c



DEXCO

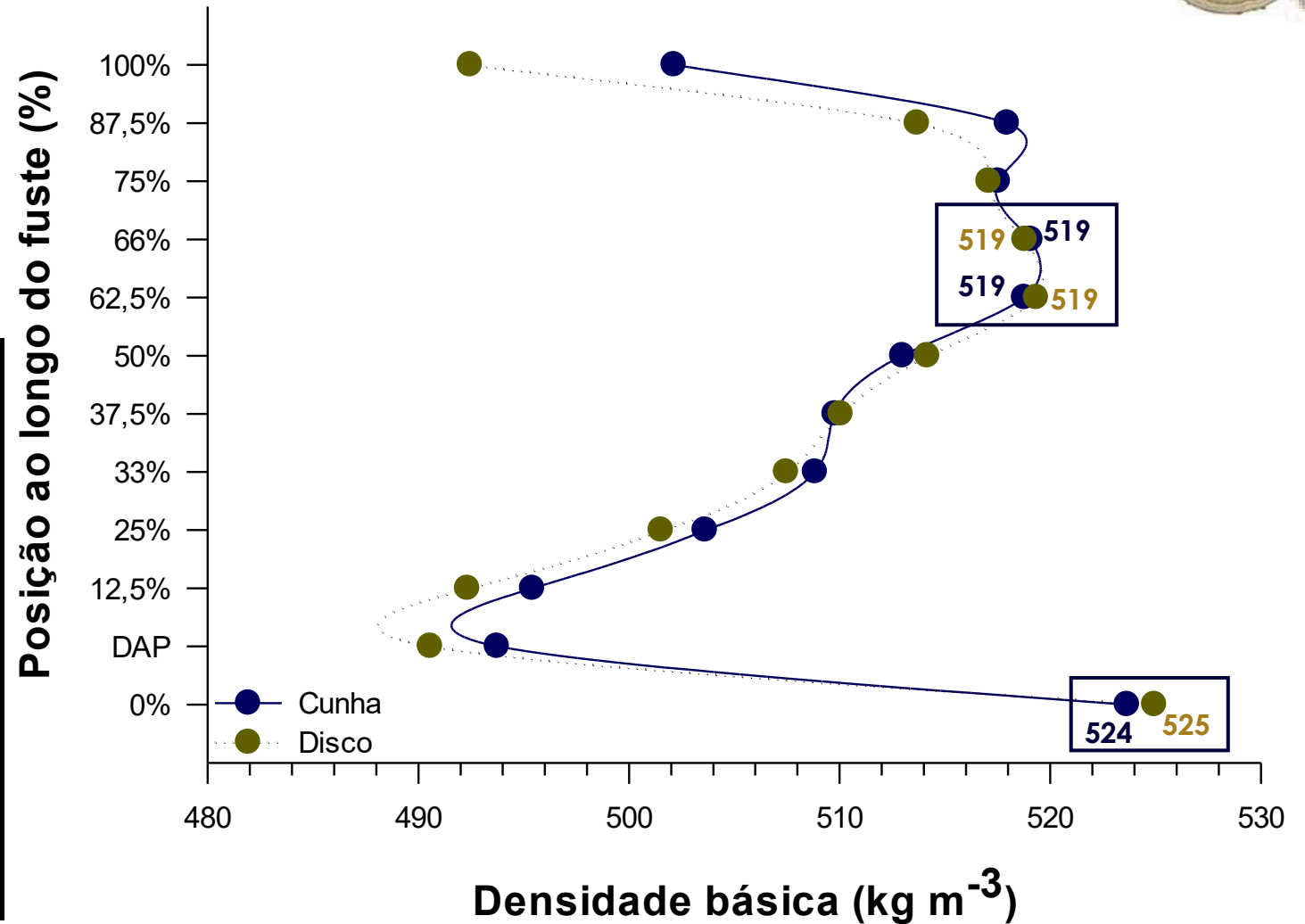
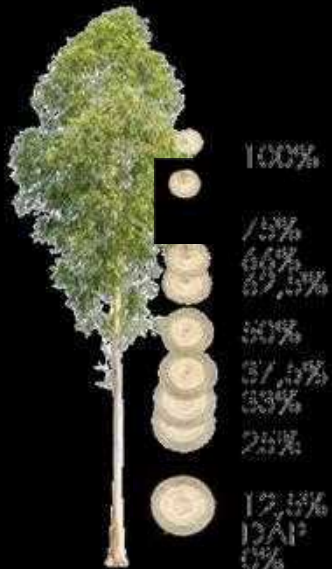


C1, C4 – *E. urophylla* x *E. grandis*
C2 – *E. urophylla*
C3 – *E. grandis*

Variabilidade base-topo da DB da madeira



- Eucalipto
- 19 clones
- 6 a 8 anos
- MG, MA
- PA, BA
- 280 árvores



Variabilidade base-topo da DB da madeira

Não tem padrão definido

Maior DB na base e no topo

Entender a variabilidade – nem sempre a culpa é da madeira



Amplitude de variação da DB entre árvores

1

As propriedades da madeira apresentam **variações** entre **espécies** e **indivíduos**

2

A **coleta** pelo **diâmetro médio** das árvores **reduz** a **variabilidade** da DB da madeira

3

Aprimorar os critérios de seleção de árvores

Amplitude de variação da DB entre árvores

A variabilidade entre árvores representa um aspecto crítico na gestão da qualidade da matéria-prima florestal



Melhoramento genético

Seleção de genótipos mais estáveis



Uniformidade

O quanto os valores de DB diferem entre as árvores do mesmo talhão



Impacto

Dificultam o controle de processos industriais



Importância

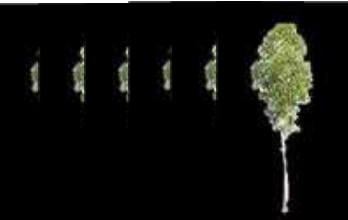
Compreender e controlar a variabilidade da matéria-prima

Amplitude de variação da DB entre árvores

Média da árvore

Amplitude de variação de 15 a 95 kg/m³

Amostragem 4 a 10 árvores



	Idade (anos)	Espécies	n	Média (kg/m³)
 	3 MA e TO	<i>E. urophylla</i> var. <i>platyphylla</i>	10	45
		<i>E. urophylla</i> var. <i>platyphylla</i>		22
		<i>E. tereticornis</i>		32
 	3 BA	<i>E. urophylla</i>	5	40
		<i>E. urophylla</i> x <i>E. spp.</i>		40
 	4 MG	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	4	15
		<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>		67
		<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>		64
		<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>		15
 	5 SP	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	10	95
		<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>		64
 	5 BA	<i>E. urophylla</i>	5	38
		<i>E. urophylla</i> x <i>E. spp.</i>		17
 	6 SP	<i>E. amplifolia</i>	5	81
		<i>E. longirostrata</i>		81
		<i>E. major</i>		72
 	6 SP	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	5	25
		<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>		28
		<i>E. grandis</i>		23
		<i>E. urophylla</i>		42

Amplitude de variação da DB entre árvores

Posições

Maiores variações – 0 e 100%

Menores variações – 25%

Amplitude

0% - 26 a 136 kg/m³

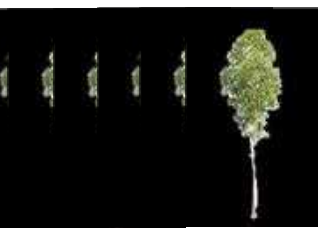
DAP – 15 a 117 kg/m³

25% - 17 a 154 kg/m³

50% - 20 a 113 kg/m³

75% - 23 a 115 kg/m³

100% - 16 a 126 kg/m³



Idade (anos)	Espécies	n	Posições de amostragem (kg/m ³)					
			0%	DAP	25%	50%	75%	100%
  3 MA e TO	<i>E. urophylla</i> var. <i>platyphylla</i>	10	73	97	40	52	41	97
	<i>E. urophylla</i> var. <i>platyphylla</i>		82	40	30	53	56	81
	<i>E. tereticornis</i>		52	50	46	54	40	33
  3 BA	<i>E. urophylla</i>	5	54	62	38	46	80	58
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. spp.</i>		47	15	48	20	90	44
  4 MG	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	4	26	18	17	-	-	-
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>		63	76	73	-	72	-
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>		37	40	49	-	36	-
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>		56	33	34	-	32	-
  5 SP	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	10	115	117	111	113	115	125
	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>		54	70	65	81	82	120
  5 BA	<i>E. urophylla</i>	5	54	62	38	25	62	58
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. spp.</i>		57	26	32	26	23	31
  6 SP	<i>E. amplifolia</i>	5	97	96	154	101	58	62
	<i>E. longirostrata</i>		136	87	118	66	64	80
	<i>E. major</i>		58	82	118	87	115	126
  6 SP	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	5	34	40	56	17	27	44
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>		62	35	46	38	66	32
	<i>E. grandis</i>		68	19	51	89	33	16
	<i>E. urophylla</i>		54	44	41	51	65	84

Amplitude de variação da DB entre árvores

Eucalyptus sp.
Brasil
Cunhas

3 anos – 100 árvores

4 anos – 16 árvores

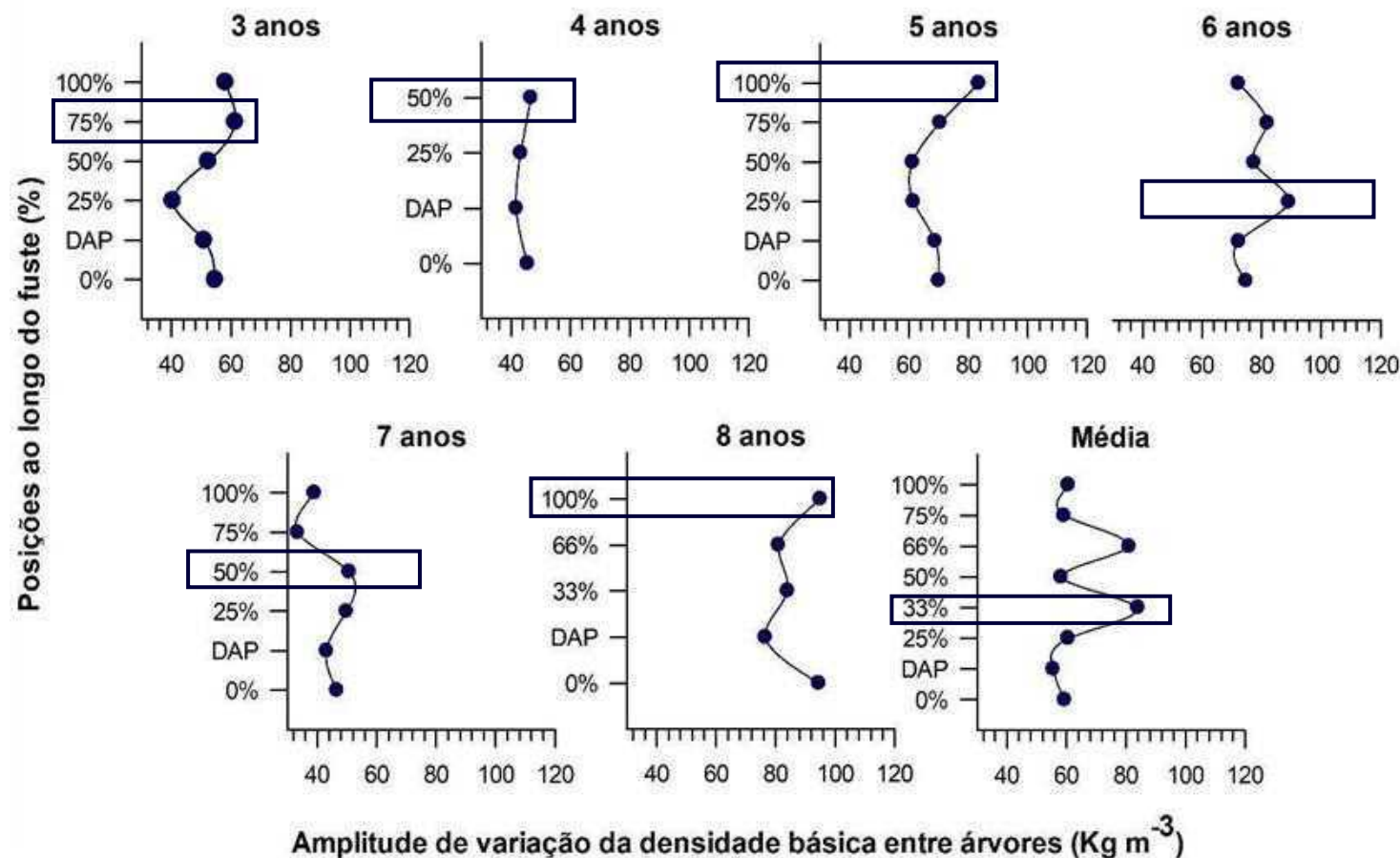
5 anos – 30 árvores

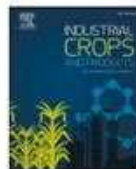
6 anos – 62 árvores

7 anos – 55 árvores

8 anos – 21 árvores

Média – 284 árvores





Productivity and wood quality traits of *Corymbia* and *Eucalyptus* species in two soil water deficit sites

Alexa Barglini de Melo^a, Paulo Henrique Muller da Silva^b, Stéffany de Lima Araujo^a, João Gabriel Missia da Silva^a, Alexandre de Vicente Ferraz^b, Sofia Maria Gonçalves Rocha^c, Maria Naruna Felix Almeida^d, Márcio Araújo^b, Thalyta Godinho^e, Thayanne Caroline Castor Neto^a, Jordão Cabral Moulin^a, Graziela Baptista Vidaurre^a

^a Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Jerônimo Monteiro, ES 29550-000, Brazil

^b Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, SP 13415-000, Brazil

^c Eldorado Brasil, Três Lagoas, MS 79641-300, Brazil

^d Universidade do Estado do Pará, Campus VI, Paragominas, PA 68625-000, Brazil

^e Vallourec Florestal, Paraupeba, MG 35774-000, Brazil

European Journal of Wood and Wood Products (2025) 83:38
<https://doi.org/10.1007/s00107-024-02173-0>

ORIGINAL ARTICLE



Effect of the P-factor on the prehydrolysis process of eucalyptus wood for dissolving pulp production

Vaniele Bento dos Santos¹, Duarte Miranda Neiva², Maria Fernanda Vieira Rocha³, João Filipe Rodrigues Guimarães¹, Leonardo Sarno Soares Oliveira³, Fernando José Borges Gomes⁴, Jorge Gominho², Graziela Baptista Vidaurre¹

Received: 4 April 2024 / Accepted: 7 October 2024 / Published online: 13 January 2025
 © The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2025

Abstract

Prehydrolysis kraft is the industrial process most frequently used to produce dissolving pulp using continuous or batch technologies. Wood prehydrolysis is the most critical step in the dissolving pulp production stages, aiming at removing hemicelluloses before wood pulping, as hemicelluloses tend to impair cellulose reactivity during the dissolving pulp derivatization process. The performance and extent of this process can be controlled mainly through retention time and temperature conditions, with the P-factor being the severity parameter used to correlate both variables in pulp mills. This study assesses the effects of the P-factor on the prehydrolysis process of eucalyptus clone wood used for dissolving pulp production, deriving regression models to aid in the decision-making and optimization of this process. Five trees from two clones—*Eucalyptus urophylla* and *E. urophylla* × *E. spp.* at the ages of 3 and 5 years—grown in plantations located in Bahia State, Brazil, were evaluated. Hydrothermal pretreatments were applied to wood chips under different time and temperature conditions (P-factor), and the chemical characteristics of the treated wood (lignins and carbohydrates) were determined. The experimental design provided a comprehensive view of the severity factor's effect on each wood macro-component, showing the threshold at which the required amount of hemicelluloses was removed without affecting the cellulose fraction. Hemicelluloses solubilization and removal extended up to 90% within the experimental conditions, with the optimized point achieved at a P-factor of 873. The regression models produced showed good fit for process yield, hemicellulose, and lignin removal.

Sampling strategies along the tree stem to determine the basic density of *Eucalyptus* wood

Stéffany de Lima Araujo^{1,2}, Luana Bento Protázio^{1,2}, Gabriela Goldner Gimenez^{1,2}, Udson de Oliveira Barros Junior^{1,2}, Thayanne Caroline Castor Neto^{1,2}, Daniella Flávia Said Heid Schettini Silva^{3,4}, Daniela Andrade Neves de Rezende^{3,4}, Maria Naruna Félix de Almeida^{3,4}, João Gabriel Missia da Silva^{1,2}, Graziela Baptista Vidaurre^{1,2}

¹Federal University of Espírito Santo, Department of Forestry and Wood Sciences, Jerônimo Monteiro, ES, Brazil

²Suzano Papel e Celulose S.A., Private Company, Três Lagoas, MS, Brazil

³Dexco S.A., Private Company, Agudos, SP, Brazil

⁴State University of Pará, Department of Forest Sciences, Paragominas, PA, Brazil

Amplitude de variação da DB entre árvores

Varia com a idade e material genético

Não tem padrão definido

Maiores variações na **base** e no **topo**

Seminal x clonal



Amplitude de variação da DB dentro da árvore

1

As propriedades da madeira apresentam **variações** dentro da própria árvore

2

Mudanças nas características **anatômicas** do lenho ao longo do fuste e no sentido radial

3

Diferença entre os valores **mínimos** e **máximos** da DB ao longo do fuste de uma mesma árvore

Amplitude de variação da DB **dentro** da árvore

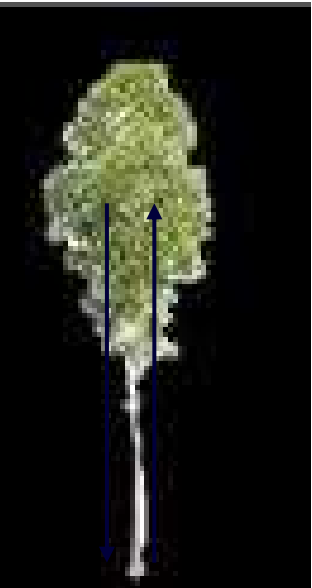
Revela a complexidade
estrutural do lenho



Lenho de reação Lenho maduro
Medula-casca
Lenho tardio Lenho inicial
Base-topo
Ambiente Anatomia Cerne
Lenho juvenil
Genótipo Alburno

Amplitude de variação da DB dentro da árvore

Amplitude de variação de 30 a 47 kg/m³



	Idade (anos)	Clones	n	Posição		Diferença (kg/m³)
				Máximo	Mínimo	
	6 SP	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> <i>E. grandis</i> <i>E. urophylla</i>	5	75%	12,5%	47
	6,8 SP	<i>E. urophylla</i> <i>E. grandis</i> <i>E. grandis</i> <i>E. urophylla</i> <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	5	0%	75%	34
	6 MG	<i>Eucalyptus</i> sp.	280	0%	DAP	30
	6 MG	<i>Eucalyptus</i> sp.	280	0%	DAP	34

Amplitude de variação da DB **dentro** da árvore

Varia com o material genético

Não tem padrão definido

Maiores variações entre posições
próximas a **base** e ao **topo**





Realização

UFES
NUQMAD
NÚCLEO DE QUALIDADE DA MADEIRA

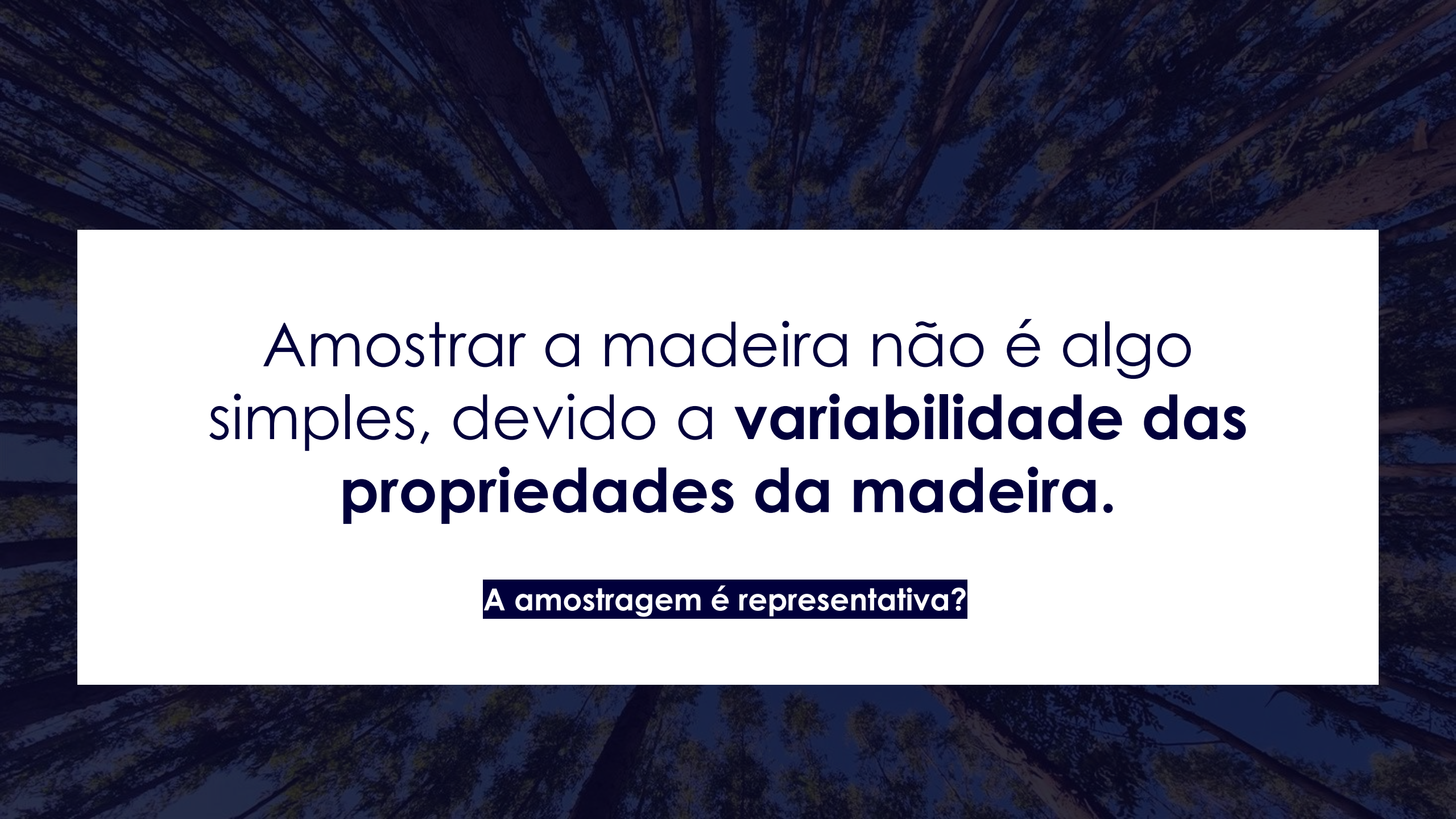
UFES
Universidade Federal
do Espírito Santo

Amostragem da madeira de eucalipto

Otimização e estratégias

Gustavo Jaske da Conceição
Engenheiro Florestal
Pesquisador em Qualidade da Madeira
Mestrando em Ciências Florestais





Amostrar a madeira não é algo simples, devido a **variabilidade das propriedades da madeira**.

A amostragem é representativa?

» Amostragem da madeira de eucalipto para Densidade Básica

Coletar porções **representativas** da madeira

Envolve a escolha do **tipo de amostra** (cunha, disco, bagueta, cavaco)

Posições de coleta base-topo

Número de árvores

Variabilidade longitudinal e radial





**Custos operacionais
(coleta, materiais, mão de
obra, logística)**





**Necessidade de
infraestrutura (estufas,
balanças, autoclaves)**



» Cunhas em autoclave (150 L)

Capacidade de até:

880 cunhas (DAP médio de 15cm)
200 discos (DAP médio de 15 cm)
15 Kg (120 sacolas com 130g cada)



» Discos em caixa d'água (500 L)

Capacidade de até:

480 discos, várias
posições base-topo





Sobrecarga a equipe, eleva o risco de erros





Descarte de
madeira/resíduos



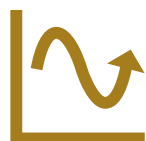
Também é planejamento!!



Norma específica para amostragem base-topo



Amostragem inadequada gera erros e desperdício.



Variabilidade natural exige estratégias otimizadas.



Metodologias mais eficientes e representativas.



1

**Custos
com coleta**

2

Logística

3

**Análises
laboratoriais**

***Reduzir a quantidade sem perder a
qualidade***

**Se o ponto amostral for
estrategicamente escolhido!**

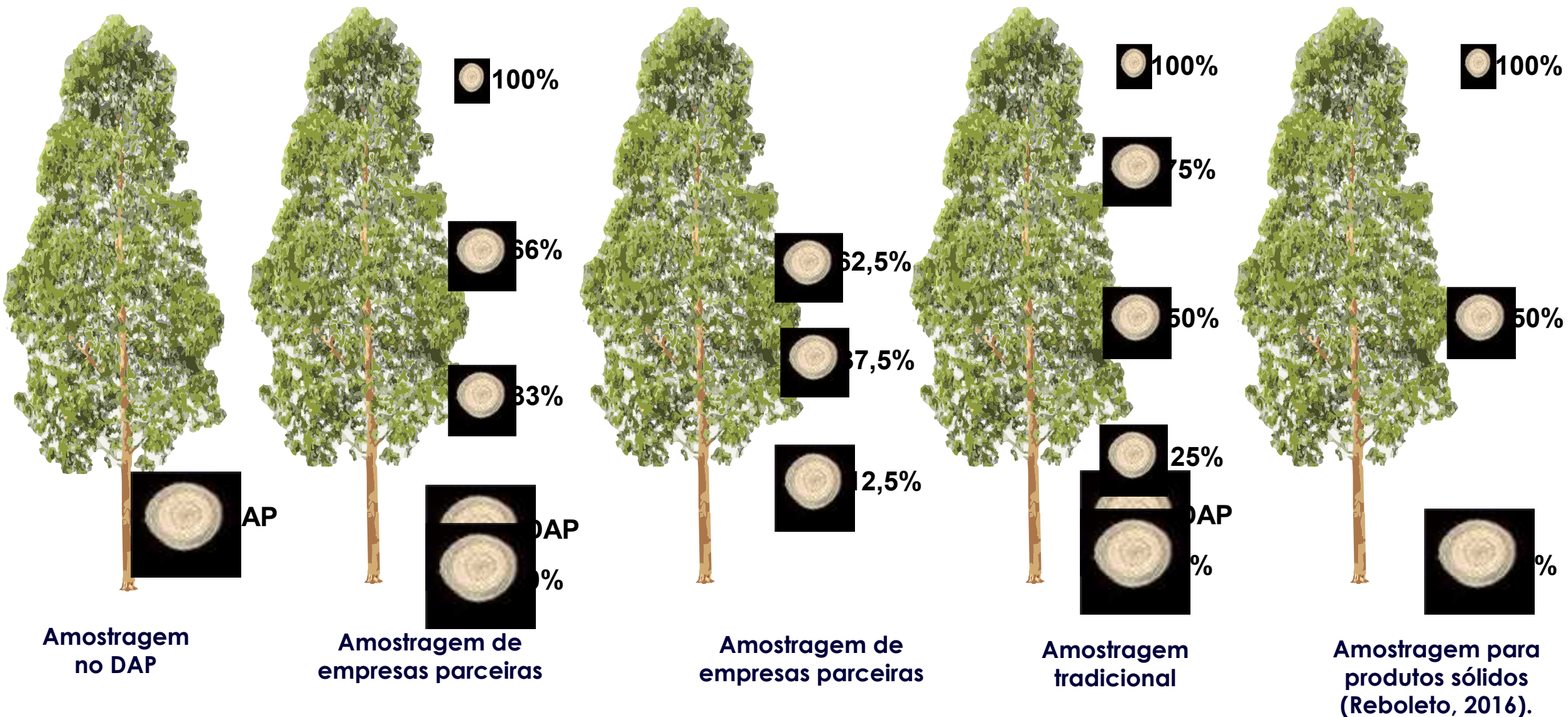
OTIMIZAR O PROCESSO DE AMOSTRAGEM



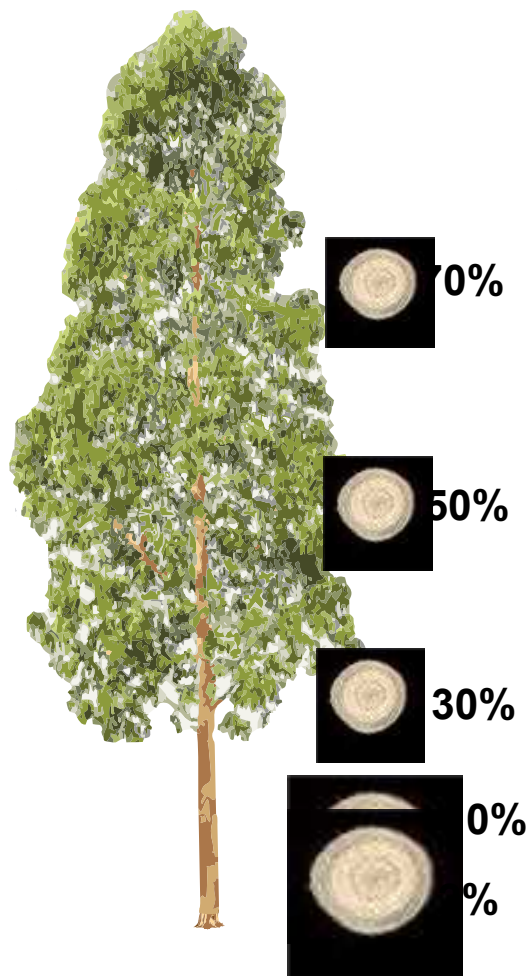
***Amostragem para o
melhoramento genético,
industrial e para a florestal...***



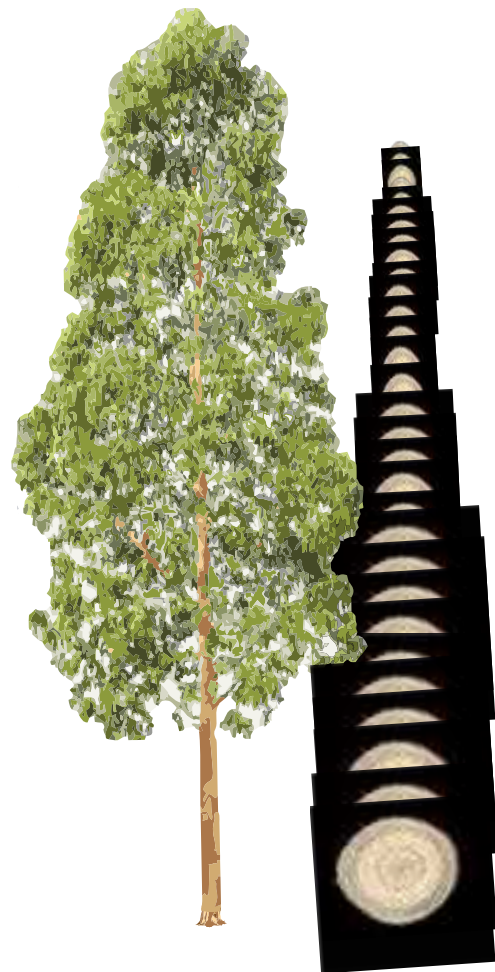
» Amostragem da madeira base-topo



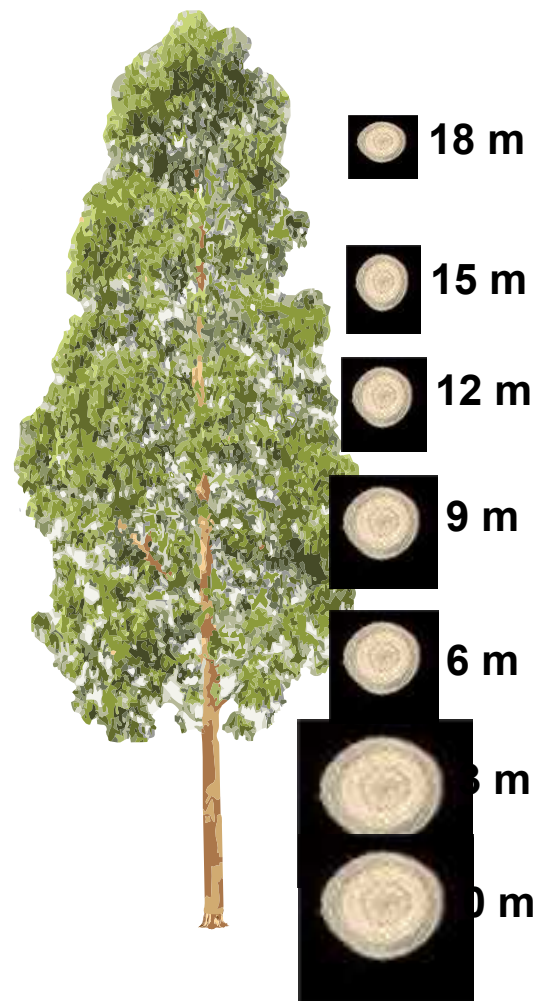
» Amostragem da madeira base-topo



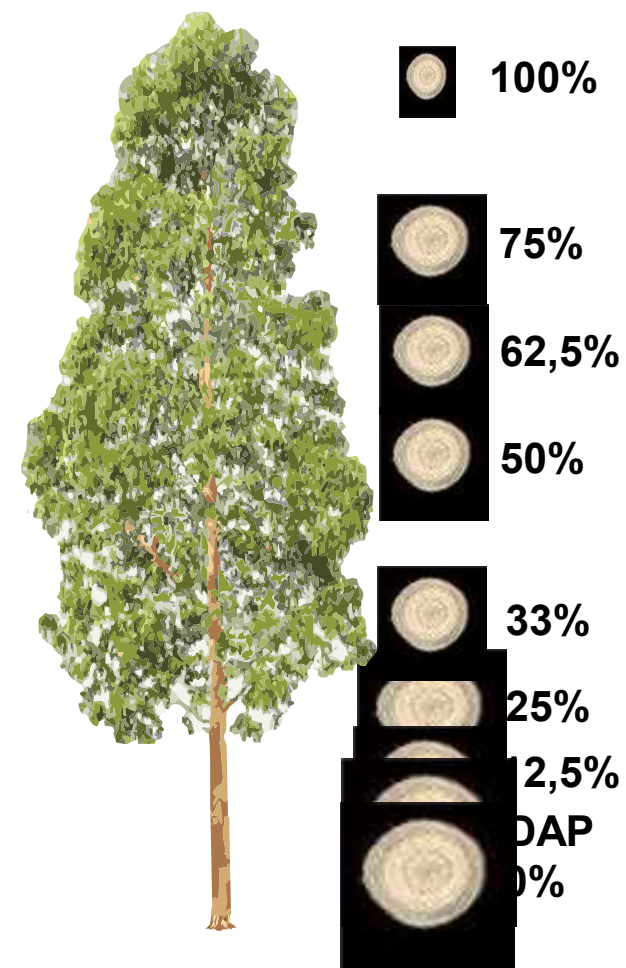
Amostragem alternativa
(Downes et al., 1997)



Amostragem de
metro em metro



Amostragem pontual
(Sette Jr et al., 2012)



Amostragem composta
para estratégias
(Araujo et al., 2025)

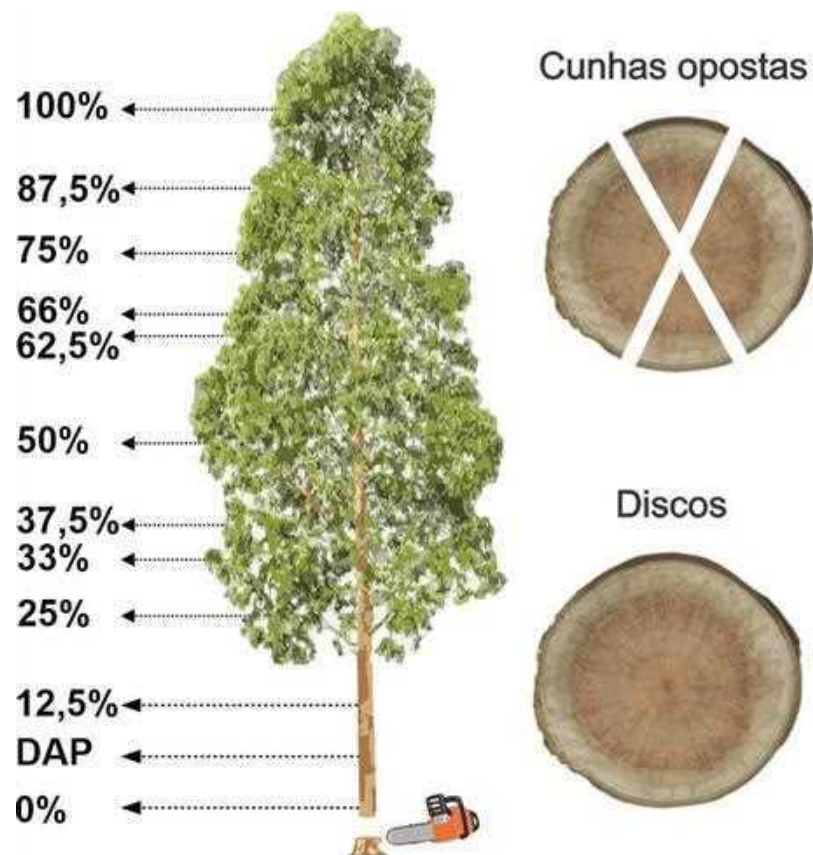
12 Pontos amostrais

2 Tipos de amostras



IPEF

ProDM
DENSIDADE DA MADEIRA



- Diferentes materiais genéticos
- Várias Idades
- 13 locais no Brasil

Ponto ótimo de amostragem



Resultados parciais...

Tabela 1. Equações de regressão linear para predição da densidade da madeira de eucalipto por cunhas (Modelo geral)

Nº de posições	p-valor	R²aj.	RMSE	Equação ajustada
1	0,00*	90,58	11,87	$DB_{média} = 44,07 + 0,91 * DB_{25\%}$
2	0,00*	95,19	8,49	$DB_{média} = 45,26 + 0,47 * DB_{25\%} + 0,44 * DB_{50\%}$
3	0,00*	97,31	6,34	$DB_{média} = 0,25 * DB_{DAP} + 0,34 * DB_{33\%} + 0,40 * DB_{75\%}$
4	0,00*	98,36	4,96	$DB_{média} = 28,57 + 0,20 * DB_{0\%} + 0,29 * DB_{25\%} + 0,27 * DB_{82,5\%} + 0,19 * DB_{100\%}$
5	0,00*	98,82	4,20	$DB_{média} = 20,75 + 0,16 * DB_{DAP} + 0,22 * DB_{25\%} + 0,19 * DB_{33\%} + 0,22 * DB_{82,5\%} + 0,17 * DB_{100\%}$
6	0,00*	99,17	3,52	$DB_{média} = 14,65 + 0,12 * DB_{0\%} + 0,14 * DB_{DAP} + 0,20 * DB_{33\%} + 0,19 * DB_{50\%} + 0,19 * DB_{75\%} + 0,12 * DB_{100\%}$
7	0,00*	99,4	2,99	$DB_{média} = 8,28 + 0,12 * DB_{0\%} + 0,12 * DB_{12,5\%} + 0,15 * DB_{25\%} + 0,14 * DB_{37,5\%} + 0,18 * DB_{82,5\%} + 0,13 * DB_{75\%} + 0,13 * DB_{100\%}$
8	0,00*	99,57	2,53	$DB_{média} = 7,30 + 0,10 * DB_{0\%} + 0,12 * DB_{DAP} + 0,11 * DB_{25\%} + 0,12 * DB_{33\%} + 0,14 * DB_{50\%} + 0,12 * DB_{80\%} + 0,14 * DB_{75\%} + 0,11 * DB_{100\%}$
9	0,00*	99,68	2,19	$DB_{média} = 5,19 + 0,09 * DB_{0\%} + 0,09 * DB_{DAP} + 0,07 * DB_{12,5\%} + 0,09 * DB_{25\%} + 0,11 * DB_{33\%} + 0,14 * DB_{50\%} + 0,13 * DB_{80\%} + 0,14 * DB_{75\%} + 0,11 * DB_{100\%}$
10	0,00*	99,79	1,79	$DB_{média} = 4,33 + 0,09 * DB_{0\%} + 0,08 * DB_{DAP} + 0,08 * DB_{12,5\%} + 0,09 * DB_{25\%} + 0,10 * DB_{37,5\%} + 0,10 * DB_{50\%} + 0,09 * DB_{82,5\%} + 0,09 * DB_{80\%} + 0,12 * DB_{75\%} + 0,11 * DB_{100\%}$
11	0,00*	99,87	1,37	$DB_{média} = 0,09 * DB_{0\%} + 0,09 * DB_{DAP} + 0,08 * DB_{12,5\%} + 0,10 * DB_{25\%} + 0,08 * DB_{37,5\%} + 0,11 * DB_{50\%} + 0,08 * DB_{82,5\%} + 0,09 * DB_{80\%} + 0,09 * DB_{75\%} + 0,06 * DB_{87,5\%} + 0,08 * DB_{100\%}$

R²aj.: coeficiente de determinação ajustado; RMSE: erro quadrático médio (%); DBmédia: densidade básica estimada da árvore (kg m-3); DBx%: densidade básica da madeira na posição indicada na árvore (kg m-3); *significativo a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 1. Equações de regressão linear para predição da densidade da madeira de eucalipto por cunhas (Modelo geral)

Nº de posições	p-valor	R²aj.	RMSE	Equação ajustada
1	0,00*	90,58	11,87	$DB_{média} = 44,07 + 0,91 * DB_{25\%}$
2	0,00*	95,19	8,49	$DB_{média} = 45,26 + 0,47 * DB_{25\%} + 0,44 * DB_{50\%}$
3	0,00*	97,31	6,34	$DB_{média} = 0,25 * DB_{DAP} + 0,34 * DB_{33\%} + 0,40 * DB_{75\%}$

- 1 ponto amostral – **25%**
2 pontos amostrais – **25 e 50%**
3 pontos amostrais – **DAP, 33 e 75%**



19 clones de *Eucalyptus* sp.
Várias idades
280 árvores
12 posições de amostragem base-topo
13 locais no Brasil
2 tipos de amostras: Discos e cunhas
DB pela média aritmética

Ponto ótimo de amostragem



Resultados parciais...

Tabela 2. Equações de regressão linear para predição da densidade da madeira de eucalipto por discos (Modelo geral)

Nº de posições	p-valor	R²aj.	RMSE	Equação ajustada
1	0,00*	89,42	11,95	$DB_{média} = 75,05 + 0,84 * DB_{37,5\%}$
2	0,00*	94,31	8,76	$DB_{média} = 61,29 + 0,38 * DB_{25\%} + 0,50 * DB_{37,5\%}$
3	0,00*	96,72	6,64	$DB_{média} = 24,77 + 0,39 * DB_{25\%} + 0,35 * DB_{37,5\%} + 0,21 * DB_{87,5\%}$
4	0,00*	97,75	5,51	$DB_{média} = 27,99 + 0,15 * DB_{0\%} + 0,24 * DB_{25\%} + 0,27 * DB_{37,5\%} + 0,27 * DB_{75\%}$
5	0,00*	98,47	4,55	$DB_{média} = 16,07 + 0,13 * DB_{12,5\%} + 0,23 * DB_{25\%} + 0,27 * DB_{37,5\%} + 0,20 * DB_{60\%} + 0,13 * DB_{100\%}$
6	0,00*	98,96	3,74	$DB_{média} = 13,12 + 0,10 * DB_{0\%} + 0,16 * DB_{DAP} + 0,18 * DB_{33\%} + 0,18 * DB_{50\%} + 0,19 * DB_{62,5\%} + 0,14 * DB_{100\%}$
7	0,00*	99,28	3,12	$DB_{média} = 6,67 + 0,10 * DB_{0\%} + 0,17 * DB_{DAP} + 0,17 * DB_{33\%} + 0,14 * DB_{50\%} + 0,15 * DB_{62,5\%} + 0,13 * DB_{75\%} + 0,14 * DB_{100\%}$
8	0,00*	99,47	2,68	$DB_{média} = 0,10 * DB_{0\%} + 0,14 * DB_{12,5\%} + 0,12 * DB_{25\%} + 0,16 * DB_{37,5\%} + 0,11 * DB_{62,5\%} + 0,12 * DB_{60\%} + 0,12 * DB_{75\%} + 0,10 * DB_{100\%}$
9	0,00*	99,61	2,30	$DB_{média} = 0,10 * DB_{0\%} + 0,15 * DB_{12,5\%} + 0,13 * DB_{25\%} + 0,14 * DB_{37,5\%} + 0,10 * DB_{62,5\%} + 0,10 * DB_{60\%} + 0,10 * DB_{75\%} + 0,07 * DB_{87,5\%} + 0,09 * DB_{100\%}$
10	0,00*	99,71	1,99	$DB_{média} = 0,09 * DB_{0\%} + 0,11 * DB_{DAP} + 0,10 * DB_{12,5\%} + 0,13 * DB_{33\%} + 0,10 * DB_{50\%} + 0,11 * DB_{62,5\%} + 0,07 * DB_{60\%} + 0,10 * DB_{75\%} + 0,07 * DB_{87,5\%} + 0,09 * DB_{100\%}$
11	0,00*	99,81	1,61	$DB_{média} = 0,08 * DB_{0\%} + 0,08 * DB_{DAP} + 0,09 * DB_{12,5\%} + 0,10 * DB_{25\%} + 0,12 * DB_{37,5\%} + 0,08 * DB_{50\%} + 0,09 * DB_{62,5\%} + 0,08 * DB_{60\%} + 0,09 * DB_{75\%} + 0,07 * DB_{87,5\%} + 0,08 * DB_{100\%}$

R²aj.: coeficiente de determinação ajustado; RMSE: erro quadrático médio (%); DBmédia: densidade básica estimada da árvore (Kg m-3); DBx%: densidade básica da madeira na posição indicada na árvore (Kg m-3); *significativo a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2. Equações de regressão linear para predição da densidade da madeira de eucalipto por discos (Modelo geral)

Nº de posições	p-valor	R²aj.	RMSE	Equação ajustada
1	0,00*	89,42	11,95	$DB_{média} = 75,05 + 0,84 * DB_{37,5\%}$
2	0,00*	94,31	8,76	$DB_{média} = 61,29 + 0,38 * DB_{25\%} + 0,50 * DB_{37,5\%}$
3	0,00*	96,72	6,64	$DB_{média} = 24,77 + 0,39 * DB_{25\%} + 0,35 * DB_{37,5\%} + 0,21 * DB_{87,5\%}$



- 1 ponto amostral – **37,5%**
- 2 pontos amostrais – **25 e 37,5%**
- 3 pontos amostrais – **25, 37,5 e 87,5%**



19 clones de *Eucalyptus* sp.
Várias idades
280 árvores
12 posições de amostragem base-topo
13 locais no Brasil
2 tipos de amostras: Discos e cunhas
DB pela média aritmética

Ponto ótimo de amostragem

Tabela 2. Análise da estimativa da densidade básica média ponderada da árvore por meio de cada ponto amostral.
Table 2. Analysis of estimated weighted average density of tree through each sampling point.

Posição referente à altura comercial	Local A		Local B	
	Correlação	R ² (%)	Correlação	R ² (%)
0%	0,3076	9,46	0,4316	18,63
DAP (altura do peito)	0,7447	55,46	0,5936	35,24
33%	0,8179	66,89	0,7603	57,81
66%	0,5553	30,84	0,3387	11,48
100%	0,1806	3,26	0,6876	47,79

Correlação indica o coeficiente de correlação de Pearson e R² se refere ao coeficiente de determinação da regressão linear simples, ambos respectivos a relação entre a DB pontual e a DB_{ap} para um mesmo local.

Tabela 3. Análise da otimização com dois pontos amostrais ao longo do fuste.
Table 3. Analysis of optimization with two sampling points along of stem.

Alternativa amostral	Local A			Local B		
	Correlação	R ² (%)	DB (g/cm ³) ± DP	Correlação	R ² (%)	DB (g/cm ³) ± DP
0% e DAP	0,5735	32,89	0,4758 ± 0,02	0,5910	34,93	0,49 ± 0,021
0% e 33%	0,7375	54,39	0,4793 ± 0,017	0,8138	66,22	0,4977 ± 0,018
0% e 66%	0,5610	31,47	0,4961 ± 0,022	0,5106	26,07	0,4941 ± 0,018
0% e 100%	0,3744	14,02	0,4876 ± 0,017	0,6046	36,55	0,4788 ± 0,02
DAP e 33%	0,8621	74,33	0,4519 ± 0,018	0,9096	82,74	0,4723 ± 0,017
DAP e 66%	0,8674	75,23	0,4686 ± 0,017	0,6983	48,76	0,4687 ± 0,015
DAP e 100%	0,5951	35,42	0,4601 ± 0,015	0,7395	54,67	0,4534 ± 0,018
33% e 66%	0,8742	76,43	0,4722 ± 0,019	0,7849	61,61	0,4764 ± 0,016
33% e 100%	0,6794	46,15	0,4637 ± 0,016	0,8700	75,70	0,4611 ± 0,018
66% e 100%	0,4842	23,45	0,4804 ± 0,021	0,6507	42,35	0,4575 ± 0,016

DB = Densidade básica média da alternativa. DP = Desvio Padrão. Correlação indica o coeficiente de correlação de Pearson e R² se refere ao coeficiente de determinação da regressão linear simples, ambos respectivos a relação entre a DB média alternativa e a DB_{ap} para um mesmo local.

Tabela 4. Análise da otimização com três pontos amostrais ao longo do fuste.
Table 4. Analysis of optimization with three sampling points along of stem.

Alternativa amostral	Local A			Local B		
	Correlação	R ² (%)	DB (g/cm ³) ± DP	Correlação	R ² (%)	DB (g/cm ³) ± DP
0%, DAP e 33%	0,7968	63,49	0,469 ± 0,016	0,8568	73,41	0,4867 ± 0,017
0%, DAP e 66%	0,7433	55,25	0,4801 ± 0,017	0,6672	44,51	0,4843 ± 0,016
0%, DAP e 100%	0,6075	36,91	0,4745 ± 0,015	0,6789	46,09	0,4741 ± 0,019
0%, 33% e 66%	0,8300	68,89	0,4825 ± 0,017	0,8282	68,59	0,4894 ± 0,015
0%, 33% e 100%	0,7519	56,54	0,4769 ± 0,013	0,8323	69,28	0,4792 ± 0,017
0%, 66% e 100%	0,5570	31,03	0,488 ± 0,018	0,6430	41,35	0,4768 ± 0,017
DAP, 33% e 66%	0,9842	96,87	0,4642 ± 0,016	0,9752	95,10	0,4725 ± 0,013
DAP, 33% e 100%	0,8224	67,64	0,4586 ± 0,014	0,9234	85,26	0,4623 ± 0,016
DAP, 66% e 100%	0,7407	54,87	0,4697 ± 0,016	0,7937	62,99	0,4599 ± 0,014
33%, 66% e 100%	0,7720	59,60	0,4721 ± 0,016	0,8773	76,97	0,465 ± 0,015

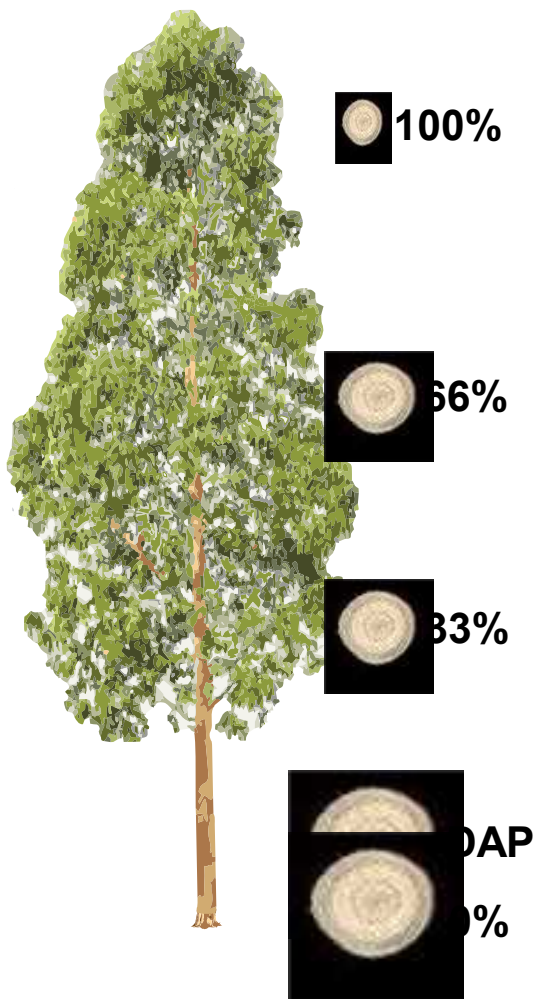
DB = Densidade básica média da alternativa. DP = Desvio Padrão. Correlação indica o coeficiente de correlação de Pearson e R² se refere ao coeficiente de determinação da regressão linear simples, ambos respectivos a relação entre a DB média alternativa e a DB_{ap} para um mesmo local.

Nörnberg et al., (2023)

E. saligna;

8 anos - RS;

0, DAP, 33, 66 e 100%



2 pontos amostrais – **DAP e 33%**

3 pontos amostrais – **DAP, 33 e 66%**

Ponto ótimo de amostragem

Table 6: Linear regression equations, precision statistics for predicting the basic density of eucalyptus wood at 6 years, using sampling positions as independent variables.

Nº of positions	p-value	R²aj.	RMSE	Adjusted equation
1	0.00*	0.90	7.36	$BWD_{average} = 163.0525 + 0.6264 * BWD_{75\%}$
2	0.00*	0.95	5.16	$BWD_{average} = 154.5032 + 0.2939 * BWD_{82.5\%} + 0.3528 * BWD_{75\%}$
3	0.00*	0.97	4.13	$BWD_{average} = 128.8669 + 0.1587 * BWD_{50\%} + 0.2604 * BWD_{82.5\%} + 0.2808 * BWD_{75\%}$
4	0.00*	0.98	3.37	$BWD_{average} = 136.0949 + 0.1493 * BWD_{50\%} + 0.2245 * BWD_{82.5\%} + 0.2586 * BWD_{75\%} + 0.0548 * BWD_{100\%}$
5	0.00*	0.99	2.66	$BWD_{average} = 115.9645 + 0.1531 * BWD_{12.5\%} + 0.1366 * BWD_{50\%} + 0.1661 * BWD_{82.5\%} + 0.2185 * BWD_{75\%} + 0.0677 * BWD_{100\%}$
6	0.00*	0.99	2.10	$BWD_{average} = 82.1448 + 0.0646 * BWD_{0\%} + 0.1504 * BWD_{12.5\%} + 0.1056 * BWD_{50\%} + 0.1975 * BWD_{82.5\%} + 0.2272 * BWD_{75\%} + 0.0689 * BWD_{100\%}$
7	0.00*	0.99	1.73	$BWD_{average} = 56.6260 + 0.0691 * BWD_{0\%} + 0.0754 * BWD_{DBH} + 0.1529 * BWD_{12.5\%} + 0.1146 * BWD_{50\%} + 0.1988 * BWD_{82.5\%} + 0.1852 * BWD_{75\%} + 0.0777 * BWD_{100\%}$
8	0.04*	1.00	1.12	$BWD_{average} = 27.4734 + 0.08 * BWD_{75\%} + 0.1157 * BWD_{82.5\%}$

R²aj.: adjusted coefficient of determination; RMSE: root mean-square error (%); Df density at the position indicated in the tree (Kg m⁻³); *significant at 5% error prob.

Tabela 1. Estatísticas utilizadas para avaliar a estimativa da densidade básica média por meio da amostragem de apenas uma posição na árvore.

Table 1. Statistics used to evaluate the estimation of average basic density by sampling only one position in the tree.

Amostragem pontual	Desvios				Testes de pressuposição residual	
	Soma (g/cm³)	S _{ay} (g/cm³)	Máximo (g/cm³)	Mínimo (g/cm³)	W	GQ
5%	-0,031	0,014	0,051	-0,072	0,9664*	1,5701*
25%	0,501	0,010	0,039	-0,028	0,9897 ^{ns}	2,0550*
26%	0,227	0,010	0,037	-0,029	0,9902 ^{ns}	1,7901*
27%	-0,047	0,009	0,035	-0,031	0,9899 ^{ns}	1,8827*
78%	-0,227	0,010	0,031	-0,030	0,9931 ^{ns}	0,8107 ^{ns}
79%	-0,049	0,011	0,034	-0,030	0,9931 ^{ns}	0,7963 ^{ns}
80%	0,138	0,011	0,037	-0,031	0,9931 ^{ns}	0,7692 ^{ns}
DAP	0,918	0,013	0,043	-0,060	0,9711*	1,6057*

S_{ay}: desvio padrão; DAP: densidade básica a 1,30 m do solo; W* e GQ*: ausência de normalidade e homocedasticidade dos desvios, respectivamente.

Próximo ao topo



Araújo et al., (2025)

» 75%

4 clones: *E. urophylla* x *E. grandis* (C1), *E. urophylla* x *E. grandis* (C2), *E. grandis* (C3) e *E. urophylla* (C4);
20 árvores;
6 anos;
9 posições avaliadas;
7 amostragens diferentes.

46 clones de *Eucalyptus* sp.
42 meses de idade
230 árvores
Sete alturas relativas
21 métodos de amostragem
Longitudinal no fuste das árvores

» 79% Couto et al., (2012)

Souza *et al.*, (1986)

» Entre 25 e 50% da Hc

Benjamin e Ballarin (2003)

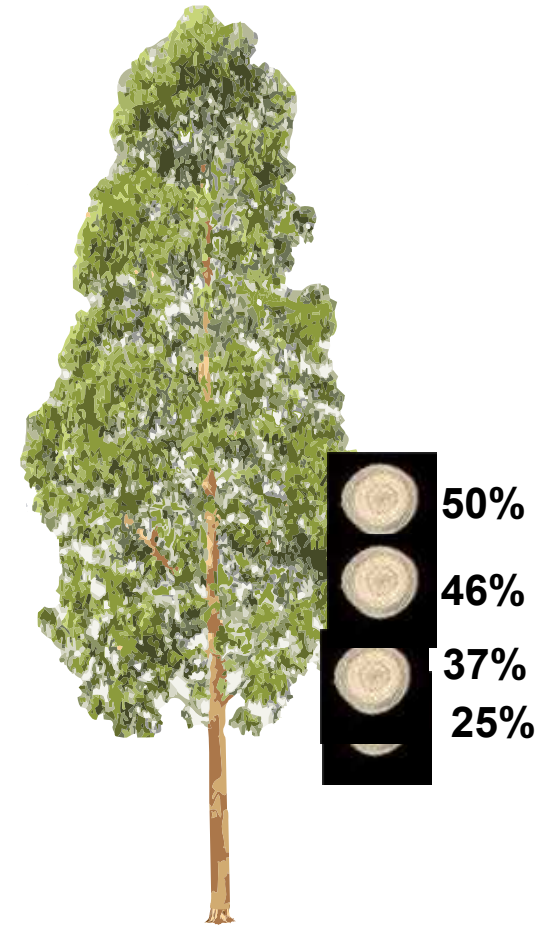
» 25% da Hc

Bruder *et al.*, (2010)

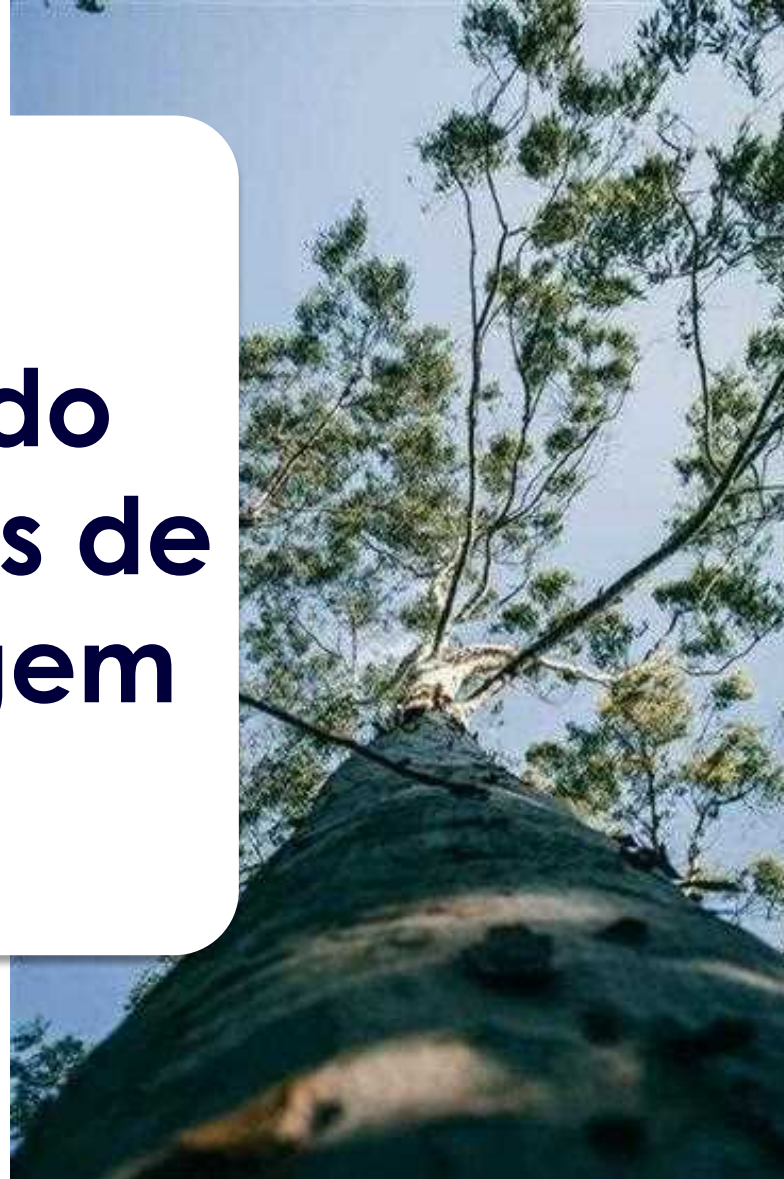
» 46% da Hc

Dados internos (ProDM)

» 25 e 37% da Hc

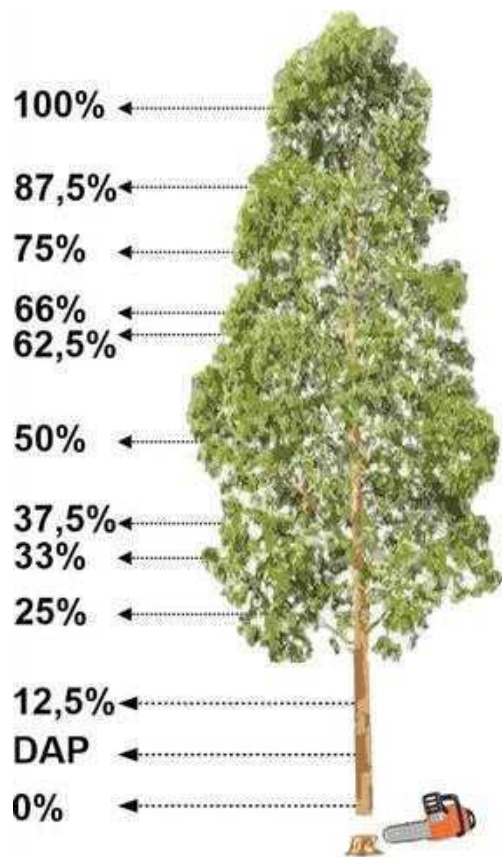


Avaliando estratégias de amostragem



Avaliando estratégias de amostragem

Resultados parciais...



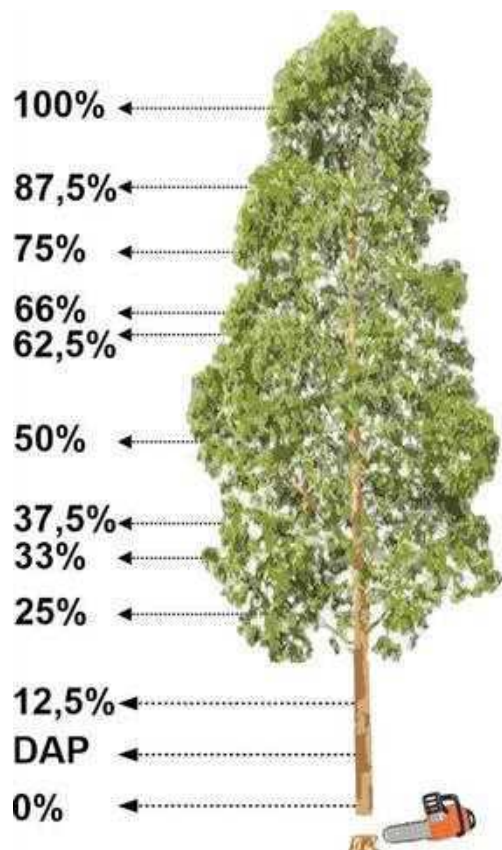
Estratégias de amostragem	p-valor	R ² aj.	RMSE	Equação ajustada
Modelo geral - Cunhas				
DAP	0,00*	77,02	18,54	$DB_{média} = 165,98 + 0,69 * DB_{DAP}$
Alternativa 1	0,00*	96,93	6,78	$DB_{média} = 47,91 + 0,31 * DB_{0\%} + 0,38 * DB_{50\%} + 0,21 * DB_{100\%}$
Alternativa 2	0,00*	96,92	6,79	$DB_{média} = 0,25 * DB_{12,5\%} + 0,36 * DB_{37,5\%} + 0,36 * DB_{62,5\%}$
Alternativa 2 + DAP	0,00*	97,24	6,43	$DB_{média} = 0,11 * DB_{DAP} + 0,18 * DB_{12,5\%} + 0,33 * DB_{37,5\%} + 0,37 * DB_{62,5\%}$
Remoção dos extremos	0,00*	97,95	5,53	$DB_{média} = 12,62 + 0,22 * DB_{DAP} + 0,22 * DB_{25\%} + 0,26 * DB_{50\%} + 0,28 * DB_{75\%}$
Alternativa 3	0,00*	98,24	5,13	$DB_{média} = 15,09 + 0,16 * DB_{0\%} + 0,11 * DB_{DAP} + 0,26 * DB_{33\%} + 0,26 * DB_{66\%} + 0,17 * DB_{100\%}$
Tradicional	0,00*	99,1	3,67	$DB_{média} = 19,64 + 0,12 * DB_{0\%} + 0,13 * DB_{DAP} + 0,17 * DB_{25\%} + 0,20 * DB_{50\%} + 0,18 * DB_{75\%} + 0,14 * DB_{100\%}$



- 1. Tradicional:** 0, DAP, 25, 50, 75 e 100%
- 2. Alternativa 3:** 0, DAP, 33, 66 e 100%

Avaliando estratégias de amostragem

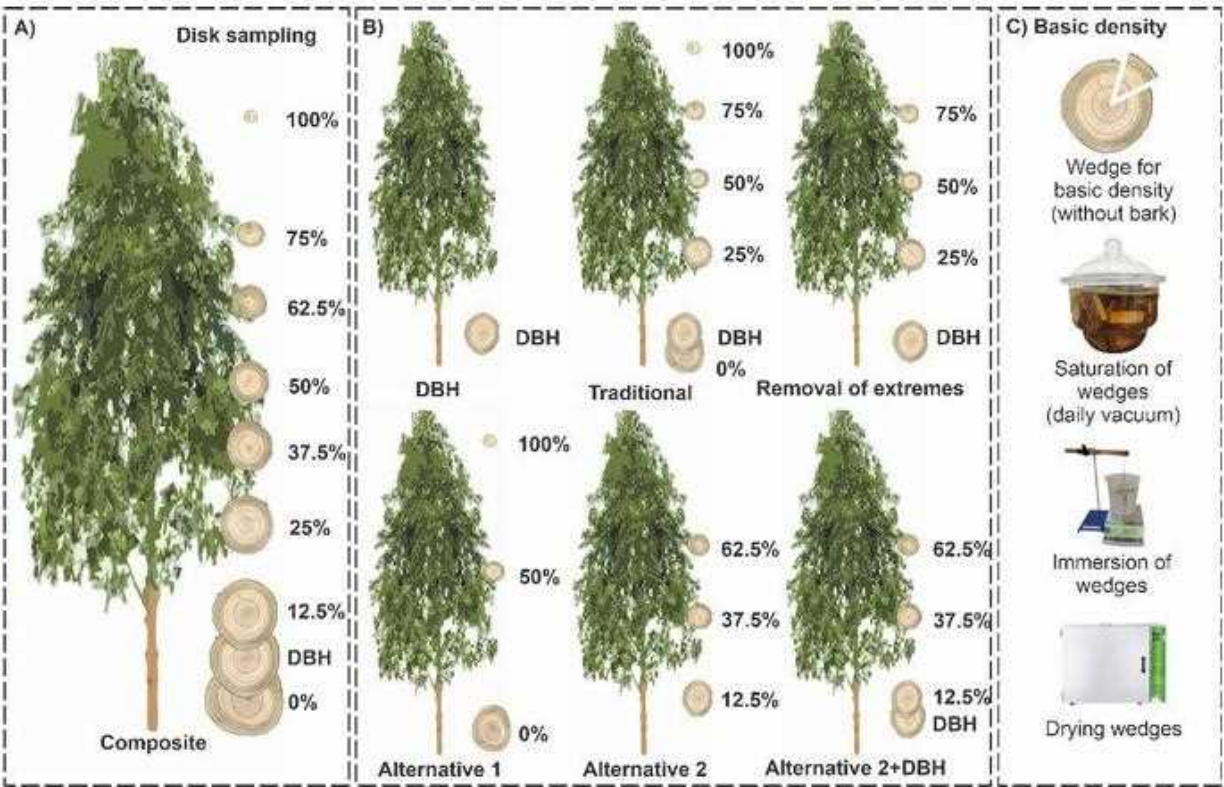
Resultados parciais...



Estratégias de amostragem	p-valor	R ² aj.	RMSE	Equação ajustada
Modelo geral - Discos				
DAP	0,00*	74,36	18,59	DBmédia = 176,11 + 0,68 * DB _{DAP}
Alternativa 1	0,00*	94,70	8,45	DBmédia = 53,28 + 0,25 * DB _{0%} + 0,45 * DB _{50%} + 0,18 * DB _{100%}
Alternativa 2	0,00*	95,92	7,42	DBmédia = 21,83 + 0,25 * DB _{12,5%} + 0,34 * DB _{37,5%} + 0,36 * DB _{62,5%}
Alternativa 2 + DAP	0,00*	96,46	6,91	DBmédia = 21,59 + 0,16 * DB _{DAP} + 0,11 * DB _{12,5%} + 0,33 * DB _{37,5%} + 0,36 * DB _{62,5%}
Remoção dos extremos	0,00*	96,9	6,47	DBmédia = 25,80 + 0,20 * DB _{DAP} + 0,20 * DB _{25%} + 0,25 * DB _{50%} + 0,29 * DB _{75%}
Alternativa 3	0,00*	97,8	5,45	DBmédia = 0,12 * DB _{0%} + 0,16 * DB _{DAP} + 0,28 * DB _{33%} + 0,25 * DB _{66%} + 0,17 * DB _{100%}
Tradicional	0,00*	98,42	4,62	DBmédia = 20,40 + 0,11 * DB _{0%} + 0,14 * DB _{DAP} + 0,17 * DB _{25%} + 0,21 * DB _{50%} + 0,20 * DB _{75%} + 0,12 * DB _{100%}



1. Tradicional: 0, DAP, 25, 50, 75 e 100%
2. Alternativa 3: 0, DAP, 33, 66 e 100%



4 clones: *E. urophylla* x *E. grandis* (C1), *E. urophylla* x *E. grandis* (C2), *E. grandis* (C3) e *E. urophylla* (C4);
20 árvores;
6 anos;
9 posições avaliadas;
7 amostragens diferentes.

- 1. Tradicional
2. Remoção dos extremos

As estratégias de amostragem base-topo analisadas não apresentaram diferenças significativas entre si;

O DAP subestimou o valor de densidade básica da madeira;

Table 5: Linear regression equations, precision statistics for predicting the basic density of eucalyptus wood at 6 years, using sampling strategies as independent variables.

Sampling strategies	p-value	R ² aj.	RMSE	Adjusted equation
DBH	0.02*	0.23	20.10	$BWD_{average} = 195.4156 + 0.6190 * BWD_{DBH}$
Traditional	0.72*	0.98	3.03	$BWD_{average} = 11.3243 + 0.0832 * BWD_{0\%} + 0.0947 * BWD_{DBH} + 0.3282 * BWD_{25\%} + 0.1413 * BWD_{50\%} + 0.2146 * BWD_{75\%} + 0.1071 * BWD_{100\%}$
Removal of extremes	0.03*	0.94	5.70	$BWD_{average} = 95.1379 - 0.0184 * BWD_{DBH} + 0.2265 * BWD_{25\%} + 0.1891 * BWD_{50\%} + 0.3779 * BWD_{75\%}$
Alternative 1	0.00*	0.80	10.30	$BWD_{average} = 227.9452 - 0.1117 * BWD_{0\%} + 0.4663 * BWD_{50\%} + 0.1454 * BWD_{100\%}$
Alternative 2	0.00*	0.89	7.54	$BWD_{average} = 146.6383 + 0.2530 * BWD_{12.5\%} - 0.0309 * BWD_{37.5\%} + 0.4651 * BWD_{62.5\%}$
Alternative 2+DBH	0.02*	0.89	7.59	$BWD_{average} = 120.4481 + 0.0922 * BWD_{DBH} + 0.2416 * BWD_{12.5\%} - 0.0456 * BWD_{37.5\%} + 0.4588 * BWD_{62.5\%}$

R²aj.: adjusted coefficient of determination; RMSE: root mean-square error (%); DB_{average}: estimated basic density of the tree (Kg m⁻³); BWD_x %: basic wood density at the position indicated in the tree (Kg m⁻³); *significant at 5% error probability.

Avaliando estratégias de amostragem

Tabela 2. Alternativas amostrais estabelecidas pelas combinações possíveis das alturas relativas que melhor representaram a DBmed.

Table 2. Sampling alternatives established by possible combinations of relative height that better represent average BD.

Alternativa amostral	Alturas relativas utilizadas (%)	Alternativa amostral	Alturas relativas utilizadas (%)
1	5/25/26/27/78	12	5/26/27/78/80
2	5/25/26/27/79	13	5/26/27/79/80
3	5/25/26/27/80	14	5/26/78/79/80
4	5/25/26/78/79	15	5/27/78/79/80
5	5/25/26/78/80	16	25/26/27/78/79
6	5/25/26/79/80	17	25/26/27/78/80
7	5/25/27/78/79	18	25/26/27/79/80
8	5/25/27/78/80	19	25/26/78/79/80
9	5/25/27/79/80	20	25/27/78/79/80
10	5/25/78/79/80	21	26/27/78/79/80
11	5/26/27/78/79	-	-

46 clones de *Eucalyptus* sp.

42 meses de idade

230 árvores

Sete alturas relativas

21 métodos de amostragem

Longitudinal no fuste das árvores

Couto et al., (2012)

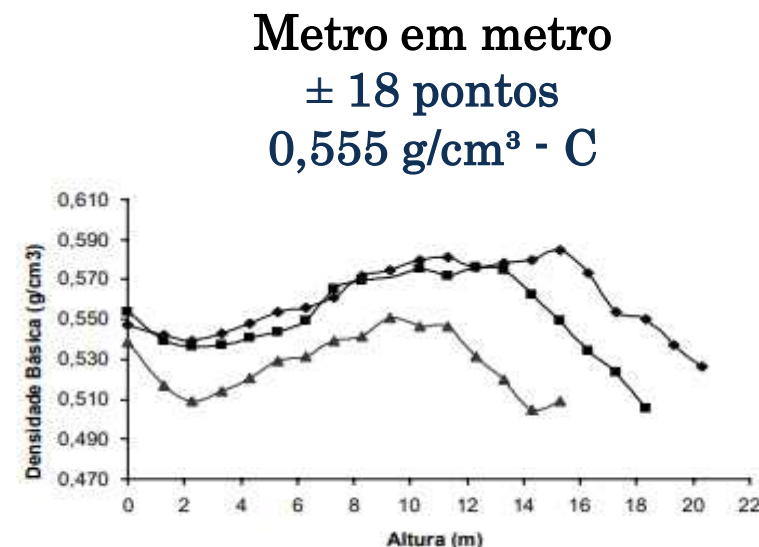
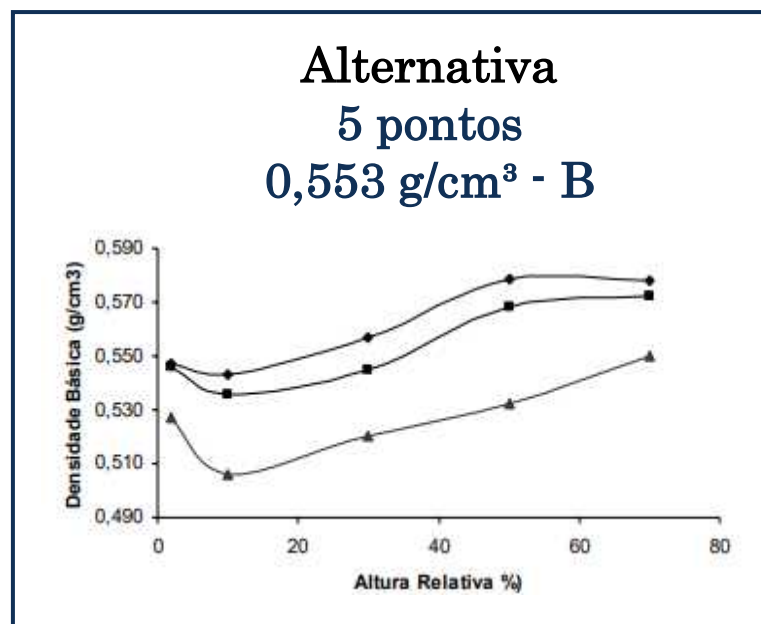
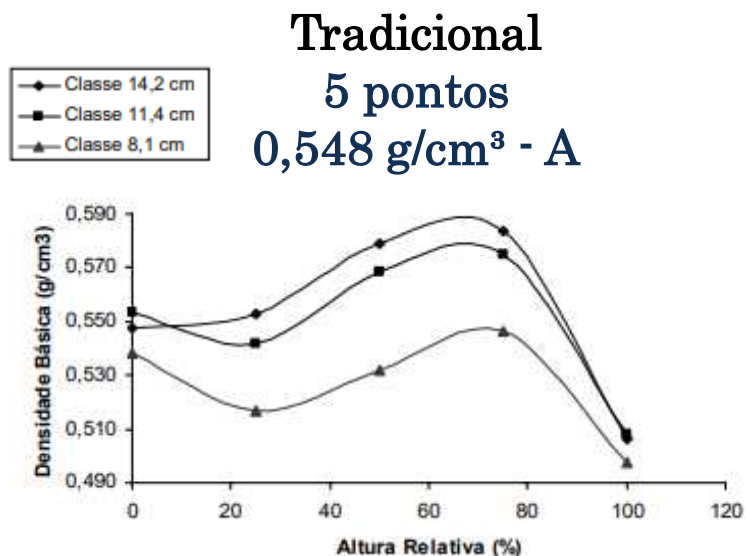


7 (5, 25, 27, 78 e 79%)

11 (5, 26, 27, 78 e 79%)

12 (5, 26, 27, 78 e 80%)

Avaliando estratégias de amostragem



Clone de *E. grandis* x *E. urophylla*;
6 anos – MG;
3 classes diamétricas (8,1 – 11,4 – 14,2 cm);
50 árvores.

- Tradicional: 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial;
- Alternativa: 2, 10, 30, 50 e 70% da altura comercial;
- Metro em metro acrescida de pontos basais: 0, 0,7, 0,9, 1,10, 1,50, DAP - metro em metro;

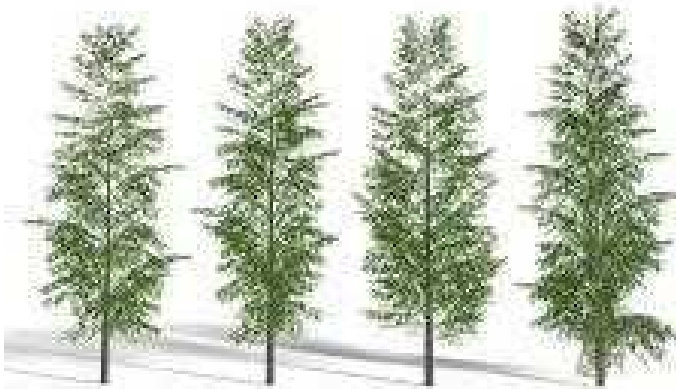
Bagueta
1 ponto
 $0,502 \text{ g/cm}^3$ - D

“DB a 1,10 e 1,50 m do solo - maiores correlações com os métodos de amostragem.”

Avaliando estratégias de amostragem

Costa *et al.* (2017):

- Clone de *Eucalyptus* spp.;
5 anos - RO.

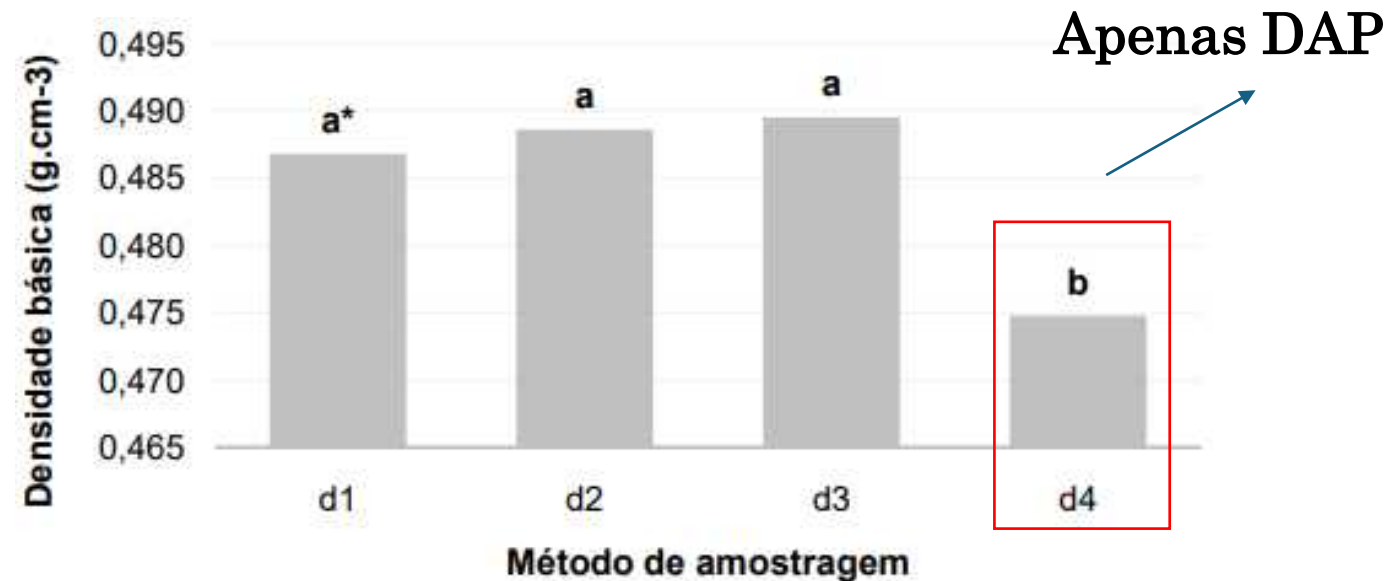


D1: Metro em metro da base até a HC;

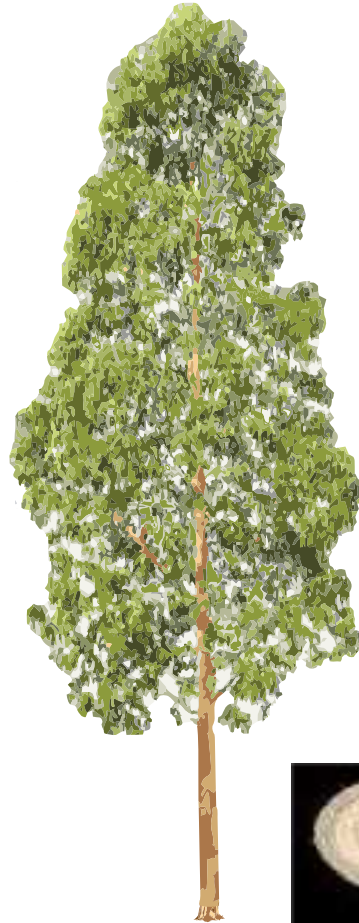
D2: 0%, DAP, 25%, 50%, 75%, 100% da HC;

D3: 0%, 30%, 60%, 90% e 100% da HC;

D4: DAP.



Amostragem no DAP



DBH

Amostragem no DAP

Table 5: Linear regression equations, precision statistics for predicting the basic density of eucalyptus wood at 6 years, using sampling strategies as independent variables.

Sampling strategies	p-value	R ² aj.	RMSE	Adjusted equation
DBH	0.02*	0.23	20.10	$BWD_{average} = 195.4156 + 0.6190 * BWD_{DBH}$
Traditional	0.72*	0.98	3.03	$BWD_{average} = 11.3243 + 0.0832 * BWD_{0\%} + 0.0947 * BWD_{DBH} + 0.3282 * BWD_{25\%} + 0.1413 * BWD_{50\%} + 0.2146 * BWD_{75\%} + 0.1071 * BWD_{100\%}$
Removal of extremes	0.03*	0.94	5.70	$BWD_{average} = 95.1379 - 0.0184 * BWD_{DBH} + 0.2265 * BWD_{25\%} + 0.1891 * BWD_{50\%} + 0.3779 * BWD_{75\%}$
Alternative 1	0.00*	0.80	10.30	$BWD_{average} = 227.9452 - 0.1117 * BWD_{0\%} + 0.4663 * BWD_{50\%} + 0.1454 * BWD_{100\%}$
Alternative 2	0.00*	0.89	7.54	$BWD_{average} = 146.6383 + 0.2530 * BWD_{12.5\%} - 0.0309 * BWD_{37.5\%} + 0.4651 * BWD_{62.5\%}$
Alternative 2+DBH	0.02*	0.89	7.59	$BWD_{average} = 120.4481 + 0.0922 * BWD_{DBH} + 0.2416 * BWD_{12.5\%} - 0.0456 * BWD_{37.5\%} + 0.4588 * BWD_{62.5\%}$

R²_{aj}: adjusted coefficient of determination; RMSE: root mean-square error (%); DB_{average}: estimated basic density of the tree (Kg m⁻³); BWD_{x%}: basic wood density at the position indicated in the tree (Kg m⁻³); *significant at 5% error probability.

Araujo et al., (2025)

4 clones: *E. urophylla* x *E. grandis* (C1), *E. urophylla* x *E. grandis* (C2), *E. grandis* (C3) e *E. urophylla* (C4)
20 árvores
6 anos
9 posições avaliadas
7 amostragens diferentes.

Tabela 2. Análise da estimativa da densidade básica média ponderada da árvore por meio de cada ponto amostral.
Table 2. Analysis of estimated weighted average density of tree through each sampling point.

Posição referente à altura comercial	Local A		Local B	
	Correlação	R ² (%)	Correlação	R ² (%)
0%	0,3076	9,46	0,4316	18,63
DAP (altura do peito)	0,7447	55,46	0,5936	35,24
33%	0,8179	66,89	0,7603	57,81
66%	0,5553	30,84	0,3387	11,48
100%	0,1806	3,26	0,6876	47,79

Correlação indica o coeficiente de correlação de Pearson e R² se refere ao coeficiente de determinação da regressão linear simples; ambos respectivos a relação entre a DB pontual e a DB_{avg} para um mesmo local.

Nörnberg et al., (2023)

E. saligna
8 anos
2 locais - RS
Amostragem:
0, DAP, 33%, 66% e 100% da HC

Amostragem no DAP

Couto et al., (2012)

Observa-se na Tabela 1 que apenas as alturas relativas a 78, 79 e 80% da altura comercial (Hc) atenderam aos dois pressupostos dos desvios simultaneamente. O DAP, por sua vez, além de não atender a nenhum dos pressupostos, apresentou o segundo maior desvio padrão e somatório dos desvios mais distante de zero, inferindo assim que o DAP pode não ser o melhor ponto de amostragem para representar DBmed. A altura relativa a 79% de Hc apresentou o terceiro somatório dos desvios mais próximo a zero, que, aliado à adequação aos pressupostos, indica que esta é a que melhor representa a DBmed.

46 clones de *Eucalyptus* sp.
42 meses de idade
230 árvores
Sete alturas relativas
21 métodos de amostragem
Longitudinal no fuste das árvores

Franco et al., (1998)

TABELA 13: Equações para estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* em relação à posição de amostragem na árvore.

Característica de interesse	Equações	R ² (%)	Syx(%)
Densidade Básica da madeira (g/cm ³)	DB _p = 0,16405 + 0,71623*DB	0,79	2,79
	DB _p = 0,09562 + 0,85534*DB _{1m}	0,91	1,84
	DB _p = 0,23107 + 0,61005*DB _{dap}	0,65	3,58
	DB _p = 0,03356 + 0,94299*DB _{2m}	0,91	1,85
	DB _p = 0,07089 + 0,86828*DB _{3m}	0,83	2,50
	DB _p = 0,05304 + 0,88961*DB _{4m}	0,85	2,31
	DB _p = 0,02322 + 0,94078*DB _{5m}	0,89	1,99
	DB _p = 0,01813 + 0,95158*DB _{6m}	0,90	1,96
	DB _p = 0,2361 + 0,42465*DB _{1m} - 0,0600/DB _{3m} + 0,3658*DB _{6m}	0,97	0,92

Baixa correlação apresentada entre a densidade ao nível do DAP e a densidade ponderada da árvore.

Eucalyptus camaldulensis
127 árvores
28 a 76 meses
Amostragem metro a metro

E amostragem para nativas?



 100%

 50%

 0%

Comercialização
e transporte

Tamanho
do disco

Custo

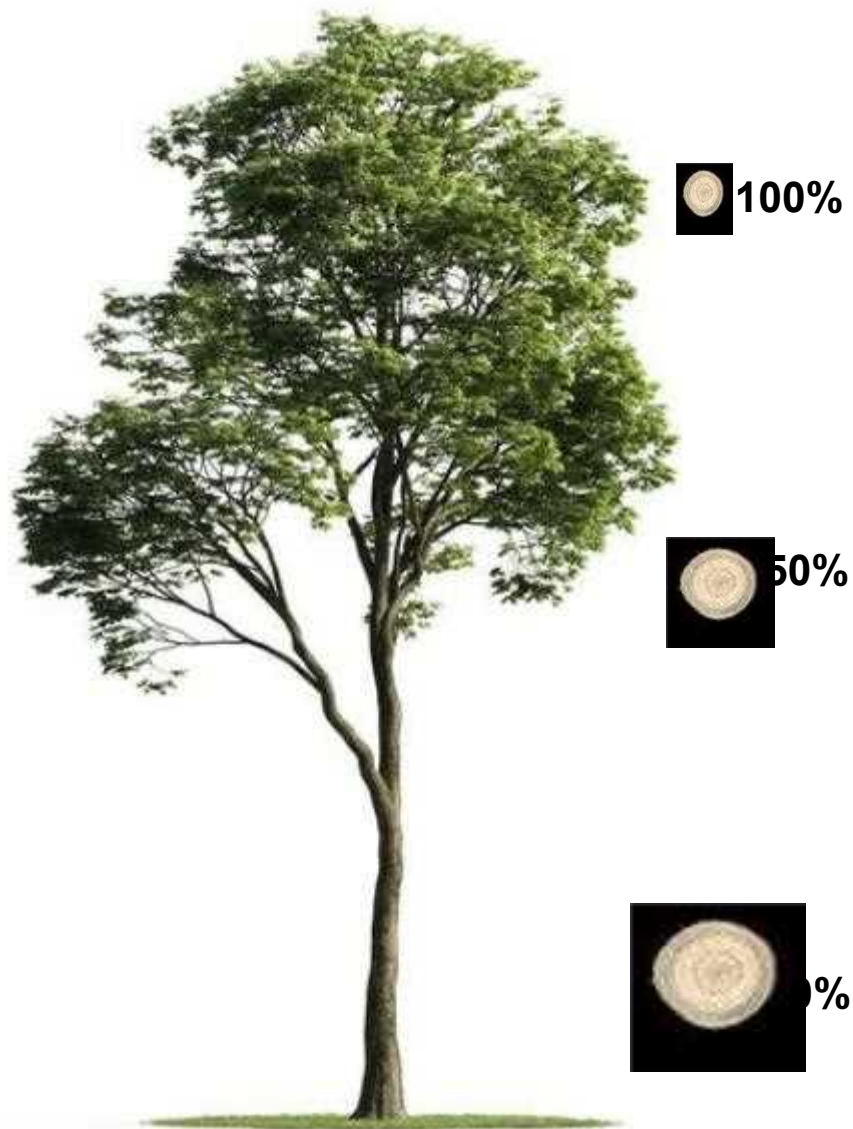
Tipo de
amostra?



Conhecimento
técnico

Variabilidade

E amostragem para nativas?



Análises não destrutivas??

Resistência à perfuração (Resistógrafo / Penetrógrafo);
Propagação de ondas acústicas (Tomografia);
Coleta de amostras radiais (Trado de incremento manual ou motorizado);
Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR).



Realização

UFES
NUQMAD
NÚCLEO DE ESTUDOS EM QUALIDADE DA MADEIRA

UFES
Universidade Federal
do Espírito Santo

Impacto do tipo de amostra

Thayanne Neto
Pesquisadora NUQMAD/UFES

Agosto de 2025



Reflexão inicial...

Por que o tipo de amostra importa?

A escolha não é apenas uma etapa técnica ou logística, ela influencia:



- 1 **Representatividade** da madeira em estudo
- 2 **Precisão** dados obtidos
- 3 **Tomada decisão** na indústria
- 4 Escolha **modelo preditivo**



Tipos de amostra

Disco



Cunha



Cavaco

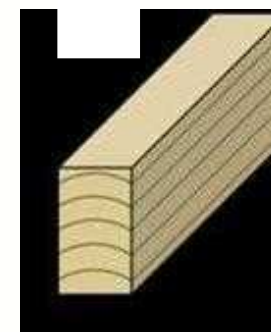


Bagueta



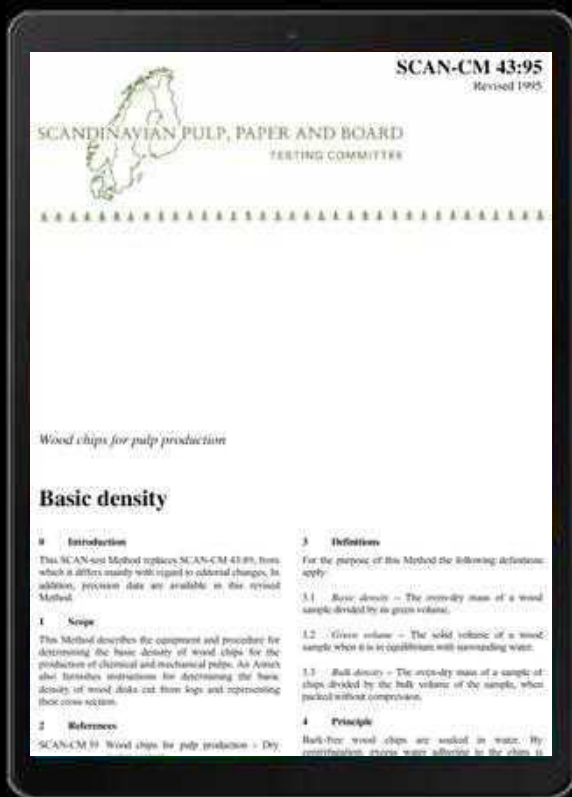
DAP

Norma 7190/23



E as normas?

SCAN-CM 43:95
(1995)*



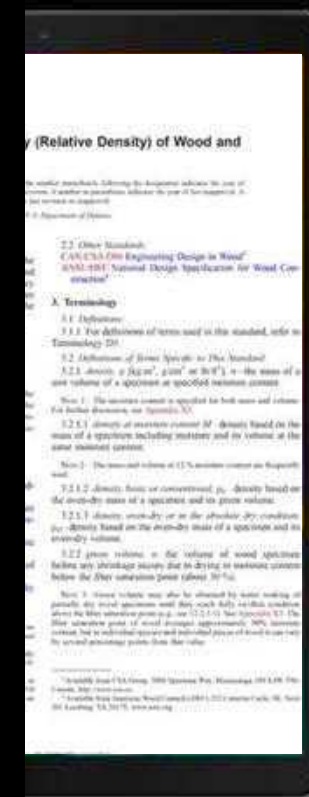
ABNT NBR 11941
(2003)



TAPPI 258 om-02
(2006)



ASTM D2395-14
(2014)



* Cunha ou meio disco
(discos grandes)

Disco e cavaco



Trabalhos com diferentes tipos de amostra...

Pádua, 2009		→  DAP	até 53 kg/m ³	(Eucalipto)
Gouvêa et al., 2011		DAP → 	até 29 kg/m ³	(Eucalipto)
Padula, 2013		→ 	até 55 kg/m ³	(Eucalipto)
Segura, 2015		→ 	até 114 kg/m ³	(Eucalipto Corymbia)
Coelho, 2017		→ 	até 21 kg/m ³	(Pinus)
Coelho, 2021		→ 	até 31 kg/m ³	(Eucalipto)

DB nas indústrias do Brasil?



Não existe padrão
Não está errado!



Indústria	Amostragem	Tipo de amostra	Método
Indústria Celulose e Papel	Toretas base-topo	Cavaco (3 amostras – 500g)	MTU
Indústria Celulose e Papel	Toretas base-topo	Cavaco (3 amostras - 350-400g)	Imersão
Indústria Celulose e Papel	Cavaco da fábrica 2x ao dia	Cavaco (4 amostras 400g)	MTU
Indústria Celulose e Papel	0, DAP, 33, 66 e 100	Cunha	Imersão
Indústria Celulose e Papel	DAP	Disco	Imersão
Indústria Celulose e Papel	Cavaco da fábrica e Pesquisa	Cavaco	MTU
Indústria Celulose e Papel	0, DAP, 25, 50, 75 e 100 (eucalipto) e 0, DAP, 33, 66, 100 (pinus)	Disco	MTU
Indústria Celulose	Cavaco	Cavaco (3 amostras - 150 g)	Imersão
Indústria Painéis	12,5; 37,5 e 62,5	Disco	Imersão
Indústria Painéis	0, DAP, 25, 50, 75 e 100	Cunhas opostas	Imersão
Indústria Painéis	Cavaco da fábrica e Pesquisa	Cavaco (3 amostras - 130g)	MTU e Imersão
Indústria Painéis	0, 50, 100	Disco	Imersão

Reflexão...

Florestal

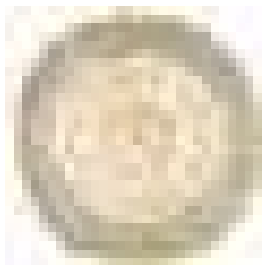


Industrial

Importância **padronização**

Diferenças metodológicas
impactam **decisões operacionais**

Particularidades de cada amostra



Representatividade

Presença nós/lenho de reação

Volume de amostras

Espaço p/ armazenamento

Espaço p/ saturação (caixas d'água)

Tempo saturação



Representatividade

Ausência nós/lenho de reação

Tempo saturação

Tempo preparo das amostras

Volume de amostras

Espaço p/ armazenamento

Espaço p/ saturação (autoclaves)



Particularidades de cada amostra



Particularidades de cada amostra



Volume de amostras (recebe ~3 a 4 kg – utiliza até 900 g)

Espaço p/ armazenamento

Espaço p/ saturação (autoclaves)

Tempo de saturação

Mix 1 ou + árvores

Cavaqueamento + triagem



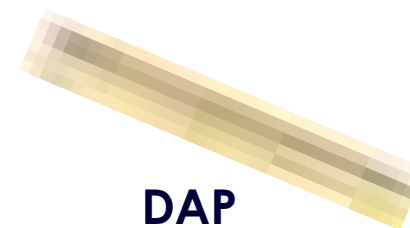
Volume de amostras

Espaço p/ armazenamento

Espaço p/ saturação

Tempo de saturação

Representação geralmente DAP

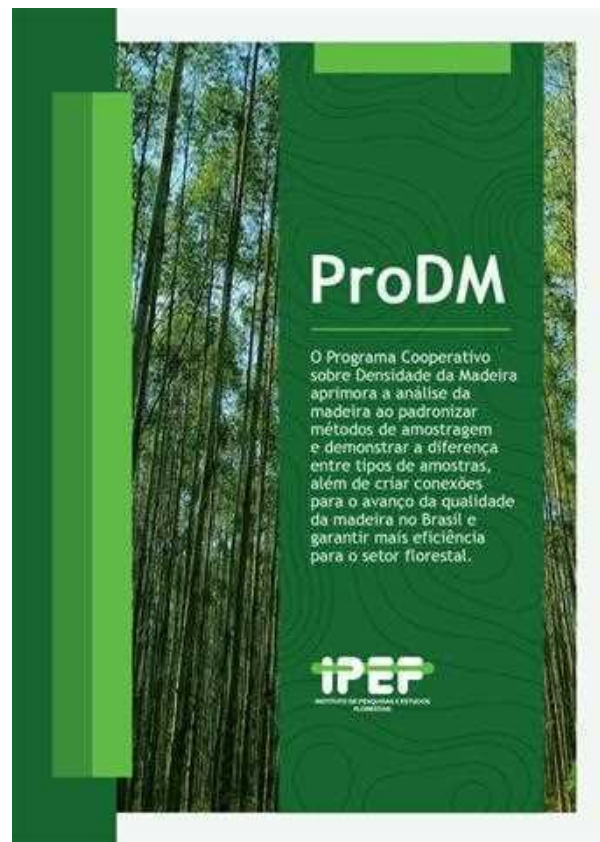


DAP

Particularidades de cada amostra



ProDM em números...



ipef.br/prodm/



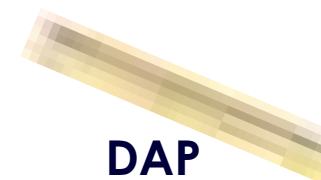
9.880



9.520



537



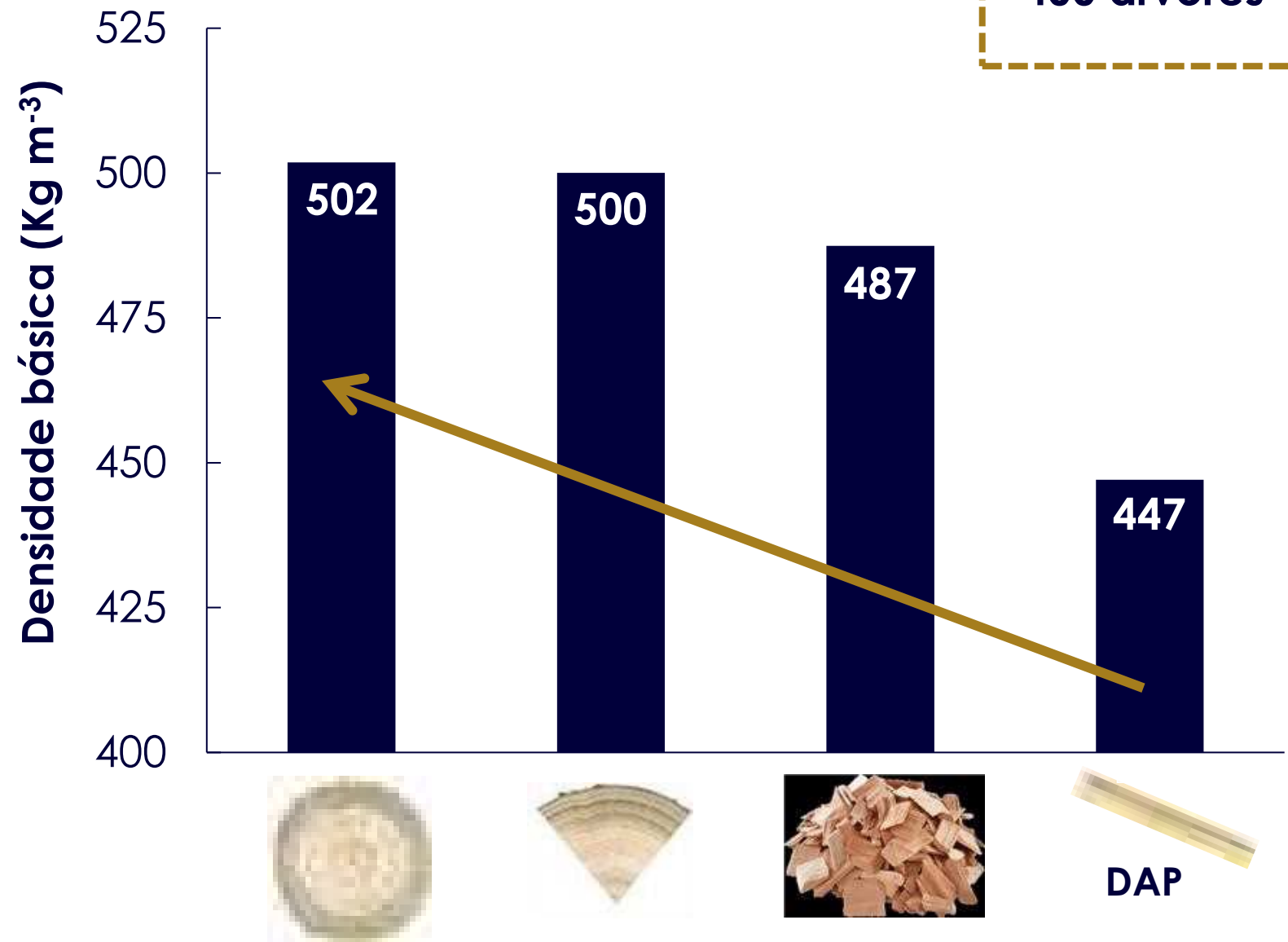
DAP

310



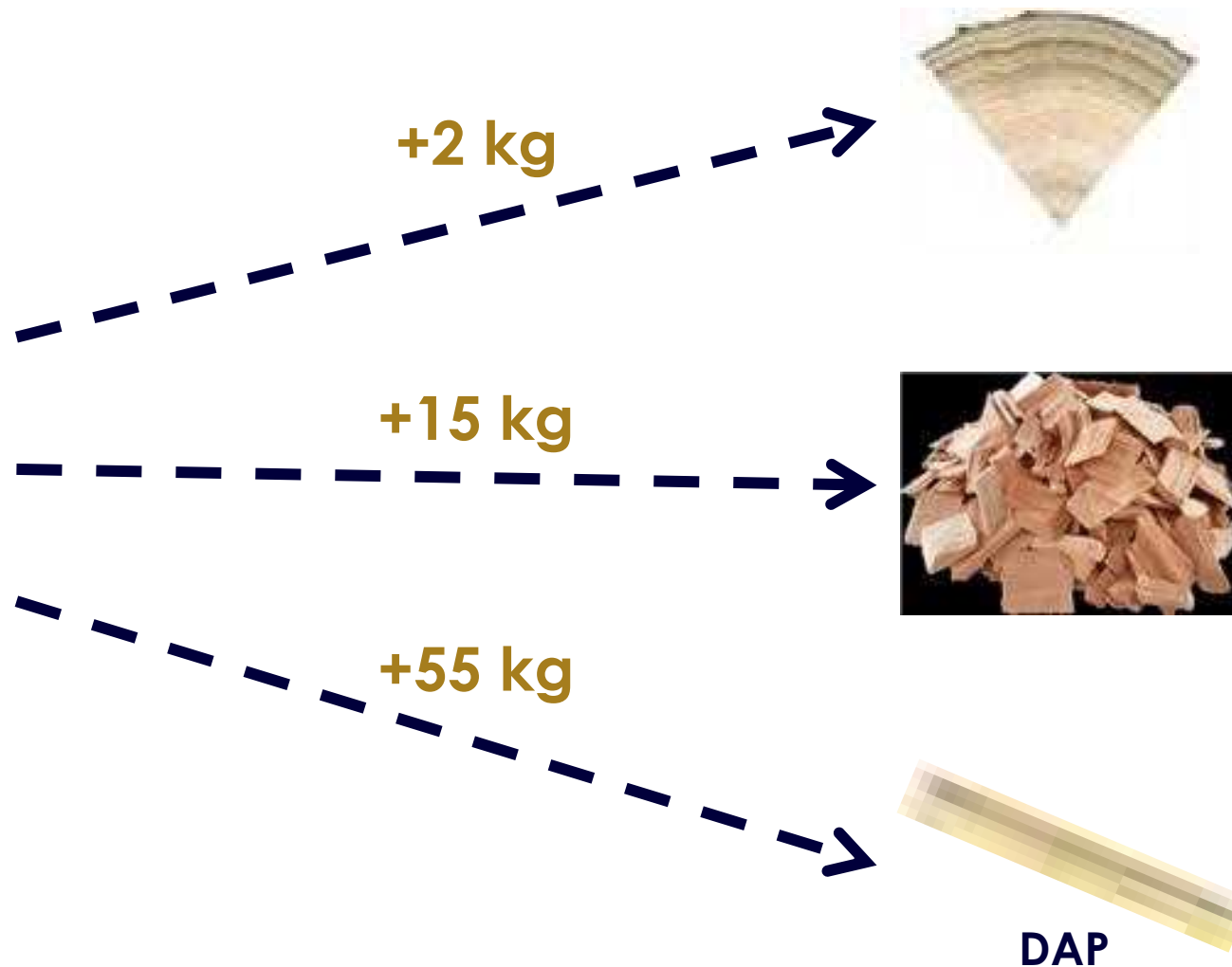
Clones do ProDM

23 Clones
400 árvores



23 clones
400 árvores

Clones do ProDM



23 clones
400 árvores

Clones do ProDM



-13 kg



+40 kg



DAP



AEC144

Clone mais plantado do Brasil



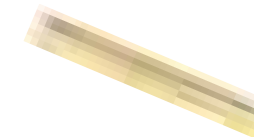
+15 kg



+11 kg

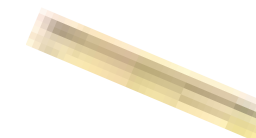


+70 kg



DAP

+59 kg



DAP



E para a silvicultura de nativas?

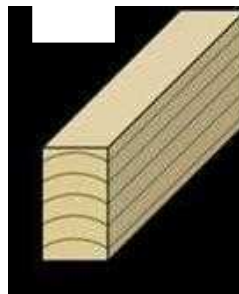


Cariniana legalis



DAP

NBR 7190



Desafio!

Tamanho das amostras
Espécie, origem, idade, densidade...

Fontes de variação ainda maiores!

Oportunidade:

- Avançar nas pesquisas para silvicultura de nativas
- Melhorar a representatividade



Reflexão final...

Importante questionar análises:

- Como foi feita?
- Qual amostra?
- Quanto tempo?
- Existe padronização?
- **Está documentado?**

Entender o **processo** por trás do número

Possível **comparação?**



Perspectivas...



**Conscientização
sobre o impacto
do tipo de
amostra**



**Tomada de
decisão mais
assertiva**



**Modelos
preditivos mais
robustos**

Obrigado!!!!

Stéffany Araujo

Eng. Industrial Madeireira
Doutoranda em Ciências Florestais

Gustavo Jaske

Eng. Florestal
Mestrando em Ciências Florestais

Thayanne Neto

Eng. Florestal
Dra. em Ciências Ambientais e Florestais

Agosto de 2025



Realização

