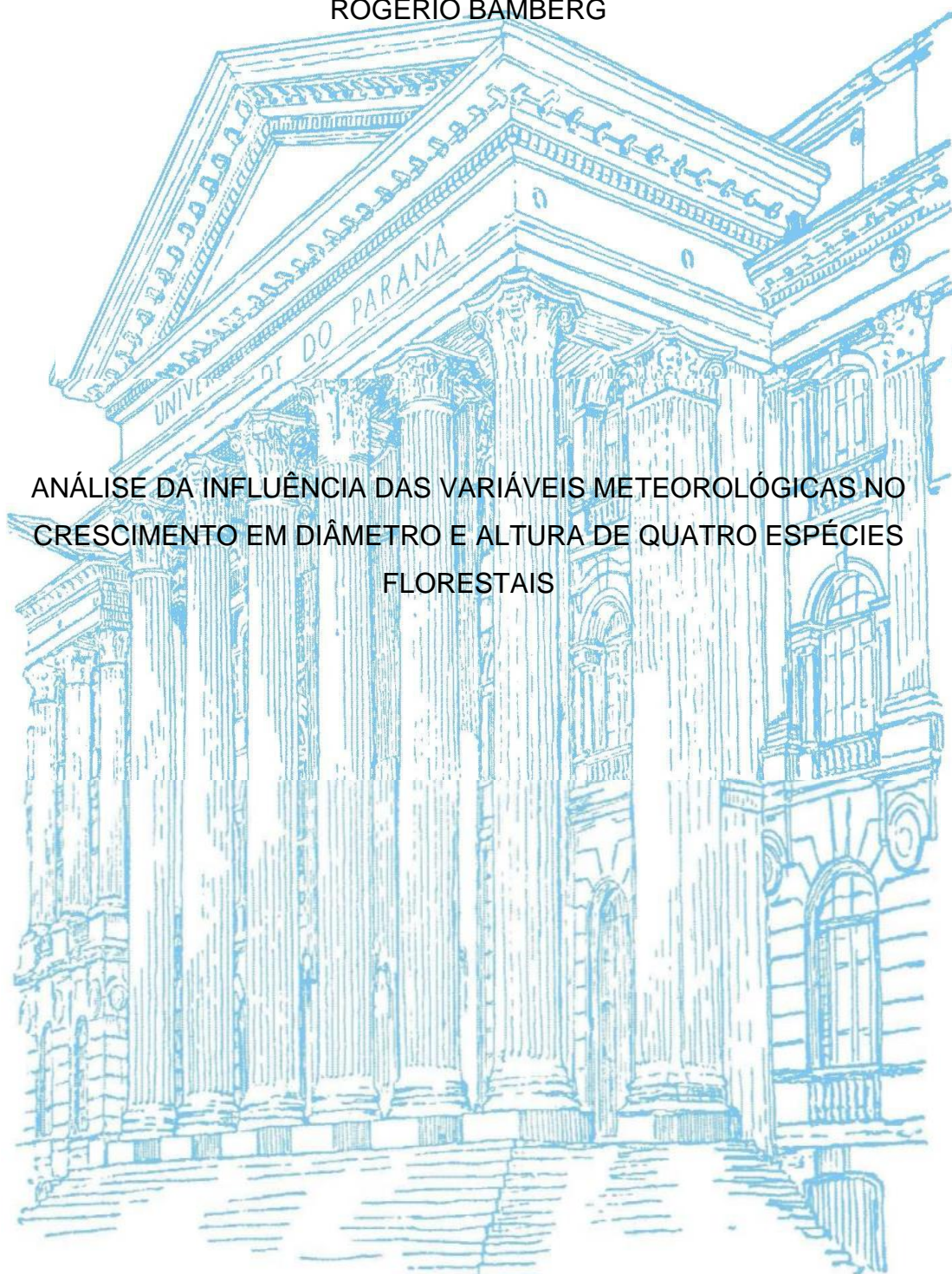


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ROGÉRIO BAMBERG



ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NO
CRESCIMENTO EM DIÂMETRO E ALTURA DE QUATRO ESPÉCIES
FLORESTAIS

CURITIBA

2014

ROGÉRIO BAMBERG

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NO
CRESCIMENTO EM DIÂMETRO E ALTURA DE QUATRO ESPÉCIES
FLORESTAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração: Manejo Florestal, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

Co-orientador: Prof. Dr. Bráulio Otomar Caron

Co-orientador: Prof. Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa

CURITIBA

2014

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Bamberg, Rogério

Análise da influência das variáveis meteorológicas no crescimento em diâmetro e altura de quatro espécies florestais / Rogério Bamberg. – 2014
56 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

Coorientadores: Prof. Dr. Bráulio Otomar Caron

Prof. Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 17/07/2014.

Área de concentração: Manejo Florestal

1. Dendrometria. 2. Dendrometria – Modelos matemáticos. 3. Meteorologia florestal. 4. Florestas – Rio Grande do Sul. 5. Teses. I. Nakajima, Nelson Yoshihiro. II. Caron, Bráulio Otomar. III. Hosokawa, Roberto Tuyoshi. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.5

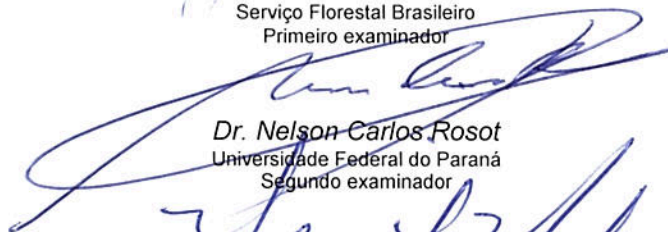
PARECER

Defesa nº. 1028

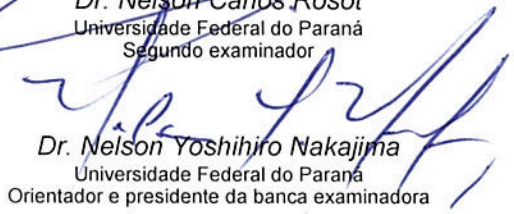
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) mestrando(a) *Rogério Bamberg* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NO CRESCIMENTO EM DIÂMETRO E ALTURA DE QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em **MANEJO FLORESTAL**.



Dr. Randolph Zachow
Serviço Florestal Brasileiro
Primeiro examinador



Dr. Nelson Carlos Rosot
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador

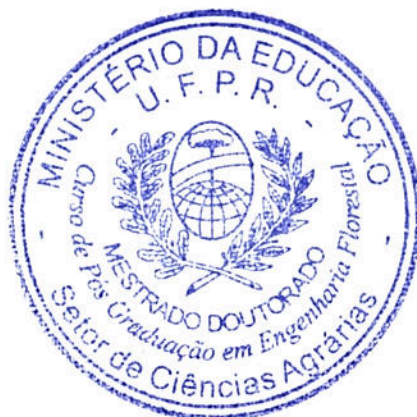


Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 17 de julho de 2014.



Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal



DEDICO

Aos meus pais Roque e Lúcia

Aos meus irmãos Igor, César e Adilson

A minha companheira Valéria

Aos amigos Tiago e Alexandre

Aos professores e amigos Sylvio e Braulio

A simplicidade é o último grau de sofisticação

“Leonardo Da Vinci”

RESUMO

O crescimento e a produção florestal estão ligados a fatores genéticos e as condições de sítio, dentre estas, as condições climáticas são os fatores que apresentam maior variação. Variáveis meteorológicas como temperatura, radiação solar, umidade relativa e precipitação são fatores limitantes do crescimento. Deste modo o presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento em altura, Diâmetro a Altura do Peito (DAP) e Diâmetro a Altura do Colo (DC) e suas relações com as variáveis meteorológicas, bem como demonstrar o ajuste da função hipsométrica proposta por Näslund, pelo método do ponto de inflexão, para as espécies *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella*, *Eucalyptus grandis* e *Ateleia glazioveana*. A área experimental localiza-se no município de Frederico Westphalen – RS, onde foram implantadas as quatro espécies estudadas, com delineamento experimental em blocos casualizados. Foi realizada a análise de correlação entre o crescimento e as variáveis meteorológicas. A variável meteorológica que apresentou maior correlação com o incremento de todas as variáveis de crescimento estudadas foi a temperatura mínima absoluta, com valores de “r” entre 0,48 e 0,82, indicando que esta variável pode ser considerada um limitador de crescimento. Uma das características encontradas foi a melhora na correlação quando a variação foi estudada de acordo com as quatro estações do ano, principalmente para as estações verão e outono. Ocorreu a inversão no sinal da correlação para a temperatura máxima do verão para o outono, demonstrando a importância do estudo do crescimento quando separado por estações do ano, uma vez que a influência de uma variável é diferente em cada estação. No estudo da relação hipsométrica ambas as espécies apresentaram os valores de assíntota estimados bastante próximos dos valores reais encontrados na região (*A. mearnsii* = 31 m, *M. scabrella* = 29,2 m, *E. grandis* = 68,8 m e *A. glazioveana* = 22 m). Conclui-se que o ajuste apresentou grande eficiência na estimativa da relação hipsométrica das espécies estudadas.

Palavras-chave: *Acacia mearnsii*; *Ateleia glazioveana*; *Eucalyptus grandis*; *Mimosa scabrella*; Função hipsométrica de Näslund.

ABSTRACT

The forest growth and production are linked to genetic factors and site conditions, among them, the climatic conditions are the factors that have greater variation. Meteorological variables such as temperature, solar radiation, relative humidity and rainfall can be limiting factors of growth. Therefore, the present study aims to assess the growth in height, Diameter at Breast Height (DBH) and the Root Collar Diameter (RCD) and their relationship with meteorological variables, as well as demonstrate the fit hypsometric function proposed by Näslund by the method of the inflection point for the species *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella*, *Eucalyptus grandis* and *Ateleia glazioveana*. The experimental area is located in the city of Frederico Westphalen - RS, which were implanted in four species studied in four spacings, in a randomized block design. Correlation analysis between growth and meteorological variables was performed. The meteorological variable that had the highest correlation with the increase in all variables studied growth was the absolute minimum temperature, with values of "r" between 0.48 and 0.82, indicating that this variable can be considered a limiting growth. One of the characteristics found in the correlation was improved when the variation is studied according to the four seasons of the year, especially for the summer and autumn. Inversion occurred in the sign of the correlation for the maximum temperature from summer to autumn, demonstrating the importance of the study of the growth by performing the division into seasons. In the study of hypsometric relation both species showed the values estimated asymptote fairly close to the actual values found in the region (*Acacia mearnsii* = 31 m, *Mimosa scabrella* = 29.2 m, *Eucalyptus grandis* = 68.8 m and *Ateleia glazioveana* = 22 m). The adjustment performed quite efficient for estimating the hypsometric relation of the species studied.

Keywords: *Acacia mearnsii*; *Ateleia glazioveana*; *Eucalyptus grandis*; *Mimosa scabrella*; Hypsometric function Näslund.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DEMONSTRAÇÃO DO MÉTODO DE AJUSTE DA FUNÇÃO DE NÄSLUND (1936), PARA A RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA	24
FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. FREDERICO WESTPHALEN, RS, 2014.....	25
FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO DA UNIDADE AMOSTRAL DE 3 x 1 m COM A MARCAÇÃO DAS QUATRO SUBUNIDADES DE TRÊS PLANTAS AVALIADAS	26
FIGURA 4 – DISPOSIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS SORTEADAS NOS TRÊS BLOCOS.....	27
FIGURA 5 – CRESCIMENTO EM ALTURA (H), DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP) E DIÂMETRO A ALTURA DO COLO (DC) DAS ESPÉCIES <i>A. mearnsii</i> , <i>M. scabrella</i> , <i>E. grandis</i> E <i>A. glazioveana</i>	30
FIGURA 6 – DISPERSÃO ENTRE A TEMPERATURA MÍNIMA ABSOLUTA E O INCREMENTO MÉDIO DIÁRIO EM ALTURA, DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO E DIÂMETRO A ALTURA DO COLO DA ESPÉCIE <i>Acacia mearnsii</i>	34
FIGURA 7 – DISPERSÃO ENTRE A TEMPERATURA MÍNIMA ABSOLUTA E O INCREMENTO MÉDIO DIÁRIO EM ALTURA, DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO E DIÂMETRO A ALTURA DO COLO DA ESPÉCIE <i>Ateleia glazioveana</i>	35
FIGURA 8 – DISPERSÃO ENTRE A TEMPERATURA MÍNIMA ABSOLUTA E O INCREMENTO MÉDIO DIÁRIO EM ALTURA, DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO E DIÂMETRO A ALTURA DO COLO DA ESPÉCIE <i>Mimosa scabrella</i>	35
FIGURA 9 – DISPERSÃO ENTRE A TEMPERATURA MÍNIMA ABSOLUTA E O INCREMENTO MÉDIO DIÁRIO EM ALTURA, DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO E DIÂMETRO A ALTURA DO COLO DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus grandis</i>	36
FIGURA 10 – RELAÇÃO ENTRE AS TEMPERATURAS MÍNIMA ABSOLUTA, MÉDIA E MÁXIMA ABSOLUTA E O INCREMENTO MÉDIO MENSAL EM ALTURA DAS ESPÉCIES <i>Acacia mearnsii</i> , <i>Mimosa scabrella</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> E <i>Ateleia glazioveana</i> PARA CADA PERÍODO DE AVALIAÇÃO	37
FIGURA 11 – RELAÇÃO ENTRE AS TEMPERATURAS MÍNIMA ABSOLUTA, MÉDIA E MÁXIMA ABSOLUTA E O INCREMENTO MÉDIO MENSAL EM DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO DAS ESPÉCIES <i>Acacia mearnsii</i> , <i>Mimosa scabrella</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> E <i>Ateleia glazioveana</i> PARA CADA PERÍODO DE AVALIAÇÃO	38

FIGURA 12 – RELAÇÃO ENTRE AS TEMPERATURAS MÍNIMA ABSOLUTA, MÉDIA E MÁXIMA ABSOLUTA E O INCREMENTO MÉDIO MENSAL EM DIÂMETRO A ALTURA DO COLO DAS ESPÉCIES <i>Acacia mearnsii</i> , <i>Mimosa scabrella</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> E <i>Ateleia glazioveana</i> PARA CADA PERÍODO DE AVALIAÇÃO.....	39
FIGURA 13 – RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA COM A DETERMINAÇÃO DO PONTO DE INFLEXÃO DAS ESPÉCIES <i>Acacia mearnsii</i> , <i>Mimosa scabrella</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> E <i>Ateleia glazioveana</i> NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN, RS.....	42
FIGURA 14 – RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA ESTIMADA PELA FUNÇÃO DE NÄSLUND DAS ESPÉCIES <i>Acacia mearnsii</i> , <i>Mimosa scabrella</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> E <i>Ateleia glazioveana</i>	44
FIGURA 15 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS PELA FUNÇÃO DE NÄSLUND (1936), NA ESTIMATIVA DA ALTURA EM FUNÇÃO DA ALTURA OBSERVADA E DO DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS UTILIZADAS	28
TABELA 2 – VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS E MÁXIMOS MENSAIS DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E DO INCREMENTO DAS ESPÉCIES <i>Acacia mearnsii</i> , <i>Mimosa scabrella</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> E <i>Ateleia glazioviana</i> , DO PERÍODO ENTRE SETEMBRO DE 2008 E NOVEMBRO DE 2012	31
TABELA 3 – CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS.....	32
TABELA 4 – RESULTADOS DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON PARA AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO PARA AS ESPÉCIES <i>Acacia mearnsii</i> , <i>Mimosa scabrella</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> E <i>Ateleia glazioviana</i>	40
TABELA 5 – PARÂMETROS ESTIMADOS DA FUNÇÃO DE NÄSLUND (1936), MOMENTO DE INFLEXÃO DA CURVA E ASSÍNTOTA DA ALTURA DAS ESPÉCIES <i>Acacia mearnsii</i> , <i>Mimosa scabrella</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> E <i>Ateleia glazioviana</i>	43
TABELA 6 – VALORES DE COEFICIENTE <i>b</i> E ALTURA DE ASSÍNTOTA PARA CADA VALOR DE ALTURA NO MOMENTO DA INFLEXÃO DA FUNÇÃO DE NÄSLUND (1936).....	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO DA LITERATURA	16
3.1	<i>Acacia mearnsii</i> De Wild. (acácia-negra)	16
3.2	<i>Mimosa scabrella</i> Bentham (bracatinga)	17
3.3	<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden (eucalipto)	18
3.4	<i>Ateleia glazioveana</i> Baillon (timbó)	18
3.5	CRESCIMENTO EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS	19
3.6	RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA	22
4	MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
4.2	ORIGEM DOS DADOS	25
4.3	DADOS METEOROLÓGICOS	28
4.4	CORRELAÇÃO	28
4.5	AJUSTE DA FUNÇÃO HIPSOMÉTRICA	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1	ESTATÍSTICA DESCRITIVA	31
5.2	CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS	32
5.3	DISPERSÃO ENTRE AS VARIÁVEIS QUE APRESENTARAM MAIOR CORRELAÇÃO COM O CRESCIMENTO	34
5.4	CORRELAÇÃO NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO	39
5.5	AJUSTE DA FUNÇÃO HIPSOMÉTRICA DE NÄSLUND ATRAVÉS DO PONTO DE INFLEXÃO	42
6	CONCLUSÕES	48
7	RECOMENDAÇÕES	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

O crescimento e a produtividade final de um povoamento estão diretamente ligados aos fatores genéticos e as condições de sítio (solo e clima), e dentre estas, as condições climáticas são os fatores que mais apresentam variação durante o período de crescimento. Cada vez mais, tem se buscado o aprimoramento na prognose do crescimento das florestas em função das condições que a planta dispõe.

Dentre as variáveis que costumam ser priorizadas em inventários florestais estão a altura total e ou comercial e o Diâmetro a Altura do Peito (DAP), isto porque são tomadas como base para a estimativa da produção dos povoamentos. O DAP é de obtenção direta e de fácil medição, usualmente são medidos todos os indivíduos contemplados nas parcelas amostrais no inventário, já a altura costuma-se medir indiretamente alguns indivíduos para serem utilizados nos ajustes de modelos hipsométricos, e estas tomadas como base para a estimativa das demais alturas das árvores.

Para Mainardi; Schneider; Finger (1996), as empresas florestais estão constantemente efetuando cálculos e prognoses relacionadas à quantidade e qualidade de madeira que possuem ou possuirão em suas florestas. Landsberg (2003) afirma que modelos baseados apenas em medições diretas não tem flexibilidade e capacidade de simular os resultados de estresses ambientais, como seca, ou desvios significativos em relação às condições locais durante o período em que foram feitas as medições.

Um dos grandes desafios dos estudos de crescimento é a identificação de variáveis que influenciam no crescimento e na produção florestal e de que modo estas influenciam. O desenvolvimento florestal varia significativamente entre e dentro das espécies arbóreas e de acordo com a idade, estações do ano e condições microclimáticas (HIGUCHI *et al.*, 2003; ZANON; FINGER, 2010).

Para Binkley (2004), a produção florestal depende dos recursos do ambiente obtidos pelas árvores e do uso destes recursos para fixar o CO₂ atmosférico em biomassa. Estas informações se tornam ainda mais importantes para as empresas florestais considerando que a produção final e ao longo do tempo está relacionada com as condições que árvores dispõem para o desenvolvimento.

As principais variáveis do ambiente que controlam as trocas gasosas entre o dossel e a atmosfera são, segundo Landsberg (2003): radiação solar, disponibilizando energia para o processo de evaporação e transpiração; temperatura do ar, controlando o déficit de pressão de vapor entre a câmara estomática e a atmosfera e a disponibilidade de água no solo, que regula a abertura estomática e, conseqüentemente, o processo de difusão do vapor de água entre os estômatos e a atmosfera.

Vários autores (MAESTRI, 2003; STAPE, 2002; IWASAKI-MAROCHI, 2007; DIAS, 2009; FERREIRA, 2009; KANIESKI; SANTOS; NETO, 2012; ZAMIN, 2013; MACHADO *et al.* 2014) correlacionam o incremento em diâmetro (DAP) e altura com variáveis meteorológicas, principalmente com as variáveis temperatura e precipitação, no entanto, não foram encontrados estudos que correlacionem o crescimento com as variáveis meteorológicas para cada estação do ano.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho objetivou avaliar o crescimento em diâmetro a altura do peito, diâmetro de colo e altura total de *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus grandis*, *Mimosa scabrella* e *Ateleia glazioviana*, em um experimento implantado no ano de 2008 na região noroeste do Rio Grande do Sul.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o crescimento em altura, diâmetro a altura do peito e diâmetro a altura do colo das quatro espécies estudadas e suas relações com as variáveis meteorológicas.

Demonstrar o ajuste da função hipsométrica proposta por Näslund, pelo método do ponto de inflexão, para as quatro espécies em questão.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 *Acacia mearnsii* De Wild. (acácia-negra)

A caracterização mais usada na literatura é a de Boland *et al.* (2006) que comentam que: Possui ocorrência natural na região sudeste da Austrália, próximo a áreas costeiras com baixa altitude sendo desde o nível do mar até aproximadamente 850 m de altitude, onde é conhecida por *Black Wattle*. Em seu habitat natural é uma árvore pequena que varia de 6 a 10 m, podendo chegar a 15 m. Possui caule reto e dominante quando em conjunto com outras árvores. A casca possui textura e cor variável, sendo desde o verde liso até preta amarronzada com textura fissurada. Cresce em zonas climáticas frias a quentes, subúmidas e úmidas, com temperatura média do mês mais quente varia entre 25 e 28 °C e a média do mês mais frio varia entre 0 e 5 °C, com a ocorrência de 10 a 40 geadas por ano. Com precipitação média anual entre 650 e 1000 mm.

Esta espécie é largamente plantada na África do Sul e Brasil. No Brasil a espécie é conhecida por acácia negra. Segundo ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF) (2013), no Brasil há mais de 138 mil hectares de plantios dessa espécie. Ela é cultivada principalmente no estado do Rio Grande do Sul, com o objetivo de produção de madeira para celulose e carvão e a casca utilizada na produção de tanino. Esta espécie é uma das melhores espécies em termos de rendimento por árvore e de qualidade do tanino (composição e coloração) (SHERRY, 1971).

Os cultivos extensivos no Rio Grande do Sul foram iniciados com o objetivo da produção de tanino, em função da necessidade para o curtimento de couro das empresas do ramo calçadista que se instalavam nas cidades de São Leopoldo, Estância Velha e Novo Hamburgo.

Tonietto e Stein (1996) citam que a madeira é utilizada na indústria de celulose, aglomerados, como lenha na secagem de grãos e fumo, padarias, olarias e uso doméstico. O incremento médio em madeira é de 22,8 a 31,4 st.ha⁻¹.ano⁻¹ e o de casca é em torno de 10,5 a 19 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (MORA, 2002). Já Tonietto e Stein (1996) relatam uma produção de madeira de 175 st.ha⁻¹ e casca de 15,8 t.ha⁻¹. Rawchal *et al.* (2001) encontraram produção de 110 a 186 m³.ha⁻¹ de madeira aos sete anos de

idade. Schumacher *et al.* (2013) estudando dosagens de NPK encontrou valores de produção de madeira entre 152 e 247 m³.ha⁻¹ aos seis anos de idade.

3.2 *Mimosa scabrella* Bentham (bracatinga)

A *Mimosa scabrella* é conhecida pelo nome popular bracatinga, é uma árvore pioneira perenifólia de rápido crescimento, característica das regiões frias do sul do Brasil (LORENZI, 1998).

Conforme descrição da EMBRAPA (1988), a *M. scabrella* é uma árvore com altura e diâmetros máximos respectivos de 29 m e 40 cm, sendo que geralmente nas idades de corte que são de 6 a 8 anos, a altura é de 14 a 18 m e os diâmetros entre 12 e 18 cm. Possui ocorrência natural na região sul do Brasil, preferencialmente em planaltos com altitudes superiores a 700 m. Ocorre ainda nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro em regiões de grandes altitudes (acima de 900 m). O clima predominante na região de ocorrência é Cfb pelo sistema de classificação de Köppen (temperado chuvoso, constantemente úmido, com temperaturas médias do mês mais quente e mais frio inferiores a 22 °C e a 18 °C, respectivamente). É tolerante a geadas na fase adulta com mínima absoluta de -12 °C e parcialmente tolerante na fase juvenil com plantas totalmente afetadas e plantas não afetadas. A precipitação nas regiões de ocorrência é de 1300 a 2500 mm anuais, não ocorrendo déficits hídricos.

Os bracatingais são conduzidos em ciclos de 6 a 8 anos, com a queima dos resíduos, plantio de culturas anuais no primeiro ano e abandono até a idade de rotação. O número de plantas iniciais é bastante grande, mas a mortalidade ao longo do ciclo é grande, restando cerca de 3000 plantas por hectare aos 7 anos (BAGGIO *et al.*, 1986; CARPANEZZI, 1994; MACHADO *et al.*, 2002). Carvalho (2002a) cita que a *M. scabrella* é uma árvore de baixa longevidade, alcançando 25 anos de idade.

A EMBRAPA (1988) apresenta valores bastante diferenciados quanto a produtividade volumétrica, podendo variar entre 8 e 36 m³/ha/ano. Já Carvalho (1981), encontrou em experimentos valores entre 7 e 18 m³/ha/ano de incremento. Estas grandes variações na produtividade podem estar relacionadas aos diferentes sistemas de manejo, ao uso de fertilizantes e as condições de solo. No entanto estes valores demonstram a possibilidade de uso desta espécie.

3.3 *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden (eucalipto)

Segundo Boland *et al.* (2006), o *E. grandis* é uma árvore muito alta, geralmente com até 55 m de altura e 200 cm de DAP, podendo excepcionalmente alcançar 75 m de altura e 300 cm de DAP. A forma do tronco é geralmente reta. Ocorre naturalmente no sudeste da Austrália, em regiões próximas ao litoral, onde o clima varia de subtropical úmido a tropical úmido, em solos úmidos, argilosos, profundos e bem drenados. Na principal área de sua ocorrência, a temperatura média das máximas do mês mais quente varia de 24 a 30 °C e a temperatura média do mês mais frio está entre 3 e 8 °C. A precipitação média anual varia entre 1000 mm e 3500 mm, com a maior concentração no verão. Nos locais de maior altitude, podem ocorrer geadas ocasionais.

Esta espécie se destaca pelas características de crescimento e adaptação as diferentes condições de clima e solo, sendo a espécie mais plantada no Brasil (MORA; GARCIA, 2000). Apresenta um alto grau de melhoramento e tem se destacado dentro do gênero, como a que melhor se desenvolve em plantios comerciais para regiões subtropicais (KAGEYAMA; VENCOVSKY, 1983; MORAES, 1987).

É uma das espécies de alta produtividade (HAAG, 1983), aumentando cada vez mais em função do melhoramento genético e das técnicas de cultivo e manejo. O gênero *Eucalyptus* é o mais plantado no Brasil, com mais de 5,1 milhões de hectares plantados (ABRAF, 2013). Ele é utilizado na produção de celulose e papel, painéis de fibra, aglomerados, combustível industrial e doméstico e na serraria (SOARES; CARVALHO; VALE, 2003).

3.4 *Ateleia glazioveana* Baillon (timbó)

Uma das características da região noroeste do Rio Grande do Sul é a presença de regeneração natural de timbó em agrupamentos denominados de timbozais. Cientificamente conhecida como *Ateleia glazioveana* Baillon, é encontrada frequentemente em áreas ensolaradas. Ocorre normalmente no noroeste do Rio Grande do Sul, principalmente em áreas antes utilizadas pela agricultura.

Ateleia se refere à imperfeição e *glazioveana* vem recordar Auguste Glaziou (1833 - 1906) (MARCHIORI, 2007). A árvore é pioneira, decídua e heliófila tendo alta produção de biomassa. A folhagem contém teores satisfatórios de nitrogênio para uso como adubo verde (BAGGIO, 2002) e substâncias tóxicas a peixes, insetos e ao gado (MARONA, 1992). Além do potencial produtivo, é recomendada para recuperação de solos e ecossistemas degradados sendo alternativa para o controle de voçorocas devido ao seu sistema radicular pivotante e vigoroso (CARVALHO, 2002b) e a rápida cobertura do solo. A madeira tem boas propriedades para fins energéticos, possuindo poder calorífico superior ao do *E. grandis*.

Árvore com até 15 m de altura e 30 cm de DAP, possui folhas alternas imparipinadas, com 20 a 40 cm de comprimento, presente durante as estações de primavera e verão (LONGHI, 1995; CARVALHO, 2002b). No outono e inverno a árvore se encontra em estágio de repouso vegetativo.

Apesar da espécie não possuir características desejáveis em plantios de alta produtividade, optou-se por manter esta espécie no presente estudo em função da grande ocorrência na região em questão, e de uma solicitação do Movimento dos Pequenos Agricultores (MPA) que vislumbra o uso desta espécie como fonte de biomassa para energia.

3.5 CRESCIMENTO EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

O crescimento e a produtividade, no caso de florestas plantadas, estão na dependência de respostas fisiológicas à interação de fatores biofísicos e abióticos do ambiente. Clima, fisiografia e solos são os fatores do meio físico que mais afetam a capacidade produtiva de uma floresta em um determinado local (CARMO; RESENDE; SILVA, 1990).

Jacoby (1989) relata que as variações de temperatura, precipitação, radiação solar, entre outros elementos meteorológicos, são mais significativos em áreas de clima temperado do que em climas tropicais, quando discutido o ritmo de crescimento das árvores.

O crescimento das plantas é influenciado por fenômenos climáticos como precipitação, temperatura, luz e fatores edáficos. Assim, sob determinadas condições, um ou múltiplos fatores podem prevalecer sobre os outros e influenciar,

de forma determinante os mecanismos que regulam o crescimento (IWASAKI-MAROCHI, 2007).

O maior conhecimento e entendimento dos processos fisiológicos que regulam o crescimento das árvores induzem a uma nova linha de modelagem: os modelos baseados em processos ecofisiológicos (FERREIRA, 2009).

A fotossíntese ocorre através da energia radiante interceptada pela folhagem, produz hidratos de carbono, que são respirados para fornecer a energia necessária para a síntese de proteínas e a formação de novos tecidos e transportados para ramos, caule, raízes e folhas novas. A eficiência fotossintética é afetada pelo estado nutricional das folhas e também depende da absorção de CO₂ através dos estômatos, o que pode ser afetado pelo estado hídrico das folhas (LANDSBERG, 2003).

A interceptação da luz é o primeiro passo para desencadear uma sequência de eventos da fotossíntese, que resultam no crescimento das plantas. Assim, todo o processo fotossintético é resultado de uma cadeia de interações complexas, que ocorrem no dossel e de forma global. A quantidade de radiação interceptada é um fator determinante na produtividade de uma cultura (BEHLING, 2014).

A fotossíntese não aumenta infinitamente com a temperatura, pois temperatura acima do ótimo leva a aumentos na fotorrespiração, o que reduz a fotossíntese, devido ao fato das enzimas e membranas envolvidas no processo fotossintético perder a sua função, o que diminui os ganhos de carbono (LONG, 1991; LLOYD *et al.*, 1995; SAXE *et al.*, 2001; PHILLIPS *et al.*, 2008).

A temperatura é um fator determinante da taxa de processos metabólicos e, portanto, tem impacto no crescimento das plantas, especialmente no balanço de carbono por meio de sua influência sobre a fotossíntese e a respiração celular afeta o balanço hídrico da planta, perturba sistemas enzimáticos, induz o estresse hídrico e a perda de turgescência e as temperaturas extremas causam danos nas folhas (LANDSBERG; SANDS, 2011).

De acordo com os mesmos autores, as temperaturas máxima e mínima diárias são de interesse, por si só, porque podem causar danos às plantas e interromper o crescimento temporariamente ou permanentemente, sendo significativa fonte de estresse abiótico. A temperatura mínima que as plantas toleram varia enormemente. Plantas tropicais vão parar de crescer e podem ser danificadas por temperaturas tão baixas quanto 10 °C, enquanto que as árvores que crescem

em climas frios podem ser capazes de tolerar temperaturas de ar de -40 °C sem danos graves. Esta tolerância pode ser específica, como no caso de temperaturas muito baixas na primavera que podem causar sérios danos aos botões florais e pontos de crescimento.

Assim, na análise de intervalos climáticos as quais a espécie é adaptada, é importante examinar não apenas os padrões de crescimento em relação a temperatura média, mas também a sua capacidade em resistir a extremos em várias etapas de crescimento (LANDSBERG; SANDS, 2011).

Altas temperaturas podem reduzir a assimilação de carbono da planta, devido ao aumento da transpiração e ao fechamento dos estômatos. Por outro lado, em temperaturas baixas, tais como em dias com ocorrência de geadas, também ocorre redução da atividade fotossintética por certo período de tempo em consequência do congelamento das células (LARCHER, 2000).

A quantidade de vapor de água no ar é importante no crescimento das plantas, pois determina a velocidade com que a água é perdida a partir das folhas para a atmosfera através dos estômatos, pelo processo de transpiração. A água é responsável pela turgescência das células e a integridade estrutural da planta. A transpiração é impulsionada principalmente pelo gradiente de pressão de vapor de água entre as folhas e o ar, assumindo que as cavidades dos estômatos estão saturados com vapor de água (LANDSBERG; SANDS, 2011).

A água é um dos fatores mais limitante à produtividade florestal por controlar a abertura e o fechamento estomático, absorção de nutrientes do solo e por ser o meio onde ocorrem as reações químicas e bioquímicas da fotossíntese (LANDSBERG, 2003).

Stape (2002) concluiu que a precipitação está relacionada com a produção do eucalipto, a qual explicou 80% da variação do incremento médio anual de cultivos florestais implantados no estado da Bahia. No mesmo estado, Ferreira (2009) identificou significativa influência do aporte hídrico na produtividade de povoamentos de *Eucalyptus sp.* implantados no estado da Bahia.

Allen e Albaugh (1999) destacam que em plantios de *Pinus taeda* L., a baixa disponibilidade de água e temperaturas extremas afetam negativamente a área foliar, conseqüentemente reduzem a interceptação e o uso da radiação.

Anos de pronunciada seca e/ou solos rasos e pouco estruturados são motivos de variações, nem sempre explicadas pelas tradicionais variáveis sítio, idade e densidade populacional (MAESTRI, 2003).

3.6 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

A análise de regressão tem sido usada com ênfase na solução de parte dos problemas florestais, especialmente quando se pretende obter estimativas de parâmetros da floresta com o mínimo de custo e tempo, utilizando-se as relações matemáticas que possibilitam obter essas estimativas de forma indireta por meio de equações de regressão (SCHNEIDER, 1998).

Apesar da eficiência de alguns modelos, os mesmos nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições, sendo recomendável testá-los por meio de estatísticas adequadas identificando o melhor para cada caso (THOMAS *et al.*, 2006). O levantamento da altura total e comercial é um dos fatores que mais oneram os custos de um inventário florestal (FREITAS *et al.*, 2005). Uma alternativa seria o ajuste de modelos hipsométricos, uma vez que o processo de medição é deveras dispendioso em termos de tempo e dinheiro (PONTES NETO, 2012).

Apesar dos resultados que comprovadamente são obtidos na estimativa do volume de madeira através de equações o seu uso era pouco frequente, por causa das dificuldades de cálculo e desconhecimento sobre o assunto por parte de técnicos ligados à área florestal (VEIGA, 1984).

A relação hipsométrica é influenciada pela idade, sítio, densidade, posição sociológica, tamanho da copa e espécie (LOETSCH; ZOHRER; HALLER, 1973; HUSCH; MILLER; BEERS, 1982; FINGER, 1992; SCOLFORO, 1997). À medida que aumenta a idade do povoamento, as diferenças entre as curvas tendem a diminuir gradativamente, pois quando a árvore atinge seu clímax de crescimento, o seu crescimento em diâmetro e altura será reduzido, como consequência, as mudanças na relação entre H e DAP serão muito pequenas (FINGER, 1992).

Apesar da eficiência de alguns modelos, não é possível aplicá-los a todas as condições, espécies e sítios, sendo melhor testá-los em cada caso por meio de estatísticas adequadas (THOMAS *et al.*, 2006).

Araujo *et al.* (2012) analisando os ajustes de oito modelos hipsométricos para *Pinus* sp., consideraram o modelo proposto por Näslund o mais adequado para

estimar a altura total das árvores, com valores de $S_{yx} = 15,98\%$ e $R^2_{aj.} = 0,926$, tendo ainda uma boa distribuição de resíduos. Chaves (2013) também encontrou bom ajuste do mesmo modelo, sendo para *Tectona grandis*, com valores de $S_{yx} = 9,52\%$ e $R^2_{aj.} = 0,89$. Koehler; Coraiola e Péllico Neto (2010) encontraram bom ajuste do modelo para *Araucaria angustifolia* em Tijucas do Sul, com valores de $S_{yx} = 14,1\%$ e $R^2_{aj.} = 0,913$. Durlo e Denardi (1998) estudando o desenvolvimento da *Cabrlea canjerana* em diferentes estágios sucessionais da floresta com idades de 8 até 50 anos e florestas não exploradas no município de São João do Polêsine, encontraram bom ajuste da função com valor de $R^2 = 0,95$.

Tonini; Arco-Verde e Sá (2005) realizaram um estudo com quatro espécies nativas no Estado de Roraima (*Carapa guianensis* Aubl., *Bertholletia excelsa* Bonpl., *Tabebuia avellanadae* Lorentz ex Griseb. e *Hymenaea courbaril* L.) e, aos sete anos de idade, a análise estatística indicou que a equação hipsométrica de Näslund modificada por Prodan foi a que apresentou o melhor ajuste para estimar a altura em função do diâmetro para as quatro espécies analisadas. Assumpção (2008), analisando a relação hipsométrica para *Ficus máxima* Mill., encontrou os melhores ajustes com os modelos de Prodan e de Curtis.

A função de Näslund tem sido usada no estudo do melhor ajuste da relação hipsométrica por autores já citados neste trabalho. Outros autores utilizaram a função para a estimativa das alturas em trabalhos que não visam o estudo da relação hipsométrica, como por exemplo: Siipilehto (1999) que utilizou no estudo da precisão da estimativa da distribuição do diâmetro de área basal das espécies *Picea abies*, *Pinus sylvestris* e *Betula pendula* na Noruega; Slodicak, Novak e Skovsgaard (2005) no estudo da produção de biomassa de *Picea abies* na Republica Tcheca; Vesterdal et al. (2007) utilizaram no estudo do sequestro de carbono pela biomassa em áreas reflorestadas da Dinamarca, Suécia e Holanda com as espécies *Picea abies* e *Quercus robur*; Egbäck et al. (2012) utilizou no estudo progênes e densidades de plantio para *Pinus sylvestris* na Suécia; Urban et al. (2013) no estudo de diferentes condições nutricionais do solo para as espécies *Pseudotsuga menziesii* e *Picea abies* na Noruega; De-Miguel, Guzmán e Pukkala (2013) no estudo da modelagem da produção de *Centrolobium tomentosum* na Bolívia; Paukkunen (2014) estudando a possibilidade de uso da madeira fina de *Pinus sylvestris* e *Betula pendula* para a produção de aglomerados na Finlândia.

Uma das principais vantagens que Näslund (1936) aponta para sua função é a facilidade de ajuste, uma vez que abrangendo dados que demonstrem o momento de inflexão da curva de relação hipsométrica, é possível, através de operações simples, a determinação dos coeficientes da curva (FIGURA 1).

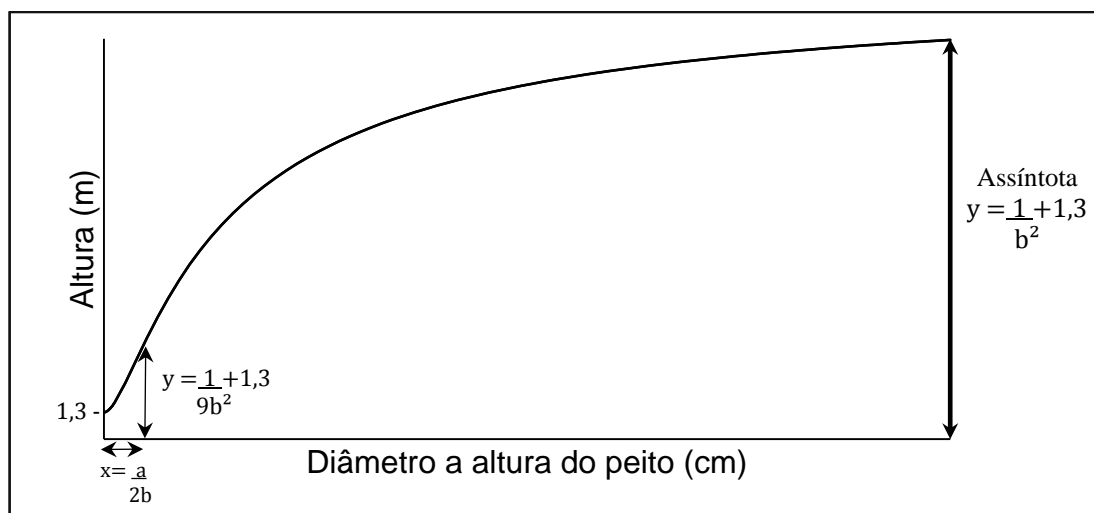


FIGURA 1 – DEMONSTRAÇÃO DO MÉTODO DE AJUSTE DA FUNÇÃO DE NÄSLUND (1936), PARA A RELAÇÃO HIPSONÉTICA

Assim, com a substituição dos valores do DAP e H que ocorrem no momento da inflexão, obtêm-se os coeficientes a e b .

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os dados do presente estudo são provenientes de um experimento implantado em uma área da 0,8 ha pertencente ao Laboratório de Agroclimatologia (LAGRO), vinculado à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), *Campi* Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul (CESNORS), sob coordenadas geográficas de 27° 23' 57" S; 53° 25' 33" W, 476 m de altitude, município de Frederico Westphalen – RS (FIGURA 2).



FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. FREDERICO WESTPHALEN, RS, 2014.
FONTE: GOOGLE, 2014.

Segundo a classificação climática de Köppen o clima da região é Cfa; clima é tipo subtropical subúmido, com temperatura média anual de 18,8 °C e temperatura média do mês mais frio de 13,3 °C (MALUF, 2000).

No preparo da área foi realizada a subsolagem, a correção da acidez com a aplicação de calcário e gradagem para a homogeneização e incorporação do calcário.

4.2 ORIGEM DOS DADOS

A implantação do experimento foi realizada em setembro de 2008. O período de monitoramento do crescimento compreendeu do momento de plantio até os 4

anos e 2 meses, sendo realizadas medições trimestrais na troca das estações do calendário de cada ano. Foram realizados replantios aos 30 e 60 dias após o plantio das mudas.

Cada unidade experimental possui 45 plantas distribuídas em cinco linhas, e 4 subunidades de 3 plantas cada, que propriamente são as avaliadas (FIGURA 3).

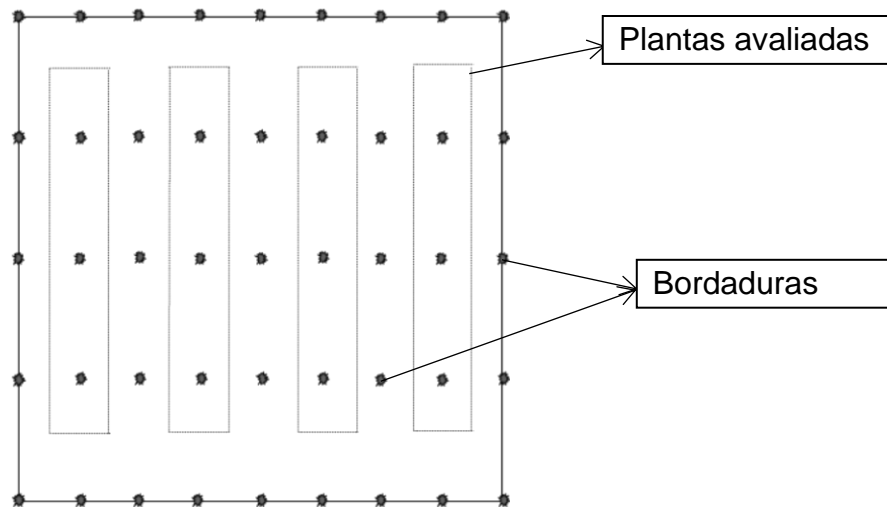


FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO DA UNIDADE AMOSTRAL DE 3 x 1 m COM A MARCAÇÃO DAS QUATRO SUBUNIDADES DE TRÊS PLANTAS AVALIADAS

O delineamento foi desenvolvido em blocos ao acaso, com 3 blocos no esquema trifatorial, onde o primeiro fator A se refere as quatro espécies florestais: *Acacia mearnsii* De Willd (acácia-negra), *Eucalyptus grandis* Hill (eucalipto), *Mimosa scabrella* Benth (bracatinga) e *Ateleia glazioviana* Baill (timbó), o fator D se refere aos quatro espaçamentos: 3,0 x 1,0 m, 3,0 x 1,5 m, 2,0 x 1,0 m e 2,0 x 1,5 m, e o fator E a idade de mensuração (FIGURA 4).

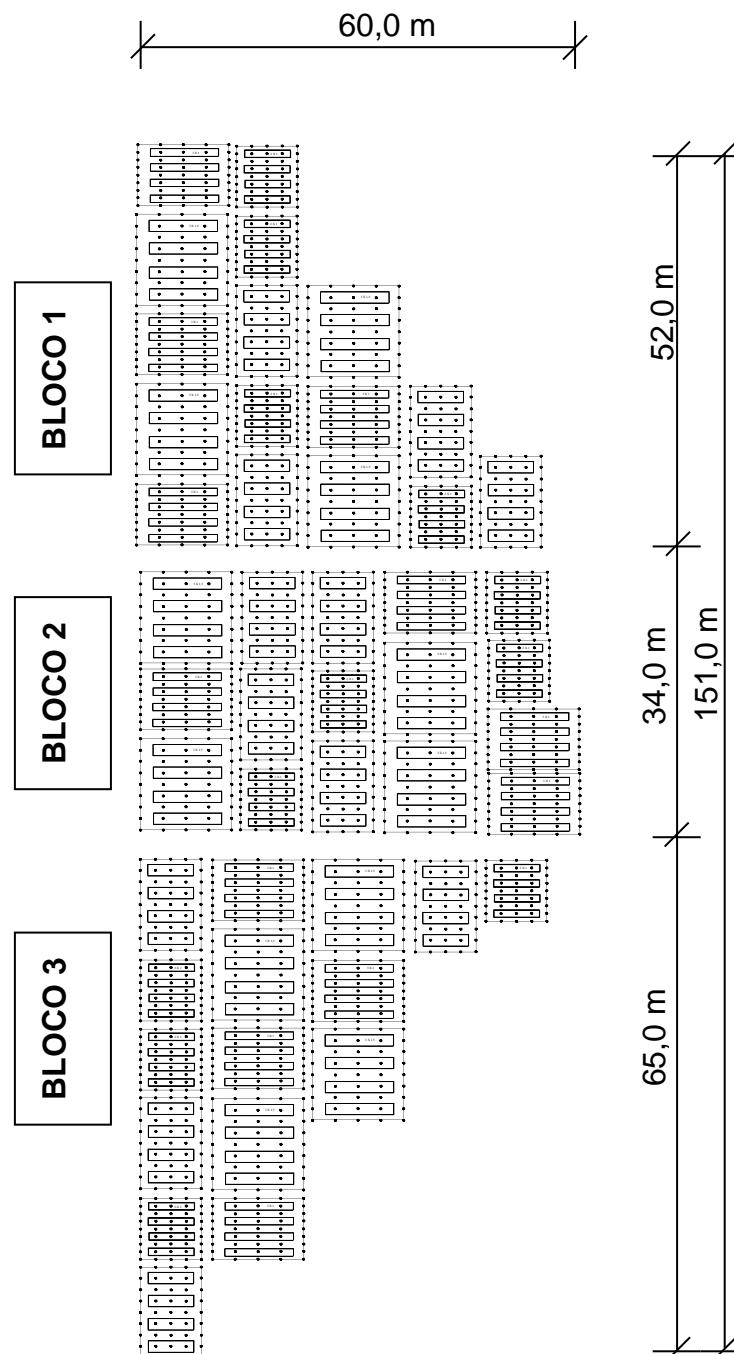


FIGURA 4 – DISPOSIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS SORTEADAS NOS TRÊS BLOCOS

As variáveis mensuradas foram:

- Diâmetro a altura do colo (cm): a 0,1 m acima do solo, inicialmente com o auxílio de paquímetro e posterior com trena;
- Diâmetro a altura do peito (cm): mensurados a 1,3 m acima do solo, sendo que as medições iniciaram a partir do momento em que as plantas atingiram a altura de 1,3 m, inicialmente com o auxílio de paquímetro e posterior com trena;

- Altura total (m): inicialmente foi utilizada a vara graduada enquanto a altura permitisse, posteriormente foi utilizado o hipsômetro Vertex IV.

4.3 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos foram obtidos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), junto à estação meteorológica automática de superfície situada no município de Frederico Westphalen, cerca de 300 m de distância do local de estudo. O registro dos dados foi realizado de forma automática a cada hora. As variáveis meteorológicas que foram utilizadas, e suas respectivas formas de obtenção estão apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 - VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS UTILIZADAS

Variáveis	Unidade	Forma de Obtenção
Temperatura média (Tmed)	°C	Média
Temperatura mínima (Tmin)	°C	Mínima absoluta
Temperatura máxima (Tmax)	°C	Máxima absoluta
Precipitação (Pp)	mm.mês ⁻¹	Soma
Umidade relativa (UR)	%	Média
Radiação solar (sRAD)	KJ.m ⁻²	Soma
Velocidade do vento (Vvmed)	m.s ⁻¹	Média
Rajada de vento (rajMAX)	m.s ⁻¹	Máxima absoluta

Os dados foram agrupados em períodos de três meses para que as avaliações dendrométricas ficassem dentro de cada estação, e assim ser possível a análise das relações existentes entre os incrementos dentro de cada estação e as variáveis meteorológicas.

4.4 CORRELAÇÃO

Para estabelecer relações entre as variáveis meteorológicas e o crescimento das espécies foi realizada a análise de correlação de Pearson para todo o período de avaliação e para a divisão em estações do ano. Essa análise foi realizada com o uso do *software SAS Learning Edition 8.0 (2002)*.

O coeficiente de correlação pôde ser avaliado qualitativamente quanto à intensidade, utilizando os critérios (em módulo) propostos por Callegari-Jacques (2003):

- se $0,00 < \rho^{\wedge} < 0,30$, existe fraca correlação linear;
- se $0,30 \leq \rho^{\wedge} < 0,60$, existe moderada correlação linear;
- se $0,60 \leq \rho^{\wedge} < 0,90$, existe forte correlação linear;
- se $0,90 \leq \rho^{\wedge} < 1,00$, existe correlação linear muito forte.

4.5 AJUSTE DA FUNÇÃO HIPSOMÉTRICA

O ajuste da função de Näslund (1936) foi realizado levando em consideração os valores reais de y (H) e x (DAP) no momento de inflexão da curva gerada pela dispersão dos valores observados de H e DAP

$$\text{Função: } y - 1,3 = \frac{x^2}{(a+bx)^2}$$

Com o uso de limites tendendo ao infinito é possível determinar o valor da assíntota da função, que é dado por: $y = \frac{1}{b^2} + 1,3$

Pontos de mínimo: $x = 0$; $y = 1,3$ com primeira medida à altura do peito.

Usando o cálculo integral e as propriedades das derivadas, deriva-se a função pela segunda vez e igualando a expressão encontrada à zero, é possível determinar o valor do ponto de inflexão da curva dado por:

$$\text{Ponto de inflexão: } x = \frac{a}{2b}; \quad y = \frac{1}{9b^2} + 1,3$$

Onde: $y =$ altura (m);

$x =$ diâmetro a altura do deito (cm);

$a =$ coeficiente que determina a inclinação da curva;

$b =$ coeficiente que determina a altura em que ocorre a inflexão e o valor de assíntota.

O critério de avaliação dos ajustes só pôde ser realizado através da análise gráfica dos resíduos gerados, não sendo possível utilizar outro método devido à utilização de um método determinístico na definição dos coeficientes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação de crescimento das espécies estudadas está apresentada na Figura 5, onde é possível notar que o crescimento é mais acentuado nos meses que compreendem os períodos entre da estação do verão.

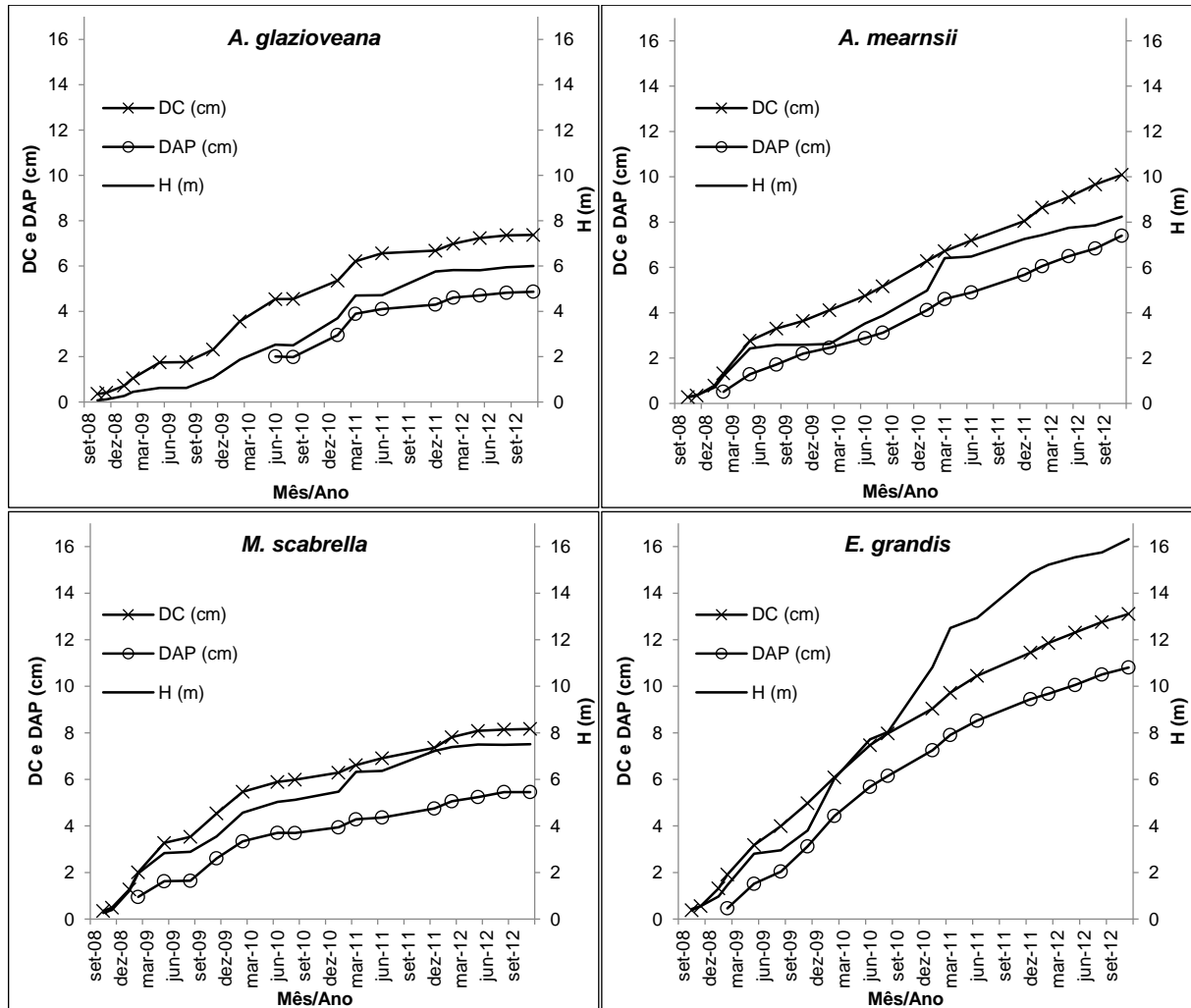


FIGURA 5 – CRESCIMENTO EM ALTURA (H), DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP) E DIÂMETRO A ALTURA DO COLO (DC) DAS ESPÉCIES *A. mearnsii*, *M. scabrella*, *E. grandis* E *A. glazioveana*

Todas as quatro espécies apresentaram crescimento em altura reduzido nos meses que compreendem a estação do inverno. Isto ocorre devido as baixas temperaturas serem o maior limitador do crescimento em regiões frias (LESLIE *et al.* 2012). As baixas temperaturas podem reduzir o crescimento através da fotoinibição da fotossíntese e causar danos com o congelamento devido à ruptura aos tecidos (DAVIDSON *et al.* 1995).

A *A. glazioveana* apresentou valores de altura acima de 1,30 m, que permitisse a mensuração do DAP ao final do segundo ano, enquanto que as demais espécies apresentaram DAP ao final do primeiro ano.

O *E. grandis* foi a espécie que apresentou o maior crescimento dentre as espécies estudadas.

5.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Os valores médios, máximos e mínimos dos dados meteorológicos e do incremento corrente diário das espécies estudadas estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS E MÁXIMOS MENSIS DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E DO INCREMENTO DAS ESPÉCIES *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella*, *Eucalyptus grandis* E *Ateleia glazioveana*, DO PERÍODO ENTRE SETEMBRO DE 2008 E NOVEMBRO DE 2012

Variável	Média	Mínimo	Máximo
Tmed (°C)	19,4	2,8	28,8
Tmin (°C)	14,7	-2,7	23,9
Tmax (°C)	25,5	7,5	36,7
Pp (mm)	159	0,0	448
UR (%)	74	36	97
sRAD (KJ.m ⁻²)	501724	275917	816552
Vvmed (m.s ⁻¹)	1,94	0,27	5,71
rajMAX (m.s ⁻¹)	9,12	2,70	31,40
<i>A. mearnsii</i> IH (mm)	0,186	0	1,590
<i>A. mearnsii</i> IDAP (mm)	0,178	0	1,065
<i>A. mearnsii</i> IDC (mm)	0,210	0	1,337
<i>M. scabrella</i> IH (mm)	0,184	0	1,05
<i>M. scabrella</i> IDAP (mm)	0,159	0	1,358
<i>M. scabrella</i> IDC (mm)	0,189	0	0,951
<i>E. grandis</i> IH (mm)	0,326	0	2,115
<i>E. grandis</i> IDAP (mm)	0,248	0	1,222
<i>E. grandis</i> IDC (mm)	0,274	0	1,365
<i>A. glazioveana</i> IH (mm)	0,122	0	0,735
<i>A. glazioveana</i> IDAP (mm)	0,160	0	0,878
<i>A. glazioveana</i> IDC (mm)	0,157	0	1,465

Nota: Tmin = temperatura mínima absoluta; Tmed = temperatura média; Tmax = temperatura máxima absoluta; Pp = soma da precipitação; UR = umidade relativa média; sRAD = soma da radiação; Vvmed = velocidade do vento média; rajMAX = rajada máxima de vento absoluta; IH = incremento em altura; IDC = incremento em diâmetro de colo; IDAP = incremento em diâmetro a altura do peito.

Os extremos de temperatura são fatores responsáveis por *stress* nas plantas. A temperatura mínima absoluta apresentou valores negativos no período estudado,

fato que representa a ocorrência de geadas. Segundo Souza *et al.* (2011) espécies diferentes apresentam comportamentos diferenciados com a ocorrência de geadas.

Outro valor relevante foi a rajada de vento máxima encontrada que foi de 31,40 m/s (113,04 km/h). Valores altos de rajada de vento podem ser responsáveis pela quebra da ponta das árvores, ou ainda pela quebra da árvore inteira.

O *E. grandis* foi a espécie que apresentou os maiores valores de incremento, tanto em altura quanto em DAP e DC.

5.2 CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Os resultados da análise de correlação de Pearson do incremento em altura, diâmetro a altura do peito e diâmetro a altura do colo das espécies estudadas com as variáveis meteorológicas ao longo de todo o período do estudo são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 – CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

	<i>A. mearnsii</i>			<i>M. scabrella</i>			<i>E. grandis</i>			<i>A. glazioviana</i>		
	H	DAP	DC	H	DAP	DC	H	DAP	DC	H	DAP	DC
Tmed	0,43*	0,47*	0,59*	0,60*	0,53*	0,64*	0,50*	0,41*	0,45*	0,31*	0,52*	0,72*
Tmin	0,54*	0,57*	0,60*	0,75*	0,69*	0,70*	0,57*	0,61*	0,59*	0,48*	0,78*	0,82*
Tmax	0,14 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,45*	0,35*	0,24*	0,42*	0,37*	0,17*	0,28*	0,14 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,39*
Pp	-0,15 ^{ns}	-0,29*	-0,47*	-0,04 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,24*	0,10 ^{ns}	0,12 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,22*	0,44*	-0,06 ^{ns}
UR	0,07 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,44*	-0,01 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,27*	0,15 ^{ns}	0,33*	0,10 ^{ns}	0,39*	0,43*	0,16 ^{ns}
sRAD	0,33*	0,56*	0,55*	0,61*	0,60*	0,67*	0,39*	0,33*	0,36*	0,33*	0,30*	0,56*
Vvmed	-0,07 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,28*	0,22*	0,27*	0,04 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,04 ^{ns}
rajMAX	0,24*	0,04 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,26*	-0,17 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,47*	-0,37*	-0,12 ^{ns}	0,41*	0,18 ^{ns}	0,15 ^{ns}

H = altura; DAP = diâmetro a altura do peito; DC = Diâmetro a altura do colo; Tmin = temperatura mínima absoluta; Tmed = temperatura média; Tmax = temperatura máxima absoluta; pp = soma da precipitação; UR = umidade relativa média; sRAD = soma da radiação; Vvmed = média da velocidade do vento; rajMAX = rajada máxima de vento absoluta; ns = probabilidade não significativa; * = valores de r significativos a 5% de probabilidade.

Verifica-se que as variáveis meteorológicas que apresentaram valores de “r” positivos e significativos com todas as variáveis de crescimento foram a temperatura mínima absoluta, temperatura média e radiação solar, mostrando que quanto maior os valores destas variáveis, maior serão os incrementos.

A variável meteorológica que apresentou maior correlação com o incremento de todas as variáveis de crescimento estudadas foi a temperatura mínima absoluta, com valores de “r” entre 0,48 e 0,82, indicando que esta variável pode ser considerada um limitador de crescimento.

A *A. glazioveana* apresenta como característica ser caducifólia nas estações de outono e inverno e segundo Baggio (2002), esta espécie suporta geadas severas. Já a *M. scabrella*, não apresentou estragos visíveis e manteve-se com folhas ao longo de todo o ano. Iwasaki-Marochi (2007) verificou crescimento radial reduzido na espécie *Cedrela fissilis* em detrimento da ocorrência de uma geada severa.

O diâmetro de colo para as espécies *A. mearnsii*, *M. scabrella* e *A. glazioveana* apresentaram correlação forte com a temperatura média com “r” superiores a 0,6. Para o *E. grandis* o “r” da temperatura média de nenhuma variável foi forte, isto é, a temperatura média não é um bom indicador de crescimento, já a temperatura mínima sim.

A correlação com a precipitação foi fraca ou não significativa. Este resultado está relacionado com a boa distribuição das chuvas ao longo do ano. Kanieski, Santos e Neto (2012) também encontraram valores inferiores a 0,4 de correlação com a precipitação em um estudo com diversas espécies na região de Curitiba. Estes resultados corroboram com Zamin (2013) que estudou incremento em altura e diâmetro a altura do peito ao longo de seis anos para as espécies *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* encontrando correlação fraca com a precipitação e forte com as variáveis da temperatura. Machado *et al.* (2014) encontraram baixa correlação entre o incremento em altura e diâmetro e a precipitação em um estudo com *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* na região metropolitana de Curitiba.

A *M. scabrella* apresentou valor de “r” forte com a radiação solar, entre 0,60 e 0,67. Já as espécies *A. mearnsii*, *E. grandis* e *A. glazioveana* apresentaram moderada correlação com esta variável (“r” entre 0,30 e 0,56). Brown (1974) afirma que a luz é um dos constituintes do ambiente que apresenta maior influência sobre o desenvolvimento das árvores, sendo estes afetados pela intensidade, qualidade e duração da luz.

As variáveis: temperatura máxima absoluta, precipitação, umidade relativa e velocidade do vento média apresentaram valores de correlação baixos ou não significativos. Este fato pode estar ligado a duas hipóteses: ou estas variáveis não influenciam no crescimento, ou ainda, alguma outra variável pode estar gerando

maior influência, tendendo a anular a possível correlação existente entre estas variáveis e o crescimento.

5.3 DISPERSÃO ENTRE AS VARIÁVEIS QUE APRESENTARAM MAIOR CORRELAÇÃO COM O CRESCIMENTO

Em função de a maior correlação ser com a temperatura mínima absoluta, buscou-se representar graficamente esta relação para cada espécie nas Figuras 6, 7, 8 e 9. É possível notar que para todas as variáveis estudadas a relação é positiva, ou seja, à medida que aumenta a temperatura mínima, aumenta também o incremento médio diário.

A *A. mearnsii* apresentou aumento no incremento em H de 0,0208 m por mês para o aumento de cada grau na temperatura mínima observada, para o DAP e o DC esta proporção foi respectivamente de 0,0103 e 0,0082 $\text{cm.mês}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ (FIGURA 6).

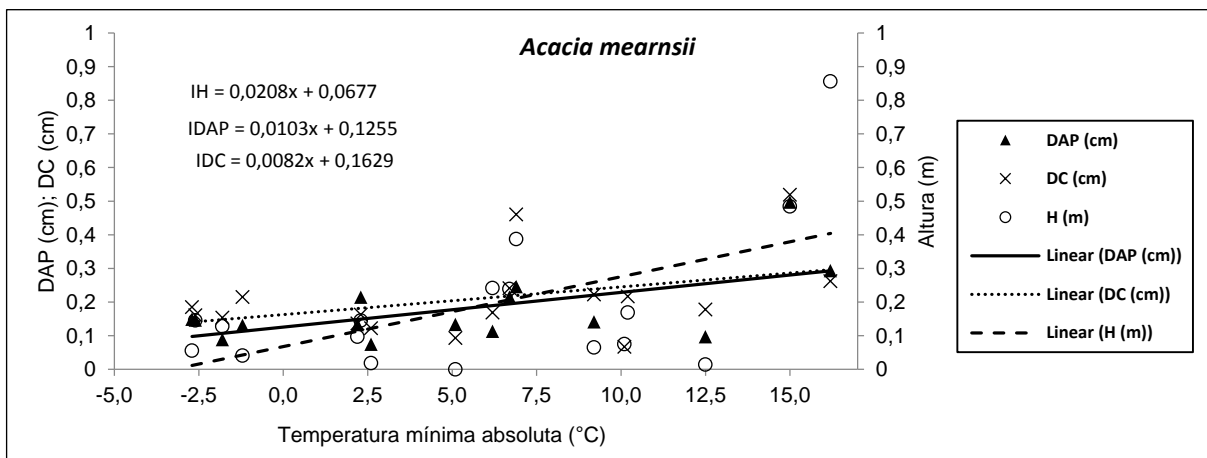


FIGURA 6 – DISPERSÃO ENTRE A TEMPERATURA MÍNIMA ABSOLUTA E O INCREMENTO MÉDIO DIÁRIO EM ALTURA, DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO E DIÂMETRO A ALTURA DO COLO DA ESPÉCIE *Acacia mearnsii*

A *A. glazioveana* apresentou aumento no incremento em H de 0,0153 $\text{m.mês}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, para o DAP e o DC esta proporção foi respectivamente de 0,0287 e 0,0211 $\text{cm.mês}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ (FIGURA 7).

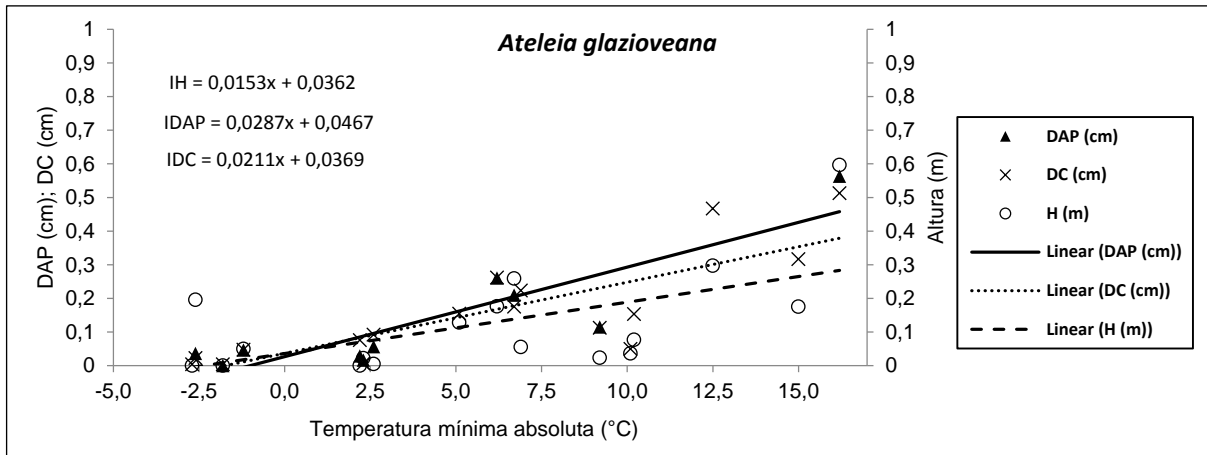


FIGURA 7 – DISPERSÃO ENTRE A TEMPERATURA MÍNIMA ABSOLUTA E O INCREMENTO MÉDIO DIÁRIO EM ALTURA, DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO E DIÂMETRO A ALTURA DO COLO DA ESPÉCIE *Ateleia glazioveana*

A *M. scabrella* apresentou resultados no incremento em função da temperatura mínima absoluta bastante semelhante entre as diferentes variáveis estudadas, sendo que para a H o incremento foi de $0,0273 \text{ m.mês}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, para o DAP foi de $0,0247 \text{ cm.mês}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ e para o DC foi de $0,0208 \text{ cm.mês}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ (FIGURA 8). Outro resultado importante é a distribuição homogênea das observações ao longo das retas, fato que explica as correlações fortes encontradas com a temperatura mínima para esta espécie na Tabela 3.

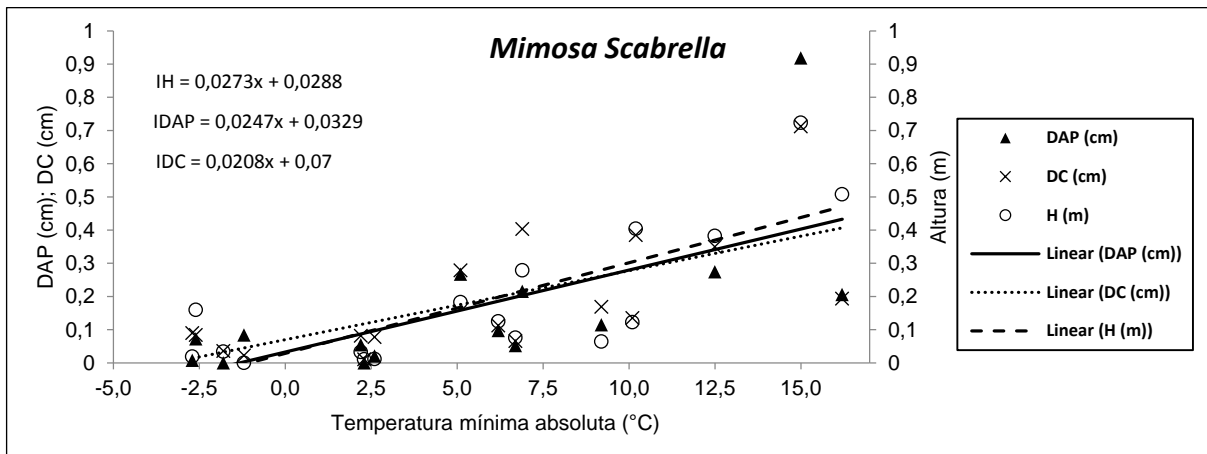


FIGURA 8 – DISPERSÃO ENTRE A TEMPERATURA MÍNIMA ABSOLUTA E O INCREMENTO MÉDIO DIÁRIO EM ALTURA, DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO E DIÂMETRO A ALTURA DO COLO DA ESPÉCIE *Mimosa scabrella*

O *E. grandis* é a espécie que responde com maior proporção no incremento em H para o aumento da temperatura mínima, esta proporção é de $0,0306 \text{ m.mês}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ (FIGURA 9).

É importante salientar que estes valores não podem ser considerados para outras regiões, em função de que os incrementos são dependentes de outras variáveis ambientais que podem influenciar estes resultados. Por exemplo, regiões tropicais, em que não ocorrem geadas teriam seus valores de incrementos influenciados de forma mais intensa pelo balanço hídrico e a temperatura máxima, conforme resultados encontrados por Stape (2002) e Ferreira (2009).

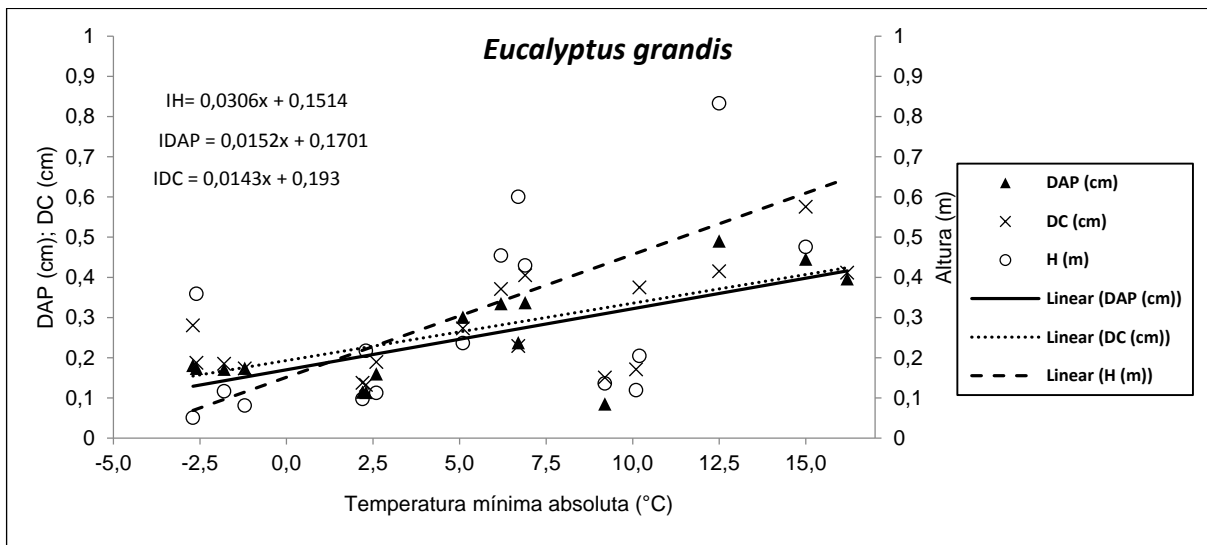


FIGURA 9 – DISPERSÃO ENTRE A TEMPERATURA MÍNIMA ABSOLUTA E O INCREMENTO MÉDIO DIÁRIO EM ALTURA, DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO E DIÂMETRO A ALTURA DO COLO DAS ESPÉCIES *Eucalyptus grandis*

Nas Figuras 10, 11 e 12 podem-se observar claramente as variações no crescimento influenciadas pelas mudanças de temperatura e os picos de crescimento nos períodos que compreendem a estação do verão.

O incremento em H da *A. mearnsii* observado na avaliação dos 334 dias teve incremento próximo à zero, fato que pode ser explicado pela baixa temperatura ocorrida na estação do inverno que foi de $-2,7^{\circ}\text{C}$ (FIGURA 10). No entanto as duas avaliações subsequentes que são relativas às estações da primavera (442 dias) e do verão (522 dias) também tiveram valores de incremento próximos de zero. Este fato está ligado ao efeito causado pelo fenômeno da geada ocorrida na estação do inverno. Este efeito de retardo no crescimento causado em períodos posteriores a ocorrência da geada é denominado de resiliência.

Outro fator que tende a aumentar os danos causados pela geada é a idade em que as plantas se encontram na avaliação dos 334 dias, que é de um ano. Segundo Higa (1998), o grau final de danos de geada depende da localização, da

extensão e da possibilidade de regeneração das partes afetadas da planta, podendo ainda a planta morrer em anos subsequentes.

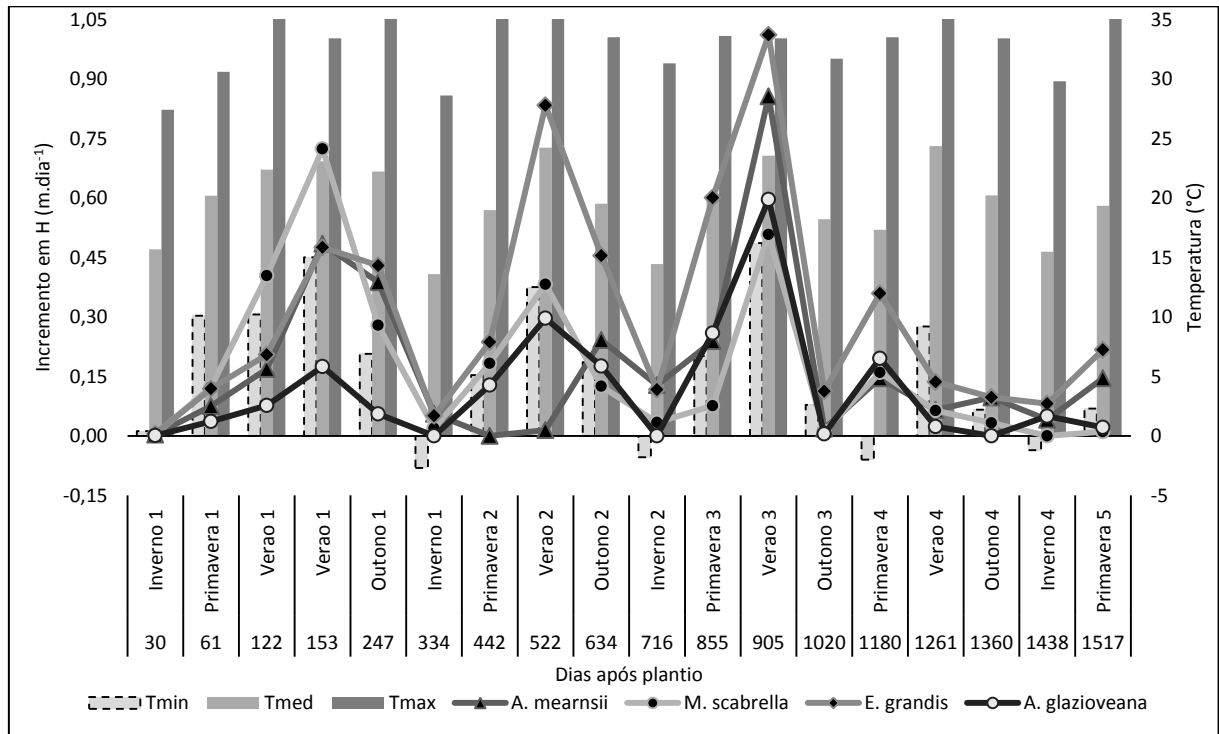


FIGURA 10 – RELAÇÃO ENTRE AS TEMPERATURAS MÍNIMA ABSOLUTA, MÉDIA E MÁXIMA ABSOLUTA E O INCREMENTO MÉDIO MENSAL EM ALTURA DAS ESPÉCIES *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella*, *Eucalyptus grandis* E *Ateleia glazioviana* PARA CADA PERÍODO DE AVALIAÇÃO

Segundo Zamin (2013), a altura é mais afetada pelos fatores climáticos, por ter os meristemas apicais expostos, o que pode afetar ainda o período de dormência. Isto não ocorre com tanta intensidade no diâmetro, pois segundo Machado *et al.* (2010), o câmbio está protegido por uma grossa camada de casca. No entanto, em plantas jovens, ainda em fase de adaptação, que é o caso desta pesquisa, o caule pode ser afetado causando rachaduras e até a morte da planta.

O *E. grandis* foi a espécie que apresentou os maiores valores de incrementos em altura, e apesar de serem constatados danos ocasionados pela geada nas folhas e ramos desta espécie nas estações de inverno, não foi observado efeito de resiliência da geada nas primaveras subsequentes.

Outras condições de estresse podem gerar uma resiliência temporária ou permanente, como por exemplo, o estresse hídrico que pode causar a desfolha e influenciar no crescimento posterior. Estes fatores devem ser levados em consideração quando se pretende modelar o crescimento em função de variáveis climáticas.

Na avaliação dos 905 dias que representa o verão do ano 3, ocorreram os maiores valores de incremento em altura para ambas as espécies estudadas, neste período ocorreu o maior valor de temperatura mínima e a amplitude observada entre a temperatura mínima e a temperatura máxima foi a menor observada (FIGURA 10).

Apesar de as espécies *E. grandis* e *A. mearnsii* terem sido afetadas por geadas, estas apresentaram valores de incremento em DAP superiores a $0,1 \text{ cm.mês}^{-1}$ nos períodos que compreendem a estação do inverno (FIGURA 11), o que demonstra que estas espécies não apresentam como característica a dormência nas estações frias. Já a *M. scabrella* e a *A. glazioveana* sim, como pode ser observado nas avaliações dos 334 e 716 dias.

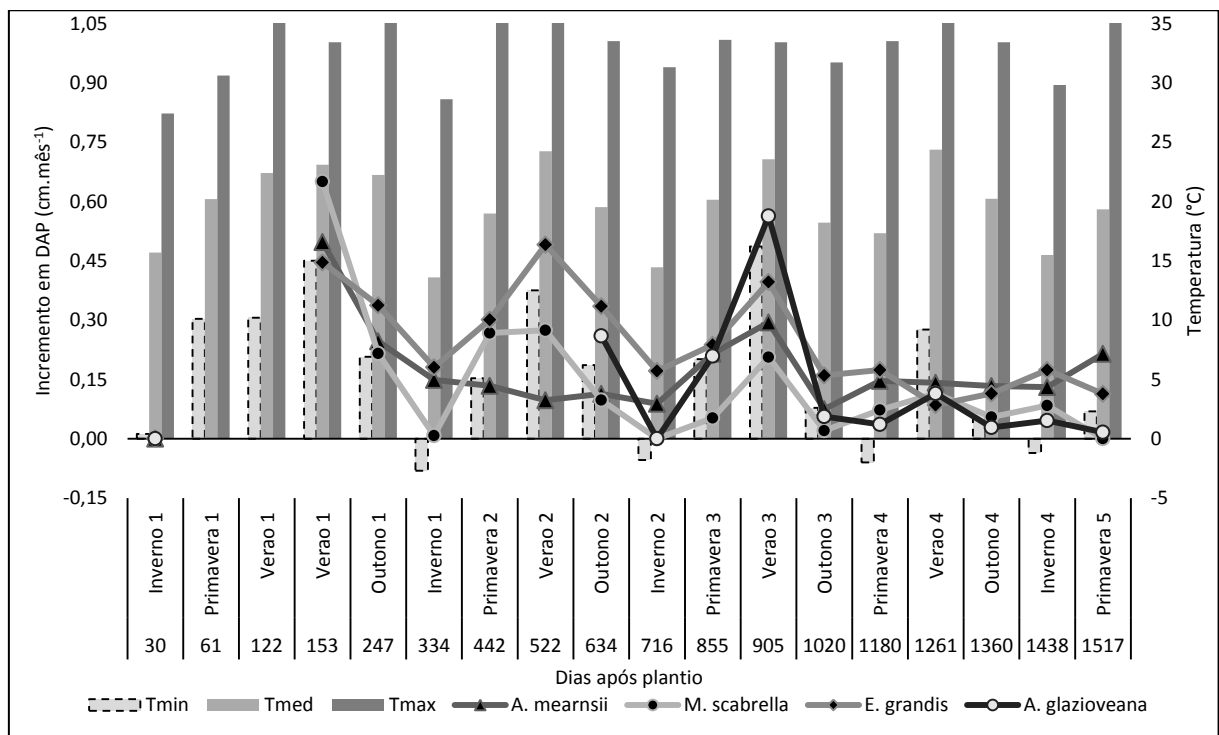


FIGURA 11 – RELAÇÃO ENTRE AS TEMPERATURAS MÍNIMA ABSOLUTA, MÉDIA E MÁXIMA ABSOLUTA E O INCREMENTO MÉDIO MENSAL EM DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO DAS ESPÉCIES *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella*, *Eucalyptus grandis* E *Ateleia glazioveana* PARA CADA PERÍODO DE AVALIAÇÃO

Esta mesma tendência pôde ser observada para a variável DC na Figura 12. A *A. glazioveana* apresentou os valores de incremento em DC bem definidos para cada estação, sendo os valores para o inverno próximos de zero, valores intermediários para a primavera e o outono e valores altos na estação do verão. Este resultado demonstra a boa adaptação da espécie ao local, tendo em vista que esta é nativa da região em estudo.

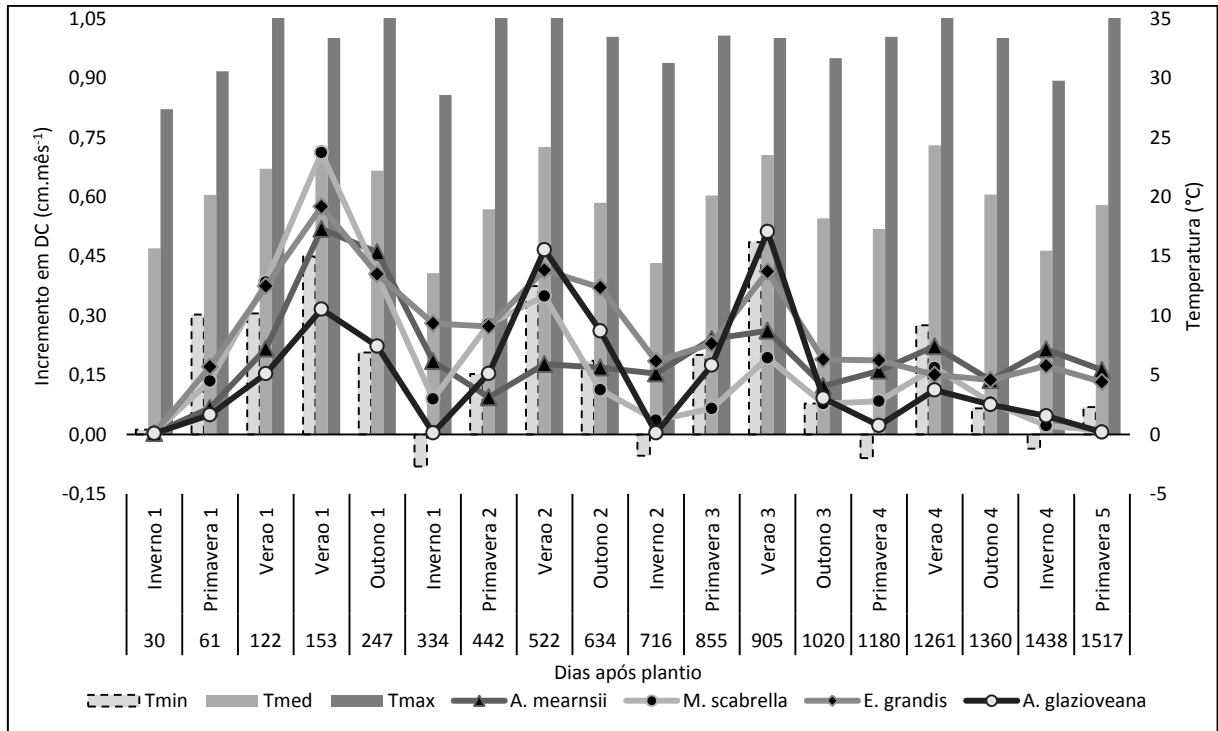


FIGURA 12 – RELAÇÃO ENTRE AS TEMPERATURAS MÍNIMA ABSOLUTA, MÉDIA E MÁXIMA ABSOLUTA E O INCREMENTO MÉDIO MENSAL EM DIÂMETRO A ALTURA DO COLO DAS ESPÉCIES *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella*, *Eucalyptus grandis* E *Ateleia glazioviana* PARA CADA PERÍODO DE AVALIAÇÃO

5.4 CORRELAÇÃO NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO.

A correlação do incremento corrente em altura, diâmetro a altura do peito e diâmetro a altura do colo das espécies pesquisadas com as variáveis meteorológicas analisadas para cada estação do ano pode ser observada na Tabela 4.

Na primavera ocorre variação na correlação, onde cada variável de crescimento terá variáveis explicativas diferentes das demais, como pôde ser observado para a *M. scabrella* que apresentou coeficiente de correlação da temperatura mínima absoluta de -0,79 para o incremento em altura, enquanto que para a correlação desta variável meteorológica com o incremento em DAP e DC os valores encontrados foram não significativos. Acredita-se que a variável meteorológica que seja a limitante do crescimento para cada ocasião seja a que melhor expresse o crescimento para esta estação.

Os possíveis responsáveis pela disparidade nas correlações desta estação são o efeito residual da geada ocorrida na estação de inverno e possivelmente no final do outono, conforme pôde ser observado na Figura 10 para a *A. mearnsii*, que

apresentou crescimento nulo na estação da primavera após a ocorrência de geada no inverno e a amplitude de variação nas variáveis meteorológicas durante a primavera.

TABELA 4 – RESULTADOS DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON PARA AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO PARA AS ESPÉCIES *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella*, *Eucalyptus grandis* E *Ateleia glazioviana*

		<i>A. mearnsii</i>			<i>M. scabrella</i>			<i>E. grandis</i>			<i>A. glazioviana</i>	
		H	DAP	DC	H	DAP	DC	H	DAP	DC	H	DC
Primavera	Tmed	-0,18 ^{ns}	0,88*	0,43*	-0,79*	-0,04 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,41*	0,14 ^{ns}	0,26*	-0,52*	0,33*
	Tmin	-0,36*	0,95*	0,06 ^{ns}	-0,52*	0,33*	0,20 ^{ns}	-0,66*	0,49*	0,46*	-0,52*	0,42*
	Tmax	-0,36*	0,34*	0,42*	-0,01 ^{ns}	0,26*	0,08 ^{ns}	0,36*	-0,10 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,03 ^{ns}
	pp	-0,38*	0,02 ^{ns}	-0,64*	0,15 ^{ns}	0,88*	0,49*	-0,90*	0,60*	0,20 ^{ns}	-0,50*	-0,04 ^{ns}
	UR	-0,58*	0,18 ^{ns}	-0,77*	0,35*	0,96*	0,76*	-0,89*	0,76*	0,48*	-0,35*	0,19 ^{ns}
	sRAD	0,50*	0,46*	0,44*	-0,40*	-0,21 ^{ns}	-0,43*	0,49*	0,23 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,47*	0,57*
	Vvmed	-0,61*	0,23 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,40*	0,04 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,75*	-0,32*	-0,13 ^{ns}	-0,98*	-0,39*
	rajMAX	0,09 ^{ns}	-0,39*	0,56*	-0,12 ^{ns}	-0,61*	-0,38*	0,56*	-0,89*	-0,49*	0,02 ^{ns}	-0,45*
Verão	Tmed	-0,24 ^{ns}	-0,85*	-0,01 ^{ns}	-0,49*	-0,79*	-0,52*	0,07 ^{ns}	-0,33*	-0,48*	-0,07 ^{ns}	0,26*
	Tmin	0,89*	0,47*	0,33*	0,91*	0,44*	0,32*	0,84*	0,49*	0,51*	0,84*	0,79*
	Tmax	-0,88*	-0,67*	-0,49*	-0,82*	-0,59*	-0,36*	-0,65*	-0,36*	-0,44*	-0,66*	-0,62*
	pp	0,52*	-0,27*	-0,30*	0,53*	-0,19 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,95*	0,59*	0,20 ^{ns}	0,86*	0,99*
	UR	0,73*	-0,01 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,73*	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,98*	0,57*	0,32*	0,93*	0,98*
	sRAD	-0,80*	0,13 ^{ns}	0,14 ^{ns}	-0,63*	0,16 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,94*	-0,27*	-0,06 ^{ns}	-0,93*	-0,91*
	Vvmed	-0,58*	0,34*	-0,15 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	0,49*	0,37*	-0,54*	0,50*	0,29*	-0,52*	-0,58*
	rajMAX	0,66*	-0,36*	-0,64*	0,42*	-0,45*	-0,48*	0,63*	-0,17 ^{ns}	-0,28*	0,78*	0,42*
Outono	Tmed	0,66*	0,74*	0,96*	0,88*	0,89*	0,92*	0,58*	0,29*	0,47*	0,25*	0,33*
	Tmin	0,92*	0,85*	0,68*	0,90*	0,87*	0,77*	0,97*	0,92*	0,98*	0,86*	0,93*
	Tmax	0,82*	0,57*	0,96*	0,96*	0,92*	0,90*	0,75*	0,43*	0,60*	0,47*	0,52*
	pp	-0,14 ^{ns}	-0,98*	-0,79*	-0,48*	-0,57*	-0,70*	-0,04 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,32*	0,22 ^{ns}
	UR	-0,36*	-0,93*	-0,88*	-0,64*	-0,67*	-0,76*	-0,24*	0,07*	-0,11 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,05 ^{ns}
	sRAD	0,54*	0,84*	0,97*	0,80*	0,83*	0,89*	0,45*	0,17 ^{ns}	0,34*	0,09 ^{ns}	0,18 ^{ns}
	Vvmed	0,95*	-0,25 ^{ns}	0,51*	0,82*	0,73*	0,59*	0,98*	0,89*	0,93*	0,96*	0,98*
	rajMAX	-0,24 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,27*	-0,34*	-0,51*	-0,52*	-0,41*	-0,77*	-0,71*	-0,30*	-0,51*
Inverno	Tmed	-0,19 ^{ns}	-0,91*	-0,78*	-0,25 ^{ns}	0,27*	0,08 ^{ns}	-0,30*	0,75*	-0,84*	0,73*	0,48*
	Tmin	0,18 ^{ns}	-0,81*	-0,45*	0,18 ^{ns}	0,62*	0,46*	0,11 ^{ns}	0,60*	-0,94*	0,42*	0,76*
	Tmax	-0,05 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,36*	-0,31*	-0,87*	-0,23 ^{ns}	-0,33*	0,23 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,89*
	pp	-0,17 ^{ns}	0,41*	0,49*	0,08 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,26*	-0,31*	-0,12 ^{ns}
	UR	-0,55*	-0,07 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,56*	0,33*	-0,67*	-0,50*	0,36*	0,91*	-0,02 ^{ns}	-0,83*
	sRAD	0,44*	-0,42*	-0,10 ^{ns}	0,51*	0,16 ^{ns}	0,75*	0,43*	0,13 ^{ns}	-0,86*	0,12 ^{ns}	0,92*
	Vvmed	0,72*	0,92*	0,63*	0,82*	-0,96*	0,91*	0,76*	-0,96*	-0,64*	-0,69*	0,90*
	rajMAX	-0,40*	0,24 ^{ns}	0,31*	-0,19 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,95*	-0,15 ^{ns}	-0,34*

H = altura; DAP = diâmetro a altura do peito; DC = Diâmetro a altura do colo; Tmin = temperatura mínima absoluta; Tmed = temperatura média; Tmax = temperatura máxima absoluta; pp = soma da precipitação; UR = umidade relativa média; sRAD = soma da radiação; Vvmed = média da velocidade do vento; rajMAX = rajada máxima de vento absoluta; ns = probabilidade não significativa; * = valores de r significativos a 5% de probabilidade.

No outono o crescimento apresentou para a temperatura mínima uma correlação forte e positiva com todas as variáveis de crescimento estudadas, com valores de “r” entre 0,68 e 0,97. Isto é, para a estação do outono, a temperatura mínima é um bom indicador de crescimento.

Valores significativos e positivos na estação do outono para todas as variáveis de crescimento estudadas também foram encontrados com a temperatura média e a temperatura máxima.

Nos períodos que compreendem o inverno os valores de incrementos costumam ser próximos de zero conforme observado nas Figuras 10, 11 e 12, sendo o período de menor influência no crescimento.

Os valores de correlação não significativos ou baixos encontrados no inverno ocorrem devido ao estágio de dormência, havendo crescimento reduzido. O que explica os valores de correlações fortes com valores “r” entre 0,63 e 0,96 encontrados para a velocidade do vento média.

Zanon e Finger (2010) verificaram que nos meses de inverno a precipitação não foi um fator limitante, mas sim a redução da temperatura, já no verão, ambos os fatores influenciaram o incremento em diâmetro a altura do peito.

As maiores correlações foram encontradas nas estações do verão e outono, sendo este um fator positivo para a modelagem, uma vez que o maior crescimento ocorre nestas estações. No verão, todas as variáveis de crescimento apresentaram correlação moderada a forte positiva com a temperatura mínima (“r” entre 0,33 e 0,91) e negativa com a temperatura máxima (“r” entre -0,36 e -0,88).

Segundo Lloyd e Farquhar (2008), o aumento da temperatura do ar pode trazer efeitos benéficos ou desvantajosos para a fisiologia das plantas. O aumento da temperatura máxima diária pode levar ao decréscimo nas taxas fotossintéticas e conseqüentemente influenciar no crescimento (ISHIDA *et al.*, 1999; KITAO *et al.*, 2000).

A inversão de sinal na correlação com a temperatura máxima da estação verão (“r” entre -0,36 e -0,88) para o outono (“r” entre 0,43 e 0,96) demonstra a importância da divisão em estações no momento da modelagem do crescimento, pois esta inversão representa que uma variável meteorológica pode influenciar o crescimento positivamente em uma estação do ano e negativamente em outra.

Outras variáveis climáticas apresentaram esta tendência, como no caso da correlação da velocidade do vento e da rajada de vento para as alturas em que houve a inversão de sinal do verão para o outono.

Estes resultados sugerem que em estudos da modelagem do crescimento com o uso de variáveis meteorológicas sejam gerados modelos para cada estação do ano, pois em função da combinação dos fatores ocorrentes em cada estação, dos períodos de dormência, dos estágios fenológicos e dos extremos climáticos que ocorrem, esta variação poderia ser melhor representada.

5.5 AJUSTE DA FUNÇÃO HIPSOMÉTRICA DE NÄSLUND ATRAVÉS DO PONTO DE INFLEXÃO

De modo geral a inflexão ocorre em idades jovens e com diâmetros pequenos, onde as diferentes espécies apresentaram a inflexão durante o segundo ano de crescimento.

A progressão da relação hipsométrica em cada avaliação pode ser observada na Figura 13.

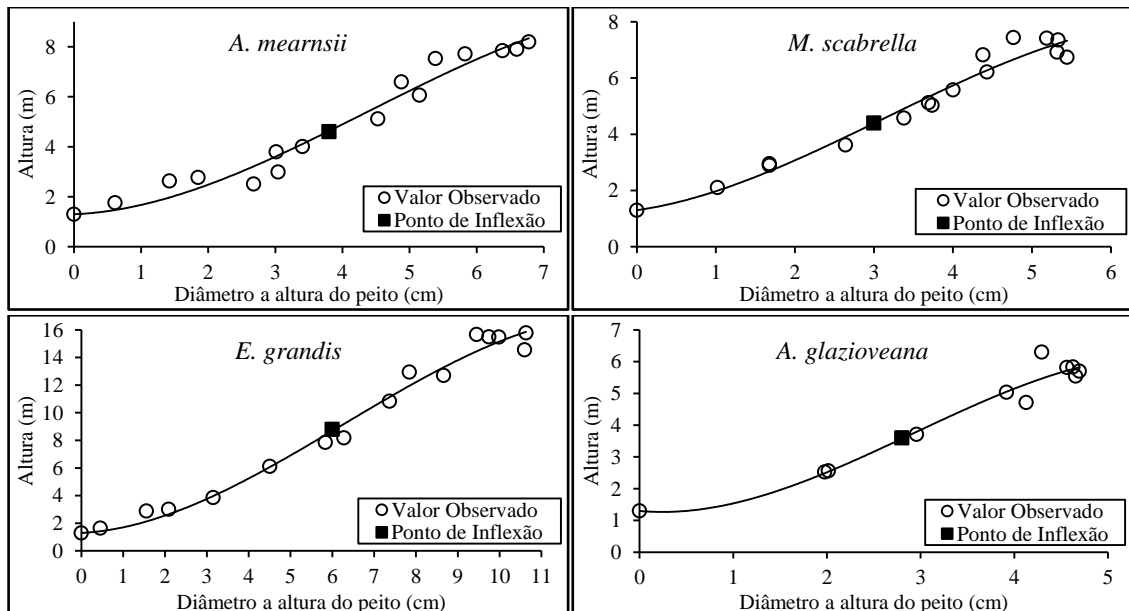


FIGURA 13 – RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA COM A DETERMINAÇÃO DO PONTO DE INFLEXÃO DAS ESPÉCIES *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella*, *Eucalyptus grandis* E *Ateleia glazioveana* NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN, RS

A estimativa dos coeficientes a e b , bem como os valores de assíntota e ponto de inflexão da curva de relação hipsométrica encontrados para as espécies estudadas são apresentados na Tabela 5.

Todas as 4 espécies apresentaram os valores de assíntota estimados bastante próximos dos valores reais encontrados na região, sendo que a *A. glazioveana* apresentou 22 m de altura, o que corrobora com Carvalho (2002b) e Marchiori (2007), que afirmam que a altura máxima para esta espécie é de 25 e 20 m, respectivamente.

TABELA 5 – PARÂMETROS ESTIMADOS DA FUNÇÃO DE NÄSLUND (1936), MOMENTO DE INFLEXÃO DA CURVA E ASSÍNTOTA DA ALTURA DAS ESPÉCIES *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella*, *Eucalyptus grandis* E *Ateleia glazioveana*

Espécie	Coeficiente		Assíntota da Altura (m)	Inflexão	
	a	b		DAP (cm)	Altura (m)
<i>A. mearnsii</i>	1,3946	0,1835	31,0	3,8	4,6
<i>M. scabrella</i>	1,1358	0,1893	29,2	3,0	4,4
<i>E. grandis</i>	1,4604	0,1217	68,8	6,0	8,8
<i>A. glazioveana</i>	1,2309	0,2198	22,0	2,8	3,6

Para a *M. scabrella* a altura de assíntota estimada foi de 29,2 m, sendo que este valor se assemelha ao que afirma Carvalho (2002a), que a espécie pode chegar a 29 m de altura. A *A. mearnsii* apresentou resultado semelhante a *M. scabrella* com relação a assíntota, sendo de 31 m de altura, valor que se aproxima do encontrado por Schneider *et al.* (2000), que foi de 30 m.

O *E. grandis* é uma das espécies que se destaca em plantios por ter características desejáveis, sendo uma delas a altura, que segundo Boland *et al.* (2006) geralmente atinge entre 45 e 55 m, mas excepcionalmente pode chegar até 75 m. O valor de assíntota encontrado para o *E. grandis* foi de 68,8 m, o que demonstra a grande flexibilidade da função de Näslund (1936), em estimar a relação hipsométrica, tanto de árvores com alturas elevadas quanto de árvores com valores de assíntota inferiores como é o caso da *A. glazioveana*.

Na Figura 14 estão apresentadas as curvas de ajuste calculadas, bem como os valores observados. A relação entre os valores observados e os estimados mostrou que, apesar da função de Näslund (1936) considerar apenas os valores de altura e DAP do ponto de inflexão, o ajuste é bastante eficiente na estimativa da relação hipsométrica das espécies estudadas.

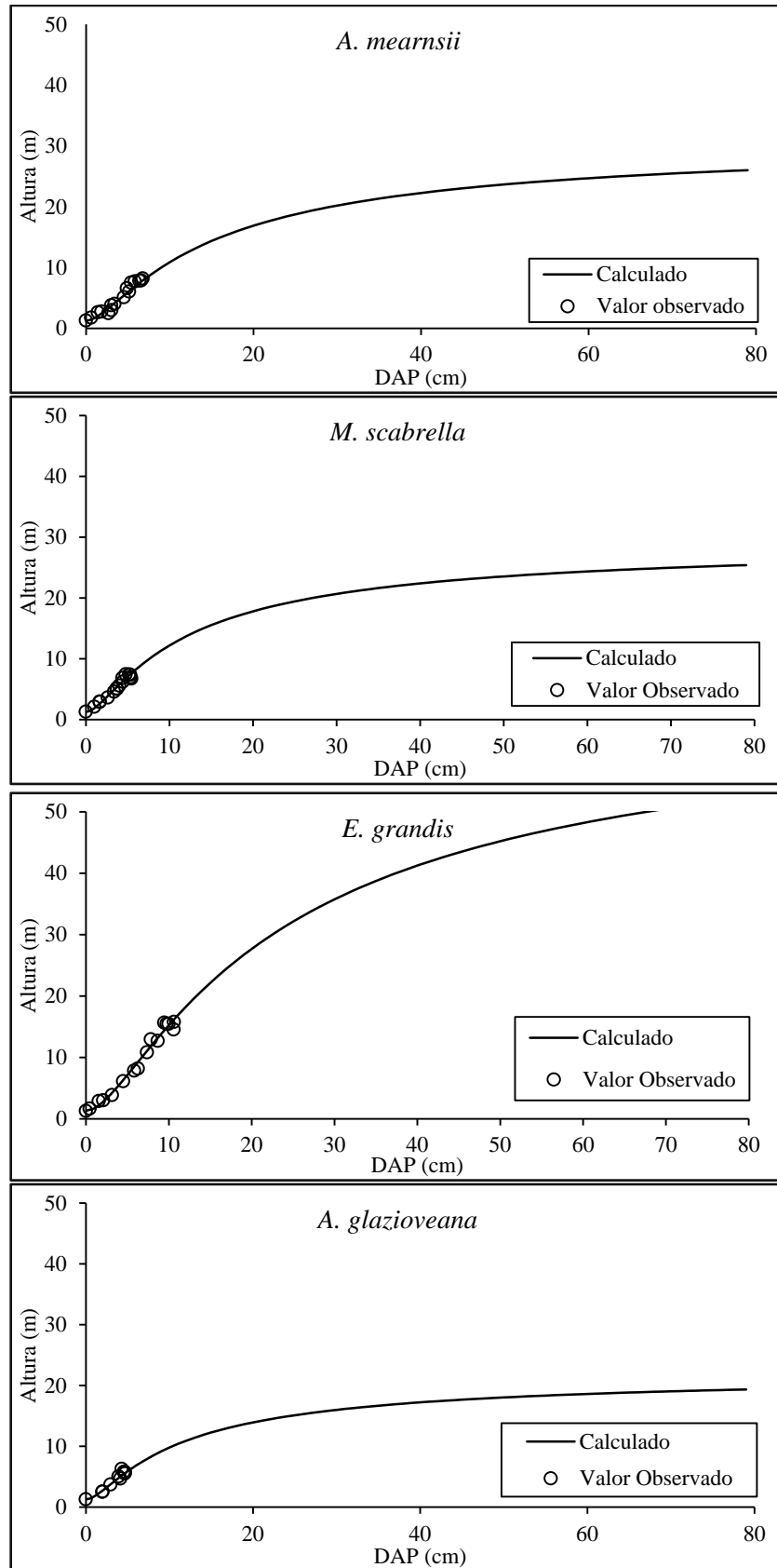


FIGURA 14 – RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA ESTIMADA PELA FUNÇÃO DE NÄSLUND DAS ESPÉCIES *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella*, *Eucalyptus grandis* E *Ateleia glazioviana*

A análise gráfica dos resíduos obtidos na estimativa da altura em relação ao DAP demonstra que não houve superestimativa ou subestimativa (FIGURA 15). Observa-se uma boa distribuição dos resíduos ao longo de toda a extensão dos dados, demonstrando que o método de ajuste se adapta bem à função.

A utilidade prática desse tipo de determinação é que em se conhecendo o crescimento inicial de qualquer espécie florestal, é possível o ajuste da função de Näslund (1936).

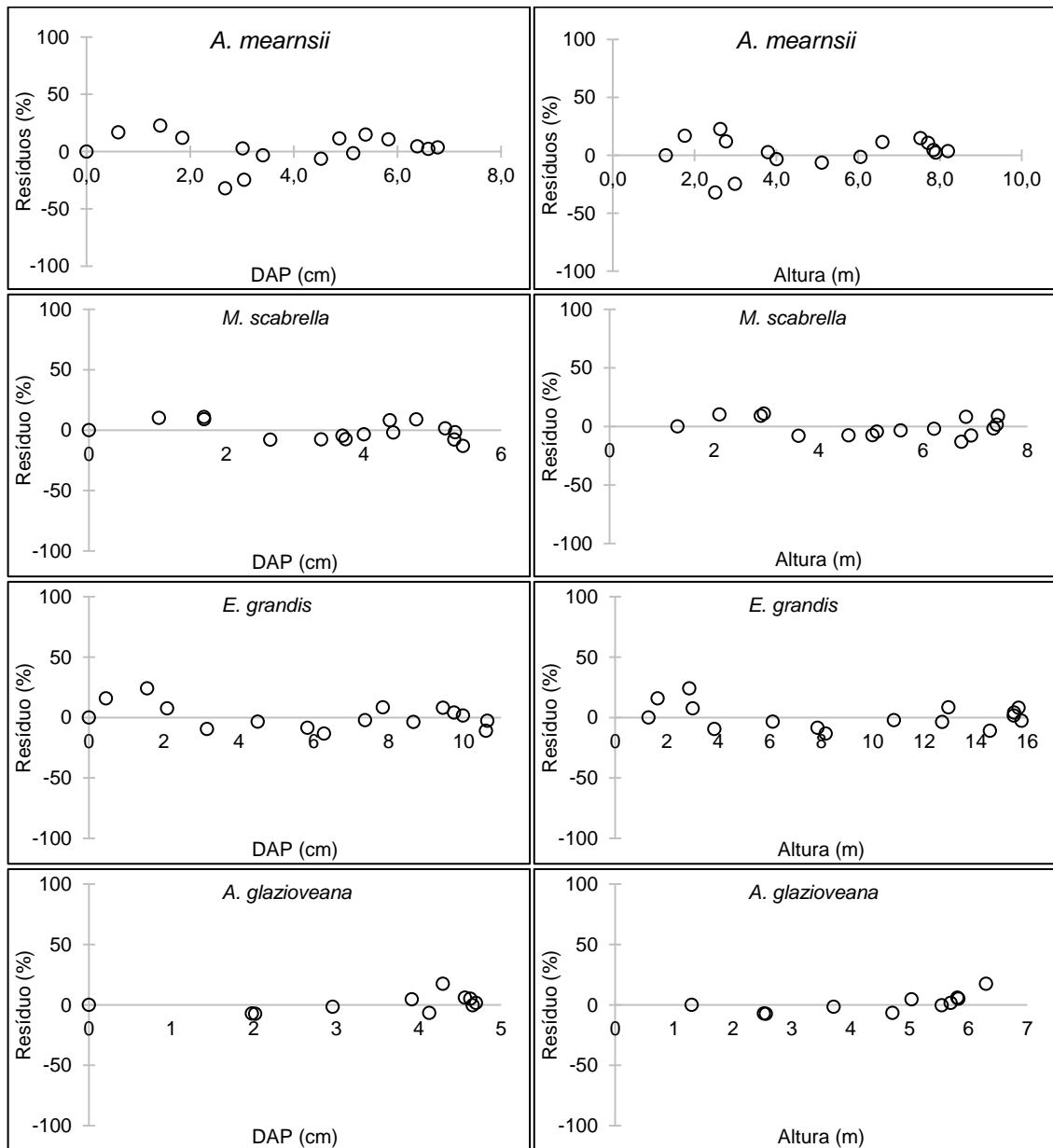


FIGURA 15 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS PELA FUNÇÃO DE NÄSLUND (1936), NA ESTIMATIVA DA ALTURA EM FUNÇÃO DA ALTURA OBSERVADA E DO DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO

Mesmo que a extrapolação dos valores para fora dos valores observados não seja a forma mais adequada na estimativa da relação hipsométrica, esta metodologia pode ser utilizada na determinação do crescimento de espécies que se tem pouco conhecimento, como é o caso de espécies nativas. Para auxiliar em pesquisas futuras foi elaborada uma tabela com os valores do coeficiente b e valor de assíntota para os respectivos valores de altura no momento da inflexão da curva de relação hipsométrica (TABELA 6). Como por exemplo, para uma árvore com altura de inflexão de 5,6 m, o coeficiente b terá o valor 0,1607 e o valor assintótico da altura será de 40 m.

TABELA 6 – VALORES DE COEFICIENTE b E ALTURA DE ASSÍNTOTA PARA CADA VALOR DE ALTURA NO MOMENTO DA INFLEXÃO DA FUNÇÃO DE NÄSLUND (1936)

Altura de inflexão (m)	b	Altura de assíntota (m)	Altura de inflexão (m)	b	Altura de assíntota (m)	Altura de inflexão (m)	b	Altura de assíntota (m)
2,0	0,3984	7,6	5,5	0,1627	39,1	9,0	0,1201	70,6
2,1	0,3727	8,5	5,6	0,1607	40,0	9,1	0,1194	71,5
2,2	0,3514	9,4	5,7	0,1589	40,9	9,2	0,1186	72,4
2,3	0,3333	10,3	5,8	0,1571	41,8	9,3	0,1179	73,3
2,4	0,3178	11,2	5,9	0,1554	42,7	9,4	0,1171	74,2
2,5	0,3043	12,1	6,0	0,1538	43,6	9,5	0,1164	75,1
2,6	0,2924	13,0	6,1	0,1521	44,5	9,6	0,1157	76,0
2,7	0,2817	13,9	6,2	0,1506	45,4	9,7	0,1150	76,9
2,8	0,2722	14,8	6,3	0,1491	46,3	9,8	0,1143	77,8
2,9	0,2635	15,7	6,4	0,1476	47,2	9,9	0,1137	78,7
3,0	0,2557	16,6	6,5	0,1462	48,1	10,0	0,1130	79,6
3,1	0,2485	17,5	6,6	0,1448	49,0	10,1	0,1124	80,5
3,2	0,2418	18,4	6,7	0,1434	49,9	10,2	0,1117	81,4
3,3	0,2357	19,3	6,8	0,1421	50,8	10,3	0,1111	82,3
3,4	0,2300	20,2	6,9	0,1409	51,7	10,4	0,1105	83,2
3,5	0,2247	21,1	7,0	0,1396	52,6	10,5	0,1099	84,1
3,6	0,2198	22,0	7,1	0,1384	53,5	10,6	0,1093	85,0
3,7	0,2152	22,9	7,2	0,1372	54,4	10,7	0,1087	85,9
3,8	0,2108	23,8	7,3	0,1361	55,3	10,8	0,1081	86,8
3,9	0,2067	24,7	7,4	0,1350	56,2	10,9	0,1076	87,7
4,0	0,2029	25,6	7,5	0,1339	57,1	11,0	0,1070	88,6
4,1	0,1992	26,5	7,6	0,1328	58,0	11,1	0,1065	89,5
4,2	0,1957	27,4	7,7	0,1318	58,9	11,2	0,1059	90,4
4,3	0,1925	28,3	7,8	0,1307	59,8	11,3	0,1054	91,3
4,4	0,1893	29,2	7,9	0,1297	60,7	11,4	0,1049	92,2
4,5	0,1863	30,1	8,0	0,1288	61,6	11,5	0,1044	93,1
4,6	0,1835	31,0	8,1	0,1278	62,5	11,6	0,1039	94,0
4,7	0,1808	31,9	8,2	0,1269	63,4	11,7	0,1034	94,9
4,8	0,1782	32,8	8,3	0,1260	64,3	11,8	0,1029	95,8
4,9	0,1757	33,7	8,4	0,1251	65,2	11,9	0,1024	96,7
5,0	0,1733	34,6	8,5	0,1242	66,1	12,0	0,1019	97,6
5,1	0,1710	35,5	8,6	0,1234	67,0	12,1	0,1014	98,5
5,2	0,1688	36,4	8,7	0,1225	67,9	12,2	0,1010	99,4
5,3	0,1667	37,3	8,8	0,1217	68,8	12,3	0,1005	100,3
5,4	0,1646	38,2	8,9	0,1209	69,7			

6 CONCLUSÕES

A variável meteorológica que obteve maior correlação com o crescimento anual foi a temperatura mínima absoluta, sendo esta relação forte.

A divisão em estações do ano para o estudo da relação entre o crescimento e as variáveis meteorológicas se mostrou mais apropriada por apresentar maiores valores de correlação.

As estações que apresentaram maiores valores de correlação foram o verão e outono, sendo estas as estações responsáveis pelo período com crescimento mais acelerado.

Ocorre a inversão de sinal na correlação para a variável temperatura máxima, da estação verão para o outono, demonstrando que esta variável pode influenciar positivamente em uma estação e negativamente em outra.

Este trabalho vem corroborar com o estudo da relação hipsométrica, de modo que seja possível estimar os valores de altura e DAP, bem como determinar o valor da assíntota da altura de inúmeras espécies, com dados mensurados em plantios jovens.

Este trabalho pode ser aplicado em espécies com pouco estudo da relação hipsométrica, como no caso de espécies nativas.

7 RECOMENDAÇÕES

É importante levar em consideração o período compreendido entre uma avaliação e outra, uma vez que as influências das variáveis meteorológicas em regiões temperadas são melhores definidas dentro da estação do ano.

Sugere-se que em pesquisas futuras sejam realizadas comparações na influencia gerada no crescimento, com o uso de variáveis combinadas, transformadas e o efeito da resiliência da geada nas estações subsequentes a ocorrência da mesma.

Para uma melhor análise das correlações nas estações do ano recomenda-se que sejam utilizadas avaliações de vários anos, tendo em vista que só é possível ter uma amostra das variáveis meteorológicas para cada estação.

Tendo em vista a estação da primavera é conhecidamente a responsável pela maior proporção dos incrementos, e neste trabalho foram encontrados os maiores valores de incrementos nas estações do verão e outono, sugere-se que em pesquisas futuras sejam analisados os fatores limitantes do crescimento para cada estação.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília, DF, 2013. 146 p.
- ALLEN, H.; ALBAUGH, T. J. Ecophysiological basis for plantation production: aloblolly pine case study. **Bosque**, v. 20, n. 1, p. 3-8, 1999.
- ARAÚJO, E. J. G. de, *et al.* Relações dendrométricas em fragmentos de povoamentos de pinus, em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 355–366, 2012.
- ASSUMPÇÃO, J. V. L. **Desenvolvimento inicial de *Ficus maxima* Mill. em reflorestamento puro e misto em Cotriguaçu/MT**. 51 f. Dissertação (Mestrado/ Ciências Florestais e Ambientais) - Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.
- BAGGIO, A. J. **Timbó: uma alternativa para a produção perene de adubo verde**. Dez. 2002. Colombo: Embrapa Florestas. Circular Técnica, 68.
- BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A.; GRAÇA, L. R.; CECCON, E. Sistema agroflorestal tradicional da bracatinga com culturas agrícolas anuais. Colombo: **Boletim de Pesquisa Florestal**, , n. 12, p. 73–82, 1986.
- BEHLING, A. **A produção de biomassa e o acúmulo de carbono em povoamentos de acácia-negra em função de variáveis bioclimáticas**. 158 f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- BINKLEY, D. A hypothesis about the interaction of tree dominance and stand production through stand development. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 190, p.265-271, Mar 2004.
- BOLAND, D. J.; BROOKER, M. I. H.; CHIPPENDALE, G. M.; *et al.* **Forest trees of Australia**. CSIRO Publishing, 2006.
- BROWN, C. L. Growth and form. In: ZIMMERMANN, M. H.; BROWN, C. L. **Trees structure and function**. Nova York: Spring-Verlag, 1974. 336 p.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.
- CARMO, D. N.; RESENDE, M.; SILVA, T. C. A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (eds.). **Relação solo-eucalipto. Folha de Viçosa**, Viçosa, p.187-235, 1990.
- CARPANEZZI, O. T. B. **Produtividades florestal e agrícola em sistemas de cultivo de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) em Bocaiúva do Sul, Região Metropolitana de Curitiba - Paraná**. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências

Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1994.

CARVALHO, P. E. R. Composição e crescimento de um povoamento natural de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS “Bracatinga uma opção para reflorestamento” 4., 1981, Curitiba. **Anais ...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, p. 67-75. 1981.

CARVALHO, P. E. R. **Bracatinga**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002a. 12 p. (Circular Técnica, 59).

CARVALHO, P. E. R. **Timbó**. Colombo: Embrapa Florestas. 2002b. 7 p. (Circular Técnica, 57).

CHAVES, A. G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de *Tectona grandis* L. f. até a idade de rotação**. 2013, 72 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Cuiabá. 2013.

DAVIDSON, N. J.; BATTAGLIA, M.; BEADLE, C. Photosynthesis of *Eucalyptus nitens* is reduced by mild frosts. Eucalypt plantations, improving fibre yield and quality. **CRC for Temperate Hardwood Forestry, IUFRO**: Hobart, Tasmania, pp. 339-343, 1995.

DE-MIGUEL, S.; GUZMÁN, G.; PUKKALA, T. A comparison of fixed-and mixed-effects modeling in tree growth and yield prediction of an indigenous neotropical species (*Centrolobium tomentosum*) in a plantation system. **Forest Ecology and Management**, v. 291, p. 249-258, 2013.

DIAS D. P. **Fotossíntese e crescimento em diâmetro de árvores em função da temperatura e da precipitação numa floresta primária de terra-firme na Amazônia Central**. 123 f. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (CFT-INPA), Manaus. 2009.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

EGBÄCK, S.; LIZINIEWICZ, M.; HÖGBERG, K. A.; EKÖ, P. M.; NILSSON, U. Influence of progeny and initial stand density on growth and quality traits of 21 year old half-sib Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). **Forest Ecology and Management**, v. 286, p. 1-7, 2012.

EMBRAPA. **Manual técnico da bracatinga** (*Mimosa scabrella* Benth.). Curitiba, 1988. 70 p. (EMBRAPA CNPF. Documentos, 20).

FERREIRA M. Z. **Modelagem da influência de variáveis ambientais no crescimento e produção de *Eucalyptus* sp.** 101 f. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

FINGER, C. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria / CEPEF / FATEC, 1992. 269 p.

FREITAS, L. J. M. de; SOUZA, A. L. de; LEITE, H. G.; SILVA, M. L. da. Análise técnica e estimativas de custos de inventário de prospecção em uma floresta estacional semidecidual submontana. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 65-75, 2005.

HAAG, H. P. (Ed.) **Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelina* no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 202 p.

HIGA, R. C. V. **Avaliação e recuperação de *Eucalyptus dunnii* Maiden atingidos por geadas em Campo do Tenente, PR**. 100 f. Tese (Doutorado) – Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

HIGUCHI, N.; et al. Uso de bandas metálicas e dendrômetros automáticos para a definição de padrão de crescimento individual das principais espécies arbóreas da floresta primária da região de Manaus, Amazonas, Brasil. 2003. In: **Projeto jacaranda fase II: pesquisas florestais na amazônia central**. HIGUCHI, et al. (Eds.). Ed. Jacaré, Manaus. p. 55-68. 2003.

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

ISHIDA, A.; NAKANO, T.; MATSUMOTO, Y.; SAKODA, M.; ANG, L. H. Diurnal changes in leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in tropical tree species with contrasting light requirements. **Ecological Research**, v. 14, n. 2, p. 77–88, 1999.

IWASAKI-MAROCHI, C. **Anéis anuais de crescimento do cedro (*Cedrela fissilis*-Meliaceae) aplicados à avaliação da taxa de crescimento e dendroclimatologia**. 124 f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

JACOBY, G. C. Overview of tree-ring analysis in tropical regions. **IAWA Bulletin NS**, Utrecht, v. 10, n. 2, p. 99-108, 1989.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOVSKY, R. Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. **IPEF**, Piracicaba, v. 24, p. 9-26, 1983.

KANIESKI, M.; SANTOS, T.; NETO, J. Influência da precipitação e da temperatura no incremento diamétrico de espécies florestais aluviais em Araucária-PR. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 17–25, 2012.

KITAO, M.; LEI, T. T.; KOIKE, T.; et al. Temperature response and photoinhibition investigated by chlorophyll fluorescence measurements for four distinct species of dipterocarp trees. **Physiologia Plantarum**, v. 109, n. 3, p. 284–290, 2000.

KOEHLER, A. B.; CORAIOLA, M.; PÉLLICO NETTO, S. Crescimento, tendências de distribuição das variáveis biométricas e relação hipsométrica em plantios jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze. **Scientia Forestalis**, Tijucas do Sul. v. 38, n. 85, p. 53-62, 2010.

LANDSBERG, J. Physiology in forest models: history and the future. **FBMIS**, London, v. 1, p. 49-63, Sept. 2003.

- LANDSBERG J.; SANDS P. **Physiological ecology of forest production: principles, processes, and models**. Amsterdam: Elsevier. Academic Press, ed. 1, v. 4, 2011. 331 p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000.
- LESLIE, A. D.; MENCUCCINI, M.; PERKS, M. The potential for *Eucalyptus* as a wood fuel in the UK. **Applied Energy**, v. 89, n. 1, p. 176-182, 2012.
- LLOYD, J.; FARQUHAR, G. D. Effects of rising temperatures and [CO₂] on the physiology of tropical forest trees. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, London, v. 363, n. 1498, p. 1811–1817, 2008.
- LLOYD, J. et al. A simple calibrated model of Amazon rainforest productivity based of leaf biochemical properties. **Plant Cell Environment**. v. 18, n. 10, p. 1129-1145, 1995.
- LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Munchen: BLV, Verlagsgesellschaft, 1973. v. 2, 469 p.
- LONG, S. P. Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO₂ concentrations: has its importance been underestimated? **Plant, Cell and Environment**. v. 14, n. 8, p. 729-739, 1991.
- LONGHI, R. A. **Livro das árvores: árvores e arvoretas do sul**. Porto Alegre: L & PM, 1995. 174 p.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Plantarum, 1998.
- MACHADO, S. do A. et al. Dinâmica de crescimento de plantios jovens de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 62, p. 165–170, 2010.
- MACHADO, S. A. et al. Efeito de variáveis climáticas no crescimento mensal de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* em fase juvenil. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v.21, n. 2. 2014.
- MACHADO, S. DO A.; TONON, A. E. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Comportamento da mortalidade natural em bracatingais nativos em diferentes densidades iniciais e classes de sítio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 41–50, 2002.
- MAESTRI, R. **Modelo de crescimento e produção para povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* considerando variáveis ambientais**. 143 f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- MAINARDI, G. L.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Produção de *Pinus taeda* L. na região de Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, v. 6, n. 1, p. 39-52, 1996.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141–150, 2000.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das Angiospermas: Leguminosae**. 2 ed. Santa Maria, 2007.

MARONA, H. R. N. **Investigação química e toxicológica de *Ateleia glazioviana* Baillon – Leguminosae – Papilionoideae**. 123 f. Dissertação (Mestrado em Farmácia) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1992.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000.

MORA, A. L. **Aumento da produção de sementes geneticamente melhoradas de *Acacia mearnsii* De Wild. (acácia-negra) no Rio Grande do Sul**. 140 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, UFPR. Curitiba, 2002.

MORAES, M. L. T. **Variação genética da densidade básica da madeira em progênies de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden e suas relações com as características de crescimento**. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1987.

NÄSLUND, M. Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. **Meddelanden från Statens skogsförsöksanstalt**, Stockholm, v. 29, n. 1, p. 169, 1936.

PAUKKUNEN, S. Opportunities to Use Thinning Wood as Raw Material for Wood Pellets. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 35, n. 1, p. 23-33, 2014.

PHILLIPS, O. L. et al. The changing Amazon forest. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1819-1827, 2008.

PONTES NETO, T. P. **Comparação de modelos lineares e não lineares em relações hipsométricas para clones de *Eucalyptus* spp. no polo gesseiro do Araripe - PE**. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2012.

RACHWAL, M. F. G. et al. Produção de madeira, casca e tanino de *Acacia mearnsii* com sete anos, em solos derivados de micaxistos e arenito no município de Piratini, RS. **Embrapa Florestas**. v. 54, 2001. Comunicado Técnico.

SAXE, H. et al. Tree and forest functioning in response to global warming. **New Phytologist**, v. 149, n. 3, p. 369-399, 2001.

SCHNEIDER, P. R.; DIMAS, F. F.; GUIMARÃES, C. A. F.; MAYER, J. E. K. Crescimento da acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p. 101–112, 2000.

SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada a Engenharia Florestal**. 2ª ed. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1998.

SCHUMACHER, M. V. et al. Crescimento da acácia-negra em resposta a aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 51-58, Mar 2013.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal 2, técnicas de regressão aplicada para estimar**: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira. UFLA/FAEPE/DCF, 1997. 292 p.

SHERRY, S. P. **The black wattle**: (*Acacia mearnsii* De Wild.). University of Natal Press, 1971.

SIIPILEHTO, J. Improving the accuracy of predicted basal-area diameter distribution in advanced stands by determining stem number. **Silva Fennica**, v. 33, n. 4, p. 281-301, 1999.

SLODICKAK, M.; NOVAK, J.; SKOVSGAARD, J. P. Wood production, litter fall and humus accumulation in a Czech thinning experiment in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). **Forest Ecology and Management**, v. 209, n. 1, p. 157-166, 2005.

SOARES, T. S.; CARVALHO, R. M. M. A.; VALE, A. B. DO. Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 689–694, 2003.

SOUZA, V. Q. de et al. Resistência de espécies arbóreas submetidas a extremos climáticos de geada em diferentes sistemas agroflorestais. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 972–977, Jun. 2011.

STAPE, J. L. **Production ecology of clonal *Eucalyptus* plantations in northeastern Brazil**. 225 p. PhD Thesis. Colorado State University. 2002.

THOMAS, C. et al. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.

TONIETTO, L.; STEIN, P. Silvicultura da acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild) no Brasil. **Florestar Estatístico**, v. 4, n. 12, p. 11–16, 1996.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F.; SÁ, S. P. P. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no estado de Roraima - andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Acta Amazônica**, Manaus, v.35, n. 3, p. 353 – 362, 2005.

URBAN, J.; HOLUŠOVÁ, K.; MENŠÍK, L.; ČERMÁK, J.; KANTOR, P. Tree allometry of Douglas fir and Norway spruce on a nutrient-poor and a nutrient-rich site. **Trees**, v. 27, n. 1, p. 97-110, 2013.

VEIGA, R. A. A. Uso de equações de volume em levantamentos florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE INVENTÁRIO FLORESTAL II, Piracicaba, 1984. **Anais...** Piracicaba, IPEF, 1984. p. 93-102.

VESTERDAL, L. et al. Carbon sequestration in soil and biomass following afforestation: experiences from oak and Norway spruce chronosequences in

Denmark, Sweden and the Netherlands. In: **Environmental Effects of Afforestation in North-Western Europe**. Springer Netherlands, 2007. p. 19-51.

ZAMIN, N. T. **Modelagem da produção mensal de indivíduos de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* com inclusão de variáveis meteorológicas**. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G. Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em povoamentos implantados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 467–476, 2010.