

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

**SOMBREAMENTO NO DESENVOLVIMENTO DE
BROTOS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Elisabete Vuaden

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**SOMBREAMENTO NO DESENVOLVIMENTO DE BROTOS
DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.**

por

Elisabete Vuaden

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

Orientador: Prof. Frederico Dimas Fleig

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**A glória é tanto mais tardia quanto mais duradoura há de ser,
porque todo fruto delicioso amadurece lentamente.**

Arthur Schopenhauer

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**SOMBREAMENTO NO DESENVOLVIMENTO DE BROTOS
DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.**

elaborada por
Elisabete Vuaden

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Frederico Dimas Fleig, Dr.
(Presidente/Orientador)

Paulo Renato Schneider, Dr. (UFSM)

Arno Bernardo Heldwein, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 03 de março de 2009.

À minha família,
em especial aos meus pais,
Lucia e Irineu Vuaden,
dedico...

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela luz e proteção.

À minha família, pela ajuda, compreensão, apoio e amor.

Ao meu orientador, Prof. Frederico D. Fleig, pela grande atenção, críticas e sugestões feitas durante a orientação.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal.

À CAPES, pelo fornecimento da bolsa de estudos, que garantiu o sustento financeiro necessário à realização deste curso.

Aos meus queridos amigos Gerson Luiz Selle e Evaldo Braz Muños pela grande amizade, conselhos e apoios no decorrer de minha trajetória.

Ao amigo e colega Vicente Guilherme Lopes, pela ajuda e amizade.

Aos alunos de graduação Mayara Dalla Lana e Gustavo Fernandes da Silva, pelo companheirismo e constante ajuda na realização deste trabalho.

Ao funcionário Jorge Diefenteller e aluno Leonardo Job Biali pela amizade e ajuda na coleta dos dados.

À funcionária Tita, pela amizade e apoio.

Aos colegas, Micheli, Cláudio, Kenia e Michele pela amizade.

Aos amigos Airton, Camila, Bety e Mirian pela presença carinhosa em minha vida.

À grande amiga Tânia Prestes Soares, pela incessante força, atenção e carinho tão necessários para que eu chegasse até aqui.

A todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para que eu concluísse mais uma etapa em minha vida!

Muito obrigada!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

SOMBREAMENTO NO DESENVOLVIMENTO DE BROTOS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.

Autor: Elisabete Vuaden

Orientador: Dr. Frederico Dimas Fleig

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 03 de março de 2009.

Este estudo teve como objetivo avaliar a influência do sombreamento tanto da copa quanto do solo no desenvolvimento de brotações em um plantio de *Ilex paraguariensis* após a poda. O experimento foi conduzido na Área Experimental do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, no município de Santa Maria. Foi estabelecido um experimento com 4 tratamentos no delineamento de Blocos ao Acaso com 12 repetições, com 1 planta em cada repetição. As erveiras foram podadas a 0,60 m de altura e os seguintes tratamentos foram empregados: T1 = Sem sombreamento de copa, sem cobertura de solo; T2 = Sem sombreamento de copa, com cobertura de solo; T3 = Com sombreamento de copa, sem cobertura de solo; T4 = Com sombreamento de copa, com cobertura de solo. O material usado como cobertura do solo foi a serapilheira de um plantio de eucalipto e o material resultante da poda das erveiras. O sombreamento da copa das árvores foi realizado mediante o uso de tela plástica, com grau de sombreamento de 50%, em que as erveiras ficaram sombreadas a partir das 12 horas do dia. Em setembro de 2007, as árvores foram avaliadas dendrometricamente e podadas, sua biomassa foi fracionada e, após, estas foram submetidas aos seus respectivos tratamentos. Em setembro de 2008, as erveiras foram avaliadas novamente. Para determinar a biomassa comercial, foram colhidas 16 erveiras, para as demais, a biomassa comercial foi estimada pelo somatório da biomassa dos brotos. Verificou-se que: o peso verde da biomassa comercial (bc) de erveiras nunca podadas teve maior correlação com a área basal a 0,6 m de altura ($g_{0,6}$) e, em segundo, com a altura total (ht); o modelo que melhor descreveu a biomassa comercial de erveiras nunca podadas foi: $\ln bc = 9,6533 + 0,4412 \ln (g_{0,6}.ht)$; a biomassa comercial dos brotos pode ser estimada como função do comprimento folhado dos brotos, com modelos específicos para brotos curtos, brotos médios simples e compostos e brotos longos compostos; o sombreamento parcial da erva-mate juntamente com a adição de cobertura morta (T4) superou os demais tratamentos para todas as variáveis; a adição de cobertura morta (T2) gerou maior média do que somente o sombreamento da copa (T3), para as variáveis somatório do comprimento folhado, somatório do comprimento total e biomassa comercial; a biomassa comercial das erveiras podadas apresentou maior correlação com o somatório do comprimento folhado, somatório do comprimento total e somatório do número de folhas; a variável de fácil medição que melhor estimou a biomassa comercial de erveiras podadas foi o comprimento médio dos três ramos mais longos (c3), resultando na seguinte equação: $\ln bc = 1,4722 \ln c3$; a correlação da biomassa comercial de erveiras do ano de 2007 com a biomassa comercial do ano de 2008 foi de $r=0,65$. A análise de covariância indicou que houve efeito dos tratamentos somente para probabilidades de erros próximas a 10%.

Palavras-chave: cobertura do solo; sombreamento; biomassa comercial.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

SHADE IN THE DEVELOPMENT OF SPROUTS OF *Ilex paraguariensis* A. ST. -HIL.

Author: Elisabete Vuaden
Adviser: Dr. Frederico Dimas Fleig
Place and Date of Defense: Santa Maria, March 3rd, 2009.

This study aimed at evaluating the influence of the shade of both the crown and the ground in the development of sprouts of a plantation of *Ilex paraguariensis* after pruning. The experiment was carried out at the Experimental Area of the Federal University of Santa Maria. An experiment with 4 treatments in a randomized block design with 12 repetitions with 1 plant in each repetition was established. The yerba mate plants were pruned at 0,60 m high and the following treatments were used: T1 = Without crown shade, without soil coverage, T2 = Without crown shade, with soil coverage, T3 = With crown shade, without soil coverage, T4 = With crown shade, with soil coverage. The material used as organic coverage on the soil was the burlap from an eucalyptus plantation and the material from the pruning of *Ilex paraguariensis*. The crown shade of the trees was gotten by the use of a 50% shade screen, where the plants of *Ilex Paraguariensis* were shaded after midday. In September 2007, the trees were measured dendrometrically, their biomass was fractioned and, after that, these trees were submitted to their own treatments. In September 2008, plants of *Ilex Paraguariensis* were evaluated again. In order to determine the commercial biomass, 16 plants of yerba mate were collected; to the others, the commercial biomass was estimated by the sum of the biomass of the sprouts. It was verified that the green weight of the commercial biomass (bc) of plants of *Ilex paraguariensis* which had never been pruned had bigger correlation with the basal area at 0,6 m high ($g_{0,6}$) and, in second place, with the total height (ht); the model that best described the commercial biomass of plants which had never been pruned was: $\ln bc = 9,6533 + 0,4412 \ln (g_{0,6}.ht)$; the commercial biomass of the sprouts can be estimated as function of the leafed length of the sprouts, with specific models for short sprouts, simple medium sprouts and composed medium sprouts; the partial shade of the yerba mate and the addition of dead coverage (T4) overcame the other treatments for all the variables; the addition of dead coverage (T2) generated bigger average than the crown shade itself (T3), for the variables sum of the leafed length, sum of the total length and commercial biomass; the pruned yerba mate plants' commercial biomass presented bigger correlation sum of leafed length, sum of total length and sum of number of leaves; the variable of easy measurement that best estimated the pruned yerba mate plants' commercial biomass was the medium length of the three longer branches (c3), resulting in the following equation: $\ln bc = 1,4722. \ln c3$; the correlation of the yerba mate plants' commercial biomass in the year 2007 with the commercial biomass in the year 2008 was 65%. The covariance analysis indicated that there was effect of the treatments only for error probability close to 10%.

Keywords: soil coverage, shade, commercial biomass.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Análise de variância das variáveis medidas em 2007, sob efeito de blocos e tratamentos em um plantio de erva-mate nunca antes podado, aos 9 anos de idade.	41
TABELA 2 – Teste de comparação de médias (Tukey) entre os blocos de um plantio de erva-mate nunca antes podado, aos 9 anos de idade.	43
TABELA 3 – Matriz de correlações entre as variáveis dendrométricas do plantio de erva-mate aos 9 anos de idade.	44
TABELA 4 – Modelos de regressão obtidos pelo procedimento Stepwise para descrever a biomassa comercial (bc) em função da área basal ($g_{0,6}$) e altura total (ht) para erva-mate aos 9 anos de idade.	45
TABELA 5 – Análise de covariância da função $\ln bc = b_0 + b_1 \ln (g_{0,6} \cdot ht) +$ blocos para erva-mate aos 9 anos de idade.	46
TABELA 6 – Coeficiente de correlação de Pearson para brotos curtos (de 1 a 10 cm) de erva-mate podadas aos 10 anos de idade.	48
TABELA 7 – Estatística dos modelos selecionados por Stepwise para brotos curtos (1 a 10 cm) de erva-mate podadas aos 10 anos de idade.	49
TABELA 8 – Coeficiente de correlação de Pearson para brotos longos simples de erva-mate podadas aos 10 anos de idade.	51
TABELA 9 – Estatística dos modelos selecionados por Stepwise para brotos longos simples de erva-mate podadas aos 10 anos de idade.	52
TABELA 10 – Coeficiente de correlação de Pearson para brotos longos (com inserções secundárias) de erva-mate podadas aos 10 anos de idade.	54
TABELA 11 – Estatística dos modelos selecionados por Stepwise para brotos longos compostos de erva-mate podadas aos 10 anos de idade.	55
TABELA 12 – Estatística dos modelos selecionados por Stepwise para estimar a biomassa comercial (bc) em função do comprimento folhado dos brotos principais longos (cf) e do número de ramos secundários (nrs).	57

TABELA 13 – Análise de covariância da biomassa comercial para verificar a diferença de inclinação entre as categorias (2 - brotos longos simples e 3 - longos compostos) do modelo $\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln (cf \text{ ou } \sum cf)$ para erveiras podadas aos 10 anos de idade.....	58
TABELA 14 – Análise de covariância da biomassa comercial para verificar a diferença de nível entre categorias (2 - brotos longos simples e 3 - longos compostos) do modelo $\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln (cf \text{ ou } \sum cf)$ para erveiras podadas aos 10 anos de idade.	58
TABELA 15 – Estatística dos modelos das categorias 2 (brotos simples e compostos, com comprimento médio) e 3 (brotos compostos longos) para erveiras podadas aos 10 anos de idade.....	59
TABELA 16 – Descrição das categorias juntamente com os modelos utilizados para a estimativa da biomassa comercial do broto de erveiras podadas aos 10 anos de idade.	59
TABELA 17 – Análise de variância das variáveis medidas em 2008 sob efeito de blocos e tratamentos, em um plantio de erva-mate aos 10 anos de idade.	61
TABELA 18 – Teste de comparação de médias (Tukey) entre os blocos e tratamentos de um plantio de erva-mate aos 10 anos de idade.....	62
TABELA 18 – <i>Continuação</i> ...Teste de comparação de médias (Tukey) entre os blocos e tratamentos de um plantio de erva-mate aos 10 anos de idade.	63
TABELA 19 - Coeficiente de correlação de Pearson para erveiras um ano após a poda e aplicação dos tratamentos.....	68
TABELA 20 - Estatística dos modelos selecionados por Stepwise para a estimativa da biomassa comercial de erveiras um ano após a poda e aplicação dos tratamentos.	69
TABELA 21 - Coeficiente de correlação de Pearson para as variáveis dendrométricas medidas antes (2007) e após (2008) a poda e aplicação dos tratamentos.	70
TABELA 22 - Análise de covariância da equação $\ln bc_8 = b_0 + b_1 \cdot \ln bc_7$ em função dos blocos e tratamentos.	71

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Locais de ocorrência natural da erva-mate no Brasil (Fonte: Carvalho, 2003).....	19
FIGURA 2 – Croqui de localização do plantio de erva-mate no campus da UFSM/RS. (Fonte: GOOGLE EARTH, 2008).	30
FIGURA 3 – Aspecto das erveiras podadas juntamente com a aplicação dos seus respectivos tratamentos.	32
FIGURA 4 – Gabarito utilizado para determinação dos raios da copa. (Fonte: Fleig et al., 2003).	35
FIGURA 5 – Esquema representativo do comprimento total (Ct), comprimento folhado (Cf), somatório do comprimento total ($\sum Ct$) e somatório do comprimento folhado do broto de uma erva-mate. Organizador: Lopes (2008).	37
FIGURA 6 - Distribuição dos valores observados e estimados da equação: $\ln bc = 9,6533 + 0,4412 \ln (g_{0,6} \cdot ht)$ para erveiras aos 9 anos de idade.	46
FIGURA 7 – Dispersão dos valores observados do comprimento folhado e biomassa comercial de brotos curtos (A) e comprimento total e biomassa comercial de brotos curtos (B) de erveiras podadas aos 10 anos de idade.	48
FIGURA 8 – Distribuição dos valores observados e estimados com a equação: $\sqrt{bc} = 0,8682 + 0,0113 \cdot cf^2$ para brotos curtos de erveiras podadas aos 10 anos de idade.	50
FIGURA 9 – Dispersão dos valores observados de biomassa comercial e comprimento folhado de brotos longos simples (A) e de comprimento total de brotos longos simples (B) de erveiras podadas aos 10 anos de idade.	51
FIGURA 10 – Distribuição dos valores observados e estimados com a equação $\ln bc = -2,1456 + 1,3808 \ln cf$, para brotos longos simples de erveiras podadas aos 10 anos de idade.....	53

FIGURA 11 – Dispersão dos valores observados de comprimento folhado e biomassa comercial de brotos longos compostos (A) e comprimento total e biomassa comercial de brotos longos compostos (B) de erveiras podadas aos 10 anos de idade.	54
FIGURA 12 – Distribuição dos valores observados e estimados com a equação: $\ln bc = -1,2676 + 1,1780 \cdot \ln \sum cf$, para brotos longos compostos de erveiras podadas aos 10 anos de idade.....	56
FIGURA 13 - Estimativa da biomassa comercial para as categorias “brotos curtos”, “brotos médios simples e compostos” e “brotos longos compostos” para erveiras podadas aos 10 anos de idade.	60
FIGURA 14 – Biomassa comercial de erveiras aos 10 anos de idade, nos diferentes tratamentos em cada um dos blocos.....	66
FIGURA 15 – Dispersão dos valores estimados a partir do comprimento folhado (cf e $\sum cf$) e do comprimento médio dos três brotos mais longos ($c3$) originados da equação $\ln bc = 1,4722 \cdot \ln c3$ para erveiras um ano após a poda e aplicação dos tratamentos.....	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.1 Objetivos Específicos	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Caracterização geral da espécie	18
3.2 Classificação dos ervais quanto ao manejo	21
3.3 Influência da luminosidade na erva-mate.....	21
3.4 Poda em erveiras	24
3.5 Cobertura morta.....	25
3.6 Biomassa florestal.....	27
4 MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 Área de estudo.....	30
4.2 Histórico do plantio	31
4.3 Instalação e condução dos experimentos.....	32
4.3.1 Avaliações	33
4.3.1.1 Variáveis avaliadas no estudo preliminar	33
4.3.1.2 Variáveis avaliadas no estudo principal.....	36
4.4 Análises estatísticas	38
4.4.1 Análise dos dados	38
4.4.1.1 Análise de variância.....	39
4.4.1.2 Análise de correlação simples	39
4.4.1.3 Análise de regressão múltipla.....	39
4.4.1.4 Análise de covariância	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1 Estudo preliminar	41

5.1.1	Análise das variáveis dendrométricas	41
5.1.2	Correlações entre as variáveis dendrométricas.....	44
5.1.3	Biomassa comercial (bc) como função da área basal ($g_{0,6}$) e altura total (ht)..	45
5.2	Avaliação do experimento (estudo principal)	47
5.2.1	Estimativa da biomassa comercial.....	47
5.2.1.1	Brotos curtos.....	47
5.2.1.2	Brotos longos simples.....	50
5.2.1.3	Brotos longos compostos	53
5.2.1.4	Análise de covariância	57
5.2.2	Análise das variáveis do estudo principal	60
5.2.2.1	Correlações entre as variáveis dendrométricas.....	67
5.3	Relação das variáveis antes e após a poda e aplicação dos tratamentos	70
6	CONCLUSÕES	72
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

1 INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) é uma árvore típica das regiões subtropicais e temperadas da América do Sul (ALVES et al., 2000), sendo amplamente difundida no sul do Brasil, nordeste da Argentina e na parte oriental do Paraguai (DA CROCE; FLOSS, 1999). Essa espécie é considerada árvore símbolo do estado do Rio Grande do Sul, exercendo um importante papel socioeconômico, cultural e ambiental, ocorrendo tanto na forma nativa quanto cultivada, constituindo-se normalmente em uma das múltiplas atividades produtivas. A colheita da erva-mate caracteriza-se pela remoção dos galhos e ramos para o aproveitamento das folhas e ramos finos, que são amplamente utilizados para a produção de diversas bebidas, destacando-se o chimarrão (FLEIG, 2002). Em 2006, foram colhidas, nos ervais nativos do país, 233.360 toneladas de folhas, sendo que o maior produtor é o Paraná com uma produção de 152.971 toneladas, ou 65,5% do total nacional. Seguem-no Santa Catarina (41.833 toneladas), Rio Grande do Sul (38.127 toneladas) e Mato Grosso do Sul (42.900 toneladas) (IBGE, 2006).

Dentre os fatores ambientais controladores do desenvolvimento vegetal, destacam-se a disponibilidade de luz, água, calor, nutrientes e condições edáficas. No entanto, é a luz que apresenta efeitos mais pronunciados no crescimento da planta por participar diretamente na fotossíntese (FERREIRA et al., 1997). Além disso, a luminosidade fornece sinais que regulam o desenvolvimento da planta através de receptores de luz sensíveis a diferentes intensidades. Dessa forma, modificações nos níveis de luminosidade aos quais uma espécie está adaptada podem condicionar diferentes respostas fisiológicas em suas características bioquímicas, anatômicas e de crescimento (ATROCH et al., 2001).

A forma de manejo da erva-mate está diretamente relacionada à qualidade do produto final, sendo que a adubação poderá garantir o suprimento das exigências da cultura e assegurar a produtividade. Entretanto, devem ser considerados outros fatores como os relacionados ao ambiente, tais como, por exemplo, condições de luz e umidade (ZAMPIER, 2001). Para Mazuchowski (2004), a variação natural das condições ambientais e do manejo dos ervais determina a diferenciação da matéria-prima da erva-mate.

A cultura da erva-mate é, sem dúvida, uma das mais promissoras, pois, quando cultivada em nível tecnológico adequado, além de maximizar a rentabilidade, preserva e recupera os recursos naturais (DA CROCE; NADAL, 1992). Porém, a extração desordenada e a utilização de técnicas impróprias têm levado à exaustão os ervais nativos, reduzindo a sua contribuição na produção de erva-mate (FLEIG, 2002).

De acordo com Espindola Junior (2006), os plantios de erva-mate podem apresentar-se sob várias condições: em áreas onde está ausente a vegetação arbustiva e há predomínio do sol pleno; em áreas de capoeira ou de mata pouco densa, cuja situação luminosa é de meia-sombra; ou em áreas de bosque e de adensamento de espécies, onde há maior sombreamento. Para cada uma dessas situações, a luz consiste na principal variável sobre o desenvolvimento da espécie de interesse.

A luminosidade exerce grande influência no crescimento e no desenvolvimento das plantas de erva-mate. Esse desenvolvimento está diretamente relacionado à capacidade traumática e adaptativa, sendo a traumática largamente explorada para a produção de folhas. Já a adaptativa, pouco relatada na literatura para diferentes condições de ambiente, é de fundamental importância para espécies tolerantes, pois determinam a forma como determinada espécie se desenvolve como resposta às condições de ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Visando encontrar técnicas para melhorar a produtividade e da qualidade da erva-mate, o presente trabalho tem como objetivo geral verificar a influência do sombreamento tanto da copa quanto do solo no desenvolvimento de um plantio de *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. após a poda.

2.1 Objetivos Específicos

- a) avaliar as variáveis dendrométricas de um plantio de erva-mate nunca antes podado;
- b) determinar qual a variável dendrométrica de fácil medição que melhor se relaciona à biomassa comercial verde de erva-mate não podadas e desenvolver modelos que proporcionem boa estimativa da mesma;
- c) desenvolver modelos que permitam estimar a biomassa comercial verde dos brotos de erva-mate podadas;
- d) avaliar o crescimento de um plantio erva-mate um ano após a poda e aplicação do sombreamento da copa e cobertura do solo;
- e) determinar uma variável dendrométrica de fácil medição que melhor estime a biomassa comercial verde de erva-mate podadas;
- f) relacionar a biomassa comercial verde entre as erva-mate antes e um ano após a poda e aplicação do sombreamento da copa e cobertura do solo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Caracterização geral da espécie

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) pertence à família Aquifoliaceae. É caracterizada por constituir-se de arvoreta à árvore perenifólia. Sua altura varia de 3 a 5 m quando cultivada, mas, na floresta, pode atingir até 25 m e ter 70 cm de diâmetro a altura do peito (DAP). O fuste geralmente é curto, porém na mata atinge até 11 m de comprimento. A ramificação é racemosa, quase horizontal, copa baixa densifoliada. As folhas são simples, alternas, geralmente estipuladas, subcoriáceas até coriáceas, verde-escuras na parte superior e mais claras na parte inferior, margem regularmente serrilhada ou dentilhada (CARVALHO, 1994).

É uma espécie dióica, apresentando flores masculinas e femininas separadamente. As flores apresentam coloração branca, pouco vistosas e pequenas. As femininas apresentam-se em pequenos fascículos com três flores e pedúnculo curto. As masculinas possuem de três a cinco pedicelos e flores com pedúnculo longo. Após a fecundação, as flores masculinas abortam (DA CROCE; FLOSS, 1999). O fruto, segundo Andrade (2004), é uma drupa globosa, com superfície lisa de cor verde quando novo, passando de vermelho-arrocheado a violáceo quando maduro, atraindo nessa fase os pássaros, que irão favorecer a disseminação da planta. Em geral, cada fruto é composto de quatro sementes pequenas, de cor castanho-claro a escuro, de forma variável, que apresentam o tegumento áspero e duro, dificultando assim a germinação.

Floresce de setembro a dezembro, predominando em outubro. O amadurecimento dos frutos ocorre geralmente entre janeiro e março; porém, em regiões com altitude acima de 800 m, foram encontrados frutos maduros no final de abril e início de maio (DA CROCE; FLOSS, 1999). A floração e a frutificação iniciam gradativamente aos dois anos em árvores oriundas de propagação vegetativa e, aos cinco anos, em árvores provenientes de sementes, em ambientes adequados (EDWIN; REITZ, 1967).

A área de ocorrência natural abrange aproximadamente 540.000 km² (3% do território da América do Sul), entre as latitudes 21° S e 30° S e longitudes de 48° 30' W até 56° 10' W (OLIVEIRA; ROTTA, 1985). De acordo com Carvalho (1994), a erva-mate ocorre em uma ampla região compreendida entre 12° e 35° S e 40° e 65° W, dentro da qual se pode definir uma zona menor, delimitada pelos paralelos 18° e 30° e os meridianos de 47° e 58°, onde a sua presença é mais freqüente. Sua área de ocorrência atinge Argentina (nordeste), Paraguai (leste), Uruguai (noroeste) e Brasil. No Brasil, são 450.000 km² ou 5% do território nacional, abrangendo os estados de Mato Grosso do Sul (sul), Paraná (sul, centro, oeste e noroeste), Rio Grande do Sul (centro-norte e sul), Santa Catarina (oeste) e em reduzidos nichos de ocorrência de *Araucaria angustifolia*, em Minas Gerais (sul), Rio de Janeiro (Itatiaia) e São Paulo (Serra da Cantareira e sul do estado) (OLIVEIRA; ROTTA, 1985; Carvalho, 1994).

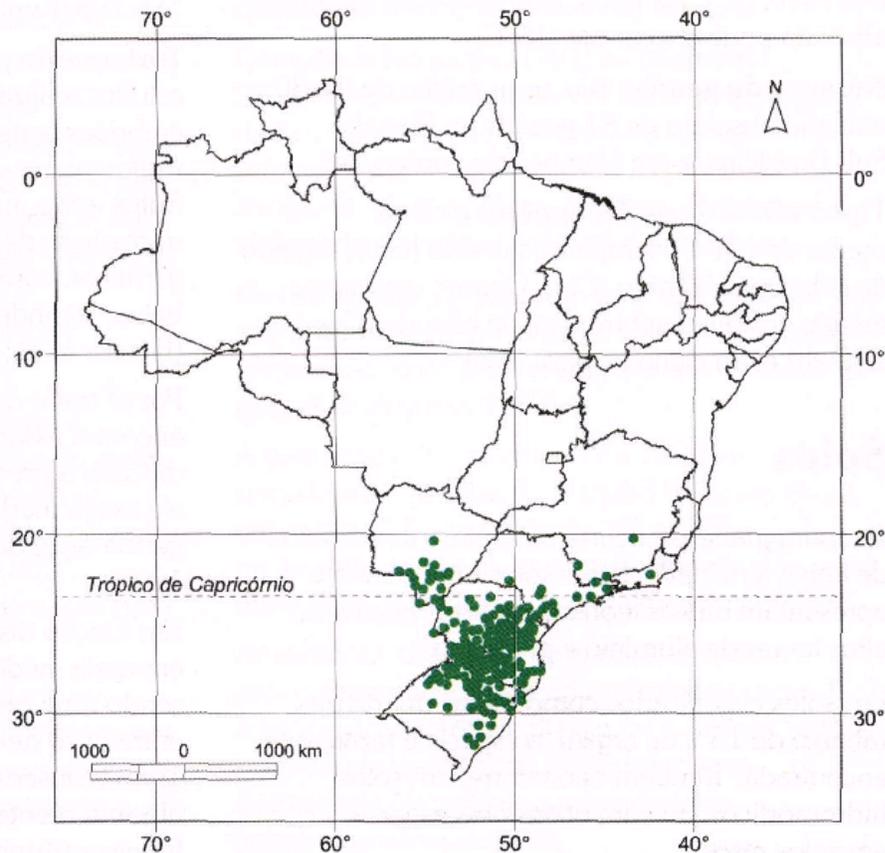


Figura 1 – Locais de ocorrência natural da erva-mate no Brasil (Fonte: Carvalho, 2003).

A mata dos pinhais é a associação preferencial da erva-mate. A presença de araucárias (*Araucaria angustifolia*) e imbuías (*Ocotea porosa*), em geral, garante maior frequência dessa planta. Além desta, citam-se outras espécies que promovem um bom ambiente para a formação das erveiras, como o cedro (*Cedrela fissilis*), o pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*), a canjarana (*Cabralea canjerana*), o pinho bravo (*Podocarpus* sp.), o alecrim (*Holocalyx balansae*), as mirtáceas, as lauráceas e leguminosas diversas. Em associações de araucárias com a canelalageana (*Ocotea pulchella*), a ocorrência da erva mate é menor (OLIVEIRA; ROTTA, 1985).

Vegeta preferencialmente em solos medianamente profundos a profundos, com textura média (variando entre 15 e 35%) e argilosa (acima de 35%). É mais freqüente em solos permeáveis, não ocorrendo em solos hidromórficos, nem em solos que possuem deficiência hídrica, ou seja, é uma planta característica dos solos típicos de regiões com clima Cfb (OLIVEIRA; ROTTA, 1985).

A cultura não suporta solos compactados, pedregosos ou encharcados, uma vez que cerca de 80% do seu sistema radicular se concentra na camada superior do solo, até 45 cm de profundidade. Além disso, a cultura requer solos ricos em nitrogênio, potássio, ferro e fósforo (MEDRADO et al., 2000).

Destacam-se os usos da erva-mate como produto alimentar: chimarrão, mate queimado, refrigerantes e mate solúvel; medicinal: utilizada na medicina popular na forma de chás, atuando como estimulante, diurético, estomáquico e sudorífico; ornamental: devido ao seu belo porte para arborização e ajardinamento; reflorestamento ambiental: muito recomendada na recuperação de ecossistemas degradados e na recomposição de mata ciliar. Outro uso da erva-mate pode ser atribuído à produção de madeira serrada e roliça devido à sua dominância apical definida quando não podada. Porém, esta tem uso secundário, já que o uso principal são as folhas. Não se recomenda o uso da madeira para energia, pois a lenha é de péssima qualidade; para a celulose e papel, a espécie é inadequada, mas pode ser utilizada para a produção de lâminas, resultando em material de excelente qualidade (CARVALHO, 2003).

3.2 Classificação dos ervais quanto ao manejo

Para a formação de ervais de produção, Mazuchowski (1991) distinguiu duas situações:

a) Eral Nativo: formado pela natureza, sendo que a intervenção do homem tem como objetivo a sua formação ou seu adensamento;

b) Eral Plantado: constitui-se em erval plantado pelo homem, seja em condições de sombreamento ou pleno sol, consorciado ou solteiro.

Já Andrade (2002) classificou os ervais de acordo com o padrão de exploração, sendo:

- a) Em ser (terminologia utilizada por produtores): constitui-se de erveiras nativas nunca podadas/exploradas;
- b) Nativos: áreas com erveiras nativas em exploração;
- c) Homogêneos: plantio puro de erva-mate a pleno sol;
- d) Consorciados: plantio de erva-mate intercalado com espécies florestais, agrícolas e/ou com atividade agropecuária;
- e) Adensados: plantio nas erveiras existentes em áreas nativas em floresta com erva-mate;
- f) Em transformação: erval homogêneo, sendo diversificado com plantio de espécie florestais.

3.3 Influência da luminosidade na erva-mate

A luz é primordial para o crescimento das plantas, não só por fornecer energia para a fotossíntese, mas também por prover sinais que regulam seu desenvolvimento através de receptores de luz sensíveis a diferentes intensidades, qualidade espectral e estado de polarização (ATROCH et al., 2001). A habilidade do indivíduo em competir em condições de maior ou menor luminosidade depende de estruturas morfológicas e fisiológicas (estratégias adaptativas) (TILMAN, 1988).

Devido à elevada importância do fator luminosidade, autores classificaram as espécies florestais em grupos ecológicos distintos de acordo com sua capacidade de

adaptação às condições de luminosidade ambiental, e esse conhecimento torna-se importante para a compreensão da dinâmica das florestas (AMO, 1985). A erva-mate foi caracterizada por Carvalho (2003) como planta esciófila (regenera-se abundantemente na sombra), aceitando sombra em qualquer idade, tolerando mais luz na fase adulta. Já em condições artificiais, o crescimento dessa espécie é lento, pois é uma planta bem adaptada às condições de sub-bosque e, conseqüentemente, uma “reprodutora à sombra” (COELHO et al., 2000).

Estudos relatam que o microclima, em especial, a luminosidade, constitui-se de fatores determinantes das características de alteração da área foliar e da fitomassa dessa espécie (THOMPSON et al., 1992). A área foliar das espécies heliófilas aumenta com a elevação da radiação solar, ao passo que a área foliar de espécies tolerantes ao sombreamento tende a ser aumentada em condições de baixa disponibilidade de radiação solar (DALE, 1988). No entanto, sob condições de sombreamento excessivo, o crescimento de caules e folhas da erva-mate poderá ser severamente limitado (GLIESSMANN, 2000).

Rakocevic et al. (2003) verificaram que o comportamento da erva-mate na sombra reflete-se primeiramente como espécie que compete pela luz (alongando o caule e aumentando a área foliar por planta). Porém, se a sombra estiver no limite de manutenção, a planta adapta-se preservando o seu funcionamento (aumento de área foliar por folha individual, redução na emissão de novas folhas, redução na altura do caule) para esperar as condições de radiação mais favoráveis.

Em uma pesquisa sobre as variações que ocorrem no crescimento da erva-mate e na sua produção de massa aérea, em função de distintos níveis de sombreamento ocasionados por diferentes tipos de raleio efetuado na floresta na qual se encontra o erval. Rachwal et al. (1997) verificaram que há correlação positiva entre a produção de matéria seca e as luminosidades de verão, outono e inverno, bem como com a luminosidade média das três estações. No entanto, os maiores coeficientes de correlação foram encontrados entre a produção de matéria seca e luminosidade média e luminosidade de verão.

Para Coelho et al. (2000), na erva-mate o grau de sombreamento necessário para gerar diferenças parece ser igual ou maior que 50% da luz natural. Por outro lado, a sobrevivência das plantas jovens aumenta significativamente em condições de sombreamento de 50% ou mais.

De acordo com Mazuchowski; Ruker (1997), tomando como base a idéia de que a erva obtida em ervais sombreados possui sabor superior ao produto oriundo de ervais produzidos a pleno sol, alguns industriais brasileiros dão preferência ou até exclusividade à erva-mate do tipo sombreada e/ou nativa para formulação do “blend” comercial. Aliado a isso, Mazuchowski (2000) afirma que os produtores devem viabilizar o sombreamento parcial da erva-mate, visando a incrementar o adensamento de ervais nativos para aumentar a produção e melhorar as condições ambientais. Nos ervais plantados, ainda segundo o pesquisador, uma boa alternativa é implantar espécies florestais madeiráveis, para agregar renda e padrões de melhoria ecológica.

Carpanezi (1998) afirma que o cultivo da erva-mate sob *Pinus sp.* desbastado tem apresentado bons resultados, considerando ideal a introdução da erva-mate a partir do terceiro desbaste. Também é possível o desenvolvimento da erva-mate em povoamentos adultos, bem manejados de pinheiro-do-paraná.

Mazuchowski (1991) afirma que o baixo crescimento da erva-mate sob a bracinga é ocasionado devido às copas desta serem baixas e ramificadas. Então, a luz, relativamente abundante, chega difusa ao sub-bosque, e não na forma de raios solares diretos, como ocorre sob *Pinus* e sob ipê. Contudo, por causa da umbrofilia da erva-mate, as razões do fracasso devem estar ligadas a outros fatores. Debaxo de *Pinus*, as plantas de erva-mate têm dominância apical bem definida e pouca ramificação, as folhas são largas, pouco espessas e em pequenas quantidades.

Em um estudo comparando um sistema agroflorestal de erva-mate e pinheiro brasileiro (*Araucária angustifolia*) com um sistema de monocultivo de erva-mate, foi constatado que a diferença pode ser evidenciada pelos valores de temperaturas máxima e mínima absolutas aliada à amplitude de variação desses parâmetros. A radiação solar foi o parâmetro que exerceu a maior influência na área foliar e na produção de fitomassa de erva-mate. Os efeitos microclimáticos influenciaram o crescimento das plantas de erva-mate independentemente do estágio de crescimento (VIEIRA et al. 2003).

3.4 Poda em erva-mate

Poda, de acordo com Da Croce; Floss (1999), é a remoção das partes de uma planta com o objetivo de melhorá-la em alguns aspectos para os interesses do cultivador, buscando, como resposta, modificar o vigor das plantas; aumentar a produção; melhorar a sua arquitetura, proporcionando crescimento de maior quantidade de ramos vegetativos; manter a planta com porte conveniente ao seu trato e manejo; modificar a tendência da árvore em produzir mais lenho em detrimento dos ramos vegetativos; suprimir os ramos inconvenientes, doentes ou mortos; regular a alternância das safras de modo a manter com regularidade colheitas médias.

As modalidades de poda estão intimamente relacionadas às fases de crescimento da planta e podem ser realizadas desde a fase de planta jovem até sua senescência. Dentre as diferentes modalidades de poda, destacam-se as podas de formação em viveiro, formação a campo, de exploração e podas de rejuvenescimento (DA CROCE; FLOSS, 1999), sendo a poda de produção a mais utilizada pelos produtores. Essa última modalidade, segundo Mazuchowski (1991), consiste em cortar, a partir do quarto ou quinto ano de campo, as erva-mates plantadas e formadas, despojando a árvore de seus ramos, para o aproveitamento de ramos finos e folhas, que são as partes utilizáveis na elaboração da erva cancheada.

Ainda, segundo o mesmo autor, a recepa ou decepa é uma prática recomendada para aquelas árvores que produzem poucos galhos e folhas, além de serem altas e dificultarem e inviabilizarem a colheita. Essa prática consiste em cortar o tronco da erva-mate na altura de 1 a 2 m, efetuando corte inclinado (bisel), sem causar rachadura. A rebrota normalmente é boa. Já o decepamento do tronco só é recomendado quando este se encontra muito atacado de brocas, quando começa a secar por algum problema ou então quando se busca rebaixar erva-mates adultas em meio a um erval de menor porte.

É possível a realização de podas anuais, sem comprometer a vida útil da erva-mate (DA CROCE; FLOSS, 1999). A poda realizada no intervalo de 18 meses, sendo uma no período do inverno e outra no verão, também apresenta bons resultados, trazendo vantagens ao crescimento da erva-mate, pois, ao final de 36 meses, expõe as plantas de erva-mate a um menor risco de danos mecânicos e

outras injúrias em relação às erveiras conduzidas com poda anual (DA CROCE; FLOSS, 1999).

De acordo com informações de industriais do mate de Catanduvas/SC, nos últimos anos, grande parte dos ervais foram implantados com espaçamentos reduzidos. Devido a isso, a colheita deve ser anual para limitar o crescimento apical, mas as folhas produzem erva-mate para chimarrão com sabor muito amargo. Então, se o produto não for misturado com erva-mate de ervais nativos manejados e que sofrem poda em intervalos não inferiores a 36 meses, apresentará limitações comerciais (FLEIG 2002).

Este autor constatou que, nas erveiras podadas, seus troncos não incrementaram em área basal; no entanto, aquelas que permaneceram com copa incrementaram a uma taxa de 1,4% a.m. O autor comenta ainda que a ausência de incremento deve-se ao fato de as erveiras, quando podadas, reutilizarem vasos e raízes existentes no momento da poda para a formação da nova copa.

3.5 Cobertura morta

A aplicação de material orgânico como cobertura morta na superfície do solo e, mais especificamente, nas linhas de plantas, coroando-as, é uma medida que visa evitar a desagregação e o transporte de partículas do solo; facilitar a infiltração da água da chuva; evitar grandes amplitudes na variação da temperatura do solo, diminuindo seu ressecamento; fornecer nutrientes e compostos orgânicos, que aumentam a respiração e a resistência às doenças das plantas; melhorar biologicamente o solo, ampliando vida; aumentar a CTC e dar complexidade a nutrientes, favorecendo o solo a médio e longo prazo (LOURENÇO, 1997).

De acordo com Kato et al. apud Parry et al. (2007), a qualidade da matéria orgânica depositada no solo tem um papel fundamental como fonte de nutrientes às plantas. Isso porque essa matéria orgânica disponibiliza esses nutrientes em maiores ou menores quantidades em determinados períodos de tempo, durante sua decomposição e imobilização, até atingir o equilíbrio (ciclo dos nutrientes no ecossistema).

Segundo Gasparim et al. (2005), a superfície do solo, com ou sem cobertura vegetal, é a principal trocadora e armazenadora de energia térmica nos ecossistemas terrestres. É a partir da intensidade da radiação solar na superfície do solo que ele se aquece e se resfria, no decorrer do dia e do ano, provocando alterações térmicas nas camadas subjacentes. As variações térmicas se limitam aos horizontes mais superficiais, devido à absorção e à perda de energia que ocorrem na superfície, aliadas à baixa velocidade de propagação do calor no interior do solo.

O uso de cobertura morta (plásticos opacos, resíduos de petróleo, resíduos de cultivos agrícolas e papel) suaviza a curva diária da temperatura do solo, diminuindo a temperatura máxima e elevando a temperatura mínima (STRECK et al., 1994). No mesmo sentido, BRAGAGNOLO; MIELNICZUK (1990), utilizando casca de arroz, resíduo de aveia e palha de trigo como cobertura, observaram redução da temperatura do solo, principalmente nas horas de maior incidência de radiação solar.

A perda da cobertura do solo provocada por erosão, desmatamento ou práticas agrícolas causa elevação na temperatura do solo e interfere nos processos biológicos. Sobre isto Marote et al. (1990) encontraram que a temperatura máxima em um solo descoberto foi de 38° C, e, quando era utilizada a cobertura, a temperatura reduzia a 30°C. Com a retirada da cobertura vegetal, a temperatura do solo aumentava e provocava um decréscimo de 65% na biomassa microbiana, após quatro anos de cultivo (CATTELAN; VIDOR, 1990).

De acordo com Medrado et al. (2000), para erva-mate, uma das práticas mais indicadas é o uso de cobertura morta disposta sobre o solo de modo a revestir sua superfície, protegendo-a contra a ação direta da chuva, o escoamento superficial, ação do vento, dentre outros benefícios gerados à cultura; no entanto, em terrenos declivosos, seu uso é limitado. Para aumentar a produtividade de massa foliar, Lourenço (1997) recomenda para essa espécie a utilização da cobertura morta com os resíduos do beneficiamento. Lourenço e Medrado (1998) complementam que essa prática pode ser introduzida pela sua simplicidade e pelo baixo custo e também por poder ser repetida e adotada pela maioria das famílias rurais que exploram essa espécie.

Baggio e Soares (2006) afirmam que a adubação verde sob cobertura pode constituir-se como prática para ervais já formados com a distribuição uniforme da biomassa nas linhas das erveiras, onde a implantação de bancos de biomassa no

meio do erval facilitaria o manejo e a intercalação das aplicações. Os mesmos autores, ao estudarem o efeito da aplicação de mulching de timbó no desenvolvimento inicial da erva-mate, recomendam 5 Kg do mesmo por planta, pelo menos por dois anos seguidos, com adubação de cobertura na cova, na implantação de ervais.

3.6 Biomassa florestal

Martinelli et al. (1994) definem a biomassa como a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível em uma floresta. Para Watzlawick et al. (2002), o termo biomassa vegetal refere-se à massa de vegetal viva de um determinado ecossistema, em um dado intervalo de tempo.

A quantificação da biomassa, principalmente em espécies florestais, vem ganhando cada vez mais importância e é realizada com diversos propósitos (MAGALHÃES, 1993; RIBEIRO; MADEIRA, 2003). De acordo com Andrae; Krapfenbauer (1983), a estimativa da biomassa é uma ferramenta fundamental na avaliação de ecossistemas, conversão de energia e ciclagem de nutrientes. É importante também na absorção e armazenagem de energia solar, fornecendo informações que facilitem a utilização racional dos mesmos. Para St. Clair (1993), o conhecimento da biomassa existente nos diversos ecossistemas é importante para a comercialização de produtos, estudos de fluxos de energia e nutrientes, estudos da contribuição dos ecossistemas para o ciclo global do carbono, bem como para avaliações de quantidade de combustíveis relacionados aos incêndios florestais.

O acúmulo de biomassa é afetado por fatores relacionados à fotossíntese, ao clima, ao sítio, à adaptação genética da espécie, ao estágio sucessional e à competição (SILVA et al., 2004).

O procedimento comum para a estimativa da biomassa é o recurso da regressão, em que, após a seleção das árvores amostras, procede-se ao abate e a determinação da biomassa da componente considerada na árvore (MARTINS, 2004). Após, são ajustadas regressões para cada componente de interesse e variáveis dendrométricas da árvore. Para isto, Salati (1994) comenta que as principais variáveis relacionadas com a biomassa são dap, altura e volume.

Parresol (1999) propõe novos procedimentos para estimar os diversos componentes da biomassa das árvores com base em regressão linear, assegurando o ajuste das equações. Já Parresol (2001) afirma que procedimentos semelhantes para o ajustamento de modelos não lineares asseguram uma maior confiabilidade na estimativa da biomassa.

A estimativa da biomassa comercial da erva-mate, considerando-se as variáveis dendrométricas de fácil mensuração, permite uma melhor avaliação de experimentos, prevê em plantios a produção atual sem a realização da poda, permitindo ao técnico uma recomendação correta de manejo (FLEIG et al. 2004). De acordo com os mesmos autores, essas estimativas são ferramentas para a realização de inventários florestais desta espécie, pois possibilitam a determinação com precisão e baixo custo da produção de massa verde.

Da Croce et al. (1994) determinou a biomassa foliar com base no volume e na densidade da copa, sendo que o cone formado pelo diâmetro da copa e pela altura da árvore estimou o volume. No entanto, as árvores não foram podadas, não sendo possível estabelecer relações entre as variáveis e a produção real.

Fleig et al., (2004), em um estudo sobre a determinação da biomassa comercial da poda de erveiras reflorestadas, com idade aproximada de 14 anos, constataram que essa biomassa pode ser estimada como função do fator de copa (F_c) e das dimensões da copa. Já para Berger (2006), as variáveis área de projeção da copa e diâmetro do tronco a 0,60 m do solo quando inseridas no modelo estimaram a biomassa de folhas mais talos de erveiras com idade entre 10 e 12 anos.

Ao estudarem modelos de regressão para estimar a biomassa de três diferentes espécies de carvalho na Croácia, autores constataram que, para a espécie *Quercus ilex*, o aumento do número de fustes indica, quando incluído no modelo, diminuição da biomassa individual de cada tronco, pois essa variável descreve competição entre fustes de uma mesma árvore, enquanto que, para as outras duas espécies (*Quercus pubescens* e *frainetto*), o efeito é inverso (TOPIC et al. 2000).

Baggio et al. (1995), para a estimativa da biomassa aérea da bracatinga, verificaram que a função composta com a variável dap apresentou maior precisão, sendo o modelo $y = a \cdot dap^b$ indicado para estimar as frações e a biomassa aérea total. Barrichello (2003), para a quantificação da biomassa de *Acacia mearnsii* De Wild,

encontrou a mesma equação, porém logaritmizada, estimando com precisão a biomassa nos diferentes componentes da árvore.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A presente pesquisa foi realizada no município de Santa Maria, em um plantio de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) localizado na Área Experimental do Departamento de Ciências Florestais, em frente ao Jardim Botânico no campus da UFSM, conforme é indicado na Figura 2.



Figura 2 – Croqui de localização do plantio de erva-mate no campus da UFSM/RS. (Fonte: GOOGLE EARTH, 2008).

O clima predominante do campus da Universidade Federal de Santa, segundo a classificação de Köpen, é do tipo Cfa, com as temperaturas médias do mês mais frio entre 13°C e 18°C, e do mês mais quentes superiores a 22°C, com a média anual também ficando com este valor, a precipitação pluviométrica em torno dos 1700 mm, distribuídos regularmente durante todo o ano e, com o maior número de dias com geada ocorrendo nos meses de junho e julho (MALUF, 2000).

O solo é do tipo Argissolo Bruno Acinzentado Alítico Úmbrico, conforme a classificação brasileira de solos. Esses solos apresentam drenagem moderada ou imperfeita que os mantém saturados com água em determinados períodos do ano (STRECK et al., 2008).

4.2 Histórico do plantio

A vegetação predominante antes da implantação do povoamento era *Paspalum* spp., *Andropogum* spp., *Eryngium* spp., *Solidago* spp., *Bracharis* spp. O plantio da área foi realizado no dia 25/09/98, em área gradeada com posterior coveamento com enxada, no momento do plantio. O espaçamento utilizado foi de 1 m na linha e de 3 m nas entrelinhas, totalizando uma área de 8 m x 12 m (96 m²). As mudas foram plantadas e preencheu-se a cova com adubo. Foram ainda protegidas contra a ação dos raios do sol poente com o uso de lâminas de madeira de 2 mm de espessura, 30 cm de altura e 20 cm de largura. O plantio foi executado com o uso de vermicomposto, tratamento sem fertilizante, ½ dose de NPK recomendada e dose inteira de NPK recomendada. A área sofreu dois replantios, sendo o primeiro no dia 29/09/98 e o segundo no dia 13/10/98. Foi realizada a aplicação de dessecante na área total nos dias 12/12/98 e 23/04/99 para o controle de plantas daninhas e uma roçada na linha com roçadeira costal no dia 29/10/99 e roçadas com trator nas entrelinhas nos dias 04/02/99, 04/08/99 e 29/10/99. O controle de formigas foi realizado periodicamente somente no primeiro ano (SAIDELLES, 2000).

De acordo com o mesmo autor, a fertilização química reduziu o número de plantas sobreviventes, enquanto que o uso de 1 Kg de vermicomposto e o tratamento sem fertilizantes no plantio induziram maior sobrevivência das plantas e crescimento inicial em área foliar e altura das plantas no primeiro ano.

4.3 Instalação e condução dos experimentos

Foi estabelecido um experimento com 4 tratamentos no Delineamento de blocos ao acaso com 12 repetições, com 1 planta em cada repetição, sendo que, para a escolha das plantas que compunham cada bloco, foram utilizados os seguintes critérios: proximidade, mesmo número de troncos, semelhança no diâmetro e altura total. Em março de 2008, 2 blocos foram perdidos (blocos 6 e 11), resultando em somente 10 blocos.

Para a realização do experimento, as erveiras foram podadas a 0,60 m de altura e empregados os seguintes tratamentos: com e sem cobertura do solo e com e sem sombreamento da copa, como mostra a Figura 3, nas seguintes combinações:

- T1: Sem sombreamento de copa, sem cobertura de solo;
- T2: Sem sombreamento de copa, com cobertura de solo;
- T3: Com sombreamento de copa, sem cobertura de solo;
- T4: Com sombreamento de copa, com cobertura de solo.

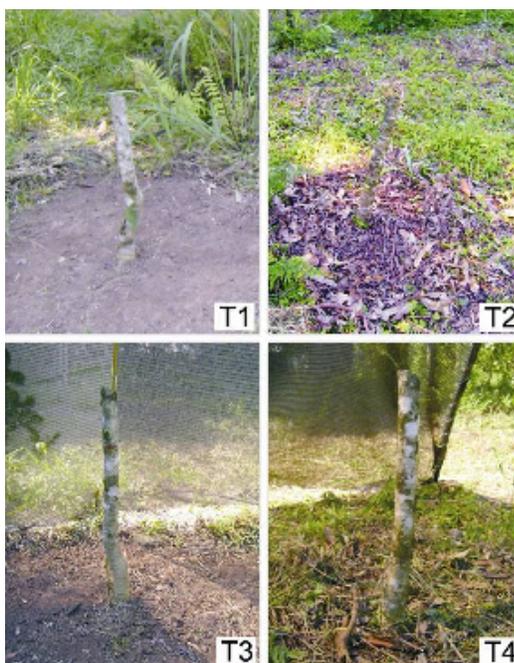


Figura 3 – Aspecto das erveiras podadas juntamente com a aplicação dos seus respectivos tratamentos.

O material usado como cobertura orgânica sobre o solo foi a serapilheira de um plantio de eucalipto localizado ao lado das erveiras, como também o material resultante da poda das erveiras (folhas e ramos finos). Foi colocado em torno de 5 cm de camada do material, coroando a planta, sendo esse material repostado mensalmente, sempre preservando a altura de 5 cm. Nos tratamentos sem cobertura de solo, as erveiras ficavam com o solo totalmente exposto.

O sombreamento da copa das árvores foi realizado mediante a construção de estruturas de bambu sobre as quais foi colocada uma tela de plástico preta com grau de sombreamento de 50%. Com essas telas, foram formados anteparos sobre as copas das erveiras de modo que estas ficassem sombreadas a partir das 12 horas do dia.

4.3.1 Avaliações

Primeiramente, as árvores foram avaliadas dendrometricamente. Após essa avaliação, as erveiras foram podadas, sua biomassa foi fracionada em biomassa comercial e residual e, por fim, foram submetidas aos seus respectivos tratamentos.

4.3.1.1 Variáveis avaliadas no estudo preliminar

Em setembro de 2007, para a caracterização da produtividade do plantio, antes da aplicação dos tratamentos, foram consideradas as seguintes variáveis:

a) **ht** – Altura total da erveira (m);

Corresponde à distância do solo até a altura média dos brotos mais altos, medida com régua de 3 m, com precisão de 0,1 m. Para erveiras maiores que 3 m, a medição da altura foi realizada pelo processo indireto, com o auxílio do hipsômetro eletrônico Vertex, com precisão de 0,1 m.

b) **g_{0,1}** – Área basal do tronco a 0,1 m de altura do solo (m²);

Determinada pela conversão do perímetro a 0,1 m de altura, com auxílio de fita métrica de precisão de 0,01 m. Quando as erveiras apresentavam múltiplos troncos, a área basal foi obtida pelo somatório da área basal de cada fuste.

c) **g_{0,6}** – Área basal do tronco a 0,60 m de altura do solo (m²);

Tomada pela conversão do perímetro a 0,60 m de altura, com auxílio de fita métrica e precisão de 0,01 m. Quando as erveiras apresentavam múltiplos troncos, a área basal foi obtida pelo somatório da área basal de cada fuste.

d) **nt1** – Número de troncos com mais de 0,01 m de diâmetro à altura de 0,1 m do solo.

Valor obtido pela contagem do número de registros para obtenção de g_{0,1}.

e) **nt6** – Número de troncos com mais de 0,01 m de diâmetro à altura de 0,6 m do solo.

Valor obtido pela contagem do número de registros para obtenção de g_{0,6}.

f) **dmc** – Diâmetro médio da copa (m);

Obtido pela média dos oito raios com ângulos entre si de 45°, multiplicado por dois. Para determinação acurada dos raios e ângulos, utilizou-se um gabarito desmontável, com sistema de encaixe macho-fêmea, confeccionado com tubos de aço de seção quadrada, com bitolas de 15 e 20 mm (Figura 4). Os raios foram determinados com auxílio de um bastão que, ao ser suspenso pela extremidade superior, funcionou como prumo, indicando, assim, na régua graduada do gabarito, a distância do centro do gabarito que corresponde, de fato, ao centro da árvore até o limite horizontal da copa naquele raio. Quando o raio do gabarito era menor que a copa da árvore, complementava-se com uma trena metálica.

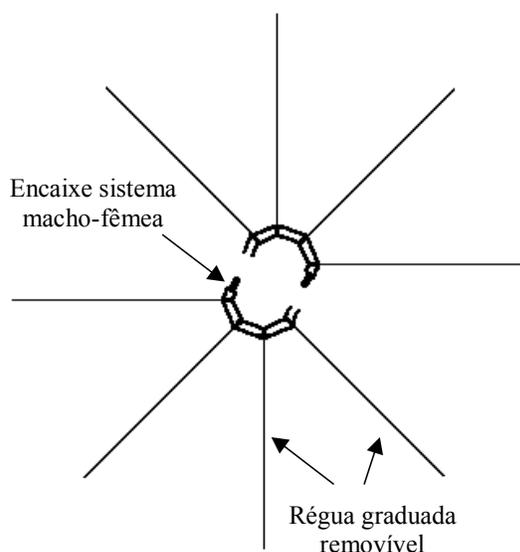


Figura 4 – Gabarito utilizado para determinação dos raios da copa. (Fonte: Fleig et al., 2003).

g) **ac** – Área de projeção da copa (m^2);

Para determinação da área de projeção da copa (ac), em m^2 , utilizou-se a seguinte fórmula: $ac = 0,25 \cdot \pi \cdot (dmc)^2$.

h) **bc** – Biomassa comercial (g);

Peso verde das frações constituídas de ramos finos (menores que 0,15 mm), brotos e folhas, determinado com auxílio de balança digital de 5 Kg, capacidade de carga e resolução de 0,01 g.

i) **br** – Biomassa residual (g);

Peso verde dos galhos com diâmetro maior que 0,15 mm, determinado com auxílio de balança digital de 5 Kg, capacidade de carga e resolução de 0,01g.

j) **bt** – Biomassa total (g);

Obtida pelo somatório do peso verde da biomassa comercial (bc) e biomassa residual (br).

4.3.1.2 Variáveis avaliadas no estudo principal

Em setembro de 2008, um ano após a poda e aplicação dos tratamentos, foram consideradas as seguintes variáveis para a caracterização da produtividade:

a) **ht** – Altura total da erveira (m);

b) **dmc** – Diâmetro médio da copa (m);

c) **ac** – Área de projeção da copa (m²);

d) **c3** – Comprimento médio dos três brotos mais longos (cm);

Determinado pela média dos comprimentos dos três brotos mais longos de cada erveira, com auxílio de trena de resolução de 0,001 m.

e) **g** – Área basal do broto (m²);

Tomada pela conversão do perímetro da base de cada broto das erveiras, com auxílio de paquímetro de resolução de 0,001 m.

f) **ct** – Comprimento total (cm);

Corresponde ao comprimento total do eixo principal de cada broto das erveiras. Determinado com auxílio de trena de resolução de 0,001 m (Figura 5).

g) **cf** – Comprimento folhado (cm);

Corresponde ao comprimento do eixo principal de cada broto que possui folhas. Determinado com auxílio de trena de resolução de 0,001 m (Figura 5).

h) **nf** – Número de folhas;

Obtido mediante a contagem do número de folhas do eixo principal de cada broto.

i) $\sum \mathbf{ct}$ – Somatório do comprimento total (cm);

Corresponde ao somatório do comprimento total do eixo principal mais os eixos (ramos) secundários de cada broto. Determinado com auxílio de fita métrica de resolução de 0,001 m (Figura 5).

j) Σcf – Somatório do comprimento folhado (cm);

Corresponde ao somatório do comprimento do eixo principal mais os eixos (ramos) secundários de cada broto que possui folhas. Determinado com auxílio de trena de resolução de 0,001 m (Figura 5).

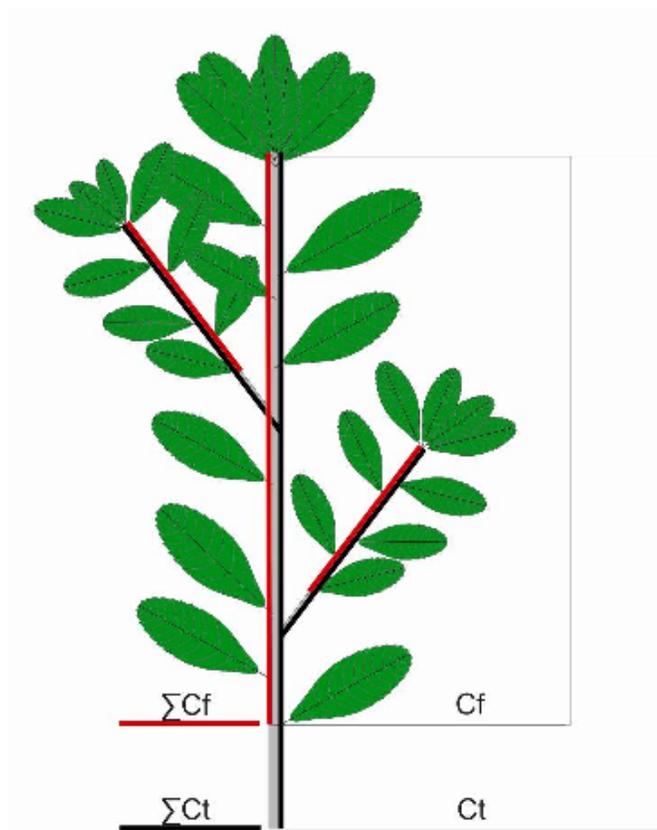


Figura 5 – Esquema representativo do comprimento total (ct), comprimento folhado (cf), somatório do comprimento total (Σct) e somatório do comprimento folhado do broto de uma erva-mate. Organizador: Lopes (2008).

K) Σnf – Somatório do número de folhas;

Determinado pelo somatório do número de folhas do eixo principal mais os eixos (ramos) secundários de cada broto.

l) **ctm** – Comprimento total médio (cm);

Obtido através da relação do somatório do comprimento total (Σct) pelo número de brotos de cada árvore;

m) **cfm** – Comprimento folhado médio (cm);

Obtido através da relação do somatório do comprimento folhado (Σcf) pelo número de brotos de cada árvore;

n) **nfm** – Número de folhas médio;

Obtido através da relação do somatório do número de folhas ($\sum nf$) pelo número de brotos de cada árvore;

o) **dm** – Diâmetro médio (mm);

Obtido através da relação do somatório dos diâmetros de cada broto pelo número de brotos de cada árvore;

p) **nrs** – Número de ramos secundários;

Obtido pela contagem do número de ramos secundários originados do eixo principal de cada broto.

q) **bc** – Biomassa comercial (g);

Determinada através do peso verde da biomassa comercial das erveiras podadas à altura de 0,60 m dos blocos 2, 3, 7 e 10 com auxílio de balança digital de 5 Kg de capacidade de carga e resolução de 0,01 g. Para as demais erveiras, a biomassa comercial verde foi estimada pelo somatório da biomassa dos brotos.

r) **bcs** – Biomassa comercial seca (g);

Obtida pela secagem da biomassa comercial das erveiras dos blocos 2, 3, 7 e 10 em estufa de circulação e renovação de ar até atingirem peso constante. O peso foi determinado com auxílio de balança digital de 5 Kg capacidade de carga e resolução de 0,01 g.

4.4 Análises estatísticas

4.4.1 Análise dos dados

As análises do experimento foram realizadas com o auxílio do Software Statistical Analysis System (SAS), versão 9.1 (SAS Institute Inc., 1999).

4.4.1.1 Análise de variância

Foram feitas análises de variância das variáveis dendrométricas para verificar o efeito dos blocos e os tratamentos do estudo preliminar e do estudo principal. As diferenças estatísticas entre as médias foram determinadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4.4.1.2 Análise de correlação simples

Foram estabelecidas correlações lineares simples de todas as variáveis dendrométricas do estudo preliminar, do estudo principal e entre si. Foram consideradas significâncias de 1 e 5 % de probabilidade de erro.

4.4.1.3 Análise de regressão múltipla

As análises de regressão múltipla foram feitas usando o método STEPWISE. A variável dependente foi testada na forma aritmética, logarítmica, exponencial e inversa, enquanto que as variáveis independentes foram testadas nas formas: aritmética, logarítmica, quadrática, suas respectivas inversas e inversas quadráticas, para modelar a biomassa comercial. Para selecionar o melhor modelo de regressão, analisou-se o ajuste de cada equação comparativamente, observando-se os seguintes critérios estatísticos: menor coeficiente de variação (CV%), o maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajus}), o maior valor de F e a melhor distribuição dos valores observados x estimados.

4.4.1.4 Análise de covariância

A análise de covariância (ANACOVA) foi aplicada para verificar o efeito de blocos e tratamentos nas funções, como também para verificar a necessidade do uso de funções independentes, comparando essas últimas em relação a seu paralelismo, indicando assim a existência ou não de diferentes padrões de comportamento. A inclinação e o nível das curvas foram verificados utilizando o procedimento GLM do software SAS com significância de 95%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estudo preliminar

5.1.1 Análise das variáveis dendrométricas

Pela análise de variância das variáveis dendrométricas das erveiras medidas antes da aplicação dos tratamentos, ou seja, no estudo preliminar (Tabela 1), verifica-se que a altura total, o diâmetro de copa, a área de projeção da copa, as áreas basais do fuste e as biomassas apresentaram efeito somente entre blocos (valor de F significativo a 1% de probabilidade de erro), demonstrando assim a homogeneidade das plantas somente dentro dos blocos e a necessidade de ter sido realizado o bloqueamento.

Tabela 1 – Análise de variância das variáveis medidas em 2007, sob efeito de blocos e tratamentos em um plantio de erva-mate nunca antes podado, aos 9 anos de idade.

Variáveis	FV	F	Prob.> F
ht	Bl.	12,53	<,0001
	Trat.	1,26	0,3075
dc	Bl.	4,98	0,0005
	Trat.	0,48	0,7014
ac	Bl.	4,34	0,0014
	Trat.	0,45	0,7163
g _{0,1}	Bl.	25,78	<,0001
	Trat.	2,51	0,0804
g _{0,6}	Bl.	13,75	<,0001
	Trat.	0,91	0,4475
bc	Bl.	6,34	<,0001
	Trat.	2,01	0,1366
br	Bl.	12,53	<,0001
	Trat.	0,48	0,6965
bt	Bl.	12,56	<,0001
	Trat.	1,47	0,2452
bf	Bl.	5,45	0,0003
	Trat.	1,34	0,2819

ht = altura total; ac = área de copa; dc = diâmetro de copa; g_{0,1} = área basal a 0,1 m do solo; g_{0,6} = área basal a 0,6 m do solo; bc = biomassa comercial; br = biomassa residual; bt = biomassa total; bf = biomassa foliar; FV = fonte de variação; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob.>F = nível de probabilidade de erro.

O teste de Tukey, (Tabela 2), comprova a diferença entre blocos. Observa-se que, as menores médias para todas as variáveis se concentram nos blocos 10 e 12. Após um período de 9 anos, as diferenças de altura indicam as condições do sítio para o desenvolvimento da erva-mate, distribuídos em quatro grupos, apresentando média geral de 3,0 m, variando de 3,89 a 1,79 m. A área de projeção da copa variou 33% e apresentou média de 1,72 m²; a área basal 27 % e 0,0019 m²; a biomassa comercial 35% e 1,65 Kg/arv.; a residual 32% e 2,95 Kg/arv. e a total 28% e 5,59 Kg/arv de CV e média geral, respectivamente. Fossati (1997), em um plantio homogêneo de erva-mate aos sete anos de idade com espaçamento de plantio 2 x 2 m, no município de São Bento do Sul, encontrou valores superiores, sendo que o valor médio de altura total equivalente foi de 3,24 m e para a área de projeção da copa 2,34 m².

O maior valor da área de projeção da copa encontrado por Fossati (1997), pode ser explicado pelo maior espaçamento na linha, pois de acordo com Scheeren et al., (2003), conforme as árvores se desenvolvem, suas copas e raízes necessitam gradativamente de um maior espaço para continuarem a crescer e, em caso do espaço ser restrito, instala-se o processo de concorrência entre os indivíduos tendo a necessidade de haver alguma intervenção silvicultural. Já o maior valor de altura pode estar associado às melhores características do sítio, pois de acordo com Spathelf e Nutto (2000), há vários fatores externos que influenciam no crescimento, sendo que alguns deles são fixos ou pouco variáveis (como a qualidade do sítio, a genética e o clima), e que outros podem ser usados para conduzir o crescimento tal como o espaço vital. O crescimento em altura depende dos fatores climáticos e das propriedades do solo. Um sítio de boa qualidade propicia um melhor crescimento em altura.

Sobre isto, Schneider; Schneider (2008), complementam, ainda, que o excesso de densidade pouco influi no crescimento longitudinal, a menos que esse excesso seja tão grande que produza a estagnação do crescimento ou que o povoamento seja tão ralo que as árvores estejam expostas a tensões excessivas no fuste e raízes, para que as árvores alcancem maior estabilidade.

Tabela 2 – Teste de comparação de médias (Tukey) entre os blocos de um plantio de erva-mate nunca antes podado, aos 9 anos de idade.

Blocos	N.	Médias ht (m)	Blocos	N.	Médias ac (m ²)
2	4	3,89 a	2	4	2,67 a
4	4	3,88 a	7	4	2,28 a b
8	4	3,41 a b	8	4	2,23 a b
3	4	3,14 a b c	9	4	2,03 a b c
9	4	3,00 b c	4	4	1,83 a b c
1	4	2,95 b c	3	4	1,59 a b c
7	4	2,9 b c	5	4	1,54 a b c
5	4	2,76 b c	1	4	1,36 a b c
10	4	2,26 c d	10	4	1,05 b c
12	4	1,79 d	12	4	0,66 c

Blocos	N.	Médias g _{0,6} (m ²)	Blocos	N.	Médias bc (g)
4	4	0,0032 a	2	4	2637 a
2	4	0,0029 a	4	4	2430 a b
8	4	0,0028 a b	9	4	2195 a b c
7	4	0,0025 a b	3	4	1987 a b c d
9	4	0,0024 a b	7	4	1839 a b c d
5	4	0,0022 a b c	8	4	1807 a b c d
3	4	0,0016 b c d	1	4	1115 b c d
1	4	0,0009 c d	5	4	981 c d
10	4	0,0007 d	10	4	827 d
12	4	0,0003 d	12	4	681 d

Blocos	N.	Médias br (g)	Blocos	N.	Médias bt (g)
8	4	4981,5 a	2	4	8923 a
2	4	4590,5 a	4	4	8520 a b
4	4	4545,8 a	8	4	7588 a b
9	4	3549,8 a	9	4	7098 a b
5	4	3542,0 a	3	4	6332 a b c
7	4	3437,3 a	7	4	6263 a b c
3	4	3049,5 a b	5	4	4995 b c d
1	4	1033,8 b c	1	4	2859 c d
10	4	583,8 c	10	4	1971 d
12	4	221,3 c	12	4	1361 d

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro. Em que: ht = altura total; ac = área de projeção da copa; g_{0,6} = área basal; bc = biomassa comercial; br = biomassa residual e bt = biomassa total entre os blocos de um plantio de erva-mate no ano de 2007.

5.1.2 Correlações entre as variáveis dendrométricas

Todas as variáveis de produtividade avaliadas no estudo preliminar apresentaram correlação positiva significativa (Tabela 3). As correlações do diâmetro médio da copa (dmc) e da área de projeção da copa (ac), com área basal e número de troncos, aumentam com a altura, havendo maiores correlações com a área basal a 0,6 m de altura, com a área basal a 0,1 m de altura e, após, com a altura total, respectivamente. Valores semelhantes foram encontrados por Fleig (2002) que também constatou que a área basal obtida a 0,6 m de altura é a que apresenta maior correlação com o dmc, encontrando valor de $r = 0,78$, e de 0,67, com a altura total em um povoamento de *Ilex paraguariensis* aos 14 anos de idade no estado de Santa Catarina.

Tabela 3 – Matriz de correlações entre as variáveis dendrométricas do plantio de erva-mate aos 9 anos de idade.

Var.	dmc	ac	ht	g _{0,1}	nt1	g _{0,6}	nt6	bc	br	bf	bt
dmc	-										
ac	0,99**	-									
ht	0,66**	0,62**	-								
g _{0,1}	0,68**	0,65**	0,74**	-							
nt1	0,61**	0,62**	0,35*	0,55**	-						
g _{0,6}	0,75**	0,73**	0,76**	0,95**	0,53**	-					
nt6	0,63**	0,65**	0,38*	0,51**	0,94**	0,56**	-				
bc	0,62**	0,62**	0,71**	0,68**	0,46**	0,76**	0,52**	-			
br	0,67**	0,63**	0,72**	0,86**	0,52**	0,87**	0,51**	0,67**	-		
bf	0,54**	0,55**	0,66**	0,53**	0,32*	0,62**	0,41**	0,95**	0,52**	-	
bt	0,70**	0,68**	0,79**	0,86**	0,52**	0,88**	0,55**	0,90**	0,93**	0,79**	-

dmc = diâmetro médio da copa; ac = área de projeção da copa; ht = altura total; g_{0,1} = área basal a 0,1 m do solo; nt_{0,1} = número de troncos a 0,10 m do solo; g_{0,6} = área basal a 0,6 m do solo; nt_{0,6} = número de troncos a 0,60 m do solo; bc = biomassa comercial; br = biomassa residual; bt = biomassa total; bf = biomassa foliar; * = significância a 5 %; ** = significância a 1%.

De acordo com a Tabela 3, é possível observar que o peso verde da biomassa comercial (bc) teve maior correlação com a área basal a 0,6 m de altura e em segundo com a altura total. Fleig (2002) encontrou correlações maiores entre biomassa comercial. Para o autor, esta teve relação de 89% com a área basal a 0,6

m de altura e 79% com a altura total. Os valores superiores de correlação encontrados no estudo deste autor podem ser atribuídos à maior homogeneidade do povoamento.

5.1.3 Biomassa comercial (bc) como função da área basal ($g_{0,6}$) e altura total (ht)

Devido a maior significância da correlação entre a área basal e a altura total com a biomassa comercial (Tabela 3), as mesmas foram utilizadas como variáveis independentes para determinar o estudo da relação dessas variáveis com a biomassa comercial (Tabela 4).

Tabela 4 – Modelos de regressão obtidos pelo procedimento Stepwise para descrever a biomassa comercial (bc) em função da área basal ($g_{0,6}$) e altura total (ht) para erveiras aos 9 anos de idade.

N.	Modelo	Parâmetros	CV%	F	R ²
1	$bc = b_0 + b_1 \cdot (g_{0,6} \cdot ht)$	$b_0 = 633,0435^{**}$ $b_1 = 159114^{**}$	30,8	69,65**	0,63
2	$\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln (g_{0,6} \cdot ht)$	$b_0 = 9,6533^{**}$ $b_1 = 0,4412^{**}$	4,4	69,24**	0,64
3	$\sqrt{bc} = b_0 + b_1 \cdot (g_{0,6} \cdot ht)$	$b_0 = 26,9783^{**}$ $b_1 = 1935,3042^{**}$	15,47	71,83 **	0,64
4	$1/bc = b_0 + b_1 \ln \cdot (g_{0,6} \cdot ht)$	$b_0 = -0,0012^{**}$ $b_1 = -0,0004^{**}$	31,24	83,91**	0,68

bc = biomassa comercial do ramo; $g_{0,6}$ = área basal a 0,6 m de altura; ht = altura total; b_0 , b_1 = parâmetros das equações; R² = coeficiente de determinação; CV% = coeficiente de variação em percentagem; F = teste de F; ** = significância a 1%.

Foi selecionada somente a variável independente representada pela combinação da área basal com a altura total ($g_{0,6} \cdot ht$), que, de acordo com a Tabela 4, gerou valores baixos de coeficientes de determinação. O melhor modelo é o número 2, que logaritmiza as variáveis dependentes e independentes, gerando as melhores estatísticas (baixo valor coeficiente de variação e razoável coeficiente de determinação) quando comparadas às demais.

Apesar da significância do modelo, verifica-se, pela Figura 6, que as biomassas maiores que 2500 g são subestimadas sistematicamente, não sendo, pois, indicadas para estimativas de erveiras com mais de 2000 g de biomassa comercial.

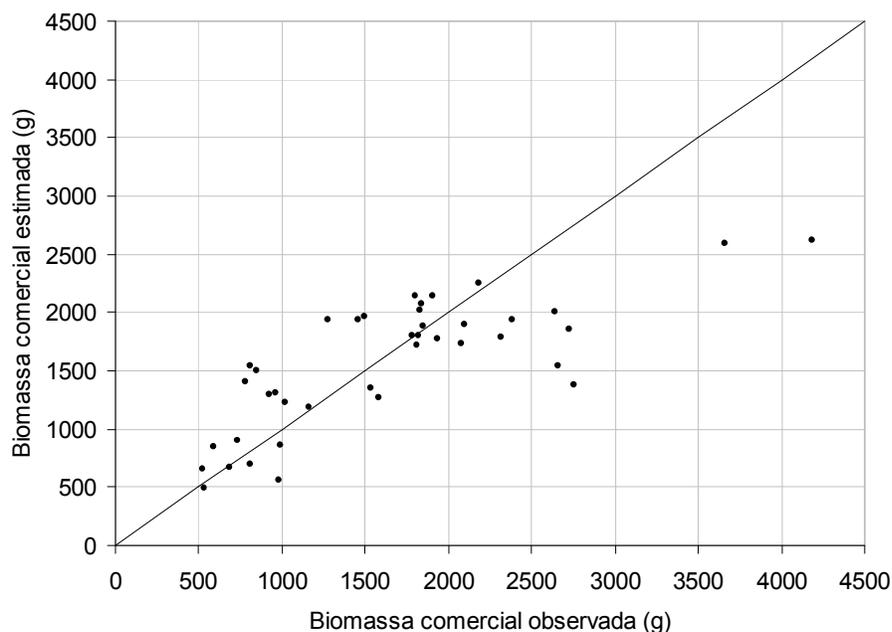


Figura 6 - Distribuição dos valores observados e estimados da equação: $\ln bc = 9,6533 + 0,4412 \ln (g_{0,6} \cdot ht)$ para erveiras aos 9 anos de idade.

A análise de covariância apresentada na Tabela 5 está indicando que, no modelo, para a variável independente $\ln (g_{0,6} \cdot ht)$, ocorreu diferença significativa para um nível de 1% de probabilidade de erro. No entanto, para blocos, acusou diferença significativa somente para um nível de probabilidade de erro superior a 1,9%.

Tabela 5 – Análise de covariância da função $\ln bc = b_0 + b_1 \ln (g_{0,6} \cdot ht) + \text{blocos}$ para erveiras aos 9 anos de idade.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Modelo	10	8,8999	0,8899	12,24	<,0001
$\ln (g_{0,6} \cdot ht)$	1	0,5934	0,5933	8,16	0,0078
blocos	9	1,7926	0,1991	2,74	0,0190
Resíduo	29	2,1078	0,0727		
Total	39	11,0076			

Sendo: $g_{0,6}$ = área basal a 0,6 m de altura; ht = altura total; bc = biomassa comercial; FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob.>F = nível de probabilidade de erro.

5.2 Avaliação do experimento (estudo principal)

5.2.1 Estimativa da biomassa comercial

Para a modelagem da biomassa comercial produzida um ano após a poda e aplicação dos tratamentos, podou-se 16 erveiras. Nelas, foram avaliadas as variáveis dendrométricas e biomassa comercial, pois, um ano após a primeira poda, elas ainda não haviam produzido biomassa residual. Para as demais, decidiu-se modelar a biomassa dos brotos e somar suas estimativas para a obtenção da biomassa comercial.

Visando encontrar uma equação que estimasse a biomassa comercial, primeiramente, dividiram-se os brotos de cada erveira podada em três categorias, conforme seus comprimentos totais, devido às suas características diferenciadas:

- a) brotos curtos, com comprimento total entre 0 a 10 cm, cujo comprimento entre cada entrenó é bem menor que os brotos mais longos;
- b) brotos longos simples (sem inserções secundárias), que possuem somente eixo principal;
- c) brotos longos compostos (com inserções secundárias), ou seja, brotos com eixo principal ortotrópico com ramos ou inserções secundárias plagiotrópicas.

5.2.1.1 Brotos curtos

Considerando-se a Tabela 6, verifica-se que todas as variáveis testadas para brotos curtos apresentaram correlação significativa a 1% de probabilidade de erro; no entanto, o comprimento folhado (cf) apresentou maior correlação com a biomassa comercial, seguido pelo comprimento total (ct), sendo verificadas suas dispersões na Figura 7.

Tabela 6 – Coeficiente de correlação de Pearson para brotos curtos (de 1 a 10 cm) de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

Variáveis	bc	d	ct	cf	nf
bc	-	0,58**	0,71**	0,90**	0,48**
d	0,58**	-	0,58**	0,60**	0,62**
ct	0,71**	0,59**	-	0,86**	0,46**
cf	0,90**	0,60**	0,86**	-	0,56**
nf	0,49**	0,62**	0,46**	0,56**	-

Em que: bc = biomassa comercial do broto; d = diâmetro do colo broto; ct = comprimento total do broto; cf = comprimento do broto folhado; nf = número de folhas por broto; ** = significância a 1 %.

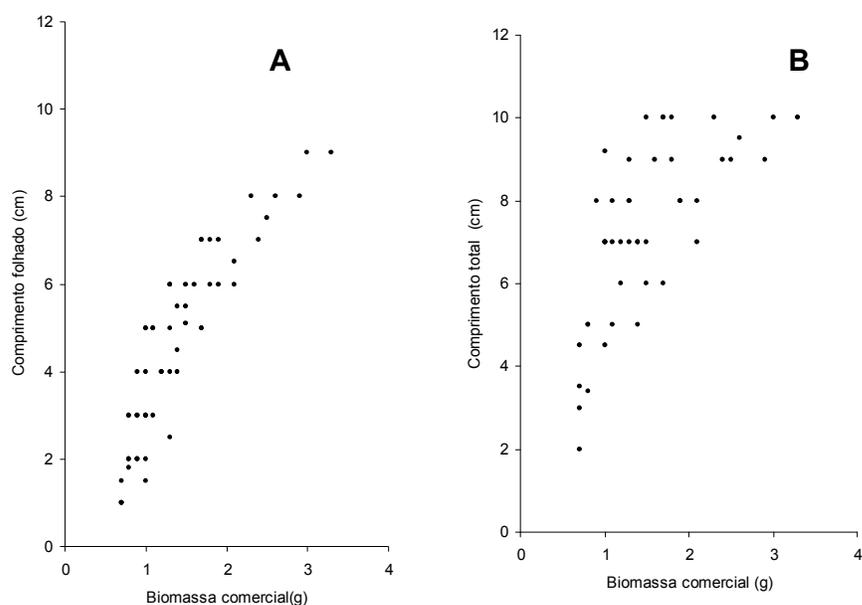


Figura 7 – Dispersão dos valores observados do comprimento folhado e biomassa comercial de brotos curtos (A) e comprimento total e biomassa comercial de brotos curtos (B) de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

As equações geradas para a estimativa da biomassa comercial de brotos curtos de erveiras podadas aos 10 anos apresentaram bons ajustamentos. Destaca-se a equação de número 5, pois apresentou baixo valor de coeficiente de variação, altos valores da estatística F e o segundo melhor coeficiente de determinação ajustado (Tabela 7). Na tentativa de melhorar as estatísticas, adicionando outra variável a esse modelo como, por exemplo, o comprimento total do broto, não se obteve resultado satisfatório, uma vez que o valor do coeficiente de determinação pouco variou, passando de 0,89 para 0,90. O coeficiente de variação também sofreu pouca modificação, passando de 7,08 a 6,69; já o valor de F, por sua vez, diminuiu

de 355,77 para 202,49. Como a adição da variável comprimento total do broto principal ao modelo não foi capaz de explicar com um nível mais expressivo de significância e, por motivos de praticidade, a biomassa de brotos curtos foi estimada somente pelo comprimento folhado do broto para esse povoamento de erveiras, sendo, para tanto, selecionada a seguinte equação: $\sqrt{bc} = 0,8682 + 0,0113 \cdot cf^2$.

Tabela 7 – Estatística dos modelos selecionados por Stepwise para brotos curtos (1 a 10 cm) de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

Var. dep.	N.	Modelo	Parâmetros	CV%	F	R ² aj
bc	1	$bc = b_0 + b_1 \cdot cf^2$	$b_0 = 0,6579^{**}$ $b_1 = 0,0289^{**}$	14,74	338,85 ^{**}	0,88
	2	$bc = b_0 + b_1 \cdot cf^2 + b_2 \cdot \ln ct$	$b_0 = 1,0142^{**}$ $b_1 = 0,0323^{**}$ $b_2 = -0,2341^*$	14,43	178,10 ^{**}	0,89
ln bc	3	$\ln bc = b_0 + b_1 \cdot cf^2$	$b_0 = -0,2159^{**}$ $b_1 = 0,0183^{**}$	46,1	300,31 ^{**}	0,87
	4	$\ln bc = b_0 + b_1 \cdot cf^2 + b_2 \cdot ct^2$	$b_0 = -0,1831^{**}$ $b_1 = 0,0222^{**}$ $b_2 = -0,0023^*$	43,97	167,68 ^{**}	0,88
\sqrt{bc}	5	$\sqrt{bc} = b_0 + b_1 \cdot cf^2$	$b_0 = 0,8682^{**}$ $b_1 = 0,0113^{**}$	7,08	355,77 ^{**}	0,89
	6	$\sqrt{bc} = b_0 + b_1 \cdot cf^2 + b_2 \cdot ct^2$	$b_0 = 0,8882^{**}$ $b_1 = 0,0136^{**}$ $b_2 = -0,0014^*$	6,69	202,49 ^{**}	0,90
1/bc	7	$1/bc = b_0 + b_1 \ln cf$	$b_0 = 1,5575^{**}$ $b_1 = -0,5222^{**}$	14,34	314,11 ^{**}	0,88
	8	$1/bc = b_0 + b_1 \cdot \ln cf + 1/cf$	$b_0 = 2,1845^{**}$ $b_1 = -0,8044^{**}$ $b_2 = -0,7528^{**}$	12,79	203,40 ^{**}	0,90

Em que: bc = biomassa comercial do broto; ct = comprimento total do broto; cf = comprimento folhado do broto; b_0 , b_1 , b_2 = parâmetros das equações; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; CV% = coeficiente de variação em percentagem; F = teste de F; * = significância a 5 %; ** = significância a 1%; ns = não significativo.

A partir da plotagem dos dados observados e estimados, observa-se que a equação selecionada não demonstra tendenciosidade em superestimar ou subestimar os valores de biomassa comercial para brotos curtos (Figura 8).

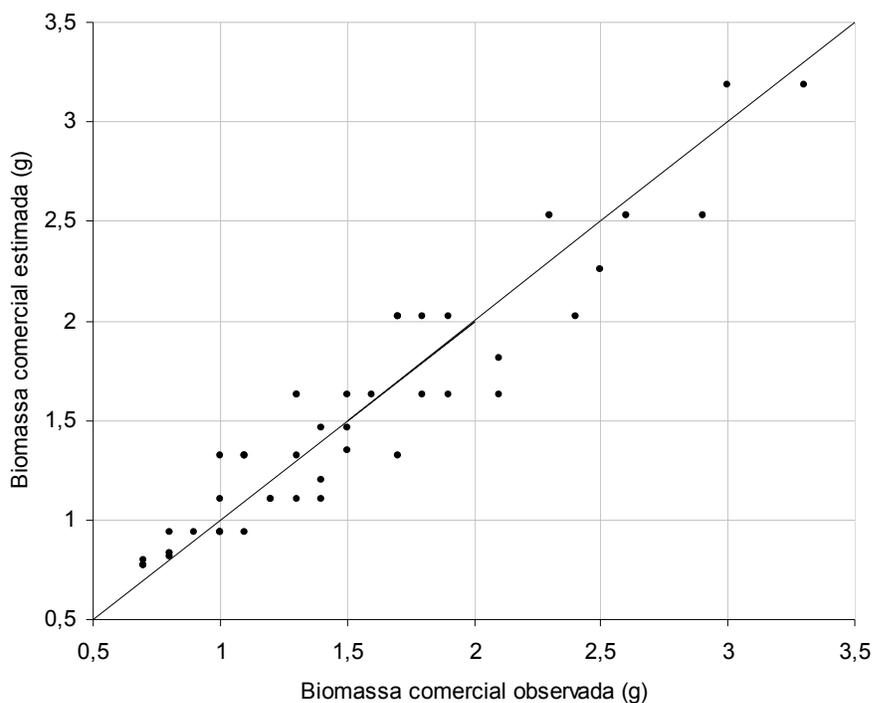


Figura 8 – Distribuição dos valores observados e estimados com a equação: $\sqrt{bc} = 0,8682 + 0,0113 \cdot cf^2$ para brotos curtos de ervaes podadas aos 10 anos de idade.

5.2.1.2 Brotos longos simples

Grande parte das correlações entre as variáveis medidas dos brotos longos simples (sem inserções secundárias) apresentaram valores altamente significativos (Tabela 8). Para a biomassa comercial, a relação $bc = f(cf)$ foi a melhor, seguida da relação $bc = f(ct)$, em que as dispersões dos valores observados é apresentada na Figura 9.

Tabela 8 – Coeficiente de correlação de Pearson para brotos longos simples de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

Variáveis	bc	d	ct	cf	nf
bc	-				
d	0,83**	-			
ct	0,91**	0,77**	-		
cf	0,95**	0,79**	0,96**	-	
nf	0,88**	0,76**	0,83**	0,88**	-

Em que: bc = biomassa comercial do broto; d = diâmetro do colo broto; ct = comprimento total do broto; cf = comprimento folhado do broto; nf = número de folhas por broto; ** = significância a 1%.

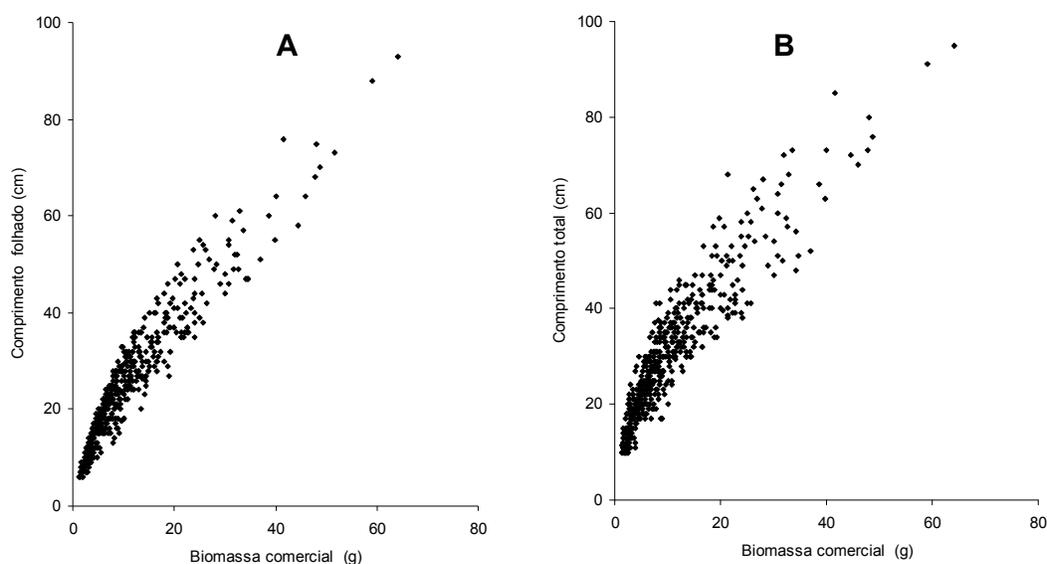


Figura 9 – Dispersão dos valores observados de biomassa comercial e comprimento folhado de brotos longos simples (A) e de comprimento total de brotos longos simples (B) de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

De acordo com as estatísticas dos modelos selecionados pelo procedimento passo a passo (Stepwise), da Tabela 9, constata-se que o comprimento folhado e o diâmetro explicam de forma satisfatória a biomassa comercial, destacando-se as equações 3 e 4, cuja logaritmização das variáveis biomassa e comprimento folhado resultou em menor coeficiente de variação (CV%), o que gerou altos valores de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}). Como a adição da variável diâmetro ao modelo 3 contribuiu pouco para melhorar as estatísticas do modelo, a biomassa comercial foi estimada somente pelo comprimento do broto folhado a partir da

seguinte equação: $\ln bc = -2,1456 + 1,3808 \cdot \ln cf$, sendo a distribuição dos seus valores estimados observável na Figura 10.

Tabela 9 – Estatística dos modelos selecionados por Stepwise para brotos longos simples de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

Var. dep.	N.	Modelo	Parâmetros	CV%	F	R ² aj
bc	1	$bc = b_0 + b_1 \cdot cf^2$	$b_0 = 3,6975^{**}$ $b_1 = 0,0090^{**}$	28,42	4023,27 ^{**}	0,89
	2	$bc = b_0 + b_1 \cdot cf^2 + b_2 \cdot \ln d^2$	$b_0 = -0,0319^{ns}$ $b_1 = 0,0076^{**}$ $b_2 = 2,3084^{**}$	24,34	2831,64 ^{**}	0,92
ln bc	3	$\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln cf$	$b_0 = -2,1456^{**}$ $b_1 = 1,3808^{**}$	10,66	5841,99 ^{**}	0,92
	4	$\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln cf + b_2 \ln d^2$	$b_0 = -1,8807^{**}$ $b_1 = 1,1760^{**}$ $b_2 = 0,1738^*$	9,29	3928,01 ^{**}	0,94
√bc	5	$\sqrt{bc} = b_0 + b_1 \cdot \ln cf$	$b_0 = -3,3359^{**}$ $b_1 = 2,0903^{**}$	15,5	2924,87 ^{**}	0,85
	6	$\sqrt{bc} = b_0 + b_1 \cdot cf^2 + b_2 \cdot d^2$	$b_0 = -2,0524^{**}$ $b_1 = 1,5046^{**}$ $b_2 = 0,0438^*$	11,35	2942,68 ^{**}	0,92
1/bc	7	$1/bc = b_0 + b_1 \cdot \ln cf$	$b_0 = -0,0534^{**}$ $b_1 = 4,0724^{**}$	27,12	3998,51 ^{**}	0,89
	8	$1/bc = b_0 + b_1 \cdot \ln cf + 1/cf$	$b_0 = -0,0818^{**}$ $b_1 = 3,5347^{**}$ $b_2 = 0,0534^{**}$	26,11	1978,20 ^{**}	0,89

bc = biomassa comercial do broto; ct = comprimento total do broto; cf = comprimento folhado do broto; b_0 , b_1 , b_2 = parâmetros das equações; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; CV% = coeficiente de variação em percentagem; F = teste de F; * = significância a 5 %; ** = significância a 1%; ns = não significativo.

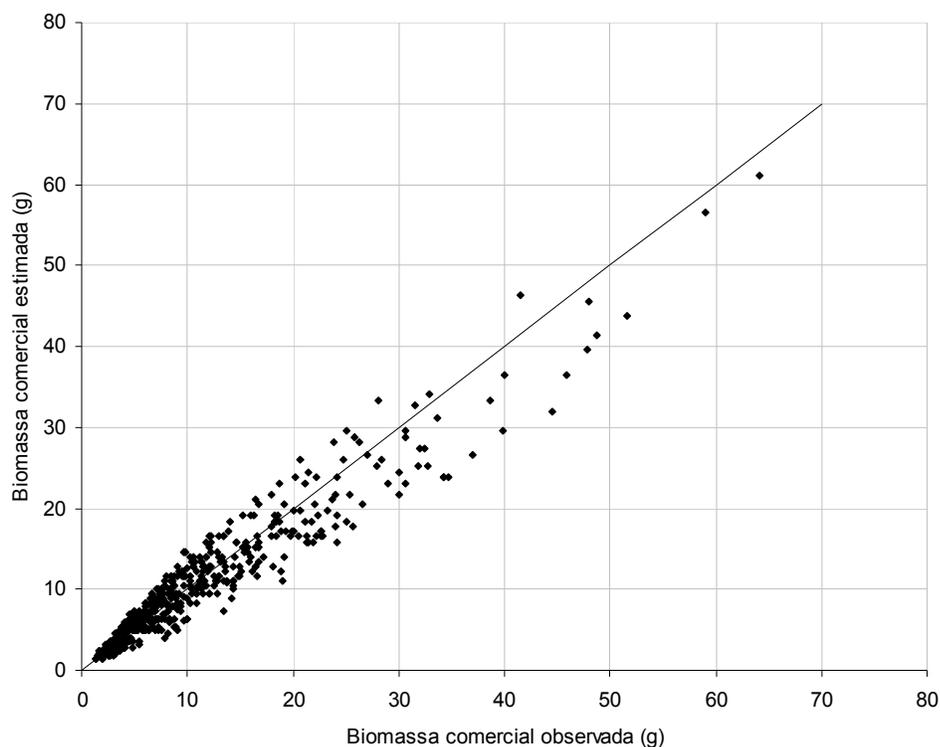


Figura 10 – Distribuição dos valores observados e estimados com a equação $\ln bc = -2,1456 + 1,3808 \ln cf$, para brotos longos simples de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

Os valores observados e estimados apresentaram boa distribuição (Figura 10); no entanto, quando a biomassa comercial aumenta (a partir de 34 g), a equação passa a adquirir uma tendência de subestimar.

5.2.1.3 Brotos longos compostos

Observando os ajustes das análises de correlação realizados entre as variáveis medidas dos brotos longos compostos (com ramos secundários), (Tabela 10), verifica-se que grande parte das correlações apresentou valores significativos positivos. Para a variável biomassa comercial, o somatório do comprimento folhado e o somatório do comprimento total do broto apresentaram maior correlação, sendo

possível verificar sua dispersão na Figura 11. As demais variáveis apresentaram valores decrescentes de correlação na seguinte ordem: $\sum nf > d > cf > ct > nf > nrs$.

Tabela 10 – Coeficiente de correlação de Pearson para brotos longos (com inserções secundárias) de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

Var.	bc	nrs	d	$\sum ct$	$\sum cf$	$\sum nf$	ct	cf	nf
bc	-								
nrs	0,76**	-							
d	0,88**	0,68**	-						
$\sum ct$	0,94**	0,87**	0,84**	-					
$\sum cf$	0,96**	0,84**	0,85**	0,98**	-				
$\sum nf$	0,91**	0,86**	0,85**	0,95**	0,95**	-			
ct	0,83**	0,51**	0,80**	0,80**	0,79**	0,71**	-		
cf	0,86**	0,55**	0,83**	0,83**	0,83**	0,75**	0,98**	-	
nf	0,77**	0,43**	0,83**	0,69**	0,72**	0,72**	0,84**	0,87**	-

Em que: bc = biomassa comercial do broto; nrs = número de ramos secundários; d = diâmetro do colo do broto; $\sum ct$ = somatório do comprimento total do broto; $\sum cf$ = somatório do comprimento folhado do broto; $\sum nf$ = somatório do número de folhas do broto; ct = comprimento total do broto; cf = comprimento folhado do broto; nf = número de folhas do broto; ** = significância a 1%.

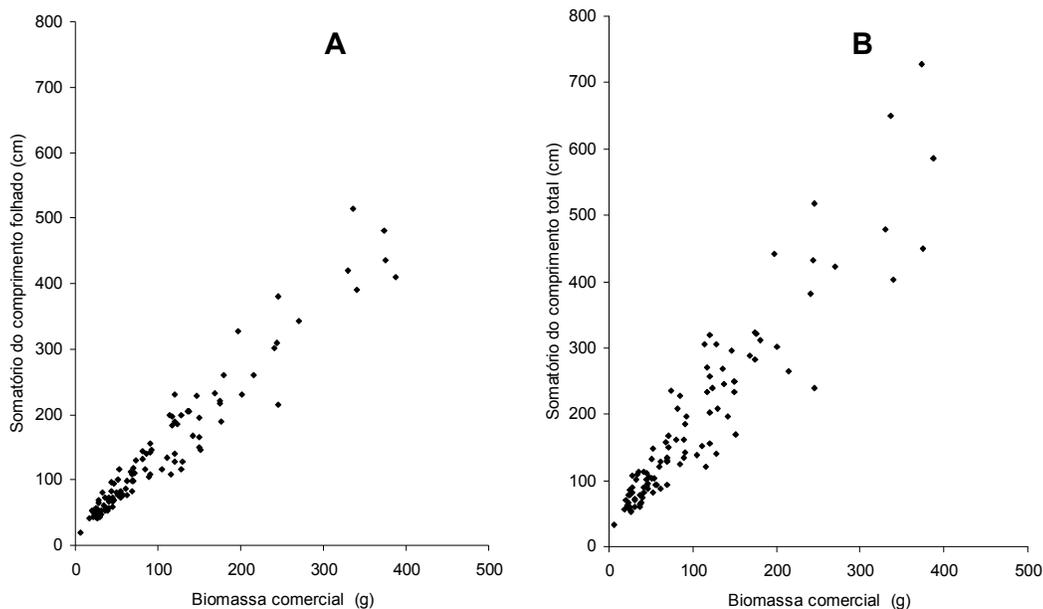


Figura 11 – Dispersão dos valores observados de comprimento folhado e biomassa comercial de brotos longos compostos (A) e comprimento total e biomassa comercial de brotos longos compostos (B) de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

As estatísticas de análise de regressão feitas pelo procedimento passo a passo entre as variáveis que apresentaram correlação com a biomassa comercial, são apresentados na Tabela 11. Verifica-se que as variáveis d , $\sum cf$ e $\sum nf$ geraram boas estimativas para a biomassa comercial de brotos longos compostos. Como ocorrido para os brotos longos simples, a logaritmização das variáveis dependentes e independentes melhorou as estatísticas do modelo (equações 3 e 4). Por praticidade e por apresentar bons ajustes, optou-se por estimar a biomassa comercial em função de somente uma variável ($\sum cf$), sendo a equação selecionada a de número 3 (Tabela 11): $\ln bc = -1,2676 + 1,1780 \cdot \ln \sum cf$.

Tabela 11 – Estatística dos modelos selecionados por Stepwise para brotos longos compostos de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

Var. dep.	N.	Modelo	Parâmetros	CV%	F	R ² aj
bc	1	$bc = b_0 + b_1 \cdot d^2$	$b_0 = 2,1806^{ns}$ $b_1 = 1,2481^{**}$	29,58	785,93 ^{**}	0,88
	2	$bc = b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 \cdot \sum cf^2$	$b_0 = 16,8411^{**}$ $b_1 = 0,8051^{**}$ $b_2 = 0,0006^{**}$	22,38	726,20 ^{**}	0,93
ln bc	3	$\ln bc = b_0 + b_1 \ln \sum cf$	$b_0 = -1,2676^{**}$ $b_1 = 1,1780^{**}$	5,05	1440,01 ^{**}	0,93
	4	$\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln \sum cf + b_2 \cdot \ln d^2$	$b_0 = -0,9346^{**}$ $b_1 = 0,8476^{**}$ $b_2 = 0,3023^{**}$	4,42	958,09 ^{**}	0,95
\sqrt{bc}	5	$\sqrt{bc} = b_0 + b_1 \cdot \ln \sum cf$	$b_0 = -16,7311^{**}$ $b_1 = 5,5167^{**}$	12,01	1191,61 ^{**}	0,92
	6	$\sqrt{bc} = b_0 + b_1 \cdot \sum cf^2 + b_2 \cdot d^2$	$b_0 = -9,2025^{**}$ $b_1 = 3,5216^{**}$ $b_2 = 0,0236^{**}$	8,83	1146,51 ^{**}	0,95
1/bc	7	$1/bc = b_0 + b_1 \cdot 1/\sum nf$	$b_0 = -0,0045^{**}$ $b_1 = 1,2561^{**}$	32,37	863,10 ^{**}	0,89
	8	$1/bc = b_0 + b_1 \cdot 1/\sum nf + \ln (cf/\sum nf)$	$b_0 = 0,0049^{**}$ $b_1 = 1,2835^{**}$ $b_2 = -0,0183^{**}$	26,63	662,96 ^{**}	0,92

Em que: bc = biomassa comercial do broto; d = diâmetro do colo do broto; $\sum nt$ = somatório do número de folhas do broto; $\sum cf$ = somatório do comprimento folhado do broto; b_0 , b_1 , b_2 = parâmetros das equações; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; CV% = coeficiente de variação em percentagem; F = teste de F; * = significância a 5%; ** = significância a 1%; ns = não significativo.

A partir da equação selecionada para estimar brotos longos compostos, plotou-se os valores observados e estimados (Figura 12), apresentando uma distribuição satisfatória dos mesmos.

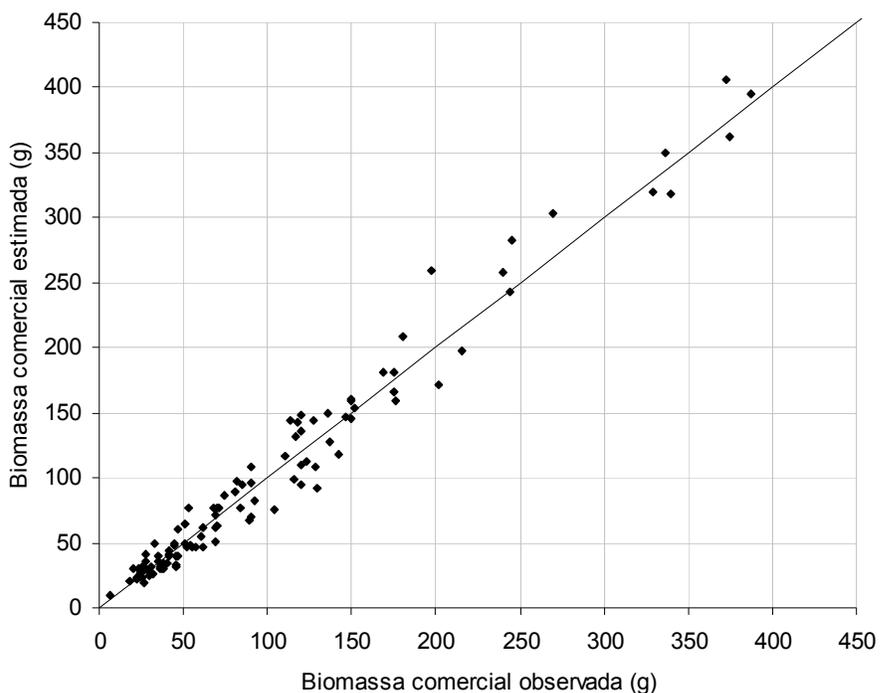


Figura 12 – Distribuição dos valores observados e estimados com a equação: $\ln bc = -1,2676 + 1,1780 \cdot \ln \sum cf$, para brotos longos compostos de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

Embora a equação da estimativa da biomassa comercial em função do somatório do comprimento folhado de brotos compostos tenha alcançado boa precisão, testaram-se novas equações visando à simplicidade e à praticidade da obtenção dos dados a campo. As variáveis independentes foram o comprimento folhado somente do broto principal (cf) e o número de ramos secundários (nrs) (Tabela 12).

Tabela 12 – Estatística dos modelos selecionados por Stepwise para estimar a biomassa comercial (bc) em função do comprimento folhado dos brotos principais longos (cf) e do número de ramos secundários (nrs).

N.	Modelo	Parâmetros	CV%	F	R ² aj
1	$bc = b_0 + b_1 \cdot cf + b_2 \cdot nrs$	$b_0 = -50,6963^{**}$ $b_1 = 2,0130^{**}$ $b_2 = -0,9858^{ns}$	45,46	136,54 ^{**}	0,72
2	$\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln cf + b_2 \cdot nrs$	$b_0 = -1,8752^{**}$ $b_1 = 1,4502^{**}$ $b_2 = 0,0051^{ns}$	8,72	207,62 ^{**}	0,79

b_0 , b_1 , b_2 = parâmetros das equações; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; CV% = coeficiente de variação em porcentagem; F = teste de F; * = significância a 5%; ** = significância a 1%; ns = não significativo.

As melhores estatísticas (menor valor de CV%, maiores valores de F e R²aj) foram verificadas no modelo 2. Porém, a variável número de ramos secundários (nrs) não foi significativa, e apenas o comprimento folhado do broto (cf) conseguiu explicar de modo satisfatório a biomassa comercial. Portanto, o modelo 3 da Tabela 11 foi aquele utilizado para posteriores estimativas da biomassa comercial de brotos longos compostos pelo fato de apresentar melhores ajustes.

5.2.1.4 Análise de covariância

Os resultados de análise de covariância para verificar a possibilidade de utilização de uma única equação para estimar brotos longos simples e compostos, observando se eles possuem mesma inclinação e nível, são apresentados na Tabela 13 e 14 respectivamente. Cabe ressaltar que, como os brotos simples atingem comprimento folhado máximo em torno de 100 cm e comprimento total de 110 cm, para serem comparados com os brotos compostos, na análise de covariância, utilizaram-se somente brotos compostos de modo que o somatório do comprimento folhado não ultrapassasse esse valor para facilitar a comparação.

Tabela 13 – Análise de covariância da biomassa comercial para verificar a diferença de inclinação entre as categorias (2 - brotos longos simples e 3 - longos compostos) do modelo $\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln (cf \text{ ou } \sum cf)$ para erveiras podadas aos 10 anos de idade

FV	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Modelo	3	374,4561	124,8187	2534,29	<,0001
$\ln cf$	1	22,8337	22,8337	463,61	<,0001
cat.	1	0,0076	0,0076	0,16	0,6935
$\ln cf \cdot cat.$	1	0,0055	0,0055	0,11	0,7369
Resíduo	537	26,4483	0,0492		
Total	540	400,9044			

cf = comprimento do broto folhado (cm); cat = categorias; FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob.>F = nível de probabilidade de erro.

Tabela 14 – Análise de covariância da biomassa comercial para verificar a diferença de nível entre categorias (2 - brotos longos simples e 3 - longos compostos) do modelo $\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln (cf \text{ ou } \sum cf)$ para erveiras podadas aos 10 anos de idade.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Modelo	3	374,4561	124,8187	2534,29	<,0001
$\ln cf$	1	295,2014	295,2014	6003,60	<,0001
cat.	1	0,0289	0,0289	0,59	0,4431
Resíduo	537	26,4483	0,0492		
Total	540	400,9044			

cf = comprimento do broto folhado (cm); cat = categorias; FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob.>F = nível de probabilidade de erro.

O teste de covariância para a equação, no modelo com interação (Tabela 13), através da soma de quadrados do tipo III (soma de quadrados de produtos corrigidos), resultou num valor de $F = 0,11$ para a interação, não significativo ao nível de 1%, demonstrando que as inclinações são iguais. O modelo sem interação (Tabela 14) apresentou $F = 0,59$ para as categorias, não significativo ao nível de 1%, calculado pela soma de quadrados do tipo III, mostrando que os níveis não diferem.

Como as equações para brotos longos simples e compostos que possuem comprimento total até 110 cm não diferem em nível e inclinação, reorganizaram-se novamente as categorias 2 e 3, que passaram a ser definidas como: Categoria 2 - formada por brotos simples e compostos, de comprimento médio, com ct e $\sum ct$ entre 11 a 110 cm; Categoria 3 - formada por brotos compostos longos com $\sum ct$ superior a 110 cm.

Os resultados dos novos modelos ajustados a essas classes de dados (categorias 2 e 3) são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Estatística dos modelos das categorias 2 (brotos simples e compostos, com comprimento médio) e 3 (brotos compostos longos) para erveiras podadas aos 10 anos de idade.

Categorias	Modelo	Parâmetros	CV%	F	R ²
2	$\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln (cf \text{ ou } \sum cf)$	$b_0 = -2,1600^{**}$ $b_1 = 1,3861^{**}$	10,1	7620,53 **	0,93
3	$\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln \sum cf$	$b_0 = -0,6288^*$ $b_1 = 1,0584^{**}$	4,29	390,86 **	0,86

Em que: cf = comprimento folhado; $\sum cf$ = somatório do comprimento folhado; bc = biomassa comercial; b_0 , b_1 = parâmetros das equações; R²aj = coeficiente de determinação; CV% = coeficiente de variação em porcentagem; F = teste de F; * = significância a 5%; ** = significância a 1%.

Resumindo, para a estimativa da biomassa comercial dos brotos, utilizaram-se três modelos que estão descritos na Tabela 16, sendo suas plotagens apresentadas na Figura 13.

Tabela 16 – Descrição das categorias juntamente com os modelos utilizados para a estimativa da biomassa comercial do broto de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

Cat.	Nome	Comprimento dos brotos	Modelo
1	Broto curtos	Ct de 1 a 10 cm	$\sqrt{bc} = 0,8682 + 0,0113 \cdot cf^2$
2	Broto médios simples e compostos	ct e $\sum ct$ de 11 a 110 cm	$\ln bc = -2,1600 + 1,3861 \cdot \ln cf$ ou $\ln \sum cf$
3	Broto longos compostos	$\sum ct > 110$ cm	$\ln bc = -0,6288 + 1,0584 \cdot \ln \sum cf$

Em que: cat = categorias de brotos; ct = comprimento total do broto; $\sum ct$ = somatório do comprimento total do broto; bc = biomassa comercial do broto; cf = comprimento folhado do broto; $\sum cf$ = somatório do comprimento folhado do broto.

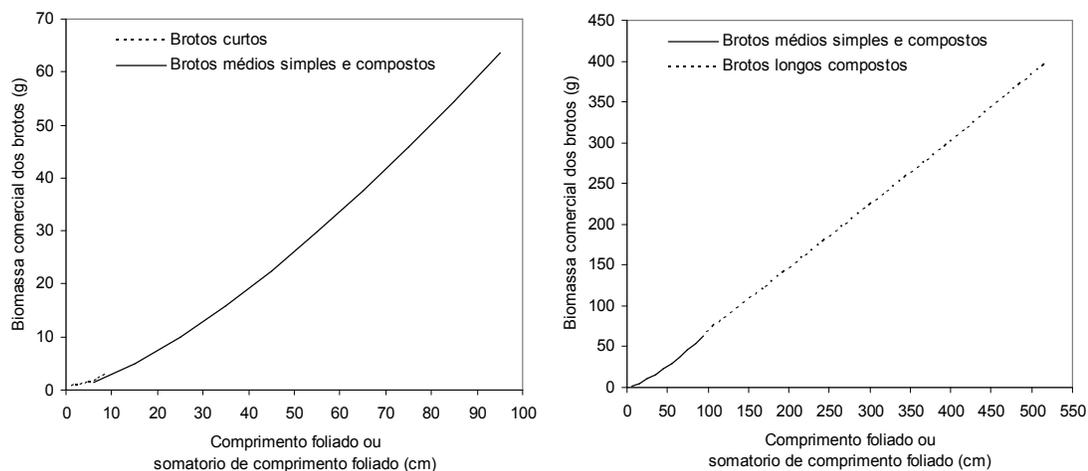


Figura 13 - Estimativa da biomassa comercial para as categorias “brotos curtos”, “brotos médios simples e compostos” e “brotos longos compostos” para erveiras podadas aos 10 anos de idade.

O valor total observado da biomassa comercial dos brotos foi de 16.415 g, e o estimado obtido a partir das equações encontradas para cada uma das categorias (Tabela 16) foi 15.986 g. Então, pode-se inferir que, os modelos utilizados para a estimativa da biomassa comercial dos brotos, subestimam os valores de biomassa com uma margem de erro de apenas 2,6 %.

5.2.2 Análise das variáveis do estudo principal

Pela análise de variância apresentada na Tabela 17, é possível verificar o efeito da aplicação dos tratamentos e dos blocos sobre as variáveis dendrométricas das erveiras um ano após a poda e aplicação dos tratamentos.

Tabela 17 – Análise de variância das variáveis medidas em 2008 sob efeito de blocos e tratamentos, em um plantio de erva-mate aos 10 anos de idade.

Var. Variável	FV	F	Prob.> F
ac	Bl.	2,81	0,018
	Trat.	4,83	0,0081
ht	Bl.	2,67	0,0235
	Trat.	3,18	0,04
c3	Bl.	4,6	0,035
	Trat.	2,45	0,01
nrs	Bl.	1,97	0,0834
	Trat.	1,45	0,2512
g	Bl.	2,71	0,065
	Trat.	2,23	0,0522
nrp	Bl.	5,32	0,0003
	Trat.	1,24	0,3154
Σ ct	Bl.	2,92	0,0148
	Trat.	2,16	0,1159
Σ cf	Bl.	3,09	0,0112
	Trat.	2,11	0,1224
Σ nf	Bl.	3,98	0,0025
	Trat.	1,75	0,1811
ct	Bl.	3,2	0,0091
	Trat.	1,62	0,2079
cf	Bl.	3,48	0,0057
	Trat.	1,69	0,1937
nf	Bl.	1,39	0,001
	Trat.	4,55	0,2668
ctm	Bl.	2,57	0,0281
	Trat.	4,03	0,0172
cfm	Bl.	1,82	0,1109
	Trat.	3,89	0,0197
nfm	Bl.	1,61	0,1637
	Trat.	1,29	0,2964
dm	Bl.	6,05	0,0001
	Trat.	7,52	0,0008
bc	Bl.	2,76	0,0199
	Trat.	2,77	0,0607
bcs	Bl.	1,25	0,3472
	Trat.	0,81	0,5191

Em que: ac = área de projeção da copa; ht = altura total; c3 = comprimento médio dos três brotos mais longos; nrs = número de brotos secundários; g = área basal dos brotos; nrp = número de ramos principais; Σ ct = somatório do comprimento total; Σ cf = somatório do comprimento folhado; Σ nf = somatório do número de folhas; ct = comprimento total; cf = comprimento folhado; nf = número de folhas; ctm = comprimento total médio; cfm = comprimento folhado médio; nfm = número de folhas médio; dm = diâmetro médio; bc = biomassa comercial verde; bcs = biomassa comercial seca; FV = fonte de variação; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob.>F = nível de probabilidade de erro.

O efeito dos blocos diminuiu quando comparado ao estudo preliminar. Em contrapartida, começou-se a evidenciar o efeito dos tratamentos (Tabela 17). Pelo

teste de Tukey (Tabela 18), observam-se as médias e as diferenças entre os blocos e tratamentos.

Tabela 18 – Teste de comparação de médias (Tukey) entre os blocos e tratamentos de um plantio de erva-mate aos 10 anos de idade.

Blocos	N.	Médias ac (m ²)		Blocos	N.	Médias ht (m)	
2	4	1,12	a	2	4	2,01	a
3	4	1	a b	1	4	1,92	a b
1	4	0,8	a b	7	4	1,72	a b
10	4	0,67	a b	3	4	1,68	a b
7	4	0,63	a b	4	4	1,67	a b
8	4	0,59	a b	10	4	1,46	a b
4	4	0,58	a b	5	4	1,43	a b
9	4	0,51	a b	8	4	1,38	a b
5	4	0,39	a b	9	4	1,31	a b
12	4	0,29	b	12	4	1,21	b

Trat.	N.	Médias ac (m ²)		Trat.	N.	Médias ht (m)	
4	10	0,91	a	4	10	1,78	a
3	10	0,75	a b	3	10	1,65	a b
2	10	0,51	b	2	10	1,55	a b
1	10	0,46	b	1	10	1,34	b

Blocos	N.	Médias c3 (cm)		Blocos	N.	Médias \sum cf (cm)	
2	4	124,92	a	7	4	2404	a
3	4	112,08	a b	2	4	2104	a
7	4	103,5	a b	3	4	1636	a b
1	4	88,61	a b	4	4	1551	a b
4	4	86,09	a b	8	4	1454	a b
10	4	79,83	a b	9	4	1381	a b
5	4	73,25	a b	1	4	1050	a b
8	4	71,59	a b	10	4	924,6	a b
9	4	63,03	a b	5	4	889,9	a b
12	4	56,99	b	12	4	497,4	b

Trat.	N.	Médias c3 (m)		Trat.	N.	Médias \sum cf (cm)	
4	10	108,86	a	4	10	1725	a
3	10	89,38	a b	2	10	1459	a
2	10	82,73	a b	3	10	1379	a
1	10	62,98	b	1	10	993,8	a

Tabela 18 – Continuação ...Teste de comparação de médias (Tukey) entre os blocos e tratamentos de um plantio de erva-mate aos 10 anos de idade.

Blocos	N.	Médias $\sum nf$		Blocos	N.	Médias dm (mm)	
7	4	1366	a	4	4	5,53	a
2	4	1302	a b	5	4	5,3	a b
4	4	932	a b c	1	4	4,91	a b c
8	4	870	a b c	3	4	4,27	a b c d
9	4	859	a b c	10	4	4	b c d
3	4	837	a b c	12	4	3,95	b c d
1	4	587	a b c	2	4	3,92	b c d
5	4	536	b c	8	4	3,78	c d
10	4	520	c c	7	4	3,77	c d
12	4	338	c	9	4	3,31	d

Trat.	N.	Médias $\sum nf$		Trat.	N.	Médias dm (mm)	
4	10	951	a	4	10	4,97	a
2	10	906	a	2	10	4,35	a b
3	10	756	a	3	10	3,93	b
1	10	647	a	1	10	3,85	b

Blocos	N.	Médias bc (g)		Bl.	N.	Médias bcs (g)	
7	4	1334	a	7	4	542,2	a
2	4	1247	a	2	4	412,4	a
3	4	1034	a b	3	4	354,4	a
4	4	979,5	a b	10	4	254,5	a
8	4	756,3	a b				
9	4	637,5	a b				
10	4	626,6	a b				
1	4	608,6	a b				
5	4	538,2	a b				
12	4	220	b				

Trat.	N.	Médias bc (g)		Trat.	N.	Médias bcs(g)	
4	10	1085	a	4	4	517,7	a
2	10	813,6	a b	3	4	414,8	a
3	10	735,4	a b	2	4	316,4	a
1	10	558,6	b	1	4	314,7	a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro. Em que: ac = área de projeção da copa; ht = altura total; c3 = comprimento médio dos três brotos mais longos; dm = diâmetro médio; $\sum cf$ = somatório do comprimento folhado; $\sum nf$ = somatório do número de folhas; dm = diâmetro médio dos brotos; bc = biomassa comercial; bcs = biomassa comercial seca; trat 1= sem sombreamento de copa, sem cobertura de solo; trat 2= sem sombreamento de copa, com cobertura de solo; trat 3 = com sombreamento de copa, sem cobertura de solo; trat 4 = com sombreamento de copa, com cobertura de solo.

De acordo com os dados da Tabela 18, é possível observar que o sombreamento da copa favoreceu a ampliação da copa e, quando associado à cobertura morta, gerou maior média (T4), diferindo estatisticamente dos tratamentos

a pleno sol com (T2) ou sem cobertura (T1). Esse comportamento já era esperado, pois o habitat natural da erva-mate é caracterizado pelo sombreamento da copa e preservação da umidade do solo proporcionada pelos estratos dominantes das florestas subtropicais.

Os maiores valores da altura total (ht) e comprimento médio dos três brotos mais longos (c3) também foram observados no tratamento 4, diferindo estatisticamente somente do tratamento 1. O tratamento 3 possui média numérica maior quando comparado aos tratamentos 1 e 2; porém não diferiu estatisticamente destes. A diferença entre os tratamentos 1 e 4 pode ser explicada pelo fato de apresentarem condições de micro ambiente distintas (sombreamento da copa e cobertura do solo). Conseqüentemente a altura diferiu, pois, de acordo Schneider e Schneider (2008), a altura alcançada é geralmente determinada pela qualidade do sítio em que cresce a árvore de uma determinada espécie e nesse caso o ambiente de melhor qualidade para a erva-mate foi o tratamento 4. Aliado a isso, alguns autores explicam que, na maioria das espécies vegetais, altas intensidades de luz originam plantas de menor porte e folhas menores (WATLEY; WATLEY, 1982); (LARCHER, 1986).

Seitz (2004), avaliando o crescimento de *Ilex paraguariensis* em diferentes condições de luminosidade (100%, 53%, 26%, e 13%) sob floresta de *Mimosa scabrella*, afirma que, nos tratamentos sombreados, para a variável altura, foram obtidas as maiores médias. Para a autor, plantas dessa espécie tendem a crescer e a se desenvolver melhor em situações de sombreamento e, quando elas são colocadas em plena luz, apresentam um desenvolvimento inferior para a maioria das variáveis, quando comparadas às plantas na situação de sombra.

Diferentes estudos verificaram que os maiores valores de altura das plantas de erva-mate foram obtidos em condições crescentes de sombreamento, tendendo à redução de altura frente ao aumento da intensidade luminosa (KASPARY, 1985; GLIESMANN, 2000; MAZUCHOWSKI, 2004; ANDRADE, 2004).

Observa-se que o desenvolvimento em relação ao somatório do comprimento folhado ($\sum cf$) e do número de folhas ($\sum nf$) foi beneficiado pelo sombreamento da copa e aplicação da cobertura morta; porém, não diferiu estatisticamente com os demais tratamentos. A adição da cobertura morta (T2) teve uma melhor resposta do que somente o sombreamento da copa (T3), refletindo também no diâmetro médio e na biomassa comercial. Esse comportamento pode estar associado à menores

amplitudes de variação de temperatura do solo, gerando condições favoráveis à atividade biológica, manutenção da matéria orgânica e conseqüentemente ao desenvolvimento da planta. Portanto, pode-se inferir que a incidência intensa e direta dos raios solares mais a temperatura elevada do solo foram fatores que limitaram o desenvolvimento da erva-mate no tratamento 1, gerando a menor média.

Pes et al. (1995), estudando o comportamento da erva-mate em consórcio silvicultural, afirma que o solo desprotegido no início do desenvolvimento, altas temperaturas no verão, “stress” hídrico, ação mecânica dos ventos e competição com as plantas não lenhosas foram as causas do menor número de folhas encontradas nas plantas do consórcio com capoeiras. Andrade (2004) verificou que os tratamentos com maiores e menores intensidades luminosas apresentaram resultados estatísticos iguais entre si para o número de folhas de plantas de erva-mate. O tratamento T50 (50% de luz com sombrite) foi o que obteve na média o maior número de folhas.

Para a biomassa comercial verde (bc), o tratamento 4 teve maior média, diferindo estatisticamente do tratamento 1. Como ocorrido para as variáveis ($\sum cf$) e ($\sum ct$), a adição de cobertura morta (T2) gerou maior média do que somente o sombreamento da copa (T3). No entanto, verificando-se a Figura 14, que demonstra o comportamento da biomassa comercial nos diferentes tratamentos dentro de cada um dos blocos, percebe-se que, no bloco 2, o tratamento 1 apresenta um grande valor de biomassa. É possível que isso tenha ocorrido devido ao sombreamento ocasionado pelo plantio de eucalipto localizado próximo desse bloco, o que acabou beneficiando essa planta.

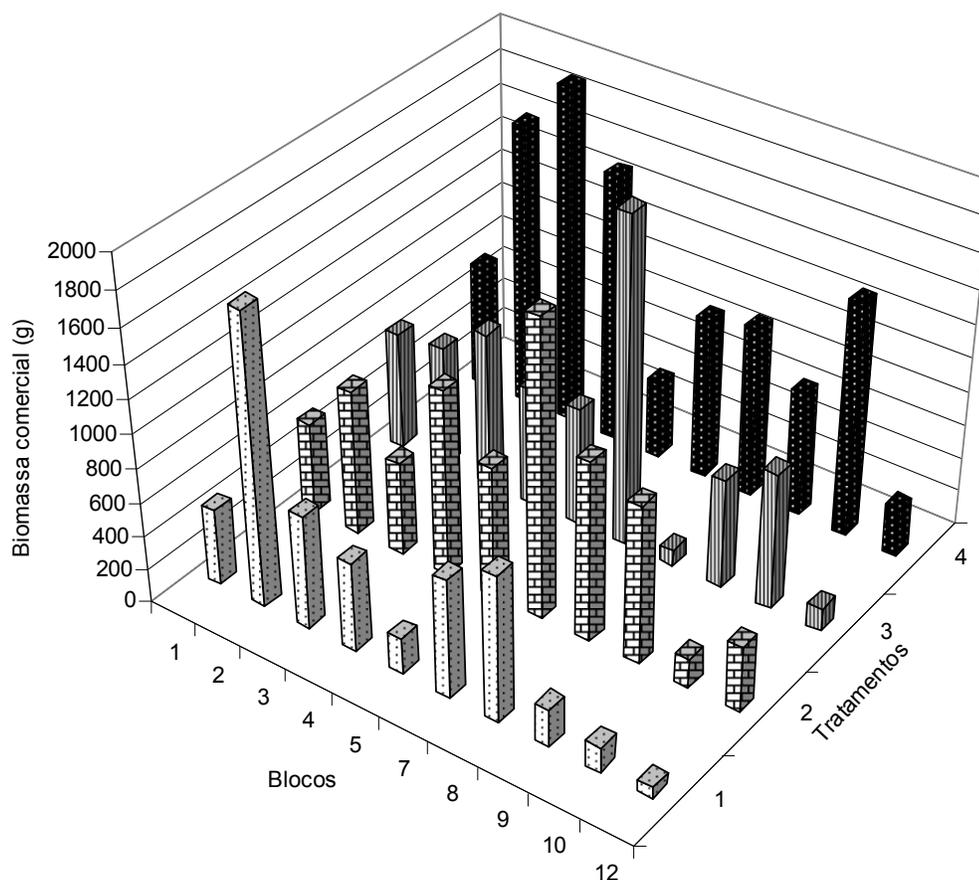


Figura 14 – Biomassa comercial de erva-mate aos 10 anos de idade, nos diferentes tratamentos em cada um dos blocos.

Pes et. al. (1995) constatou que o menor valor de biomassa verde para erva-mate aos 3 anos de idade foi verificado no consórcio com capoeiras e, à medida que aumentava o sombreamento, aumentavam os valores de biomassa verde, associando esse fato, à menor desidratação ocasionada pelo ambiente sombrio. Comportamento semelhante também foi obtido por Mazuchowski (2004), que, utilizando plantas juvenis de erva-mate, constatou que o maior sombreamento ambiental favoreceu o incremento de peso da massa úmida.

Já Rachwal et al. (1998), avaliando a produtividade da erva-mate aos três anos e quatro meses de idade em três sítios com 74 (1), 46 (2) e 20% (3) de luminosidade, obtiveram uma produção de 523, 428 e 137 gramas de matéria verde/planta, respectivamente, sendo que, estatisticamente, apenas o sítio 3 diferiu dos demais tendo atingido a menor produção de matéria verde.

Rakocevic et al. (2003) encontraram, para erva-mate cultivada em Floresta Antropizada (FUS), menor produção de massa bruta (massa podada total), menor massa útil (folhas e ramos finos) e ramificação lenta quando comparada com a monocultura. Isso induziu os autores a questionarem o fato de o paradigma da erva-mate caracterizar-se como planta umbrófila, quando se consideram respostas de plantas adultas em condições de sombra clorofiliana.

Para Floss et al. (2006), a maior produção de erva-mate foi observada no consórcio com louro-pardo quando comparado ao cinamomo. Os autores afirmam que esse comportamento foi provocado pelo maior sombreamento ocasionado pelo cinamomo, que já, na primeira safra, era bem maior que o sombreamento que o louro-pardo proporcionava à erva-mate. Esse resultado coincide com o de Suertegaray (2002), segundo o qual sob sombreamento parcial de Araucárias, a maior produção ocorreu conforme o aumento do nível de luz recebido pelas plantas de erva-mate.

Os resultados para a biomassa seca dos blocos 2, 3, 7 e 10 foram semelhantes aos obtidos por Andrade (2004). A partir de seus estudos, o autor pôde verificar que o tratamento de maior luminosidade obteve o menor peso de matéria seca.

Verifica-se, no presente trabalho, a elevada importância da aplicação da cobertura morta no desenvolvimento das plantas da erva-mate. Para algumas variáveis, a adição da mesma supera o sombreamento da copa. Quando associadas (sombreamento da copa x adição de cobertura), mesmo não havendo diferença estatística, superaram os demais tratamentos para todas as variáveis.

5.2.2.1 Correlações entre as variáveis dendrométricas

Pelos resultados de análise de correlação entre as variáveis dendrométricas das erva-mates medidas 1 ano após a poda e aplicação dos tratamentos (Tabela 19), pode-se verificar que a biomassa comercial das erva-mates podadas apresenta maior correlação com as seguintes variáveis: $\sum cf$, $\sum ct$, $\sum nf$. Porém, essas variáveis são mais trabalhosas e demandam mais tempo para serem medidas, ao contrário do $c3$

(comprimento médio dos três brotos mais longos), que é prático de ser avaliado e apresenta boa relação com a biomassa comercial ($r = 0,86$).

Tabela 19 - Coeficiente de correlação de Pearson para erveiras um ano após a poda e aplicação dos tratamentos.

Var.	ac	ht	c3	nrs	g	Σ ct	Σ cf	Σ nf	ct	cf	nf	ctm	cfm	nfm	bc
ac	-														
ht	0,79**	-													
c3	0,85**	0,86**	-												
nrs	0,49**	0,59**	0,67**	-											
g	0,56**	0,63**	0,71**	0,77**	-										
Σ ct	0,68**	0,66**	0,80**	0,86**	0,89**	-									
Σ cf	0,68**	0,66**	0,80**	0,83**	0,90**	0,99**	-								
Σ nf	0,58**	0,60**	0,73**	0,84**	0,89**	0,96**	0,96**	-							
ct	0,62**	0,55**	0,72**	0,65**	0,86**	0,93**	0,94**	0,89**	-						
cf	0,61**	0,55**	0,71**	0,64**	0,86**	0,92**	0,94**	0,90**	0,99**	-					
nf	0,47**	0,43**	0,59**	0,57**	0,81**	0,84**	0,86**	0,90**	0,93**	0,95**	-				
ctm	0,58**	0,59**	0,66**	0,33*	0,46**	0,51**	0,52**	0,42**	0,46**	0,46**	0,33**	-			
cfm	0,66**	0,57**	0,63**	0,18 ^{ns}	0,36*	0,41**	0,44**	0,34*	0,38*	0,40*	0,29*	0,88**	-		
nfm	0,38*	0,38*	0,40*	0,06 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,63**	0,78**	-	
bce	0,73**	0,73**	0,86**	0,82**	0,87**	0,94**	0,95**	0,91**	0,86**	0,85**	0,76**	0,63**	0,55**	0,34*	-

Em que: ac = área de projeção da copa; ht = altura total; c3 = comprimento médio dos três brotos mais longos; nrs = número de brotos secundários; g = área basal dos brotos; Σ ct = somatório do comprimento total; Σ cf = somatório do comprimento folhado; Σ nf = somatório do número de folhas; ct = comprimento total; cf = comprimento folhado; nf = número de folhas; ctm = comprimento total médio; cfm = comprimento folhado médio; nfm = número médio de folhas; bce = biomassa comercial estimada; * = significância a 5%; ** = significância a 1%; ns = não significativo.

A partir disso, testaram-se equações pelo procedimento passo a passo (Stepwise), visando estimar a biomassa comercial de erveiras em função da variável c3. O modelo escolhido foi o de número 2 (Tabela 20), por apresentar menor valor de CV% e maior valor de R^2_{aj} e F. A dispersão dos valores estimados está demonstrada na Figura 15.

Tabela 20 - Estatística dos modelos selecionados por Stepwise para a estimativa da biomassa comercial de erveiras um ano após a poda e aplicação dos tratamentos.

Var. dep.	N,	Modelo	Parâmetros	CV%	F	R ² aj
bc	1	$bc = b_1 \cdot c3$	$b_1 = 9,75050^{**}$	35,26	413,79 ^{**}	0,91
ln bc	2	$\ln bc = b_1 \ln . c3$	$b_1 = 1,47220^{**}$	6,57	9382,52 ^{**}	0,99
\sqrt{bc}	3	$\sqrt{bc} = b_0 + b_1 \cdot c3$	$b_0 = 6,7297^{**}$ $b_1 = 0,2317^*$	17,97	114,48 ^{**}	0,74
1/bc	7	$1/bc = b_0 + b_1 \cdot 1/c3$	$b_0 = -0,0018^{**}$ $b_1 = 0,3068^{**}$	78,33	53,36 ^{**}	0,57

bc = biomassa comercial da erveira; c3 = comprimento médio dos três brotos mais longos; b_0 , b_1 , b_2 = parâmetros das equações; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; CV% = coeficiente de variação em porcentagem; F = teste de F; * = significância a 5%; ** = significância a 1%; ns = não significativo.

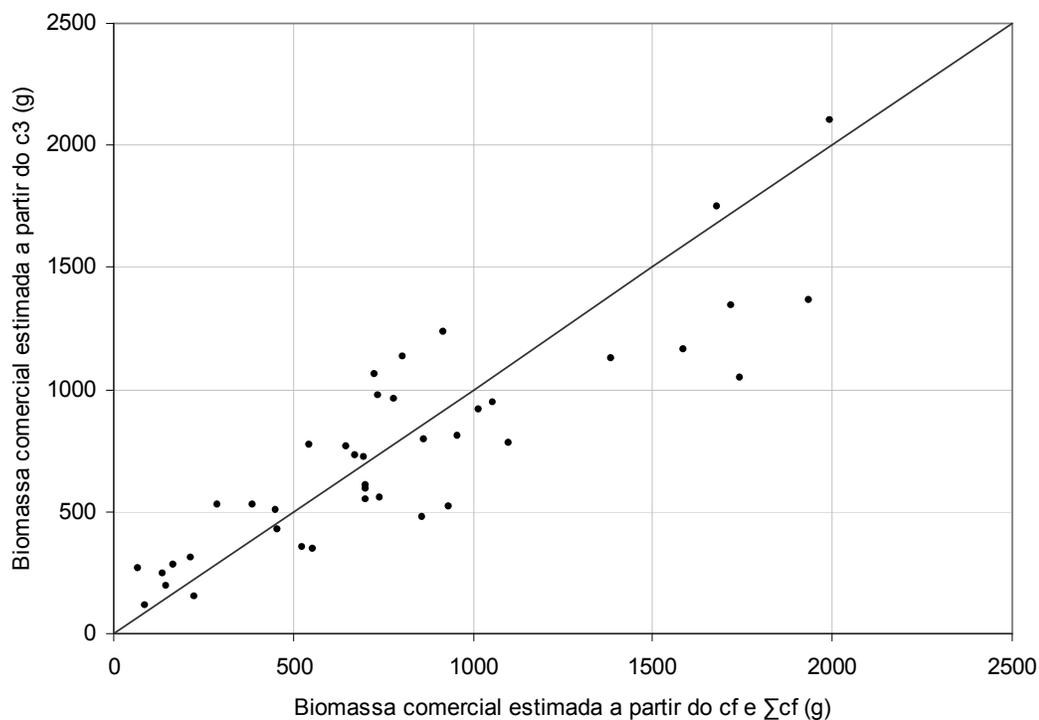


Figura 15 – Dispersão dos valores estimados a partir do comprimento folhado (cf e Σ cf) e do comprimento médio dos três brotos mais longos (c3) originados da equação $\ln bc = 1,4722 \cdot \ln c3$ para erveiras um ano após a poda e aplicação dos tratamentos.

5.3 Relação das variáveis antes e após a poda e aplicação dos tratamentos

Verifica-se, pela análise da Tabela 21, que a biomassa comercial do ano de 2007 está mais correlacionada com a área basal dos brotos das erveiras, ao passo que a biomassa comercial das erveiras no ano de 2008 está mais correlacionada com a área de projeção da copa e área basal a 0,6 m de altura.

Tabela 21 - Coeficiente de correlação de Pearson para as variáveis dendrométricas medidas antes (2007) e após (2008) a poda e aplicação dos tratamentos.

2007 \ 2008	ac	ht	g _{0,1}	g _{0,6}	bc	br	bt
ac	0,38*	0,38*	0,11 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,55**	0,18 ^{ns}	0,59**
ht	0,34*	0,47**	0,18 ^{ns}	0,31*	0,50**	0,25 ^{ns}	0,50**
c3	0,36*	0,45**	0,23 ^{ns}	0,37*	0,58**	0,29 ^{ns}	0,57**
g	0,50**	0,48 ^{ns}	0,54*	0,63**	0,73**	0,47**	0,67**
nrp	0,43**	0,20**	0,38*	0,38*	0,49**	0,30 ^{ns}	0,43**
nrs	0,59**	0,52**	0,46**	0,63**	0,53**	0,42**	0,47**
∑ct	0,59**	0,48**	0,45**	0,58**	0,69**	0,41**	0,59**
∑cf	0,59**	0,48**	0,47**	0,60**	0,70**	0,42**	0,59**
∑nf	0,65**	0,51**	0,54**	0,67**	0,69**	0,47**	0,62**
ct	0,49**	0,37*	0,48*	0,47**	0,68**	0,34*	0,54**
cf	0,49**	0,39*	0,32**	0,49**	0,68**	0,36*	0,54**
nf	0,54**	0,37*	0,48**	0,54**	0,64**	0,40**	0,55**
bc	0,55**	0,49**	0,41**	0,54**	0,65**	0,37*	0,54**

Em que: ac = área de projeção da copa; ht = altura total; c3 = comprimento médio dos três brotos mais longos; g = área basal dos brotos; g_{0,1} = área basal a 0,1 m do solo; g_{0,6} = área basal a 0,6 m do solo; nrp = número de brotos principais; nrs = número de brotos secundários; ∑ct = somatório do comprimento total; ∑cf = somatório do comprimento folhado; ∑nf = somatório do número de folhas; ct = comprimento total; cf = comprimento folhado; nf = número de folhas; bc = biomassa comercial; br = biomassa residual; bt = biomassa total; * = significância a 5%; ** = significância a 1%; ns = não significativo.

A correlação da biomassa comercial verde de erveiras do ano de 2007 com a biomassa comercial verde do ano de 2008 foi de apenas 65% (Tabela 21), e por essa razão são apresentados resultados da análise de covariância que permitem verificar a ocorrência de efeitos de blocos e tratamentos nessa relação (Tabela 22).

Tabela 22 - Análise de covariância da equação $\ln bc8 = b0 + b1 \cdot \ln bc7$ em função dos blocos e tratamentos.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Modelo	13	18,22189	1,4016	4,18	0,0009
$\ln bc$	1	2,3745	2,3745	7,08	0,0132
Bl.	9	3,6226	0,4025	1,20	0,3360
Trat.	3	2,3896	0,7965	2,38	0,0930
Resíduo	26	8,7148	0,3352	-	-
Total	39	26,9367	-	-	-
Parâmetro	Valor estimado		Erro	Valor de t	Pr > t
Trat. 1	-0,6595		0,2713	-2,43	0,0223
Trat. 2	-0,1715		0,26350	-0,65	0,5206
Trat. 3	-0,4425		0,2605	-1,70	0,1014
Trat. 4	-		-	-	-

bc8 = biomassa comercial de erveiras um ano após a poda (2008); bc7 = biomassa comercial de erveiras na primeira poda (2007); Bl.= blocos; Trat = tratamentos; FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; t=valor de t calculado para o coeficiente; Pr > |t| = nível de probabilidade de erro.

Não houve efeito de blocos na relação da biomassa comercial verde de erveiras do ano de 2008 em função da biomassa comercial do ano de 2007, com um valor de $F=1,20$ não significativo a um nível de 1% de probabilidade de erro (Tabela 22). No entanto, o efeito dos tratamentos é significativo ($F=2,38$) somente para probabilidades próximas a 10%. Adicionalmente, verifica-se na mesma tabela pela estatística t , que ocorreu diferença no efeito dos tratamentos 1 e 4, com um valor de $t=-2,43$ significativo a 2,2% de probabilidade de erro. O efeito dos tratamentos, pode ser um dos fatores que contribuíram para a baixa correlação entre as biomassas do ano de 2007 e 2008, corroborando os efeitos apresentados na média (Tabela 18).

6 CONCLUSÕES

- O peso verde da biomassa comercial (bc) de erva-mate nunca podadas tem maior correlação com a área basal a 0,6 m de altura ($g_{0,6}$) e em segundo lugar com a altura total (ht);
- O modelo que melhor descreve a biomassa comercial (bc) de erva-mate nunca podadas é uma função do produto de $g_{0,6}$ e ht: $\ln bc = 9,6533 + 0,4412 \cdot \ln (g_{0,6} \cdot ht)$;
- A biomassa comercial dos brotos pode ser estimada a partir do comprimento folhado dos:

brotos curtos: $\sqrt{bc} = 0,8682 + 0,0113 \cdot cf^2$;

brotos médios simples e compostos: $\ln bc = -2,1600 + 1,3861 \cdot \ln cf$;

brotos longos compostos: $\ln bc = -0,6288 + 1,0584 \cdot \ln \sum cf$.

- O sombreamento parcial da erva-mate, juntamente com a adição de cobertura morta, supera os demais tratamentos para todas as variáveis;
- A adição de cobertura morta gera maior média do que somente o sombreamento da copa, para as variáveis somatório do comprimento folhado ($\sum cf$), somatório do comprimento total ($\sum ct$) e biomassa comercial (bc);
- A biomassa comercial das erva-mate podadas apresenta maior correlação com as seguintes variáveis: $\sum cf$, $\sum ct$ e $\sum nf$ (somatório do número de folhas);
- A variável de fácil medição que melhor estima a biomassa comercial de erva-mate podadas é o comprimento médio dos três ramos mais longos (c_3), resultando na seguinte equação: $\ln bc = 1,4722 \cdot \ln c_3$;
- A correlação da biomassa comercial de erva-mate do ano de 2007 com a biomassa comercial do ano de 2008 é de 65%. A análise de covariância indica que há efeito dos tratamentos somente para probabilidades próximas a 10%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, L.F.A. et al. Ácaros fitófagos da erva-mate: situação atual e perspectivas de controle. In: CONGRESSO SUL- AMERICANO DE ERVA-MATE, 2., 2000, Encantado. **Anais...** Encantado, Evangraf, 2000. p. 39-42.

AMO, S. R. del. Alguns aspectos de la influencia de la luz sobre el crecimiento de estados juveniles de especies primarias. In: GOMES-POMPA, A. L. Regeneracion de selvas. México: Alhamba Mexicana, 1985. p.79-90.

ANDRAE, F.; KRAPPENBAUER, A. Inventário de um reflorestamento de araucária de 17 anos em Passo Fundo – RS: inventário de nutrientes. In: _____. **Pesquisa austríaco-brasileira (1973-1982)**. Santa Maria, 1983. p. 30-55.

ANDRADE, F. M. de. Exploração, manejo e potencial socioeconômico da erva-mate. In: **Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: SENAC, 2002. p. 19-34.

ANDRADE, F. M. de. **Avaliação de biomassa, clorofila, cafeína e tanino em *Ilex paraguariensis* Saint-Hilaire, crescendo sob sombreamento e pleno sol**. 2004. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ATROCH, E. M. A. C. et al. Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas jovens de *Bauhinia forficata* LINK submetidas à diferentes condições de sombreamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 853–862, jul./ag. 2001.

BAGGIO, A J.; CARPANEZZI, A. A.; SANMIGUEL, A. A. Equações para a estimativa de peso da biomassa aérea de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) na idade de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n. 30/31, p. 37-49, jan./dez. 1995.

BAGGIO, A. J.; SOARES, A. O. Efeito da aplicação de mulching de timbó no desenvolvimento inicial da erva-mate. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 4., REUNIÓN TÉCNICA DE LA YERBA MATE, 4., 2006, **Anais...** Posadas, INYM/INTA/UNAM/EPAGRI, 2006. p. 257-262.

BARRICHELLO, L. R. **Quantificação da Biomassa e dos Nutrientes em Floresta de *Acácia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil**. 2003. 58 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BERGER, G. **Biomassa e nutrientes em plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. ST.-Hil.), no município de Nova Prata, RS.** 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira e Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, n.3, p.369-374, set./dez, 1990.

CARPANEZZI, A. A. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina.** Curitiba: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisas de Florestais, 1998. 13 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Colombo: Embrapa - CNPF; Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 639 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p., v. 1.

CATTELAN, A J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, n.2, p.133-142, maio/ago.1990.

COELHO, G.C.; RACHWAL, M.; SCHNORRENBERGER, E.; SCHENKEL, E.P. Efeitos do Sombreamento sobre a Sobrevivência, Morfologia e Química da Erva-Mate. In: CONGRESSO SUL AMERICANO DA ERVA-MATE, 2., REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA-MATE, 3., 2000, Encantado. **Anais...** Encantado, Evangraf, 2000, p. 396-399.

DA CROCE, D. M.; HIGA, A. R.; FLOSS, P. A.. **Escolha de fontes de sementes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) para Santa Catarina.** Florianópolis: EPAGRI, 1994. 23 p. (Boletim Técnico, 69).

DA CROCE, D. M.; FLOSS, P. A. **Cultura da Erva-Mate no Estado de Santa Catarina.** Florianópolis: EPAGRI, 1999. 81 p. (Boletim Técnico, 100).

DA CROCE, D. M., NADAL, R. de. Viabilidade técnico-econômica de sistemas de produção de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.). In: CONGRESSO FLORESTAL PAN-AMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1992. p. 403-406.

DALE, J. E. The control of leaf expansion. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 39, p. 267-295, June, 1988.

EDWIN, G; REITZ, R. **Aqüifoliáceas**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1967. 47 p. (Boletim).

ESPINDOLA JUNIOR, A. **Morfologia e anatomia foliar de duas espécies medicinais (Mikania glomerata Spreng. - Asteraceae e Bauhinia forficata Link. - Leguminosae) associada à erva mate, sob diferentes condições de luminosidade**. 2006. 72 f. Dissertação (Mestrado em Biologia)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FERREIRA, M. G. M. et al. Efeito do Sombreamento na Produção de Muda de Quatro Espécies Florestais Nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 17, n. 2, p. 121-134, jul./dez, 1997.

FLEIG, F. D. **Morfometria e quantificação da biomassa comercial e residual da poda de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em reflorestamentos**. 2002. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

FLEIG, F. D.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Influência do espaçamento e idade da brotação na morfometria de povoamentos de *Ilex paraguariensis* St. Hill., **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 73-88 73, jan./mar. 2003.

FLEIG, F. D.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Determinação da biomassa comercial da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em função do diâmetro da copa, altura total e área folhada da copa. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004. p. 374-380.

FLOSS, P. A. ; DA CROCE, D. M.; NESI, C. N. Produtividade da erva-mate cultivada sob diferentes densidades em consórcio com cinamomo e louro-pardo. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 4., 2006, Posadas. **Anais...** Posadas: Instituto Nacional de la Yerba Mate - INYM, 2006. p. 274-279.

FOSSATI, L. C. **Avaliação do estado nutricional e da produtividade de erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil., em função do sítio e da dioicia.** 1997. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GASPARIM, E. et al. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 107-115, jan./mar. 2005.

GLIESSMANN, S.R. **Agroecologia: Processos ecológicos em agricultura sustentável.** Porto Alegre: EDURGS / UFRGS, 2000. 653 p.

GOOGLE EARTH. **Software licenciado pela Google.** v. 5.0, EUA, 2008.

IBGE. Produção da extração vegetal e silvicultura. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 45 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2006/default.shtm/>. Acesso em: 30 jan. 2006.

KASPARY, R. **Efeito de diferentes graus de sombreamento no desenvolvimento de plantas jovens de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.).** 1985. 54 f. Dissertação (Mestrado Botânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal.** São Paulo. EPU. 1986. 319 p.

LOPES, V. G.; **Comunicação Pessoal.** 2009.

LOURENÇO, R. S. Adubação em Erva-Mate. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVAMATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais ...** Colombo. EMBRAPA-CNPQ, 1997. P.299-315. (Série Documentos, n. 33).

LOURENÇO, R. S.; MEDRADO, M. J. S.; DALZOTO, D. N. Efeito de níveis de potássio sobre a produtividade de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) no município de Ivaí, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 39, p. 119-113, 1999.

MAGALHÃES, R. A. S. dos. **Quantificação e localização da biomassa florestal.** Coimbra, 1993. 145 f. Monografia (Estágio Profissionalizante)- Escola Superior agrária de Coimbra. Instituto Politécnico de Coimbra.

MALUF, J. R. T., Nova classificação climática do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p.141-150, jan./abr. 2000.

MAROTE, C. G. B.; VIDOR, C.; MENDES, N.G. Alterações na temperatura do solo pela cobertura morta e irrigação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa. v. 14.n.1, jan./abr. p.81-84,1990.

MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; BROWN, I. F. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia. In: EMISSÃO X SEQUESTRO DE CARBONO DO CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, **Anais...** Rio de Janeiro, Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 197-221.

MARTINS, F. B. **Estabelecimento de equações de biomassa para *Pinus pinaster* Aiton**. 2004. 92 f. Monografia (Relatório de estágio)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Manual da Erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill)**. Curitiba: EMATER- Paraná, 1991. 104 p.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; RUCKER, N. G. A. **Prospecção Tecnológica da Cadeia Produtiva da Erva-Mate**. Curitiba: Departamento de Economia Rural, 1997. 27 p.

MAZUCHOWSKI, J. Z. Alternativas para o incremento da produtividade de ervais nativos. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 2; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA-MATE, 3, 2000. Encantado. **Anais...** Centro Encantado, Evangraf, 2000 . 470 p.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Influência de níveis de sombreamento e de nitrogênio na produção de massa foliar da erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil**. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Agrícola), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MEDRADO, M. J. S. et al. **Implantação de ervais**. Colombo: Embrapa/Florestas, 2000, 26 p. (Circular Técnica, 41).

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 9-25. abr./jun.2001.

OLIVEIRA, Y. M. M.; ROTTA, E. Área de Distribuição Natural de Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS - SILVICULTURA DA ERVA-MATE, 10., 1985, Curitiba. **Anais...: Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1985. p.17-36.**

PARRESOL, B. R. Assessing tree and stand biomass: A review with examples and critical comparisons . **Forest Science**, Bethesda, v. 45, n.4, p. 573-593, nov. 1999.

PARRESOL, B. R. Additivity of nonlinear biomass equations. **Canadian Journal of Forest Research**, v.31, n. 5, p. 865-878, 2001.

PARRY, M. M. et al. Estado nutricional e produção do milho cultivado em diferentes épocas sob cobertura morta e duas em diferentes épocas sob cobertura morta e duas adubações. **Revista Ciência Agrária**, Belém, n. 47, p. 113-135, jan./jun. 2007.

PES, L. et al. Comportamento da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.Hil.) em consórcio silvicultural. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.5, n.1, p.19-32. jan./mar. 1995.

RACHWAL, M.F.G. et al. Influência da Luminosidade sobre a Produtividade da Erva-Mate aos Quatro Anos e Quatro Meses de Idade sobre Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em São Mateus do Sul, PR. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A ERVA-MATE, 2., 1998, Curitiba **Anais...Curitiba, EMBRAPA/CNPQ, 1997, p. 445.**

RAKOCEVIC, M.; MEDRADO, M. J. S; TAKAKI, M. Aspectos Fotomorfogenéticos de Plantas Jovens de Erva-Mate. In: CONGRESSO SUL AMERICANO DA ERVA-MATE 3., REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA-MATE, 3., 2003, Chapecó. **Anais ... Chapecó, EPAGRI, 2003.**

RIBEIRO, C. e MADEIRA, M. Decomposição e liberação de nutrientes de agulhas de *Pinus pinaster* na região Centro Litoral de Portugal. In: ENCONTRO ANUAL SOCIEDADE PORTUGUESA DE CIÊNCIA DO SOLO, 6., 2003, Coimbra: **Anais... Coimbra, ESAC, 2003. p. 110.**

SAIDELLES, F. L. F. **Crescimento inicial da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em três classes de solos, na região central do Rio Grande do Sul.** 2000. 70 f.Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SALATI, E. Emissão x sequestro de carbono do CO₂ In: EMISSÃO X SEQUESTRO DE CARBONO DO CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro, CVRD, 1994. p. 13-37.

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

SCHEEREN, L. W. et al. Crescimento de canela-lageana, *Ocotea pulchella* Nees et Mart. Ex Nees, na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v.13, n.1, p. 137-144. jan./mar. 2003.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. **Intrudução ao Manejo Florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM. 2008. 566 p.

SILVA, J. V. M. da. et al. Quantificação da biomassa e do carbono no resíduo de uma floresta de *Eucalyptus Grandis* aos 11 anos de idade em diferentes intensidades de colheita. In: SIMPÓSIO LATINO- AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3, 2004, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: PPGEF, 2004. 465 p.

SPATHELF, P.; NUTTO, L. Modelagem **aplicada ao crescimento e produção florestais**. Disponível em: < www.ufsm.br/dcfl/seriestecnicas/serie2.pdf>. Acesso em 5 set. 2008. 71p. 2000.

ST. CLAIR, J. B. Family differences in equations for predicting biomass and leaf area in Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *Menziesii*). **Forest Science**, Bethesda, v.39, n. 4, p. 743-755, nov. 1993.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

STRECK, N. A; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A. Modificações físicas causadas pelo mulching. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.2, n. 2, p.131-142, mai./ag. 1994.

SUERTEGARAY, C. E. O. **Dinâmica da cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil) em sistemas agroflorestais e monocultivos**. 2002. 49 f.Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

THOMPSON, W. A.; HUANG, L. K.; KRIEDEMANN, P. E. Photosynthetic response to light and nutrients in sun-tolerant and shade tolerant rainforest trees. II Leaf Gas exchange and Component processes of Photosynthesis. **Australian Journal of Plant Physiology**, Canberra, v. 19, n. 1, p. 19-42, jan.1992.

TILMAN, D. **Plant Strategies and the Dynamics and Structure of Plant Communities**. Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1988, 362 p.

TOPIC, V. et al. Regression models for estimating biomass of repour pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.), italiana oak (*Quercus fainetto* Tem.) and holm oak (*Quercus ilex* L.) **Glas. Sum. Pokuse**, Zagreb, v. 37, p.123-131. 2000.

VIEIRA, A.R.R. et al. Influência do Microclima de um Sistema Agroflorestal na Cultura da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Santa Maria: **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 91 – 97, jan./abr. 2003.

WATZLAWICK, L. F. et al. Fixação de carbono orgânico em floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração. In: **As florestas e o carbono**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002. p. 89-102.

WHATLEY, J. M.; WHATLEY, F. R. **A luz e a vida das plantas**. São Paulo: EPU: Ed. da Universidade de São Paulo, 1982. 101 p. Temas de Biologia, v. 30.

ZAMPIER, A. C. **Avaliação dos níveis de nutrientes, cafeína e taninos em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) após adubação e sua relação com a produtividade**. 2001. 103 f Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias).- Universidade Federal do Paraná, Curitiba.