

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
FLORESTAL**

Jesomi Jonatan da Costa Abreu

**MORFOMÉTRIA COMO ESTIMADOR DA PORCENTAGEM DE
CERNE EM *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud. NA REGIÃO
CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL – BRASIL**

Santa Maria, RS
2021

Jesomi Jonatan da Costa Abreu

**MORFOMÉTRIA COMO ESTIMADOR DA PORCENTAGEM DE CERNE EM
Cordia trichotoma (Vell.) Arráb. Ex Steud. NA REGIÃO CENTRAL DO RIO
GRANDE DO SUL – BRASIL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Dimas Fleig

Santa Maria, RS
2021

JONATAN DA COSTA ABREU, JESOMI
MORFOMÉTRIA COMO ESTIMADOR DA PORCENTAGEM DE CERNE EM
Cordia trichotoma (Vell.) Arráb. Ex Steud. NA REGIÃO
CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL - BRASIL / JESOMI JONATAN DA
COSTA ABREU.- 2021.
46 p.; 30 cm

Orientador: FREDERICO DIMAS FLEIG
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2021

1. PREDIÇÃO DE CERNE 2. ALBURNO 3. CONDIÇÃO DE
CRESCIMENTO I. DIMAS FLEIG, FREDERICO II. Título.

Jesomi Jonatan da Costa Abreu

**MORFOMÉTRIA COMO ESTIMADOR DA PORCENTAGEM DE CERNE EM
Cordia trichotoma (Vell.) Arráb. Ex Steud. NA REGIÃO CENTRAL DO RIO
GRANDE DO SUL – BRASIL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Aprovado em 07 de junho de 2021:

Documento assinado digitalmente
 Frederico Dimas Fleig
Data: 06/10/2021 13:45:09-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

**Frederico Dimas Fleig, Dr. (UFSM) - Videoconferência
(Presidente/Orientador)**

Documento assinado digitalmente
 Luciano Denardi
Data: 18/10/2021 10:21:52-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Luciano Denardi, Dr. (UFSM) - Videoconferência

Documento assinado digitalmente
 Silvana Rosso
Data: 07/10/2021 08:59:34-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Silvana Rosso, Dra. (UNIPAMPA) - Videoconferência

Santa Maria, RS
2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, que me deu o dom da vida e me abençoa todos os dias com o seu amor infinito.

Sou grato aos meus pais Jesomi Lopes de Abreu e Mara Vânia da Costa Abreu, ao meu irmão Joemi Jhonny da Costa Abreu e aos meus avós Leonor da Costa e Silva e Mário Gomes da Silva, que me apoiaram com palavras de incentivo e estiveram do meu lado quando pensei que não teria como prosseguir.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal por conceder a oportunidade de realização deste trabalho.

À CAPES, pela bolsa fornecida para realização desta pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Frederico Dimas Fleig, pela paciência, atenção e dedicação durante toda esta trajetória.

À minha segunda família, Victor Machado, Sally Deborah e, especialmente, Renata Ingrid, por estarem do meu lado e cuidarem de mim quando eu mais precisei.

À minha namorada, Cleibiane Martins, por estar presente ao meu lado em mais uma conquista.

Às queridas amigas Cristine Tagliapietra e Tásilla Loiola, por me receberem tão bem no Laboratório de Manejo Florestal e por toda ajuda, conhecimento e conselhos dados durante todo o curso.

Aos membros da banca examinadora e amigos Prof. Dr. Luciano Denardi e Prof. Dra. Silviana Rosso.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para que eu concluísse mais uma etapa em minha vida.

Muito obrigado!

RESUMO

MORFOMÉTRIA COMO ESTIMADOR DA PORCENTAGEM DE CERNE EM *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud. NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL – BRASIL

AUTOR: Jesomi Jonatan da Costa Abreu

ORIENTADOR: Frederico Dimas Fleig

Este trabalho teve como objetivo prever a proporção de cerne (PCE) em árvores de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud, livres e submetidas à competição. O estudo foi realizado na região Central do estado do Rio Grande do Sul, na cidade de Santa Maria. As amostras de madeira utilizadas neste estudo pertencem a coleção do Laboratório de Manejo Florestal do DCFL-UFSM. Estas são oriundas de coleta de dados para realização de aulas práticas, trabalhos de conclusão de curso, dissertação e tese, entre os anos de 2005 e 2015. Foram mensuradas as seguintes variáveis: diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (H), altura de inversão morfológica (HIM), diâmetro da copa (DC) e Comprimento de copa (CC), além de informações sobre as condições de crescimento e competição, sanidade e vitalidade. Objetivando equalizar as amostras para fins estatísticos, foram selecionadas 24 árvores sob competição (AC) e 23 livres de competidores (AL). Para estes dois grupos foram identificados para as variáveis dendrométricas e morfométricas das árvores, seus valores de mínima e máxima, bem como, as médias e estatística, utilizada para comparar e identificar suas semelhanças e diferenças. A condição de crescimento das árvores amostradas não se diferencia nas características dendrométricas e morfométricas. As AC possuem maiores valores médios e mínimos de diâmetro à altura do peito (DAP) ao mesmo tempo que apresenta o menor valor máximo para essa variável. O diâmetro das AC apresenta desprezível influência na largura do alburno (LA) com média 16,25mm, variando de 9,1 a 25,3mm. As AC demonstraram uma leve tendência a possuírem menos anéis de crescimento (NA) em função do DAP. Já as AL não manifestaram tendência de regressão. As variáveis dendrométricas e morfométricas possuem pouca ou nenhuma influência nas variáveis LA e NA, sendo assim, compreende-se que nenhuma variável avaliada consegue explicar o NA e a LA para as árvores de *Cordia trichotoma* livres e sob competição. A PCE apresentou uma relação linear com as variáveis dendromorfométricas estatisticamente insatisfatória, não atendendo as condicionantes para análise de variância e covariância, necessitando transformar para logaritmo neperiano. A transformação das variáveis trouxe acentuada redução na autocorrelação dos resíduos, estimada pela estatística de Durbin-Watson, contudo, a normalidade da distribuição dos resíduos foi fracamente atendida. As condições de crescimento das árvores não se mostraram influente como variável de classificação, assim, ajustou-se para cada variável independente um modelo único, independente da condição de competição a que as árvores estão submetidas. A PCE pode ser estimada desconsiderando a condição de competição das árvores, em função do logaritmo neperiano (LN) das variáveis DAP: $PCE = 41,7943 + 12,5273 * LND$; H: $PCE = 45,3556 + 14,6508 * LNH$ e DC: $PCE = 57,8098 + 13,872 * LNDC$.

Palavras-chave: Predição de cerne. Alburno. Condição de crescimento.

ABSTRACT

MORPHOMETRY AS ESTIMATOR OF THE PERCENTAGE OF HEARTWOOD IN *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud. IN THE CENTRAL REGION OF RIO GRANDE DO SUL – BRAZIL

AUTHOR: Jesomi Jonatan da Costa Abreu

ADVISOR: Frederico Dimas Fleig

This work aimed to predict the heartwood proportion (PCE) in *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud, free and submitted to competition. The study was carried out in the central region of the state of Rio Grande do Sul, in the city of Santa Maria. The wood samples used in this study belong to the collection of the Forest Management Laboratory at DCFL-UFSM. These come from data collection for practical classes, course completion works, dissertation and thesis, between the years 2005 and 2015. The following variables were measured: diameter at breast height (DBH), total height (H), morphological inversion height (HIM), crown diameter (CD) and crown length (CC), as well as information on growth and competition conditions, health and vitality. Aiming to equalize the samples for statistical purposes, 24 trees under competition (UC) and 23 trees free from competitors (FC) were selected. For these two groups were identified for the dendrometric and morphometric variables of the trees, their minimum and maximum values, as well as the means and statistics, used to compare and identify their similarities and differences. The growth condition of the sampled trees does not differ in dendrometric and morphometric characteristics. UC have higher mean and minimum values of diameter at breast height (DBH) while having the lowest maximum value for this variable. The diameter of the UC has a negligible influence on the width of the sapwood (WS) with an average of 16.25mm, ranging from 9.1 to 25.3mm. UC showed a slight tendency to have fewer growth rings (NR) as a function of DHB. FC, on the other hand, did not show a regression trend. The dendrometric and morphometric variables have little or no influence on the WS and NR variables, therefore, it is understood that none of the evaluated variables can explain the NR and WS for free and competitive *Cordia trichotoma* trees. The PHP presented a linear relationship with the statistically unsatisfactory dendromorphometric variables, not meeting the conditions for analysis of variance and covariance, needing to transform to the neperian logarithm. The transformation of the variables brought about a marked reduction in the autocorrelation of the residuals, estimated by the Durbin-Watson statistic, however, the normality of the distribution of the residuals was poorly met. Tree growth conditions were not shown to be influential as a classification variable, thus, a unique model was adjusted for each independent variable, regardless of the competition condition to which the trees are submitted. The PHP can be estimated disregarding the competition condition of the trees, as a function of the Neperian logarithm (NL) of the DHB variables: PHP = 41.7943 + 12.5273 * NLD; H: PHP = 45.3556 + 14.6508 * NLH and CD: PHP = 57.8098 + 13.872 * NLCD.

Keywords: Heartwood prediction. Sapwood. Growth condition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de amostras fixadas em peça de madeira.....	20
Figura 2 - Materiais utilizados para a pesquisa	21
Figura 3 - Principais simetrias anatômicas da madeira	22
Figura 4 - Largura do alburno (LA) e número de anéis de crescimento (NA) em função do DAP de <i>Cordia trichotoma</i> com crescimento livre e sob competição na região de Santa Maria - RS	27
Figura 5 - Análise de covariância da Largura de Alburno (LA) em função das variáveis dimensionais de <i>Cordia trichotoma</i> , na região de Santa Maria – RS.....	29
Figura 6 - Análise de covariância da Largura de Alburno (LA) em função das variáveis dimensionais de <i>Cordia trichotoma</i> , na região de Santa Maria – RS.....	31
Figura 7 - Valores observados e modelos ajustados de Porcentagem de Cerne (PCE) em função do diâmetro à altura do peito (DAP) de <i>Cordia trichotoma</i> para árvores de crescimento livre e sob competição, na região de Santa Maria – RS.....	34
Figura 8 - Valores observados e modelos ajustados de Porcentagem de Cerne em função das variáveis dendromorfológicas H, HIM, DC e CC de <i>Cordia trichotoma</i> para árvores de crescimento livre e sob competição, na região de Santa Maria – RS	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise estatística aplicada até a obtenção dos modelos para estimativa da porcentagem de cerne de <i>Cordia trichotoma</i> livre e submetida à competição, a 5% de probabilidade de erro	23
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dendrométricas e morfométricas das árvores de <i>Cordia trichotoma</i> selecionadas em função da condição de crescimento para investigação do cerne, na região de Santa Maria - RS	25
Tabela 2 - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis dendrométricas, morfométricas e a largura do alburno e o número de anéis de crescimento em <i>Cordia trichotoma</i> , na região de Santa Maria – RS.....	26
Tabela 3 - Análise de covariância da Largura de Alburno (LA) em função das variáveis dendrométricas, morfométricas de <i>Cordia trichotoma</i> e interação com árvores de crescimento livre e sob competição, na região de Santa Maria – RS.....	28
Tabela 4 - Análise de covariância do número de anéis de crescimento no alburno (NA) em função das variáveis dendrométricas, morfométricas de <i>Cordia trichotoma</i> e interação com árvores de crescimento livre e sob competição, na região de Santa Maria – RS ...	30
Tabela 5 - Teste estatísticos para Heterocedasticidade, Autocorrelação e Normalidade dos modelos de porcentagem de cerne em função das variáveis dendrométricas, morfométricas de <i>Cordia trichotoma</i> , na região de Santa Maria – RS	32
Tabela 6 - Análise de covariância da porcentagem de cerne (PCE) em função das variáveis dendrométricas, morfométricas logaritimizadas de <i>Cordia trichotoma</i> e interação com árvores de crescimento livre e sob competição, na região de Santa Maria – RS	33
Tabela 7 - Modelos logaritimizados ajustados para estimativa da porcentagem de cerne (PCE) de <i>Cordia trichotoma</i> utilizando variáveis dendromorfométricas.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Geral	12
1.1.2 Específicos	12
1.2 HIPÓTESE	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE	13
2.2 ÁRVORES LIVRES E CONCORRENTES	14
2.3 DENDROCRONOLOGIA	15
2.4 ANATOMIA DA MADEIRA	16
2.5 CERNE E ALBURNO	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	20
3.2 DETERMINAÇÃO DO CERNE	21
3.3 ANÁLISE DOS DADOS	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES DE <i>Cordia trichotoma</i> SELECIONADAS 25	
4.2 LARGURA DE ALBURNO E NÚMERO DE ANÉIS DE CRESCIMENTO.....	26
4.3 PORCENTAGEM DE CERNE.....	32
4.3.1 Relação entre Porcentagem de Cerne e variáveis dendromorfológicas	32
5 CONCLUSÕES	37
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um elemento orgânico, heterogêneo, higroscópico, anisotrópico e poroso, por isso as propriedades físicas da madeira são de grande importância para se conhecer as suas características intrínsecas, as quais podem sofrer variações, devido a fatores ambientais, genéticos e interação entre ambos (COUTO, 2014; MARTINS, et al., 2017;). Em geral, suas características físicas, dendrométricas e anatômicas variam entre espécies, entre indivíduos da mesma espécie e dentro de um único fuste no sentido medula-casca e da base para o topo (MELO et al., 2014; GALÃO, 2017).

As árvores se desenvolvem através do alongamento e aumento da espessura das raízes, troncos e galhos, ocasionando uma transformação nas características dendrométricas, como altura e diâmetro, e morfométricas, como diâmetro de copa, comprimento de copa e altura de inversão morfológica (HUSCH et al., 1982). De acordo com o crescimento da árvore em altura, as células inferiores do fuste são menos influenciadas pelo meristema apical, amadurecendo o câmbio vascular e iniciando a formação do lenho adulto, simultaneamente, o lenho juvenil é formado no topo da árvore (ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989).

A formação do cerne e alburno é igual, no entanto, as células que compõem o cerne já perderam a função de condução de seiva e água, contendo determinada quantidade de extrativos que garantem coloração mais escura, maior massa específica e durabilidade natural. Essas características agregam maior valor a esta parte da madeira, em relação ao alburno (NOGUEIRA; BALLARIN, 2008).

De acordo com Browning (1963) e Burger & Richter (1991), o cerne apresenta algumas características específicas em relação ao alburno, que podem ou não influenciar na utilização da madeira. São elas: a) o cerne contém mais compostos fenólicos e ácidos, além de ter menos amido que o alburno; b) a lignina do cerne apresenta maior peso molecular e é mais condensada; c) o cerne de coníferas contém mais extrativos e menos lignina, enquanto em folhosas essa diferenciação é inconsistente; d) o cerne apresenta menor teor de umidade; e) o cerne é menos permeável, possui tecido mais compacto e, geralmente, é mais denso que o alburno.

A proporção de cerne/alburno é uma variável de suma importância para qualidade da madeira e sua finalidade. Para produtos que exigem de maior rigidez, o cerne costuma ter uma maior durabilidade quando comparado com o alburno devido possui maior densidade e mais extrativos. O cerne, normalmente, apresenta coloração mais escura e é

mais denso (com algumas exceções), do que o alburno, contudo, essas características isoladas não definem alta resistência (HILLIS, 1987; ZHANG, 1997).

O tipo de madeira mais cultuada no setor de produtos serrados são as que possuem uma alta proporção de cerne. O inverso é observado nos setores de laminados e celulose/papel, onde a preferência dá-se ao alburno, tanto por suas características, quanto na economia durante os procedimentos de usinagem da madeira (KNAPIC et al., 2006; LOURENÇO et al, 2008).

A espécie desse estudo é a *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ExSteud, vulgarmente conhecida como louro-pardo, uma espécie pioneira, importante para regeneração de áreas degradadas ou para o desenvolvimento de florestas, sendo considerada uma espécie promissora e com grandes possibilidades de ser empregada no âmbito do reflorestamento com espécies nativas, possuindo distribuição uniforme com maior frequência nas matas abertas e nos capões dos campos localizados na Depressão do estado do Rio Grande do Sul (REITZ et al., 1983; BACKES; IRGANG, 2002).

A madeira desta espécie é bem-quista nos mercados externo e interno, devido a facilidade de produzir peças envergadas, servindo com atributos estéticos e decorativos. Possui utilização também no mercado de fabricação de móveis de luxo e na construção civil (CARVALHO, 2003). A espécie também apresenta reprodução fácil e crescimento rápido, sendo ideal para plantio como espécie madeireira com ciclo de corte a cada 20 anos (BACKES; IRGANG, 2002; VUADEN, E. 2013).

Conhecer os padrões de crescimentos atuais e futuros de uma determinada espécie é de fundamental importância para o manejo florestal sustentável, sendo necessário a obtenção de informações como crescimento e desenvolvimento cambial, correlacionando com modelos matemáticos consistentes para a predição do desenvolvimento do cerne na espécie.

Desta forma, por meio da obtenção desses conhecimentos pode ser possível ampliar as opções do mercado madeireiro e promover a diminuição da pressão sobre as espécies mais conhecidas e intensamente exploradas, contribuindo desta maneira com a conservação e manejo racional da floresta.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

O presente trabalho tem como finalidade prever a proporção de cerne em árvores de *Cordia trichotoma*.

1.1.2 Específicos

- a) Identificar a zona de transição entre cerne e alburno;
- b) Relacionar as condições de crescimento dos grupos estudados;
- c) Modelar relação Porcentagem de cerne em função das variáveis dendrométricas, morfométricas.

1.2 HIPÓTESE

A presença e quantidade de cerne podem ser previstas pela observação visual das características externas e mensuráveis de uma árvore.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE

A *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud é uma das espécies nativas mais promissoras para plantio na região Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Pertencente à família Boraginaceae, o louro-pardo apresenta rápido crescimento, tronco retilíneo, regeneração natural vigorosa e é classificada como madeira de excelente qualidade (CARVALHO, 2003). É uma espécie típica do Rio Grande do Sul com maior frequência na região das Florestas do Alto Uruguai (REITZ et al., 1983), mas também está presente no sul da Bolívia, no Paraguai e no norte da Argentina (SMITH, 1970).

O louro-pardo é uma árvore pioneira decídua, heliófita, xerófita seletiva que ocorre em floresta pluvial semi-decídua mais aberta e secundária, que pode atingir de 25 a 35 metros de altura com até 100 cm de diâmetro (SOUZA, 2008). O tronco possui características retas e cilíndricas, fuste comprido e casca cinza-claro. É uma espécie heliófila, quando jovem suporta meia sombra, sendo classificada como secundária, mas com tendências a pioneira. São árvores tolerantes ao frio, mas sofrem com geadas tardias (REITZ et al., 1983; CARVALHO, 1994).

A espécie possui características silviculturais importantes como: rápido crescimento inicial, facilidade de regeneração em locais desflorestados ou degradados (REITZ et al., 1983). Sua madeira adentra o grupo das madeiras de lei, sendo definida como uma madeira de fácil trabalhabilidade de onde se fabricam molduras, cadeiras e revestimentos para decoração de interiores, além da vasta utilização no âmbito da construção civil.

Por possuir uma madeira nobre, o louro-pardo tem sido empregado em sistemas de produção integrados, prática que vem ganhando espaço no cenário brasileiro (ANTONELLI et al., 2015). Além das árvores apresentarem valor ornamental e paisagístico, também podem ser utilizadas em recuperação de áreas degradadas, encontrando-se na lista de espécies recomendadas para este tipo de uso (GRINGS e BRACK, 2011; IAT, 2020).

Na Argentina o crescimento dessa espécie é considerado rápido com uma produção volumétrica de 23 m³/ha/ano com casca aos 13 anos de idade para uma população de cem indivíduos por hectare. Já no Brasil, o crescimento é considerado de lento a moderado (CARVALHO, 2003).

2.2 ÁRVORES LIVRES E CONCORRENTES

Uma árvore para ser considerada “livre” deve crescer de forma isolada, solitária e sem concorrência por luz, nutrientes e água. Quando se trata de sustentabilidade de produção, conhecer mais sobre o comportamento e crescimento volumétrico em diâmetro e altura, além das modificações nas copas dos indivíduos livres de concorrência é fundamental para o manejo adequado de povoamentos florestais (DURLO et al., 2004).

Ter conhecimento sobre as relações interdimensionais de árvores livres é de suma importância, pois permite prever o espaço necessário para o desenvolvimento da árvore, possibilita compreender mais sobre estabilidade, vitalidade e produtividade de cada indivíduo (ABETZ e OHNEMUS, 1994).

As árvores concorrentes ou submetidas à competição são aquelas que disputam por recursos com outras espécies de plantas, arbóreas ou não. As características morfológicas, o espaço de desenvolvimento, a intensidade e índices de competição são critérios essenciais para o manejo de árvores individuais, com o objetivo de fornecer as condições ideais de crescimento das árvores (COSTA et al., 2015).

A intensidade de competição está correlacionada com o espaçamento entre as árvores, sendo um fator preponderante para limitar o crescimento das mesmas, podendo ser medidos por índices de competição dependentes e independentes da distância entre os indivíduos (CANETTI, et al., 2016). Esses índices são aplicados em florestas com alta diversidade de espécies, porém, não existem estudos consistentes que demonstrem uma maior eficiência entre os indicadores (WEISKITTEL et al., 2011).

Quando se trata de copa das árvores, Durlo et al. (2004) diz que, os formatos e dimensões das copas de árvores livres são determinantes para o manejo, sendo observado, em algumas espécies que apresentam copas estreitas e alongadas, a ocupação de menor área de projeção. Em contrapartida, também existem espécies que possuem copas curtas e que recobrem uma área maior, podendo sofrer modificações durante o tempo.

Os dados de crescimento e variáveis dimensionais, muitas vezes, não seguem um padrão de distribuição normal em florestas naturais, sendo necessário a aplicação de modelos lineares generalizados, pois têm potencial de ganho de performance preditiva e aplicação, aumentando as opções de distribuição da variável resposta (PAULA, 2013).

Dessa forma, com a perspectiva da criação de modelos de crescimento e concorrência, através dos estudos sobre árvores livres e sob competição e a coleta de variáveis dendrométricas e morfológicas associadas as respectivas modificações

temporais, adquirem maior importância (HASENAUER, 1994; HASENAUER et al., 1995; PRETZSCH, 1995).

2.3 DENDROCRONOLOGIA

A dendrocronologia conceitua-se como a ciência que possibilita a detecção e análise dos anéis de crescimento de lenho das árvores, assim como peças de madeira, fornecendo informações sobre crescimento, estudos ambientais e históricos. Tal ciência teve seu início com estudos das árvores de origem temperada (FRITTS, 1976; SCHWEINGRUBER, 1988). Contudo, houve uma evolução dos estudos aplicados a árvores de espécie florestal em áreas tropicais e subtropicais, resultando na ampliação da dendrocronologia no Brasil (BOTOSSO e TOMAZELLO FILHO et al., 2001; TOMAZELLO FILHO et al., 2009).

O uso das técnicas dendrocronológicas nos variados ecossistemas florestais do Brasil, objetiva determinar a idade das árvores; variação radial da densidade do lenho por densitometria raio x; construção da taxa e da dinâmica do crescimento do tronco de árvores; resposta de eventos climáticos e indicadores ambientais, tais como chuvas, secas, incêndios, El niño, La niña, etc. (BOTOSSO e TOMAZELLO FILHO et al., 2001). Os mesmos autores afirmam que os estudos dendrocronológicos permitem determinar a taxa de crescimento das árvores assim como os efeitos das variações ecológicas, naturais e antropogênicas, demonstrando ser uma ferramenta excepcional para ser aplicada como indicador ambiental em florestas subtropicais e tropicais.

Ressalta-se ainda que a precipitação é o principal fator que influencia a largura dos anéis de crescimento (STOKES e SMILEY, 1996; ENQUIST e LEFFER, 2001). Estes se apresentam mais largos nos períodos mais chuvosos e mais estreitos nos mais secos. O crescimento das espécies florestais pode ser influenciado pela precipitação de diferentes maneiras. Ocorrem correlações com a precipitação total anual, no período das chuvas, na estação seca, no período de transição e no ano prévio (ROZENDAAL e ZUIDEMA, 2011). Alguns estudos evidenciam correlação negativa entre crescimento e precipitação (BUCKLEY et al., 2007; SOLIZ-GAMBOA et al., 2010), o que demonstra diferentes estratégias de crescimento em relação a uma mesma variável climática.

Na Mata Atlântica, pesquisas que versam sobre a ocorrência e periodicidade da formação de anéis de crescimento abrangem diferentes tipologias do bioma, como: Floresta Ombrófila Densa (CALLADO et al., 2001), Floresta Estacional Semidecidual

(TOMAZELLO FILHO et al., 2004), Floresta Estacional Decidual e Floresta Ombrófila Mista (OLIVEIRA, 2007).

De maneira geral, Oliveira (2015) diz que é possível calcular a produtividade relativa das espécies em determinadas áreas, ou como o seu crescimento é afetado pelas várias práticas de manejo. Em suma, o estudo da dendrocronologia é apontado como uma excelente ferramenta para reconstrução da trajetória de crescimento das árvores e entendimento dos distúrbios ocorridos ao longo de sua vida.

2.4 ANATOMIA DA MADEIRA

A madeira é um recurso florestal renovável que possui bastante apreço devido a suas características peculiares que a diferencia de outros materiais, sendo possível destiná-la a diversos usos (LOPES, 2013). Segundo Botosso (2009), conhecer o arranjo estrutural dos diversos elementos que constituem o lenho das árvores é fundamental para qualquer emprego industrial que se pretenda destinar a madeira, visto que, as propriedades da madeira estão diretamente relacionadas à sua estrutura celular. Para Paula (2003), conhecer a estrutura da madeira é de grande relevância, principalmente no que diz respeito à sua qualificação de forma a evitar sua utilização inadequada e possíveis desperdícios.

A anatomia da madeira se refere ao estudo dos diversos tipos de células que compõem o lenho das árvores (xilema secundário), procurando conhecer o arranjo estrutural dos seus elementos celulares, sua origem, forma e dimensões (MOTTA et al., 2014). Além de fornecer informações sobre a composição do lenho, identificando as relações entre a estrutura da madeira e suas características gerais (SILVA et al., 2007).

As variações ambientais e genéticas têm influência direta na estrutura do lenho quando se trata das dimensões e frequências dos elementos celulares como diâmetro e periodicidade dos vasos, comprimento dos elementos de vasos, espessura da parede celular, diâmetro e comprimento de fibras, altura, largura e disposição dos raios (BAAS et al., 1983; CARLQUIST e HOEKMAN, 1985; BAAS e SCHWEINGRUBER, 1987; KLAASSEN, 1999; DICKISON, 2000; MARCATI et al., 2001; LUCHI, 2004; DENARDI e MARCHIORI, 2005; BARROS et al., 2006; MARCATI et al., 2006).

Os anéis de crescimento que compõem o arranjo anatômico da madeira são formados por células de incremento que se desenvolvem durante um período, geralmente um ano, através das atividades periódicas do câmbio (SCHWEINGRUBER, 1996). Esse

crescimento diamétrico ocorre porque em períodos do ano mais frios e com menos disponibilidade de luz, o câmbio tem a tendência a diminuir seu desenvolvimento formando o lenho tardio, que apresenta células com paredes celulares mais espessas e conseqüentemente mais densas, contudo, durante as épocas de maior disponibilidade de água e luz, ocorre um rápido crescimento cambial formando o lenho inicial, que apresenta células com paredes celulares mais finas e conseqüentemente menos densas (FRITTS, 1971).

Em folhosas, existem algumas diferenças na estrutura do lenho quando comparada com coníferas, tal como menores frequências e diâmetro vascular, maiores espessamento das células de parênquimas, número de parênquimas vasicêntricos e de raios reduzidos (HUGUES, 1965b).

O estudo macro anatômico da madeira é importante pois define as estruturas das zonas de crescimento e os limites de cada anel. Esses limites podem ser definidos em quatro tipos básicos de formação de anéis de crescimento, de acordo com Coster (1927) e Worbes (1989), são eles:

1. Anéis de árvores caracterizados pela variação intra-anual da densidade da madeira (*Pseudobombax munguba* (Mart. & Zucc.) Dugand, Malvaceae).
2. Anéis de árvores limitados por bandas de parênquima marginais (*Macrolobium acaciifolium* (Benth.) Benth., Fabaceae).
3. Anéis de árvore caracterizados por alternar faixas de fibras e parênquimas (*Eschweilera ovalifolia* (DC.) Nied., Lecythidaceae).
4. Variação no tamanho e distribuição do vaso (anel poroso) (*Tabebuia barbata* (E. Mey.) Sandwith, Bignoniaceae).

O lenho da espécie *Cordia trichotoma* apresenta anéis de crescimento anuais, demarcados por linhas de parênquimas marginais, placas de perfuração simples, amido nas células do parênquima axial e radial, vasos predominantemente solitários, presença de tilos, fibras com paredes espessas e diminutas (AMANO, 2002; CAUM, et al., 2013). Outras espécies do gênero *Cordia* também apresentam as mesmas características (REBOLLAR et al., 1994; WILLIANS & LÉON, 2003; SCHONING & BANDEL, 2004).

2.5 CERNE E ALBURNO

O cerne é encontrado na parte interna das árvores que apresentam diferenciação entre cerne e alburno, onde o cerne é composto por células mortas e que perderam a sua função de condução e armazenamento, sendo formado no interior do alburno e separados pela zona de transição ou madeira intermediária, onde a característica de cor é a principal forma de identificação (IAWA COMMITTEE, 1964; MISHRA et al., 2018).

A formação do alburno em cerne passa por 5 etapas, sendo elas a divisão celular, expansão celular, espessamento da parede celular, morte celular e, por consequência, a constituição do cerne, todos os quatro primeiros passos ocorrem no alburno, geralmente, ocorrendo antes de alguns anéis anuais de distância da medula (PLOMION et al., 2001; YEH et al., 2020).

Dessa forma, além de ser encontrado nas camadas interiores da madeira, não possuindo células vivas e qualquer tipo de reserva, como o amido, o processo de transformação do cerne pode acumular determinadas substâncias de metabólitos secundários nos lúmens e tecidos celulares, fazendo com que o cerne apresente cor mais escura e maior durabilidade natural, características de alto valor estético e comercial (KAMPE et al., 2013).

O fator genético também é um fator preponderante para a formação do cerne com a produção de polifenóis na zona de transição, dando origem ao processo de formação do cerne (PLOMION et al., 2001). Em algumas espécies, os vasos são bloqueados por tiloses, que são estruturas que crescem e preenchem os vasos provindos do parênquima marginal, podendo ocorrer antes ou durante a transição para o cerne (CHATTAWAY, 1949; FOSTER, 1967).

Durante o processo de transformação do alburno em cerne, as células parênquimais sofrem de uma morte celular programada, passando por um processo de condensação da cromatina e proliferação de vacúolos nas células (ATALE et al., 2014). O vigor dessas células parênquimais podem ser observados por alterações citológicas das organelas e desaparecimento de reservas de armazenamento, assim como no processo de condução de água do alburno para a zona de transição, podendo ser eventos independentes (ZIEGLER, 1968; BAMBER, 1976; BAMBER & FUKAZAWA, 1985; FUKUDA, 2000; NAKABA et al., 2008; ISLAM & BEGUM, 2011; ISLAM et al., 2012; NAKABA et al., 2013).

A presença de tiloses é uma variável fundamental, visível anatomicamente, para a distinção do cerne e alburno e identificação da zona de transição, pois, como o cerne não possui células vivas capazes de realizar o processo de transporte de água, as tiloses estão preenchidas, enquanto no alburno, as tiloses estão abertas. Em árvores de *Quercus phellos*, foram encontradas tiloses que antecedem o processo de morte celular programada em parênquimas, com cerca de 10 anos (MISHRA et al., 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

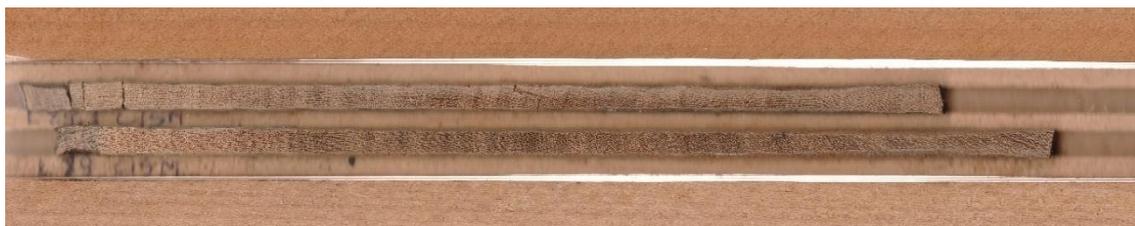
As amostras de madeira utilizadas neste estudo pertencem a coleção do Laboratório de Manejo Florestal do DCFL-UFSM. Estas são oriundas de coleta de dados para realização de aulas práticas, trabalhos de conclusão de curso, dissertação e tese, entre os anos de 2005 e 2015.

A coleção é classificada por: local de coleta, com informações das coordenadas GPS, município – Distrito; espécie, com mensurações do diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (H), altura de inversão morfológica (HIM) considerando a distância do solo até o ponto de inserção da copa, diâmetro da copa (DC) determinado pela mensuração de quatro raios com ângulo de 90° do tronco a extremidade da copa, Comprimento de copa (CC) obtido por $(H - HIM)$ e informações sobre as condições de crescimento e competição, sanidade e vitalidade.

Para realização deste estudo, foram selecionados do banco de amostras os das cidades de Santa Maria e Silveira Martins, no estado do Rio Grande do Sul, sendo 23 árvores livres e 24 árvores sob competição. Destes locais buscou-se as árvores sãs e com vitalidade, e destas, dois grupos divergentes quanto a condição de crescimento as árvores livres de competidores (AL) e as árvores em floresta ou sob competição (AC). Adicionalmente, buscou-se equilibrar a amostra entre os grupos e a distribuição dos DAP.

As amostras consistem em dois rolos de madeira obtidos aproximadamente ao DAP, no sentido radial com ângulo de 90°, com auxílio do trado de incremento (Sonda de Pressler) da marca Haglof de 300mm x 5mm (diâmetro amostra), fixadas em peça de madeira com duas ranhuras longitudinais de 3-4 mm de largura e 2 mm de profundidade com polimento por lixa. (Figura 1).

Figura 1 - Exemplo de amostras fixadas em peça de madeira



Fonte: AUTOR (2021).

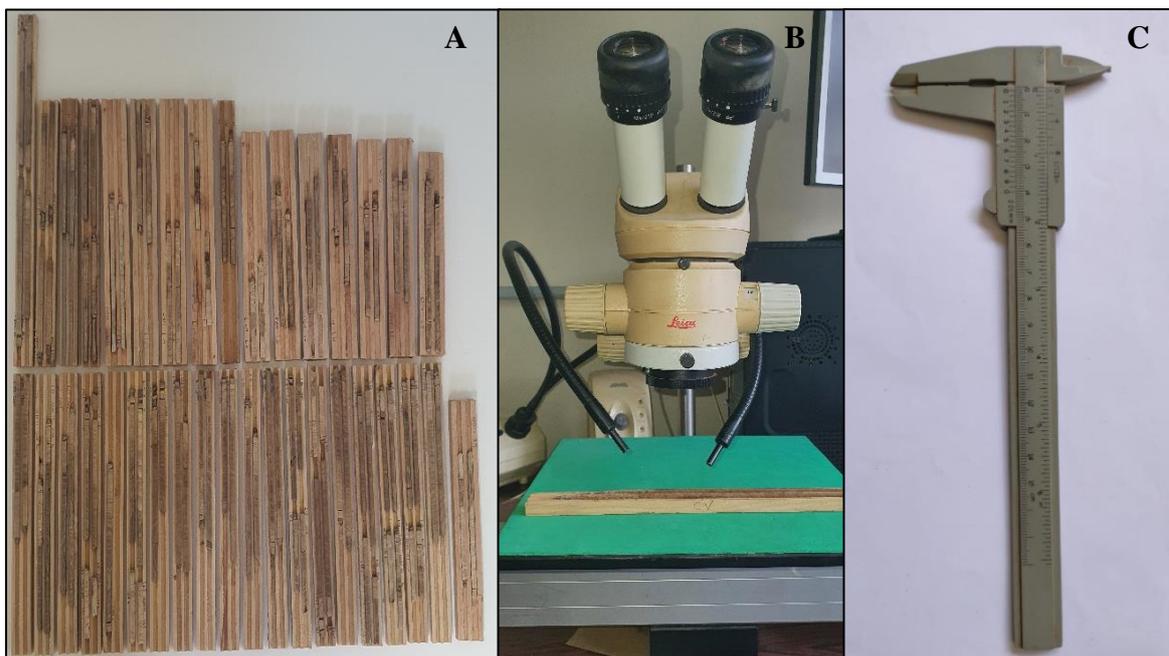
3.2 DETERMINAÇÃO DO CERNE

As amostras foram analisadas com Microscópio Estereoscópio 16x (Figura 2B), para identificar a mudança na coloração da madeira e a funcionalidade dos vasos como condutores e armazenadores de água, ou seja, presença de tiloses obstruindo a condução de seiva, delimitando a transição entre cerne e albúrneo.

A dimensão do albúrneo, distância radial do último anel de crescimento até o anel considerado início do cerne, foi diretamente medida na amostra, com paquímetro analógico (Figura 2C), gerando com o somatório das duas medidas a variável largura do albúrneo (LA).

Outra variável trabalhada são os números de anéis de crescimento do albúrneo (NA), identificados após a definição da zona de transição entre cerne e albúrneo e mensurados do anel limitante até o último anel junto a casca.

Figura 2 - Materiais utilizados para a pesquisa



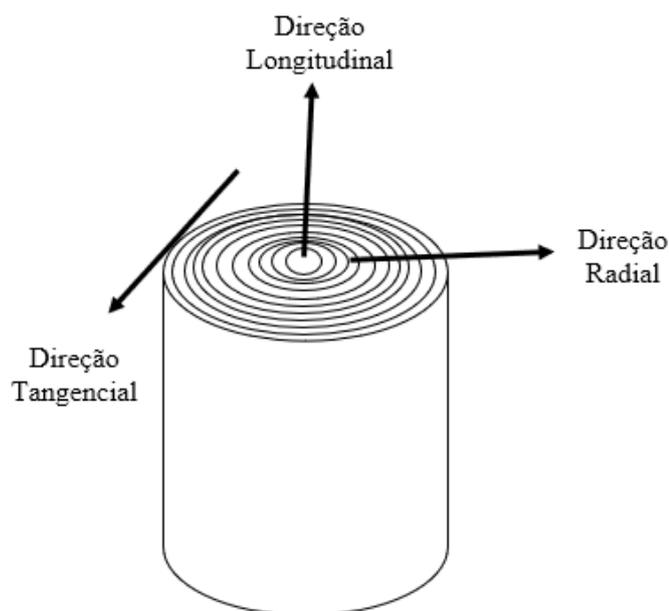
Legenda: A = amostras; B = Microscópio estereoscópico com lupa 16x e C = Paquímetro analógico.

Fonte: AUTOR (2020).

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

Como as amostras são originadas do banco de dados do Laboratório de Manejo Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, foi necessário realizar a diferença entre o DAP verde (coletado em campo) e o DAP das amostras após o processo de secagem. Através da Figura 3, observa-se que para calcular a variação do DAP de uma árvore, faz-se necessário o conhecimento sobre a variação dimensional da espécie na direção radial, uma vez que esse eixo está inteiramente ligado com a expansão e retração do DAP, através do ganho ou perda de água higroscópica na madeira. Para este desconto utilizou-se a estimativa de 4,6% de contração radial do lenho de *Cordia trichotoma*, determinada por Gonzaga (2006), utilizando, $DAP_{seco} = (DAP_{verde} - (DAP_{verde} * 4,6/100))$

Figura 3 - Principais simetrias anatômicas da madeira



Fonte: AUTOR (2020).

Para calcular a proporção de Cerne, a dupla espessura da casca foi descontada do DAP_{seco} , gerando a variável diâmetro à altura do peito sem casa (DAP_{sc}).

Para calcular a Porcentagem de Cerne (PCE%) utilizou-se o DAP_{sc} para a área basal da árvore e para a área do cerne a diferença entre DAP_{sc} e LA (largura do alburno), $PCE\% = (((DAP_{sc} - LA)^2)/DAP_{sc}^2)*100$

Utilizando planilha eletrônica os dados foram tabulados e realizados os cálculos necessários para análise (Quadro 1) no software de estatística SAS, versão 9.4 (SAS

Institute Inc., 1999). Os dados de grupo (AL = árvores livres e AC = submetidas à competição), DAP, H, HIM, DC e CC foram submetidos a análise de variância para saber o efeito das condições das árvores livres e sob competição através das características dendrométricas, morfométricas e das porcentagens de cerne considerando significância de 5% de probabilidade de erro.

A análise de covariância foi aplicada utilizando a PROC GLM, para averiguar a diferença de nível e tendência dos modelos utilizados para descrever as características dendrométricas e porcentagens de cerne e alburno, entre as árvores de louro livres e sob competição. Dessa forma, pode-se observar se existe a necessidade ou não do uso de funções independentes, podendo indicar diferentes padrões de comportamento.

Quadro 1 - Análise estatística aplicada até a obtenção dos modelos para estimativa da porcentagem de cerne de *Cordia trichotoma* livre e submetida à competição, a 5% de probabilidade de erro

Tratamentos estatísticos	Objetivos
Análise de variância	Verificar as condições de crescimento dos grupos em função das variáveis dendrométricas e morfométricas
Análise de covariância	Identificar se existe diferença e influência das variáveis dendrométricas e morfométricas entre os grupos e entre as variáveis largura de alburno (LA), número de anéis de crescimento do alburno (NA) e porcentagem de cerne (PCE)
Correlação de Pearson	Determinar os índices de correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas e as variáveis largura de alburno (LA), número de anéis de crescimento do alburno (NA) e porcentagem de cerne (PCE)
Análise de dispersão	Observar como as variáveis dendrométricas e morfométricas influenciam no desenvolvimento da porcentagem de cerne (PCE) e suas respectivas estimativas

Seleção dos modelos	Os modelos são selecionados através do menor valor de coeficiente de variação (CV%) e maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}). Além de serem submetidos ao processo de condicionantes de regressão, para saber se existe problemas de homogeneidade de variância, independência e normalidade dos dados.
---------------------	---

Fonte: AUTOR (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES DE *Cordia trichotoma* SELECIONADAS

As amostras selecionadas para este trabalho foram retiradas de árvores com sanidade e vitalidade semelhantes, diferenciando-se quanto a condição de crescimento em livres ou sob competição de outras árvores. Objetivando equalizar as amostras para fins estatísticos, foram selecionadas 24 árvores sob competição e 23 livres de competidores. Para estes dois grupos foram identificados para as variáveis dendrométricas e morfométricas das árvores, seus valores de mínima e máxima, bem como, as médias e estatística, utilizada para comparar e identificar suas semelhanças e diferenças.

A condição de crescimento das árvores amostradas não se diferencia nas características dendrométricas e morfométricas. As árvores de *C. trichotoma* livres (AL) e sob competição (AC) apresentam médias equivalentes ($p > 10\%$) em todas as variáveis independentes descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dendrométricas e morfométricas das árvores de *Cordia trichotoma* selecionadas em função da condição de crescimento para investigação do cerne, na região de Santa Maria - RS

VARIÁVEIS	GRUPO	MÍN.	MÁX.	MÉDIA	F
DAP (cm)	Livres (AL)	5,32	49,86	25,53	0,62
	Competição (AC)	8,42	42,33	29,15	
H (m)	Livres (AL)	4,7	17	15,12	0,33
	Competição (AC)	8,3	26	18,01	
HIM (m)	Livres (AL)	1,8	12	8,81	0,18
	Competição (AC)	5,9	18	11,7	
DC (m)	Livres (AL)	1,89	12,55	6,76	0,52
	Competição (AC)	3,7	12,42	7,44	
CC (m)	Livres (AL)	2,4	11	6,43	0,44
	Competição (AC)	2,4	12	6,32	

Legenda: DAP (diâmetro à altura do peito), H (altura), HIM (altura de inversão morfológica), DC (diâmetro de copa), CC (comprimento de copa). Valores em itálico = probabilidade da estimativa F.

Fonte: AUTOR (2021).

O diâmetro das árvores que originaram a amostra varia amplamente em ambas as condições de crescimento, contudo as médias são iguais. Este comportamento decorre da equalização, que utilizou como critério de seleção o DAP. Contudo, observa-se que as árvores amostradas sob competição possuem maiores valores médios e mínimos de diâmetro à altura do peito (DAP) ao mesmo tempo que apresenta o menor valor máximo para essa variável.

A altura total (H) apresenta médias estatisticamente iguais ($p > 10\%$), e as AC os maiores valores médios, mínimos e máximos para altura (H). Já a altura de inversão morfológica (HIM) destaca-se também pela maior diferenciação destes dois grupos e como esperado, as AL, ou seja, as árvores que crescem sem competidores apresentam troncos mais curtos, mas sua média HIM não se diferencia das árvores sob competição.

As duas variáveis que expressam dimensão da copa, ou seja, seu diâmetro (DC) e seu comprimento (CC) não se diferenciam nas médias, indicando grande similaridade entre as árvores dos dois grupos de competição, com (AC) e sem (AL).

4.2 LARGURA DE ALBURNO E NÚMERO DE ANÉIS DE CRESCIMENTO

As variáveis mensuradas nas amostras de madeira, largura de alburno (LA) e número de anéis de crescimento contidos no alburno (NA) apresentam escassa correlação linear com as variáveis dimensionais das árvores, como pode ser visualizado na Tabela 2.

Tabela 2 - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis dendrométricas, morfométricas e a largura do alburno e o número de anéis de crescimento em *Cordia trichotoma*, na região de Santa Maria – RS

VAR.	DAP (cm)	H (m)	HIM (m)	DC (m)	CC (m)
LA	0,255912	-0,10578	-0,24148	0,265202	0,276304
NA	-0,12844	-0,2492	-0,20337	-0,06593	-0,18723

Legenda: DAP (diâmetro à altura do peito), H (altura), HIM (altura de inversão morfológica), DC (diâmetro de copa), CC (comprimento de copa), NA (número de anéis de crescimento no alburno) e LA (largura de alburno).

Fonte: AUTOR (2021).

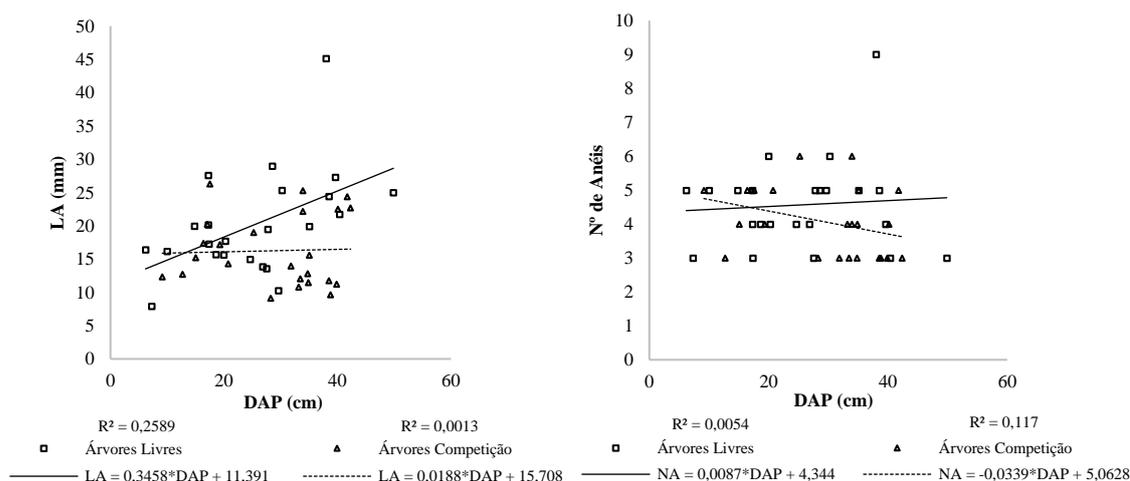
A LA apresenta correlação direta com o DAP, DC e CC e inversa com as alturas H e HIM, ou seja, quanto mais alta a árvore menor é a LA ao nível do DAP. Já o NA

apresenta correlação inversa com o DAP, H e HIM e direta com as dimensões da copa DC e CC.

A largura do alburno é uma informação interessante quando se deseja avaliar a presença de cerne em determinado tronco de árvore em pé, pois, permite, um desconto bilateral no perfil do tronco restando o cerne.

O diâmetro das árvores que crescem sob competição (AC) apresenta desprezível influência na largura do alburno (LA) com média 16,25mm, variando de 9,1 a 25,3mm. Este comportamento é evidenciado pelo insignificante valor do coeficiente de determinação do modelo linear $LA = f(DAP)$ e pela horizontalidade da linha de tendência, (Figura 4).

Figura 4 - Largura do alburno (LA) e número de anéis de crescimento (NA) em função do DAP de *Cordia trichotoma* com crescimento livre e sob competição na região de Santa Maria - RS



Fonte: AUTOR (2021).

Os louros livres (AL) apresentaram em média LA de 20,19mm com amplitude de 7,9 a 45,1mm, diferenciando-se das árvores AC ($p=0,07$). Contudo, quando comparamos o comportamento da LA em função do DAP, percebe-se que para diâmetros pequenos as médias entre elas são semelhantes, evidenciando sua diferença para diâmetros superiores a 30cm, confirmado pela significância da interação (6%) entre diâmetro à altura do peito (DAP) e o efeito da competição (Tabela 3), ou seja, o DAP possui uma disposição diferente para árvores livres e submetidas à competição. Uma vez que as árvores de louro

livres de competição apresentam distintos valores de largura de alburno em função do diâmetro à altura do peito.

Tabela 3 - Análise de covariância da Largura de Alburno (LA) em função das variáveis dendrométricas, morfométricas de *Cordia trichotoma* e interação com árvores de crescimento livre e sob competição, na região de Santa Maria – RS

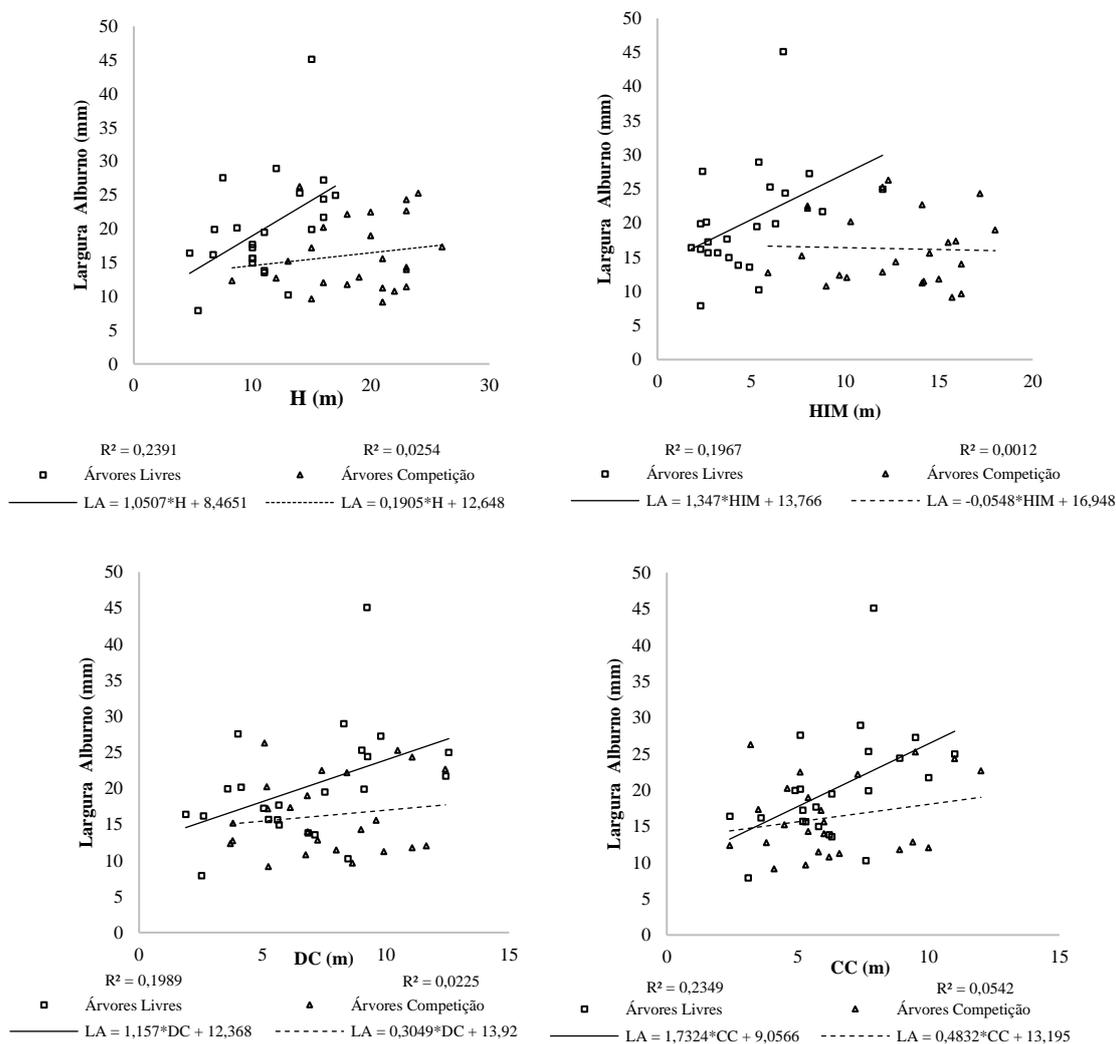
	<i>Dendrometria - Morfometria</i>				
	<i>DAP</i>	<i>H</i>	<i>HIM</i>	<i>DC</i>	<i>CC</i>
MODELO (LA = f(dimensão))	<i>0,0068*</i>	<i>0,1647</i>	<i>0,2486</i>	<i>0,0151</i>	<i>0,0212</i>
Dimensão (DAP, H, HIM, DC, CC)	<i>0,0373</i>	<i>0,2952</i>	<i>0,8111</i>	<i>0,0350</i>	<i>0,0313</i>
Competição (AL, AC)	<i>0,3909</i>	<i>0,8345</i>	<i>0,3120</i>	<i>0,7670</i>	<i>0,4774</i>
Interação dimensão competição	<i>0,0606</i>	<i>0,5637</i>	<i>0,6166</i>	<i>0,2114</i>	<i>0,1385</i>
R²_{aj}	<i>0,24</i>	<i>0,11</i>	<i>0,09</i>	<i>0,2137</i>	<i>0,20</i>
CV %	<i>33,82</i>	<i>36,68</i>	<i>37,10</i>	<i>37,49</i>	<i>34,79</i>

Valores em itálico Pr > F

Fonte: AUTOR (2021).

A Altura das árvores (H) e (HMI) ou as dimensões da copa DC e CC, independente da condição de competição que a árvore está submetida AL ou AC, apresentam relação completamente aleatória como variável de explicação da largura do alburno (LA), como pode ser evidenciado na Figura 5.

Figura 5 - Análise de covariância da Largura de Alburno (LA) em função das variáveis dimensionais de *Cordia trichotoma*, na região de Santa Maria – RS



Fonte: AUTOR (2021).

A zona de transição do alburno para cerne nas árvores livres acontece entre 4 e 5 anos (média = 4,56 anos). Já para as árvores sob competição, obteve-se média de 4,08 anos, ou seja, a área de transição também acontece entre 4 e 5 anos.

O número de anéis de crescimento no alburno se apresentou de forma muito semelhante para os dois grupos de louro (Figura 5), onde, os louros submetidos à competição demonstraram uma leve tendência a possuírem menos anéis de crescimento em função do DAP. Já os louros livres não manifestaram tendência de regressão. Apesar de haver uma pequena distinção entre as linhas de tendências nos dois grupos, nos maiores diâmetros a diferença se aproxima de 0,5 ano, os dados de covariância, na Tabela 4, demonstram a não significância da variável NA em função do DAP.

Tabela 4 - Análise de covariância do número de anéis de crescimento no alburno (NA) em função das variáveis dendrométricas, morfométricas de *Cordia trichotoma* e interação com árvores de crescimento livre e sob competição, na região de Santa Maria – RS

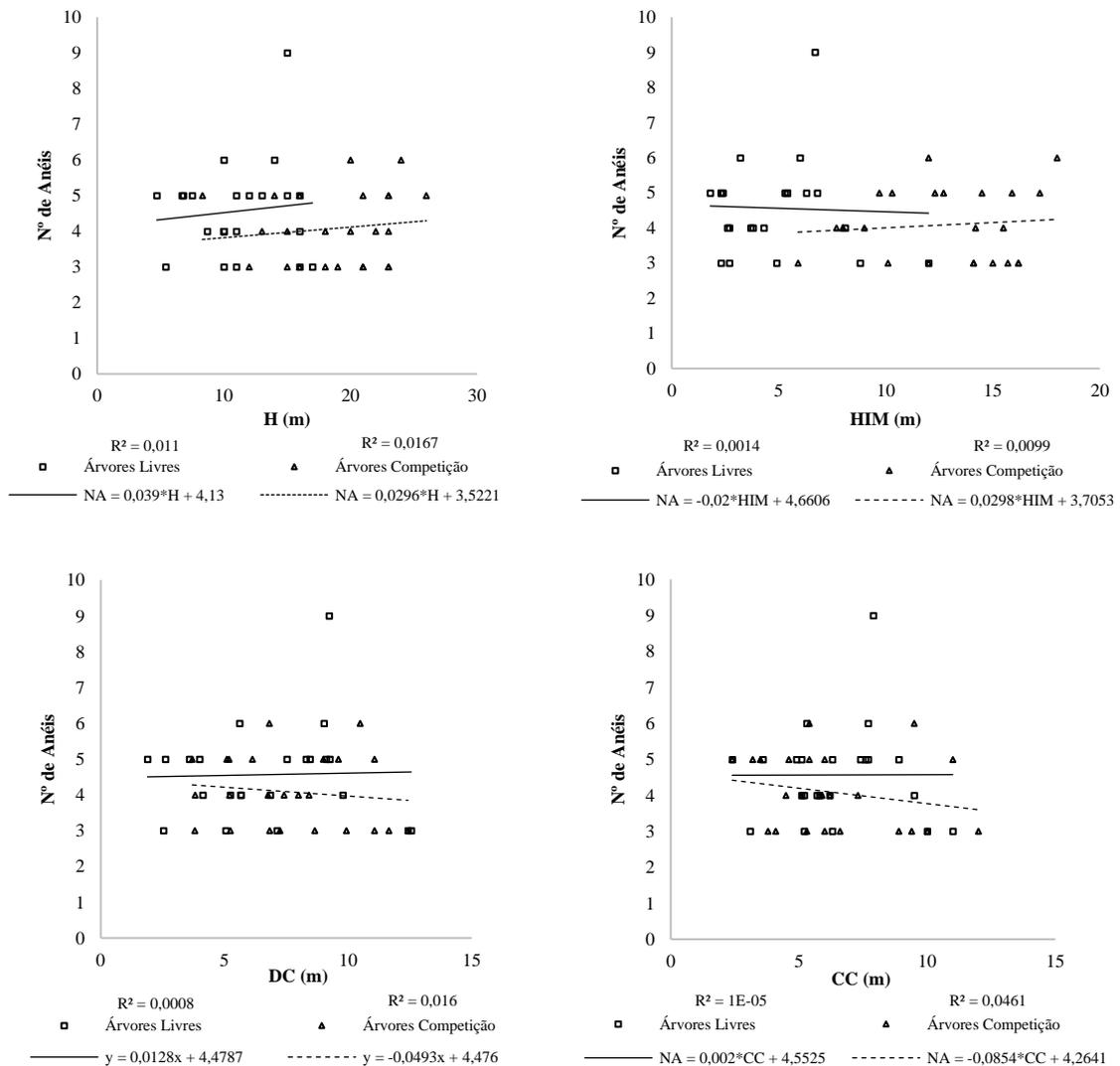
	<i>Dendrometria - Morfometria</i>				
	<i>DAP</i>	<i>H</i>	<i>HIM</i>	<i>DC</i>	<i>CC</i>
MODELO (NA = f(dimensão))	<i>0,2683</i>	<i>0,3842</i>	<i>0,4628</i>	<i>0,5491</i>	<i>0,2877</i>
Dimensão (DAP, H, HIM, DC, CC)	<i>0,4457</i>	<i>0,2819</i>	<i>0,5146</i>	<i>0,7796</i>	<i>0,2369</i>
Competição (AL, AC)	<i>0,4584</i>	<i>0,6214</i>	<i>0,3973</i>	<i>0,9856</i>	<i>0,9846</i>
Interação dimensão x competição	<i>0,2003</i>	<i>0,6704</i>	<i>0,4719</i>	<i>0,6344</i>	<i>0,6291</i>
R²_{aj}	<i>0,08</i>	<i>0,06</i>	<i>0,05</i>	<i>0,04</i>	<i>0,08</i>
CV %	<i>27,45</i>	<i>27,74</i>	<i>27,89</i>	<i>28,04</i>	<i>27,51</i>

Valores em itálico Pr > F

Fonte: AUTOR (2021).

O número de anéis de crescimento contidos no alburno de *Cordia trichotoma*, tanto de árvores livres e sob competição não se relacionam com as variáveis dendrométrica e morfométrica, assim, não é possível saber pelas dimensões das árvores se o número de anéis contidos no alburno é de 3, 4 ou 5 como pode ser visualizado na figura 8.

Figura 6 - Análise de covariância da Largura de Albarno (LA) em função das variáveis dimensionais de *Cordia trichotoma*, na região de Santa Maria – RS



Fonte: AUTOR (2021)

Este comportamento quando avaliado incluindo a condição de crescimento a que as árvores estavam submetidas quando da coleta das amostras, mostraram que as variáveis dendrométricas e morfométricas possuem pouca ou nenhuma influência nas variáveis LA e NA, sendo assim, compreende-se que nenhuma variável dendrométrica ou morfométrica avaliada consegue explicar o número de anéis de crescimento e a largura do albarno para as árvores de *Cordia trichotoma* livres e as sob competição.

4.3 PORCENTAGEM DE CERNE

4.3.1 Relação entre Porcentagem de Cerne e variáveis dendromorfológicas

A porcentagem de cerne apresentou uma relação linear com as variáveis dendromorfológicas estatisticamente insatisfatória, não atendendo as condicionantes para análise de variância e covariância, assim, as variáveis independentes, ou seja, as dendromorfológicas, sofreram transformação para logaritmo neperiano ou natural e foi acrescido ao nome da variável o prefixo LN, gerando LNDAP, LNH, LNHIM, LNDC e LNCC, que atenderam minimamente as condicionantes, como pode ser visualizado na Tabela 5.

Tabela 5 - Teste estatísticos para Heterocedasticidade, Autocorrelação e Normalidade dos modelos de porcentagem de cerne em função das variáveis dendrométricas, morfométricas de *Cordia trichotoma*, na região de Santa Maria – RS

Modelos	Testes		
	White	Durbin Watson	Shapiro Wilk
PCE = a + b DAP	<i>0,1141</i>	<i>0,0316</i>	<i>0,0004</i>
PCE = a + b LNDAP	<i>0,0943</i>	<i>0,1523</i>	<i>0,0037</i>
PCE = a + b H	<i>0,0804</i>	<i>0,0447</i>	<i>0,0030</i>
PCE = a + b LNH	<i>0,0744</i>	<i>0,1292</i>	<i>0,0149</i>
PCE = a + b HIM	<i>0,2178</i>	<i>0,0019</i>	<i>0,9981</i>
PCE = a + b LNHIM	<i>0,2382</i>	<i>0,0041</i>	<i>0,0027</i>
PCE = a + b DC	<i>0,1563</i>	<i>0,0364</i>	<i>0,0019</i>
PCE = a + b LNDC	<i>0,2077</i>	<i>0,2167</i>	<i>0,0075</i>
PCE = a + b CC	<i>0,1857</i>	<i>0,0072</i>	<i>0,0017</i>
PCE = a + b LNCC	<i>0,2141</i>	<i>0,0316</i>	<i>0,0016</i>

Valores em itálico = Probabilidade da hipótese de nulidade.

Legenda: PCE (Porcentagem de cerne), a e b (coeficientes estimadores), DAP (diâmetro à altura do peito), H (altura), HIM (altura de inversão morfológica), DC (diâmetro de copa), CC (comprimento de copa) e LN (Logaritmo natural).

Fonte: AUTOR (2021).

A homogeneidade da variância avaliada pelo teste de White, foi atendida tanto na relação linear como na logaritmizada. A transformação das variáveis trouxe acentuada

redução na autocorrelação dos resíduos, estimada pela estatística de Durbin-Watson, contudo, a normalidade da distribuição dos resíduos foi fracamente atendida como pode ser constatado pelo reduzidos de valores de probabilidade da estatística Shapiro Wilk. Esta dificuldade para a aderência a distribuição normal é esperada para amostras pequenas, como as utilizadas nesta pesquisa.

A Porcentagem de cerne apresenta uma relação não linear altamente significativa com as variáveis dendromorfológicas, sendo, não influenciada pela condição de crescimento a que as árvores de *Cordia trichotoma* estão submetidas, como pode ser observado na Tabela 6, pois os efeitos da interação entre as variáveis independentes e as condições de competição AL e AC aceitam a hipótese de semelhança entre as amostras, pois, apresentam elevados valores de probabilidade para rejeição da hipótese de que as inclinações e os níveis são iguais para as árvores livres e as sob competição de outras.

Tabela 6 - Análise de covariância da porcentagem de cerne (PCE) em função das variáveis dendrométricas, morfométricas logaritimizadas de *Cordia trichotoma* e interação com árvores de crescimento livre e sob competição, na região de Santa Maria – RS

	Dendrometria - Morfometria				
	LND	LNH	LNHIM	LNDC	LNCC
MODELO (PCE = f(LN dimensão))	<i><.0001</i>	<i><.0001</i>	<i><.0001</i>	<i><.0001</i>	<i><.0001</i>
Dimensão (DAP, H, HIM, DC, CC)	<i><.0001</i>	<i><.0001</i>	0,0002	<i><.0001</i>	<i><.0001</i>
Competição (AL, AC)	<i>0,7440</i>	<i>0,7281</i>	0,8442	0,6155	0,1581
Interação dimensão x competição	<i>0,9594</i>	<i>0,5229</i>	0,7314	0,9124	0,4044
R²_{aj}	0,54	0,55	0,41	0,55	0,40
CV %	7,12	7,11	8,10	7,10	8,21

Valores em itálico Pr > F;

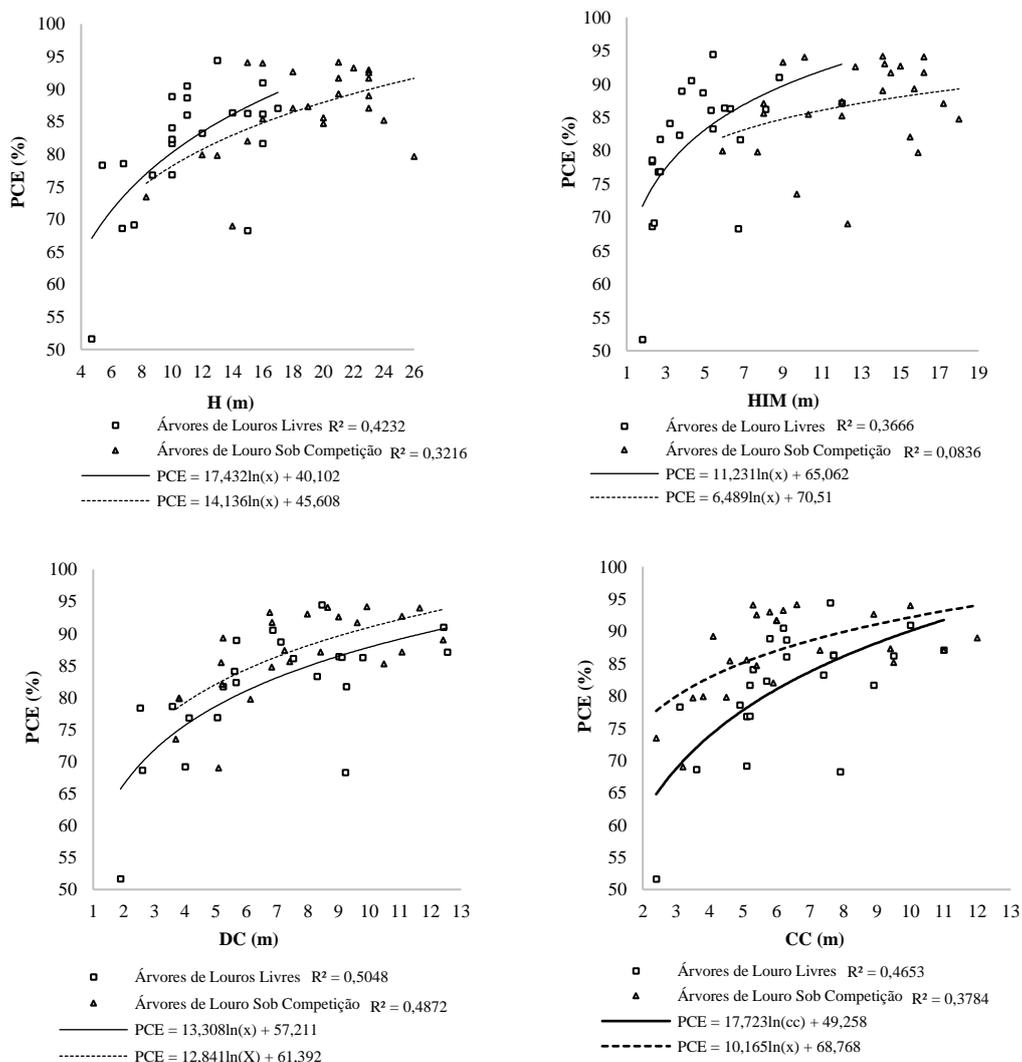
Legenda: LND (logaritmo do diâmetro à altura do peito), LNH (logaritmo da altura), LNHIM (logaritmo da altura de inversão morfológica), LNDC (logaritmo do diâmetro de copa) e LNCC (logaritmo do comprimento de copa).

Fonte: AUTOR (2021).

As curvas dos modelos estimadores da PCE como função do LNDAP apresentam grande semelhança nas inclinações, confirmados pelos coeficientes estimados, como pode ser visualizado na Figura 7, onde, os níveis apesar de aparentar diferença, estão em média aproximadamente 4% acima para as árvores sob competição, que apresentam um

A PCE é maior para árvores mais altas, como pode-se observar na Figura 8, contudo, para alturas inferiores a 10 metros a PCE atinge no máximo 80% e raramente é inferior a este percentual acima desta altura. Este comportamento estatisticamente é característico das árvores de louro tanto de crescimento livre como em floresta sob competição de outras árvores. A HIM pouco influencia a PCE em árvores de louro que crescem sob competição explicando pouco mais de 8% do percentual de cerne, apresentando ainda grande amplitude para uma mesma altura. Em árvores livres de competição o percentual de cerne é fracamente explicado pela variação da altura de inversão morfológica, atingindo 80% de cerne quando a HIM ultrapassa os 3 metros.

Figura 8 - Valores observados e modelos ajustados de Porcentagem de Cerne em função das variáveis dendromorfológicas H, HIM, DC e CC de *Cordia trichotoma* para árvores de crescimento livre e sob competição, na região de Santa Maria – RS



Fonte: AUTOR (2021).

O diâmetro da copa (DC) assim como o DAP apresentam uma relação não linear com PCE, onde para as menores dimensões as variações em percentagem são maiores, reduzindo seus percentuais em diâmetros maiores.

A estimativa de PCE utilizando o DC pode desprezar o efeito da competição, pois as árvores AC apresentam aproximadamente 4% mais PCE para um mesmo DC.

O comprimento de copa (CC) mostrou-se pouco explicativo da PCE, apresentando comportamento semelhante ao DC, apresentando, contudo, estatísticas insatisfatórias como um estimador confiável.

As condições de crescimento das árvores não se mostraram influente como variável de classificação, assim, ajustou-se para cada variável independente um modelo único, independente da condição de competição a que as árvores estão submetidas, apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Modelos logaritimizados ajustados para estimativa da porcentagem de cerne (PCE) de *Cordia trichotoma* utilizando variáveis dendromorfológicas

Variáveis	Modelos matemáticos	R ² ajustado	CV%
DAP	$PCE = 41,7943 + 12,5273 * LND$	0,50	7,28
H	$PCE = 45,3556 + 14,6508 * LNH$	0,50	7,28
HIM	$PCE = 69,0201 + 7,5768 * LNHIM$	0,35	8,32
DC	$PCE = 57,8098 + 13,872 * LNDC$	0,51	7,21
CC	$PCE = 63,2351 + 11,6485 * LNCC$	0,27	8,86

Legenda: LND (logaritmo do diâmetro à altura do peito), LNH (logaritmo da altura), LNHIM (logaritmo da altura de inversão morfológica), LNDC (logaritmo do diâmetro de copa) e LNCC (logaritmo do comprimento de copa).

Fonte: AUTOR (2021).

Considerando a estatística R²ajustado, não é recomendável utilizar os modelos que utilizam as variáveis independentes (HIM) e (CC) para estimar a porcentagem de cerne em *Cordia trichotoma*.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados encontrados nesse estudo com *Cordia trichotoma*, conclui-se que:

- a) A largura média de alburno é fracamente influenciada pela condição de competição das árvores e pelas variáveis dendromorfológicas, com expectativas entre 15 e 20mm;
- b) O número médio de anéis de crescimento está entre 4 e 5 anos, não apresentando efeitos para diferentes dimensões e condições de crescimento das árvores;
- c) A percentagem de cerne pode ser estimada desconsiderando a condição de competição das árvores, em função do seu DAP (diâmetro a altura do peito), H (altura) e DC (diâmetro da copa).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aceita-se a hipótese do trabalho, pois foi possível prever e quantificar a quantidade de cerne de *Cordia trichotoma* pela mensuração e transformação de características dendrométricas e morfométricas como diâmetro a altura do peito (DAP) e diâmetro de copa (DC). Dessa forma, observa-se a relevância deste trabalho para indústrias madeireiras em geral, onde os valores encontrados de menor largura de alburno nos fornecem informações que valorizam o louro pardo no desdobro em serraria, resultando em tábuas com maior porcentagem de cerne, informação essa que é muito valiosa para seus usos, caracterização tecnológica e beneficiamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABETZ, P.; OHNEMUS, K. Der Z. Baum-Bestockungsgrad (Definition, Herleitung, Anwendung). **Allg. Forst-u. J.-Ztg**, v. 165, n. 10-12, p. 177-185, 1994.

AMANO, E. **Cordiatrichotoma, Boraginaceae**: caracterização e sazonalidade na formação do xilema e do floema. 2002. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2002.

ANTONELLI, P. V.; BRUN, E. J.; SANTOS, M. A. B.; SARTOR, L. R.; BRUN, F. G. K. Desenvolvimento de *Cordiatrichotoma* em função da adubação, em sistema silvipastoril no Sudoeste do Paraná-Brasil. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 3, n. 3, p. 59-70, 2015.

ATALE N., GUPTA S., YADAV, U. C. S, RANI, V. Cell-death assessment by fluorescent and non fluorescent cytosolic and nuclear staining techniques. **J. Microscopy** 255: 7–19, 2014.

BAAS, P.; WERKER, E.; FAHN, A. Some ecological trends in vessel characters. **Iawa Journal**, v. 4, n. 2-3, p. 141-159, 1983.

BAAS, Pieter; SCHWEINGRUBER, Fritz H. Ecological trends in the wood anatomy of trees, shrubs and climbers from Europe. **IAWA journal**, v. 8, n. 3, p. 245-274, 1987.

BACKES, P.; IRGANG, B. Árvores do Sul: guia de identificação e interesse ecológico. 1. ed.. [S.l.]: Instituto Souza Cruz, 2002. 326 p

BAMBER, R. Heartwood, its function and formation. **Wood Sci. Technol.** 10: 1–8, 1976.

BAMBER, R., FUKAZAWA, K. Sapwood and heartwood: A review. **Forestry Abstracts** 46: 567–580, 1985.

BARROS, C. F.; MARCON-FERREIRA, M. L.; CALLADO, C.H.; LIMA, H. R. P.; DA CUNHA, M.; MARQUETE, O.; COSTA, C.G. Tendências ecológicas na anatomia da madeira de espécies da comunidade arbórea da Reserva Biológica de Poço das Antas.

BOTOSSO, P.C.; TOMAZELLO FILHO, M. Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais. In. MAIA, N.B.; MARTOS, H.L.; BARELLA, W. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC/COMPED/INEP, p. 145-171, 2001.

BROWNING, B. The chemistry of wood. 1963.

BUCKLEY, B.M.; DUANGSATHAPORN, K.; PALAKIT, K.; BUTLER, S.; SYHAPANYA, V.; XAYBOUANGEUN, N. Analyses of growth rings of *Pinus merkusi* from Lao PDR. **Forestry Ecology Manage**, v.253, p.120-127, 2007.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Ed. Nobel, 1991. 154p.

- CALLADO, C.H.; SILVA NETO, S.J.; BARROS, C.F.; SCARANO, F.R.; COSTA, C.G. 2001. Periodicity of growth rings in some flood-prone trees of the Atlantic Rain Forest in Rio de Janeiro, Brazil. *Trees* 15: 492-297.
- CANETTI, A.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; RICKENA, P.; PELLICO NETTO, S. Retrospective analysis of competition in a forest remnant: A case study of *Podocarpus lambertii* in the Araucaria Forest. **Dendrochronologia**, v. 40, p. 43-49, 2016.
- CARLQUIST, Sherwin; HOEKMAN, David A. Ecological wood anatomy of the woody southern Californian flora. **Iawa Journal**, v. 6, n. 4, p. 319-347, 1985.
- CARVALHO, P. E. Espécies Arbóreas Brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, v. 1, 2003. 1039 p
- CARVALHO, P. E. R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira. Colombo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 1994. 640p.
- CAUM, C. Anatomia comparada da madeira de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud (Boraginaceae) proveniente de sementes de duas procedências e análise dos anéis de crescimento. 2013.
- CHATTAWAY, M. M. **The development of tyloses and secretion of gum in heartwood formation.** Austral. J. Biol. Sci. 2: 227–24, 1949. com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, p.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F. Modelo de incremento em área basal para árvores de araucária de uma floresta inequiana. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 35, n. 83, p. 239-245, 2015.
- COSTER, C. **Zur Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen und Jahresbildung in den Tropen.** Annales du Jardin Botanique de Buitenzorg, v.37, n.1, p.49-160, 1927.
- COUTO, M. L. Influência das propriedades anatômicas, químicas e físicas da madeira de *Eucalyptus* e *Corymbiana* qualidade do carvão para uso siderúrgico. Tese de doutorado – Universidade Federal de Lavras, MG, 2014.
- DENARDI, L.; MARCHIORI, J. N. C. Anatomia ecológica da madeira de *Blepharocalyx salicifolius* (H. B. K.) Berg. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 119-127, 2005.
- DICKISON, W. C. **Integrative Plant Anatomy.** Harcourt Academic Press, San Diego. 533p., 2000.
- DURLO, M. A.; SUTILI, F. J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v. 14, n. 2, p. 79-89. 2004.
- ENQUIST, B.J.; LEFFLER, A.J. Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dry forest trees: individualistic responses to climatic variation. **Journal of Tropical Ecology**, v.17, n.1, p.41-60, 2001.

FOSTER, R. C. Fine structure of tyloses in three species of the Myrtaceae. *Austral. J. Bot.* 15: 25–34, 1967.

FRITTS, H. C. Dendroclimatology and dendroecology. **Quaternary Research**, Cambridge, v. 1, n. 4, p. 419-449, 1971.

FRITTS, H.C. *Treerings and climate*. New York: Academic Press, p. 567, 1976.

FUKUDA, H. Programmed cell death of tracheary elements as a paradigm in plants. **Plant Mol. Biol.** 44: 245–253, 2000.

GALÃO, A. T. D. **Incremento médio anual, anatomia e propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Peltophorum dubium* (spreng.) Taub. com sementes de duas procedências** – Tese de Mestrado, UNESP. Botucatu/SP, 2017.

GONZAGA, A. L. *Madeira: uso e conservação*. Brasília, DF: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, 2006. 246 p.

GRINGS, M.; BRACK, P. Espécies madeireiras nativas da Região Sul: *Cordiatrichotoma* (louropardo). In: CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Sul**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, p. 453-456, 2011.

HASENAUER, H. Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. Wien: Universität für Bodenkultur, Institut für Waldwachstumsforschung, 1994. v. 8.

HASENAUER, H.; MOSER, M.; ECKMÜLLNER, O. Ein Programm zur Modellierung von Wachstumsreaktionen. *Allgemeine Forstzeitung*, Wien, v. 4, p. 216-218, 1995.

HILLIS, W. E. *Heartwood and tree exudates*. Springer-Verlag, Berlin, p. 268, 1987.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. *Forest mensuration*. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1982. 402p.

IAT. Instituto Água e Terra. Disponível em: <www.iat.pr.gov.br/>. Acesso em: 29 nov. 2020.

IAWA C. **Multilingual glossary of terms used in wood anatomy**. Konkordia, Winterthur, Switzerland. p. 186, 1964.

ISLAM, M. A., BEGUM, S., NAKABA, S., FUNADA, R. Distribution and pattern of availability of storage starch and cell death of ray parenchyma cells of a conifer tree (*Larix kaempferi*). *Res. J. Recent Sci.* 1: 28–37, 2012.

ISLAM, M. A., BEGUM, S. Distribution of starch, lipid and nuclei in xylem and phloem of *Tectona grandis* Linn. *J. Bio-Science* 19: 29–35, 2011.

- KAMPE, A.; MAGEL, E. New insights into heartwood and heartwood formation. In **Cellular Aspect of Wood Formation**; Formm, J., Ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2013; pp. 71–95.
- KLAASSEN, R. Wood anatomy of the Sapindaceae. **IAWA Journal**, Leiden, Supplement 2. 214p. 1999.
- KNAPIC, S.; TAVARES, F.; PEREIRA, H. Heartwood and sapwood variation in *Acacia melanoxylon* R. Br. trees in Portugal. **Forestry**, v. 79, n. 4, p. 371-380, 2006.
- LOPES, O. P. **Anatomia e identificação da madeira de genótipos de *Eucalyptus* spp. plantados no Estado de Minas Gerais**. Dissertação. UFLA. 93 p. 2013.
- LOURENÇO, A., et al. The influence of heartwood on the pulping properties of *Acacia melanoxylon* wood. **Journal of Wood Science**, v. 54, n. 6, p. 464-469, 2008.
- LUCHI, A. E. Anatomia do lenho de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) de solos com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo. v. 27, p. 271-280, 2004.
- MARCATI, C. R., ANGYALOSSY-ALFONSO, V., BENETATI, L. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinoideae) de floresta e cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.24, n.3, p.311-320, 2001.
- MARCATI, C. R.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, S. R. Growth rings in Cerrado woody species: occurrence and anatomical markers. **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 6, n. 3, 2006.
- MARTINS, C. S.; ABREU, J. J. C.; PEREIRA, D. T. O.; SANTOS, D. Q.; MELO, V. L. M.; NOBRE, J. R. C.; SOUSA, M. A. R.; FIGUEIREDO, M. F. Propriedades físicas de três espécies de madeiras comercializadas no sudeste do Pará. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da madeira. **Anais eletrônicos... Florianópolis: III CBCTEM**, 2017. Disponível em: < <https://proceedings.science/cbctem?lang=pt-br> > Acesso em 20/05/2020.
- MELO, L. E. L.; SILVA, C. J.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; SANTOS, I. S.; URBINATI, C. V. Influence of spacing on some physical properties of *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke).
- MISHRA, G., COLLINGS, D. A., & ALTANER, C. M. Physiological changes during heartwood formation in young *Eucalyptus bosistoana* trees. **IAWA Journal**. 2018. Doi:10.1163/22941932-20170210
- MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; BRAZ, R. F.; DUARTE, A. P. C.; ALVES, R. C. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais. **Ciência Rural**, v. 44, n. 12, 2014.

NAKABA, S., KUBO, T., FUNADA, R. **Differences in patterns of cell death between ray parenchyma cells and ray tracheids in the conifers *Pinus densiflora* and *Pinus rigida*.** *Trees*. 22: 623, 2008

NAKABA, S., SANO, Y., FUNADA, R. Disappearance of microtubules, nuclei and starch during cell death of ray parenchyma in *Abies sachalinensis*. *IAWA J.* 34: 135–146, 2013.

NOGUEIRA, M.; BALLARIN, A. W. Efeito da idade na qualificação mecânica da madeira serrada de *Eucalyptus* sp. com uso de ensaios não-destrutivos. **Revista Energia na Agricultura**, v. 23, n. 3, p. 74-94, 2008.

OLIVEIRA, J. R. **Análise dendrocronológica de *Araucaria angustifolia* em Santa Catarina, Brasil.** (Dissertação), FURB, Blumenau, 2015.

OLIVEIRA, J.M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) O. KUNTZE: Bases de Dendroecologia em Ecossistemas subtropicais montanos no Brasil.** 2007. 139f. Tese de Doutorado em Ciências com Ênfase em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Porto Alegre, 2007.

PAULA, A. G. **Modelos de regressão com apoio computacional.** Instituto de Matemática e Estatística Universidade de São Paulo. 2013.

PAULA, J.E. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies da amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazonica**, v. 33, n.2, p. 243-262, 2003.

PLOMION, C.; LEPROVOST, G.; STOKES, A. Wood formation in trees. **Plant Physiol.**, 127, 1513–1523, 2001.

PRETZSCH, Hans. Zum Einfluss des Baumverteilungsmusters auf den Bestandszuwachs. **AllgForst-Jagd**, v. 166, p. 190-201, 1995.

REBOLLAR, S.; QUINTANAR, A.; PEREZ, C. P. 1994. Estudio anatomico de la madera de *Psidium sartorianum* (Myrtaceae) y *Cordia gerascanthus* (Boraginaceae). *Acta Botánica Mexicana* 27: 89-97.

REITZ, R., KLEIN, R. M., REIS, A. Projeto madeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 1983. 524p

ROZENDAAL, D.M.A.; ZUIDEMA, P.A. Dendroecology in the tropics: a review. **Trees**, v.25, p.3-16, 2011

SAS. The SAS System for Windows. Copyright (c) 1999-2001 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 1999.

SCHONING, M.; BANDEL, K. 2004. A diverse assemblage of fossil hardwood from the Upper Tertiary (Miocene?) of the Arauco Peninsula, Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 17: 59-71.

SCHWEINGRUBER, F. H. **Treerings: basics and applications of dendrochronology**. Dordrecht: Reidel, p. 276, 1988.

SCHWEINGRUBER, F.H. (1996) *Tree Rings and Environment-Dendrochronology*. Haupt, Bern, 609 p.
Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 483-490, 2014.

SILVA, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M.; OLIVEIRA, J. T. S.; CASTRO, V. R. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista árvore**. Viçosa, MG, v. 31, n.6, p. 1081-1090, 2007.

SMITH, L.B. Boragináceas. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1970. 85p.
 SOLIZ-GAMBOA, C.C.; ROZENDAAL, D.M.A.; CECCANTINI G.;
 ANGYALOSSY, V., van der BORG, K.; ZUIDEMA, P.A.
 Evaluating the annual nature of juvenilerings in Bolivian tropical rainforest trees, **Trees-StructFunct**, 2010.

SOUZA, L. A. “Morphology and Anatomy of the *Cordia Trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex I. M. Johnst Diaspore (Boraginaceae)”. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, 2008, p. 561–68. SciELO, doi:10.1590/S1516-89132008000400014.

STOKES, M.A.; SMILEY, T.L. **An introduction to tree-ring dating**. 2nd ed. Arizona: The University of Arizona Press, 1996.

TOMAZELLO FILHO, M.; LISI, C.S.; HANSEN, N., CURY, G.
 Anatomical features of increment zones in different tree species in the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Forestalis**, v.66, p.46-55. 2004.

TOMAZELLO FILHO, M.; ROIG, F.; ZEVALLOS, P. Dendrochronología y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas em los países de América Latina. **Ecología en Bolivia**, La Paz, v. 44, n. 2, p. 73-82, 2009.

VUADEN, Elisabete et al. **MORFOMETRIA E INCREMENTO DE *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

WEISKITTEL, A. R.; HANN, D. W.; KERSHAW, J. A.; VANCLAY, J. K. **Forest growth and yield modeling**. Chichester: Wiley-Blackwell. 2011. 415 p.

WILLIAMS, J.; LEÓN, H. 2003. Anatomía de la madera de 9 especies del género *Cordia* L. (Boraginaceae-Cordioideae) que crecen en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 47(2): 83-94.

WORBES, M. Growth Rings, Increment and Age of trees in Inundation Forests, Savannas and a Mountain Forest in the Neotropics. *IAWA Bull.*, Vol.10 (2):109-122, 1989.

YEH, Ting-Feng et al. Differential Gene Profiling of the Heartwood Formation Process in *Taiwania cryptomerioides* Hayata Xylem Tissues. **International journal of molecular sciences**, v. 21, n. 3, p. 960, 2020.

ZHANG, S. Y. Wood specific gravity-mechanical property relationship at species level. **Wood Science and Technology**, v. 31, n. 3, p. 181-191, 1997.

ZIEGLER, H. **Biological aspects of heartwood formation**. Holz Roh- Werkstoff 2: 61–68, 1968.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin: Springer Verlag, 1989. 361 p.