

SILAS MOCHIUTTI

**PRODUTIVIDADE E SUSTENTABILIDADE DE
PLANTAÇÕES DE ACÁCIA-NEGRA (*Acacia mearnsii* De
Wild.) NO RIO GRANDE DO SUL**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Engenharia Florestal, Universidade Federal
do Paraná, como requisito parcial à obtenção
do título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Rioyei Higa

**CURITIBA
2007**



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 696

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) *Silas Mochiutti* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**PRODUTIVIDADE E SUSTENTABILIDADE DE PLANTAÇÕES DE ACÁCIA-NEGRA (*Acacia mearnsii* De Wild.) NO RIO GRANDE DO SUL**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em SILVICULTURA.

Dr. Ademir Reis
Universidade Federal de Santa Catarina
Primeiro examinador

Dr. Carlos Bruno Reissmann
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador

Dr. Edilson Batista de Oliveira
Embrapa/Florestas
Terceiro examinador

Dr. Ivan Crespo Silva
CEPLAC - Comissão Executiva do Plano L. Cacaueira
Quarto examinador

Dr. Antonio Riyei Higa
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 29 de março de 2007.

Graciela Ines Bolzon de Muniz
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Antonio Carlos Batista
Vice-coordenador do curso

*Não se turbe o vosso coração;
credes em Deus, crede também em mim.
Na casa de meu Pai há muitas moradas;
se não fosse assim, eu vo-lo teria dito.
Vou preparar-vos lugar.
E quando eu for, e vos preparar lugar,
virei outra vez, e vos levarei para mim mesmo,
para que onde eu estiver estejais vós também.*

João 14:1-3.

À minha esposa Marilene pelo auxílio;
Aos meus filhos Danilo e Eric pela compreensão;
Aos meus pais Wilson e Antonia pelos ensinamentos,

DECIDO

AGRADECIMENTOS

A Deus, Supremo Criador, pelas imensuráveis bençãos, Seu Eterno Amor e condução de minha vida;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) pela oportunidade de melhorar minha qualificação acadêmica e profissional;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR) pela possibilidade de cursar o doutorado;

À empresa TANAGRO S.A. pelo apoio logístico e financeiro para a execução das atividades de campo;

Ao Prof. Dr. Antonio Rioyei Higa, pela sábia orientação, grande amizade, confiança e incentivo ao enfrentamento de desafios, e por ter propiciado as condições para execução e elaboração deste trabalho;

Aos demais membros do comitê de orientação, Dr. Renato Dedecek e Dr. Admir Lopes Mora, pelas sugestões no planejamento e elaboração deste trabalho;

Aos componentes da banca examinadora, Prof. Dr. Ademir Reis, Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann, Dr. Edilson Batista de Oliveira e Dr. Ivan Crespo Silva, pelas correções e oportunas sugestões, que contribuíram grandemente para melhoria deste trabalho;

Aos colegas da TANAGRO S.A., Augusto A. Simon, Lourival Tonietto, Pedro Paulo Stein, Marcos Behling e Ilson Renato Lopes, pela agradável convivência e conhecimento transmitido sobre a acacicultura, que muito ajudou no desenvolvimento deste trabalho;

Aos colegas Dr. Álvaro Figueredo dos Santos, Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira, Dra. Rosana Clara Victoria Higa, Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann e Prof. Dr. Franklin Galvão pela contribuição no planejamento dos estudos de campo;

Ao casal 20, M.Sc. Francisco J.M. Caporal e Dra. Adriana Guglieri, pela amizade e precioso auxílio na avaliação de campo do estudo com espécies herbáceas e na identificação taxonômica destas espécies;

Ao biólogo Jair G. Kray e aos professores Dr. João A. Jarenkow e Dr. Jean C. Budke pela ajuda na identificação taxonômica das espécies florestais nativas;

Ao amigo e colega de curso, Dr. Itamar A. Bognolo, pelos bons momentos de estudos e apoio na classificação dos solos das áreas experimentais;

Aos técnicos florestais da TANAGRO S.A., Marcos Behling, Roberto Ribeiro, Luciano Kilpp e Ademir Luís da Silva, pela amizade e dedicado auxílio na condução das atividades de campo e digitalização dos dados;

Aos acacicultores, Adão Esswein, Darci Azevedo, Helmuth Kuhn, Julio Fornali, Mauro Poeta, Nilson Reis, Otávio Santos, Romeu Ávila e Vilson dos Santos, pela concessão de áreas para estudos e informações sobre práticas silviculturais utilizadas e custos e benefícios da produção;

Ao funcionário da TANAGRO S.A., Sr. Arlindo Debatini, pelo conhecimento do histórico das áreas, que propiciou a realização do estudo sobre sucessão florestal, e pela identificação do nome popular das espécies florestais nativas;

Aos funcionários do laboratório da TANAC S.A. pela ajuda na secagem, pesagem e preparo de amostras de solo e de biomassa para análises;

Aos supervisores e equipe de apoio técnico das regionais de Cristal e Piratini da TANAGRO S.A. pela dedicação na execução das atividades de campo;

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR pelos conhecimentos transmitidos;

Aos colegas de curso pelo agradável convívio, incentivo e conhecimentos compartilhados;

As Bibliotecárias e funcionários da Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira da UFPR e da Biblioteca da Embrapa Floresta, pelo pronto atendimento das solicitações;

As Chefias Geral e Adjuntas e ao pessoal do Setor de Recursos Humanos da Embrapa Florestas e Embrapa Amapá, pela atenção e presteza dispensada;

Ao casal Marcelo e Yorlene e sua filha Victoria, pela amizade e agradáveis momentos de convívio.

E, a todos que me incentivaram e contribuíram para a realização deste curso de Pós-Graduação.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
SEÇÃO 1 – ASPECTOS GERAIS:	1
1 INTRODUÇÃO	2
1.1 OBJETIVOS.....	7
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	8
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 PRODUTIVIDADE DAS PLANTAÇÕES FLORESTAIS.....	9
2.1.1 Interação Genótipo x Ambiente.....	10
2.1.2 Fatores do Meio Ambiente que Influenciam a Produção Florestal.....	11
2.1.3 Absorção, Acúmulo e Ciclagem de Nutrientes.....	13
2.2 IMPACTOS DAS PLANTAÇÕES FLORESTAIS.....	16
2.2.1 Exportação de Nutrientes.....	17
2.2.2 Diversidade da Vegetação.....	20
2.3 ACÁCIA-NEGRA.....	24
2.3.1 Utilização.....	25
2.3.2 Acacicultura no Rio Grande do Sul.....	26
2.4 SILVICULTURA DA ACÁCIA-NEGRA NO RIO GRANDE DO SUL.....	29
2.4.1 Sementes Melhoradas Geneticamente.....	29
2.4.2 Estabelecimento das Plantações.....	30
2.4.3 Manejo das Plantações.....	33
2.4.4 Praga e Doenças.....	34
2.4.5 Produção e Colheita.....	35
3 CARACTERIZAÇÃO DAS REGIÕES ESTUDADAS	36
3.1 CLIMA.....	39
3.2 SOLOS.....	41
3.3 VEGETAÇÃO.....	43
SEÇÃO 2 – CAPÍTULOS:	45
1 PRODUTIVIDADE E RENTABILIDADE DE PLANTAÇÕES DE ACÁCIA-NEGRA NA PEQUENA PROPRIEDADE EM FUNÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE SEMENTES MELHORADAS E DAS CONDIÇÕES DE SOLO	46
INTRODUÇÃO.....	46
MATERIAL E MÉTODOS.....	49
Área de Estudo.....	49
Avaliação das Áreas.....	52
Análise dos Dados.....	53
Influência dos Atributos do Solo sobre o Crescimento.....	56
Rentabilidade Econômica dos Sistemas e Idade Ótima Econômica de Corte... 58	58

RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
Densidade, Sobrevivência e Crescimento.....	60
Produção de Madeira e Casca.....	63
Ocorrência de Gomose e Mortalidade de Árvores.....	70
Influência dos Atributos do Solo Sobre o Crescimento.....	74
Rentabilidade Econômica dos Sistemas e Idade Ótima Econômica de Corte...	82
CONCLUSÕES.....	89
2 ACÚMULO, CICLAGEM E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES E BIOMASSA EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA.....	90
INTRODUÇÃO.....	90
MATERIAL E MÉTODOS.....	93
Área de Estudo e Demarcação das Parcelas de Avaliação.....	93
Inventário Florestal e Avaliação de Biomassa e Serapilheira.....	94
Análise dos Dados.....	97
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	99
Inventário Florestal.....	99
Biomassa Acima do Solo.....	100
Acúmulo de biomassa nos compartimentos.....	100
Proporção de biomassa nos compartimento.....	104
Taxa de produção de biomassa e índice de eficiência foliar.....	106
Deposição de Serapilheira.....	108
Concentração de Nutrientes na Biomassa e Serapilheira.....	111
Acúmulo e Ciclagem dos Nutrientes.....	114
Nitrogênio.....	114
Fósforo.....	118
Potássio.....	120
Cálcio.....	122
Magnésio.....	124
Enxofre.....	126
Acúmulo e Ciclagem de Nutrientes e Implicações sobre o Manejo.....	128
Captura de Carbono na Biomassa Aérea.....	130
Balanço Final de Nutrientes.....	133
CONCLUSÕES.....	136
3 ADUBAÇÃO DA ACÁCIA-NEGRA COM P E K EM DIFERENTES TIPOS DE SOLOS.....	137
INTRODUÇÃO.....	137
MATERIAL E MÉTODOS.....	140
Área Experimental.....	140
Tratamentos, Preparo da Área, Plantio e Manutenção.....	141
Avaliação e Análise dos Dados.....	143
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	145
Crescimento e Mortalidade de Plantas.....	145
Produção de Madeira aos Três Anos de Idade.....	148
Efeito da Aplicação de Ca e Mg.....	154
CONCLUSÕES.....	157

4 SUSCEPTIBILIDADE DE AMBIENTES CAMPESTRES A INVASÃO DA ACÁCIA-NEGRA	158
INTRODUÇÃO.....	158
MATERIAL E MÉTODOS.....	161
Área de Estudo.....	161
Ambientes Avaliados.....	162
Demarcação e Avaliação das Parcelas.....	166
Análise dos Dados.....	167
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	170
Frequência, Intensidade e Padrão da Invasão.....	170
Monitoramento e Controle da Invasão.....	183
CONCLUSÕES.....	186
5 REGENERAÇÃO DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS NO SUB-BOSQUE DE UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA	187
INTRODUÇÃO.....	187
MATERIAL E MÉTODOS.....	190
Área de Estudo.....	190
Levantamento Florístico e Fitossociológico.....	191
Análise dos Dados.....	192
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	193
Composição e Diversidade Florística.....	193
Estrutura do Estrato Arbóreo e da Regeneração Natural.....	197
Estratégia de Dispersão e de Crescimento da Sucessão Florestal.....	203
Similaridade Florística entre Parcelas.....	205
CONCLUSÕES.....	209
6 DIVERSIDADE E COMPOSIÇÃO BOTÂNICA DA VEGETAÇÃO HERBÁCEA SOB POVOAMENTOS DE ACÁCIA-NEGRA EM ÁREAS CAMPESTRES	210
INTRODUÇÃO.....	210
MATERIAL E MÉTODOS.....	213
Área de Estudo.....	213
Levantamento dos Dados.....	216
Análise dos Dados.....	217
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	220
Diversidade Florística.....	220
Similaridade dos Ambientes.....	225
Padrão de Cobertura das Espécies.....	227
CONCLUSÕES.....	236
SEÇÃO 3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	237
1 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES GERAIS	238
1.1 PRODUTIVIDADE EM PLANTAÇÕES DE ACÁCIA-NEGRA.....	238
1.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DAS PLANTAÇÕES DE ACÁCIA-NEGRA.....	243
2 REFERÊNCIAS	246
3 APÊNDICES	264

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

NA SEÇÃO 1:

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DA ACACICULTURA NO RIO GRANDE DO SUL NO PERÍODO DE 1930 A 2000.....	27
FIGURA 2 - REGIÕES AGROECOLÓGICAS COM MAIOR CONCENTRAÇÃO DE PLANTAÇÕES DE ACÁCIA-NEGRA NO RIO GRANDE DO SUL E LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.....	37
FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO MÉDIA MENSAL DE PRECIPITAÇÃO E PRECIPITAÇÃO NOS ANOS 2004 E 2005 EM TRIUNFO E PIRATINI NO RIO GRANDE DO SUL.....	40
TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DAS REGIÕES FISSIOGRÁFICAS EM QUE ESTÃO LOCALIZADAS AS ÁREAS DE ESTUDO.....	40

NA SEÇÃO 2:

CAPÍTULO 1:

FIGURA 1 - VOLUME DE MADEIRA COM CASCA AOS TRÊS, QUATRO E CINCO DE IDADE EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL, ESTABELECIDOS EM NOVE PROPRIEDADES.	65
FIGURA 2 - GANHO (%) NA PRODUÇÃO DE MADEIRA (m ³ /ha) PELA UTILIZAÇÃO DE SEMENTES MELHORADAS DE ACÁCIA-NEGRA.....	66
FIGURA 3 - VOLUME DE MADEIRA COM CASCA AOS CINCO ANOS DE IDADE EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL, ESTABELECIDOS EM NOVE PROPRIEDADES.....	69
FIGURA 4 - INCREMENTO MÉDIO ANUAL E INCREMENTO CORRENTE ANUAL DO VOLUME DE MADEIRA COM CASCA, NO PERÍODO DE TRÊS A CINCO ANOS DE IDADE, EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL.....	70
FIGURA 5 - VOLUME E INCREMENTO PERIÓDICO DE MADEIRA COM CASCA EM ÁRVORES COM E SEM SISTEMAS DE GOMOSE.....	73
QUADRO 1 - PRÁTICAS SILVICULTURAIS REALIZADAS NAS ÁREAS AVALIADAS.....	51
TABELA 1 - DENSIDADE DE PLANTIO, SOBREVIVÊNCIA E DENSIDADE DE PLANTAS AO FINAL DA ROTAÇÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL, ESTABELECIDOS EM NOVE PROPRIEDADES.....	60
TABELA 2 - DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP), ÁREA BASAL E ALTURA DOMINANTE AOS QUATRO ANOS DE IDADE EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL, ESTABELECIDOS EM NOVE PROPRIEDADES.....	62
TABELA 3 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE ALGUMAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DOS POVOAMENTOS DE ACÁCIA-NEGRA AVALIADOS.....	63

TABELA 4 - PRODUÇÃO DE MADEIRA E CASCA NOS SISTEMAS MELHORADO E TRADICIONAL AOS TRÊS, QUATRO E CINCO ANOS DE IDADE.....	64
TABELA 5 - MORTALIDADE DE PLANTAS, INCIDÊNCIA E SEVERIDADE DE GOMOSE NO TRONCO, AOS TRÊS E CINCO ANOS DE IDADE...	71
TABELA 6 - MÉDIA, DESVIO PADRÃO, VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E SUA CORRELAÇÃO (r) COM A ALTURA DOMINANTE.....	75
TABELA 7 - VARIÁVEIS PREDITORAS SELECIONADAS POR REGRESSÃO MÚLTIPLA PARA A RELAÇÃO ENTRE ALTURA DOMINANTE E OS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DOS SOLOS.....	78
TABELA 8 - PREÇOS UNITÁRIO DOS ELEMENTOS DE DESPESAS (VALOR MÉDIO DE 2001) E PREÇO DE VENDA DA MADEIRA (VALOR DE SETEMBRO 2006).....	83
TABELA 9 - CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE 1 ha DE ACÁCIA-NEGRA EM NOVE PROPRIEDADES, NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL.....	84
TABELA 10 - CUSTOS DE MANUTENÇÃO DE 1 ha DE ACÁCIA-NEGRA EM NOVE PROPRIEDADES, NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL.....	84
TABELA 11 - INDICADORES DE DESEMPENHO FINANCEIRO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL EM TRÊS NÍVEIS DE PRODUÇÃO, COM CORTE AOS CINCO ANOS DE IDADE.....	86
TABELA 12 - VPL E VPL_{∞} (R\$/ha) PARA O ARRENDATÁRIO, PROPRIETÁRIO E TOTAL DA PLANTAÇÃO, EM DIFERENTES IDADE DE CORTE (ANOS), NOS SISTEMAS PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL.....	88

CAPÍTULO 2:

FIGURA 1 - PRODUÇÃO DE MADEIRA COM CASCA (V_{cc}) E INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) E CORRENTE ANUAL (ICA) DE VOLUME EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE DOIS A SETE ANOS DE IDADE.....	100
FIGURA 2 - ACÚMULO DE BIOMASSA NOS COMPARTIMENTOS ACIMA DO SOLO E DEPOSIÇÃO ANUAL DE SERAPILHEIRA EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.....	101
FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO RELATIVA (%) DOS COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.....	105
FIGURA 4 - TAXA DE PRODUÇÃO DE BIOMASSA E EFICIÊNCIA DA BIOMASSA FOLIAR EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.....	107
FIGURA 5 - DEPOSIÇÃO MENSAL DE SERAPILHEIRA EM PLANTAÇÕES DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.....	111

FIGURA 6 - ABSORÇÃO, DEMANDA, ACÚMULO, ALOCAÇÃO, CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE N EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.....	117
FIGURA 7 - ABSORÇÃO, DEMANDA, ACÚMULO, ALOCAÇÃO, CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE P EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.....	119
FIGURA 8 - ABSORÇÃO, DEMANDA, ACÚMULO, ALOCAÇÃO, CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE K EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.....	121
FIGURA 9 - ABSORÇÃO, DEMANDA, ACÚMULO, ALOCAÇÃO, CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE Ca EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.....	123
FIGURA 10 - ABSORÇÃO, DEMANDA, ACÚMULO, ALOCAÇÃO, CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE Mg EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.....	125
FIGURA 11 - ABSORÇÃO, DEMANDA, ACÚMULO, ALOCAÇÃO, CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE S EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.....	127
FIGURA 12 - CAPTURA, ALOCAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE C EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.....	131
TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DOS SOLOS (0-20 CM) DAS PARCELAS AVALIADAS EM CRISTAL E PIRATINI.....	94
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DOS PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE AVALIADOS EM CRISTAL E PIRATINI.....	100
TABELA 3 - CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NOS COMPARTIMENTO DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SEIS ANOS DE IDADE.....	112
TABELA 4 - CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES EM DIFERENTES ÉPOCAS DO ANO NA SERAPILHEIRA DE PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA.....	113
TABELA 5 - BALANÇO DE NUTRIENTES PARA CADA ROTAÇÃO EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA COM COLHEITA REALIZADA AOS SETE ANOS DE IDADE.....	135

CAPÍTULO 3:

FIGURA 1 - ALTURA DE PLANTAS DE ACÁCIA-NEGRA EM FUNÇÃO DE TRÊS DOSES DE P (0, 33,5 E 67,0 kg/ha de P ₂ O ₅) NOS QUATRO ENSAIOS.....	145
FIGURA 2 - ALTURA DE PLANTAS DE ACÁCIA-NEGRA EM FUNÇÃO DE TRÊS DOSES DE K (0, 16,5 E 33,0 kg/ha de K ₂ O) NOS QUATRO ENSAIOS.....	146
FIGURA 3 - VOLUME DE MADEIRA COM CASCA DE ACÁCIA-NEGRA AOS TRÊS ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DE TRÊS DOSES DE P (0, 33,5 E 67,0 kg/ha de P ₂ O ₅) E K (0, 16,5 E 33,0 kg/ha de K ₂ O), NOS QUATRO ENSAIOS.....	149

TABELA 1 -	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E TEXTURAS DOS SOLOS DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	141
TABELA 2 -	MÉDIA DE MORTALIDADE + PLANTAS SUPRIMIDAS E PRODUÇÃO DE MADEIRA OBTIDA PELA ANÁLISE CONJUNTA DOS QUATRO ENSAIOS EM FUNÇÃO DE TRÊS DOSES DE P (0, 33,5 E 67,0 kg/ha de P ₂ O ₅) E K (0, 16,5 E 33,0 kg/ha de K ₂ O)....	147
TABELA 3 -	VOLUME DE MADEIRA COM CASCA (m ³ /ha) EM FUNÇÃO DE TRÊS DOSES DE P (0, 33,5 E 67,0 kg/ha de P ₂ O ₅) E K (0, 16,5 E 33,0 kg/ha de K ₂ O) EM QUATRO ENSAIOS.....	151
TABELA 4 -	DAP, ALTURA, MORTALIDADE + SUPRIMIDAS (MORT+SUPR) E VOLUME DE MADEIRA COM CASCA (V _{cc}) DA ACÁCIA-NEGRA AOS TRÊS ANOS DE IDADE NOS QUATRO ENSAIOS...	151
TABELA 5 -	EFEITO DA APLICAÇÃO DE CALCÁREO DOLOMÍTICO SOBRE O VOLUME DE MADEIRA COM CASCA (m ³ /ha) PRODUZIDA PELA ACÁCIA-NEGRA AOS TRÊS ANOS DE IDADE.....	156

CAPÍTULO 4:

FIGURA 1 -	NÚMERO TOTAL E MORTALIDADE DE PLANTAS INVASORAS DE ACÁCIA-NEGRA EM AMBIENTES CAMPESTRES ADJACENTES A PLANTIOS DESTA ESPÉCIE.....	173
FIGURA 2 -	DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE PLANTAS INVASORAS DE ACÁCIA-NEGRA POR CLASSES DE ALTURA E IDADE DO PLANTIO ADJACENTE NAS AVALIAÇÕES DE 2004 (A) E 2005 (B).....	175
FIGURA 3 -	MORTALIDADE MÉDIA E DE QUATRO EM CLASSES DE ALTURA DE PLANTAS INVASORAS DE ACÁCIA-NEGRA NO PERÍODO DE SETEMBRO/2004 A SETEMBRO/2005.....	176
FIGURA 4 -	INCREMENTO CORRENTE ANUAL (ICA) EM ALTURA E DAP DE PLANTAS INVASORAS DE ACÁCIA-NEGRA NO PERÍODO DE SETEMBRO/2004 A SETEMBRO/2005.....	178
FIGURA 5 -	DENDROGRAMA DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO DA SUSCEPTIBILIDADE DOS AMBIENTES A INVASÃO DA ACÁCIA-NEGRA.....	182
QUADRO 1 -	CAUSAS E PADRÕES DE INVASÃO DA ACÁCIA-NEGRA E MEDIDAS PARA MONITORAMENTO E CONTROLE.....	185
TABELA 1 -	CARACTERÍSTICAS E USO DAS ÁREAS AVALIADAS NAS REGIÕES DE CRISTAL E PIRATINI.....	162

CAPÍTULO 5:

FIGURA 1 -	CURVAS DO NÚMERO DE PARCELAS PELO NÚMERO DE ESPÉCIES DO ESTRATO ARBÓREO E DA REGENERAÇÃO NATURAL EM UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.....	193
FIGURA 2 -	PORCENTAGEM DE COBERTURA POR FAMÍLIA NO ESTRATO ARBÓREO E NA REGENERAÇÃO NATURAL EM UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.....	199

FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO EM CLASSES DE ALTURA E ESTRATIFICAÇÃO DO ESTRATO ARBÓREO E DA REGENERAÇÃO NATURAL EM UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.....	203
FIGURA 4 - PORCENTAGEM DO NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR GRUPO ECOLÓGICO NO ESTRATO ARBÓREO E NA REGENERAÇÃO NATURAL (CLASSES DE ALTURA I, II E III) NO SUB-BOSQUE DE UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.....	204
FIGURA 5 - DENDROGRAMA DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO DAS PARCELAS AVALIADAS EM UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.....	205
FIGURA 6 - DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DAS PARCELAS OBTIDO POR ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	206
TABELA 1 - LISTA DAS ESPÉCIES NATIVAS E NÚMERO DE INDIVÍDUOS AMOSTRADOS NO ESTRATO ARBÓREO E NA REGENERAÇÃO NATURAL DE UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.....	195
TABELA 2 - PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS DO ESTRATO ARBÓREO E DA REGENERAÇÃO NATURAL OBTIDOS EM UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.....	196
TABELA 3 - ESTRUTURA DO ESTRATO ARBÓREO EM UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.....	199
TABELA 4 - DENSIDADE E FREQUÊNCIA ABSOLUTA DA REGENERAÇÃO NATURAL EM UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.....	200
TABELA 5 - VALORES MÉDIOS PARA BLOCOS DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS FITOSSOCIOLÓGICAS DO ESTRATO ARBÓREO E DA REGENEGARAÇÃO NATURAL DE UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.....	208

CAPÍTULO 6:

FIGURA 1 - DENDROGRAMAS DE CLASSIFICAÇÃO HIERÁRQUICA DA SIMILARIDADE DOS AMBIENTES NA REGIÃO DE CRISTAL E PIRATINI, UTILIZANDO O ÍNDICE DE JACCARD PARA PRESENÇA/AUSÊNCIA DAS ESPÉCIES E O ÍNDICE DE MORISITA PARA ABUNDÂNCIA/COBERTURA DAS ESPÉCIES..	226
FIGURA 2 - COBERTURA DE SOLO PELA VEGETAÇÃO HERBÁCEA, MATERIAL MORTO E SOLO DESCOBERTO NOS AMBIENTES AVALIADOS NAS REGIÕES DE CRISTAL E PIRATINI.....	228
FIGURA 3 - DIAGRAMAS DE ORDENAÇÃO OBTIDOS POR ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS COM OS DADOS DE COBERTURA DAS ESPÉCIES*, SOLO DESCOBERTO (SODE) E MATERIAL MORTO (MAMO) DE CADA PARCELA NOS AMBIENTES** ESTUDADOS NA REGIÃO DE CRISTAL E PIRATINI.....	232
FIGURA 4 - COBERTURA DE SOLO (%) DAS PRINCIPAIS ESPÉCIES COMPONENTES DA VEGETAÇÃO HERBÁCEA NOS AMBIENTES AVALIADOS NAS REGIÕES DE CRISTAL E PIRATINI.....	234

TABELA 1 - INDICADORES DE DIVERSIDADE FLORÍSTICA PARA OS AMBIENTES AVALIADOS NAS REGIÕES DE CRISTAL E PIRATINI.....	221
TABELA 2 - VALORES DO TESTE t PARA COMPARAÇÕES DO ÍNDICE DE DIVERSIDADE DE SHANNON (H') DOS AMBIENTES NAS REGIÕES DE CRISTAL E PIRATINI.....	223
TABELA 3 - LISTA DAS ESPÉCIES HERBÁCEAS E SUBARBUSTIVAS DE MAIOR PORCENTAGEM DE IMPORTÂNCIA NOS AMBIENTES CAMPESTRES E POVOAMENTOS DE ACÁCIA-NEGRA EM CRISTAL E PIRATINI.....	233

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar fatores relacionados à produtividade, sustentabilidade e impactos de plantações de acácia-negra no Rio Grande do Sul. Os estudos realizados nestas plantações analisaram a utilização de sementes geneticamente melhoradas; a influência de atributos do solo; a rentabilidade e idade ótima econômica de corte; a adubação de P e K; a absorção, ciclagem e exportação de nutrientes; a produção e partição da biomassa; a invasão da acácia-negra a ambientes campestres e de floresta ripária; e, a sucessão florestal e a diversidade da vegetação herbácea no sub-bosque das plantações de acácia-negra. A produção de madeira aos cinco anos aumentou em 9,1 m³/ha pela adoção de sementes melhoradas, que representou um ganho líquido de R\$ 180,00 por ha; no entanto, estes incrementos dependeram da utilização de práticas silviculturais adequadas. A gomose (*Phytophthora* sp.) foi observada em 33,9% das árvores mortas no período de três a cinco anos e reduziu em 9,0% o crescimento das plantas atacadas. A idade ótima econômica de corte, definida pelo valor presente líquido com horizonte no infinito, foi aos quatro anos para os proprietários da terra e aos seis anos para os arrendatários. O P, K e a matéria orgânica no solo tiveram efeitos positivos sobre o crescimento da acácia-negra. Neste sentido, encontrou-se resposta a adubação com P e K, com um aumento médio de 36,2% no volume de madeira, sendo que o P promoveu os maiores incrementos e as respostas de K foram maiores na dose ótima de P. A maior eficiência da folhagem para produção de biomassa e a máxima produtividade de madeira ocorreram aos cinco anos de idade. Aos sete anos de idade, o tronco representou cerca de 80% da biomassa acima do solo e acumulou a maior quantidade de P, K, Ca e Mg. O acúmulo de N e S foi maior nos compartimentos da copa das árvores. A taxa de ciclagem de nutrientes via serapilheira durante a rotação de sete anos variou entre 25,3 a 59,6%, sendo que após quatro anos de idade, estes representaram mais que 60% dos nutrientes absorvidos pelas plantas. O Ca e K foram os nutrientes exportados em maior quantidade pela colheita florestal. A melhor eficiência dos nutrientes para a produção de biomassa do tronco e a menor exportação de nutrientes por unidade de biomassa colhida ocorreram aos seis e sete anos de idade das plantações. A acácia-negra somente foi capaz de invadir áreas campestres perturbadas com exposição total do solo, por isto deve ser considerada uma invasora causal. A recomposição da vegetação nativa destas áreas ocasionou mortalidade da maioria das plantas invasoras. Por outro lado, a acácia-negra não se constitui numa invasora de florestas ripárias e quando plantada nestas áreas proporcionou uma abundante e diversificada sucessão florestal em seu sub-bosque. As plantações de acácia-negra em áreas campestres reduziram parte da diversidade florística da vegetação herbácea e propiciaram a colonização de espécies típicas de sub-bosques de florestas, porém não afetaram a resiliência ambiental do sítio.

Palavras-chave: melhoramento genético, biomassa, nutrientes, atributos do solo, adubação, planta invasora, sucessão florestal, vegetação herbácea.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the factors related to the productivity, sustainability and environmental impacts of the black wattle plantation in Rio Grande do Sul, Brazil. The studies made about those plantations analyzed the utilization of the genetically improved seeds, the soil attributes influence, the P and K fertilization profit, the uptake, cycling and exportation of nutrients, the biomass production and partition, the black wattle invasion in the grassland area and riparian forest, the forest succession and the understorey herbaceous vegetation of the black wattle plantation. The timber production at the age of five years increased in 9.1 m³/ha through the seed improvement adoption that represented a net profit of R\$ 180.00 per ha; however those increments depended on the utilization of suitable silvicultural practices. The gummosis (*Phytophthora* sp.) was observed in 33.9% of the dead trees during the period from three to five years and reduced in 9.0% the growth of attacked plants. The optimal economic rotation defined by the net present worth, considering an infinite horizon, was at the age of four years for the land owner and at the age of six years for the renters. The P, K and organic matter on the soil had positive effects on the black wattle growth. Similarly, it was found the response to the P and K fertilization, with a medium increase of 36.2% in the timber volume, and the P also promoted the greatest increments and the response to the K were great on the optimal dose of the P. The greatest foliage efficiency for the biomass production and the maximum timber productivity occurred at the age of five years. At the age of seven years the trunk represented around 80% of the aboveground biomass and stored a greater quantity of P, K, Ca and Mg. The N and S accumulation was greater in the crown trees compartments. The nutrients cycling rate via litter during de rotation of seven years varied from 25.3 to 59.6% and after the age of four years they represented more than 60% of the nutrients absorbed by the plants. The Ca and K were the nutrients exported in a greater quantity by the forest harvest. The best efficiency of the nutrients to the trunk biomass production and the least nutrients exportation per biomass unit harvested occurred when the plantations were six and seven years old. The black wattle was able to invade only disturbed grassland area with total exposure of the soil, for this reason it must be considered as a causal invasive plant. The native vegetation recomposition of those areas provoked mortality of a greater number of invasive plants. In the other hand, the black wattle does not become an invasive plant in the riparian forest and when planted in those areas proportioned an abundant and diversified succession in its understorey. The black wattle plantation in grassland area reduced part of the floristic diversity of the herbaceous vegetation and propitiated the typical species settlement in the understorey forests, however they did not affected the site environmental resilience.

Key-words: Genetic improvement, biomass, nutrient, soil attributes, fertilization, invasive plant, forest succession, herbaceous vegetation.

SEÇÃO 1

ASPECTOS GERAIS

1 INTRODUÇÃO

A produtividade das plantações florestais pode ser representada pela biomassa produzida num período de tempo, sendo influenciada pelas características da espécie e genótipo utilizado, idade da plantação e por fatores ambientais, tais como clima, solo, competição e práticas silviculturais. Normalmente a biomassa do tronco é o produto de maior interesse; por isto o manejo destas plantações deve ser conduzido de maneira a otimizar a produção e alocação de biomassa neste compartimento da árvore.

A sustentabilidade, por sua vez, deve ser entendida pelas suas múltiplas facetas, entre as quais se destacam a ecológica, ambiental, social, econômica e política. Neste trabalho, considerou-se a sustentabilidade em sua dimensão ambiental, que para as plantações florestais está fundamentada na manutenção da capacidade produtiva do sítio, no equilíbrio do fluxo de energia e de nutrientes e na conservação da capacidade de regeneração do ecossistema, além de não causar alterações nos ambientes circunvizinhos.

As plantações florestais no Brasil, formada quase que exclusivamente por espécies exóticas, tiveram uma grande expansão em consequência da evolução de toda uma estrutura industrial, que tem como base a matéria-prima florestal para produção de celulose e papel, carvão vegetal, lenha industrial, serrados, laminados, painéis reconstituídos (chapas e aglomerados), tanino e borracha.

Espécies exóticas, principalmente as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, que apresentaram melhor crescimento para as condições brasileiras, foram submetidas a intensos processos de melhoramento genético e silvicultural, que propiciaram incrementos elevados na produtividade e qualidade da matéria-prima florestal, tornando o Brasil num dos líderes mundiais em produtividade das plantações florestais. Esta produção tem sustentado uma atividade industrial de relevante desempenho no contexto sócio-econômico brasileiro.

O setor de florestas plantadas se destaca pela geração de emprego e renda, sendo integrada a diversas cadeias produtivas com efeitos multiplicadores sobre a economia brasileira. Em 2005 o setor teve 676 mil empregos diretos e 1,7 milhões indiretos, obteve receita bruta de R\$ 6,3 bilhões e respondeu por 1,8% da arrecadação de tributos no Brasil (ABRAF, 2006). As plantações florestais foram no ano de 2000 responsáveis por 61,6% da matéria-prima florestal consumida no país, o que representou 102,5 milhões de metros cúbicos de madeira produzida (PONCE; FRANÇA, 2003); esta participação tem tido crescimento constante nas últimas décadas.

A maior parte das plantações florestais do Brasil foram formadas nas décadas de 1970 e 1980, período de vigência dos incentivos fiscais, quando a taxa média anual de plantio foi de 312,6 mil hectares (JUVENAL; MATTOS, 2002). Em 2005 a área total plantada alcançou 5,6 milhões de hectares, sendo 61,2% com espécies do gênero *Eucalyptus*, 32,9% do gênero *Pinus*, 3,2% do gênero *Acacia* e apenas 2,7% de outras espécies (ABRAF, 2006). Apesar do aumento da área plantada e dos ganhos significativos de produtividade obtidos nas duas últimas décadas, a produção florestal é insuficiente para atender a demanda atual de madeira, especialmente para a região sul e sudeste, levando a necessidade do estabelecimento de programas para a expansão das áreas de plantações florestais (BRASIL, 2000; JUVENAL; MATTOS, 2002; EMBRAPA FLORESTAS, 2005).

No Rio Grande do Sul as plantações florestais totalizaram 521 mil hectares em 2005, sendo 156.377 ha com plantios de acácia-negra (ABRAF, 2006). Esta espécie foi introduzida no Brasil como fonte de casca para produção de taninos, tem atualmente a madeira como principal produto, utilizada para a produção e exportação de cavacos para celulose. O cultivo da acácia-negra apresenta grande

importância sócio-econômica, pois aproximadamente 60% das plantações pertencem a pequenos produtores, inseridas em diversos sistemas agrossilvipastoris, beneficiando cerca de 40 mil famílias direta e indiretamente pelas alternativas criadas pela espécie (STEIN; TONIETTO, 1997).

A maior demanda por madeira da acácia-negra tem levado os produtores a aumentar as áreas de plantios, bem como reduzir o tempo de colheita, com conseqüências negativas sobre a produtividade e qualidade da madeira e casca. No entanto, pouca atenção tem sido dada, pelos pequenos produtores, a melhoria do sistema de produção. Trabalhos desenvolvidos na região têm demonstrado a possibilidade de aumentar a produtividade por práticas silviculturais adequadas e pela utilização de sementes melhoradas geneticamente. Estas tecnologias merecem ser testadas nos diversos sistemas de produção de acácia-negra, visando melhorar a rentabilidade e a competitividade das plantações de acácia-negra frente a outras possibilidades de uso da terra.

A acácia-negra é considerada uma espécie recuperadora de solos degradados, pela capacidade de fixação simbiótica de nitrogênio e deposição de serapilheira rica em nutrientes, melhorando as condições químicas, físicas e biológicas do solo (CARPANEZZI, 1998). No entanto, como árvore de rápido crescimento, extrai consideráveis quantidades de nutrientes, que em parte é retirado da área de plantio pela colheita da madeira e casca, podendo em médio e longo prazo comprometer a capacidade produtiva do solo. A dinâmica dos nutrientes (fertilização, acúmulo, ciclagem e exportação) e da biomassa (produção, partição e exportação) é um conhecimento primordial para a identificação de desequilíbrio nutricional na plantação florestal e da necessidade de alterar formas de manejo, assegurando a manutenção, ou até mesmo um aumento, da produtividade do sítio no decorrer das rotações.

Uma preocupação atual com as plantações florestais, bem como de outras formas de uso da terra, é a capacidade destas em causar impactos ambientais, especialmente pela alteração de habitat naturais e redução da biodiversidade. A manutenção da capacidade de regeneração do ecossistema deve ser considerada uma premissa básica da sustentabilidade de uma plantação florestal. Áreas com a vegetação original conservada entre talhões destas plantações, como as áreas de preservação permanente, corredores biológicos, áreas ciliares, banhados e faixas com vegetação nativa, podem proporcionar propágulos para estabelecimento da sucessão vegetal em áreas anteriormente cultivadas por plantações florestais.

Muitas espécies florestais exóticas utilizadas em plantios homogêneos são tidas como invasoras, apresentando a capacidade de se regenerar e modificar ambientes naturais. As principais conseqüências da invasão são a perda da biodiversidade, modificação dos ciclos e características do ecossistema e alteração fisionômica da paisagem (ZILLER, 2000). A acácia-negra é considerada uma invasora potencial de ambientes naturais da África do Sul e Havaí, onde tem causado danos ambientais significativos a ecossistemas (HEAR, 2005; HENDERSON, 2003). Estudar a capacidade de regeneração desta espécie em áreas nativas próximas de cultivos e avaliar sua capacidade de manter uma população viável inibindo a sucessão natural do ambiente é de fundamental importância para a adoção de medidas de monitoramento e controle.

Parte da diversidade florística da vegetação original pode ser conservada no sub-bosque das plantações florestais; estas inclusive funcionam, em muitos casos, como facilitadora da sucessão natural em áreas florestais degradadas. Por outro lado, a diversidade e composição da regeneração da vegetação original em áreas anteriormente utilizadas com estas plantações podem determinar a extensão das perturbações e seu efeito sobre a resiliência ambiental.

A acácia-negra é tradicionalmente utilizada para compor sistemas silvipastoris. O pastoreio da vegetação nativa ou naturalizada que se desenvolve no sub-bosque das plantações de acácia-negra normalmente é realizado do segundo ano até o final da rotação. A diversidade e a composição florística podem indicar o grau de adaptação das espécies de menor porte, predominantemente herbáceas, ao sombreamento e a necessidade de adoção de práticas de manejo que minimizem os efeitos de competição entre os componentes do sistema.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar fatores relacionados à produtividade, sustentabilidade e impactos de plantações de acácia-negra no Rio Grande do Sul.

Os objetivos específicos foram:

- a) Determinar ganhos de produtividade e nos rendimentos econômicos pela adoção de sementes melhoradas geneticamente e de práticas silviculturais adequadas em plantações de acácia-negra e analisar o efeito dos atributos químicos e físicos do solo sobre o crescimento desta espécie.
- b) Quantificar o acúmulo, ciclo e exportação de nutrientes e de biomassa aérea em plantações de acácia-negra numa seqüência de idades e em duas condições ambientais.
- c) Analisar o efeito da fertilização com fósforo e potássio sobre o crescimento da acácia-negra em diferentes tipos de solo.
- d) Avaliar a freqüência, intensidade e o padrão de invasão da acácia-negra a ambientes campestres e propor medidas de monitoramento e controle.
- e) Averiguar a capacidade de regeneração natural de espécies florestais em um povoamento abandonado de acácia-negra, estabelecido há 16 anos em uma área ripária, e verificar a capacidade desta espécie em manter uma população de plantas na área.
- f) Estudar a diversidade da vegetação herbácea sob o sombreamento da acácia-negra, avaliar capacidade de recomposição desta vegetação em áreas utilizadas anteriormente com plantios desta espécie e identificar padrões da composição botânica nos diferentes ambientes.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para alcançar os objetivos propostos foram desenvolvidos seis estudos abrangendo aspectos relacionados com a produtividade, sustentabilidade e impactos ambientais da acacicultura no Rio Grande do Sul. A apresentação do trabalho foi organizado em seções e capítulos, visando facilitar a compreensão e discussão dos resultados de cada estudo.

A seção 1 estão a introdução e a revisão de literatura sobre produtividade, sustentabilidade e impactos das plantações florestais, com ênfase na acácia-negra; bem como, apresenta as descrição da espécie, o sistema de produção adotado no Rio Grande do Sul e as características de clima, solos e vegetação das regiões em que os estudos foram realizados. Na seção 2 estão os estudos realizados, divididos em seis capítulos, organizado na forma de artigo, constando de introdução, material e métodos, resultados e discussão, e conclusões. A seção 3 apresenta a discussão e conclusões gerais do trabalho, relacionando os resultados das seis linhas de pesquisa; e, as referências citadas em todas seções.

Os estudos apresentados nos capítulos 1 a 3 estão relacionados com a produtividade e manutenção da capacidade produtiva dos sítios. Os capítulos 4 a 6 são relacionados com os possíveis impactos da acácia-negra sobre os ambientes naturais, especialmente sobre a vegetação nativa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRODUTIVIDADE DAS PLANTAÇÕES FLORESTAIS

A produtividade florestal pode ser analisada de diversas perspectivas. A biomassa produzida em um período de tempo representa a produtividade primária líquida (PPL), que é a resultante da fotossíntese total ou produtividade primária bruta (PPB) menos os gastos com a respiração. A biomassa acima do solo omite as raízes e micorrizas; e a biomassa do tronco omite também folhas e galhos. O tronco usualmente é o componente de maior interesse nas plantações florestais, sendo que uma pequena redução da PPB pode provocar um grande declínio no crescimento deste componente (BINKLEY; O'CONNELL; SANKARAN, 1997).

O acúmulo de biomassa ou o crescimento das árvores é influenciado por todos aqueles fatores ambientais e da planta que afetam a fotossíntese e a respiração. Entre os fatores do ambiente destacam-se a luz, temperatura, concentração de CO₂, umidade e fertilidade do solo, pragas e doenças. Entre os fatores da planta destacam-se a idade, estrutura e disposição das folhas, distribuição e comportamento dos estômatos, teor de clorofila e acúmulo de hidratos de carbono (KRAMER; KOZLOWSKI, 1979).

A alocação da biomassa nos diferentes componentes da árvore (raízes, tronco, galhos, folhas) apresenta grandes mudanças com a idade da planta, bem como depende das condições do sítio, densidade do povoamento e da espécie utilizada. Na fase inicial de desenvolvimento do povoamento a maior parte da biomassa é alocada na copa, seguido por um período que os fotoassimilados são direcionados principalmente para o crescimento dos tecidos lenhosos e madeira e, finalmente vem o estagio que a maior parte da produção primária líquida da plantação florestal é descartada como serapilheira (BINKLEY; O'CONNELL; SANKARAN, 1997).

2.1.1 Interação Genótipo x Ambiente

O crescimento das árvores é controlado pela herança genética e pelo meio ambiente. A herança genética determina o potencial de crescimento, tamanho e longevidade das árvores, características do sistema radicular, forma de tronco, densidade de madeira, tolerância à seca e inundação, resistência a doenças e pragas, entre outras. O meio ambiente, constituído pelos fatores climáticos, edáficos e topográficos, competição, práticas silviculturais etc., determina a extensão que o potencial de crescimento (herança genética) pode alcançar; por exemplo, a diferença de altura de árvores da mesma espécie em solos úmidos férteis e solos secos inférteis (KOZLOWSKI; KRAMER; PALLARDY, 1991). Segundo estes autores (ibidem) a produção de biomassa das árvores usualmente é menor que o potencial máximo de produção, devido a limitações impostas por deficiências de água, nutrientes minerais, luz e outros fatores ambientais.

As espécies podem apresentar comportamentos contrastantes quando plantadas em ambientes distintos. Portanto, os resultados observados em um determinado ambiente não podem ser extrapolados para outros ambientes (KAGEYAMA; CASTRO, 1989). Um dos fatores básicos para o êxito do reflorestamento é utilizar espécies adequadas à ecologia das diferentes regiões (GOLFARI; CASER; MOURA, 1978). Desta forma será possível obter rendimentos quantitativos e qualitativos satisfatórios de acordo com as condições potenciais do meio ambiente. Outro fator de importância é utilizar para cada espécie, nos diferentes locais, as procedências geográficas mais adaptadas.

O melhoramento genético de espécies florestais tem propiciado, nas últimas décadas, significativos ganhos de produtividade e qualidade pela seleção de genótipos (espécies, procedências, progênies e clones) que apresentam maior

potencial produtivo e melhor adaptação ao ambiente. No entanto, ganhos futuros dependerão muito mais de manipulações das variáveis ambientais (manejo), aliado a seleção de genótipos específicos (progênies e clones) para cada ambiente, tendo um uso mais eficiente dos recursos ambientais (KOZLOWSKI; KRAMER; PALLARDY, 1991; NAMBIAR; BROWN, 1997). Como na agricultura, o aumento de produtividade dos novos genótipos dependerá muito mais de um melhor controle ambiental, isto é, a melhoria das condições de plantio, como por exemplo, o preparo da área, as adubações e o manejo silvicultural.

Na avaliação de procedências de acácia-negra, nas regiões agroecológicas da Encosta do Sudeste e Serra do Sudeste do Rio Grande do Sul, constatou-se uma baixa interação genótipo - ambiente para a produção de madeira, não havendo necessidade de selecionar procedências específicas para cada região avaliada (MORA, 2002). Para avaliação progênies nas mesmas regiões, esta interação foi alta (MARTINEZ, 2006), indicando que a seleção de progênies deverá ser específico para cada região.

2.1.2 Fatores do Meio Ambiente que Influenciam a Produção Florestal

A produtividade florestal é normalmente definida em termos de qualidade de sítio, que é constituído pela interação de vários fatores ambientais. A qualidade de sítio é medida como a máxima produção de determinada área em um determinado período de tempo (DANIEL; HELMS; BAKER, 1979). A capacidade produtiva de um sítio florestal pode ser avaliada, para um determinado local, através da medição de fatores intrínsecos ou extrínsecos à biomassa florestal. Como os fatores intrínsecos destacam-se: altura, crescimento e produção final; como extrínsecos destacam-se: clima, litologia, edafologia e morfologia (ORTEGA; MONTEIRO, 1988).

A estimativa da qualidade de sítio através da classificação multifatorial é o procedimento mais eficiente, pois possibilita interpretar um conjunto de diversos fatores ao mesmo tempo e identificar quais explicam a produtividade e quais são limitantes para determinada espécie, apresentando oportunidades ao silvicultor de intervir no manejo do povoamento (SCOLFORO, 1998).

O clima, com seus múltiplos fatores, condiciona a possibilidade de cultivo de uma espécie ou procedência, enquanto o solo regula o nível de produção (GOLFARI; CASER; MOURA, 1978). Uma vez o clima sendo adequado, são as características do solo que mais influenciam a produtividade florestal, destacando-se a profundidade, textura, estrutura, temperatura, pH, fertilidade, umidade e aqueles relacionados com o material de origem (PRITCHETT, 1990).

A maioria das tentativas de estabelecer relações diretas entre atributos do solo e o crescimento de espécies florestais não teve êxito, exceto para a profundidade efetiva do solo (SCHÖUNAU; ALDWORTH, 1991). De maneira geral, considera-se que as propriedades físicas do solo são mais importantes que as químicas no manejo das plantações florestais. Textura, profundidade e localização topográfica são atributos físicos que não podem ser modificados, exceto por erosão. Por outro lado, estrutura, porosidade e conteúdo de matéria orgânica podem ser fortemente influenciados por práticas silviculturais (DANIEL; HELMS; BAKER, 1979).

Nas plantações tropicais, a disponibilidade de água e nutrientes são os principais fatores do ambiente que definem a produtividade. O manejo do solo e da plantação são parâmetros importantes para melhorar e sustentar a produtividade florestal. Um alto nível de produtividade apresenta altas demandas de nutrientes; no entanto, a maioria dos solos tropicais possui baixas reservas. A adubação e o preparo adequado do solo tem sido eficazes para aumentar a disponibilidade de nutrientes e água para as árvores, melhorando a produtividade florestal (FÖLSTER; KHANNA, 1997; GONÇALVES et al., 2000).

2.1.3 Absorção, Acúmulo e Ciclagem de Nutrientes

A absorção de nutrientes é influenciada pelo tipo e idade das árvores, bem como pelas condições edafoclimáticas do ambiente (PRITCHETT, 1990). Segundo GONÇALVES et al. (1997) os fatores que mais influem na quantidade de nutrientes absorvidos num determinado tempo e também na probabilidade de resposta à adubação, são: necessidade total de nutrientes, velocidade de crescimento, eficiência de uso dos nutrientes nos processos metabólicos e capacidade de absorção de nutrientes dos solos.

A taxa de absorção de nutrientes da plantação não é constante durante o período da rotação florestal. MILLER (1984) descreve três estágios de crescimento e absorção de nutrientes:

- a) Nos primeiros meses após o plantio, fase de adaptação das mudas ao campo, a taxa de acúmulo de biomassa e nutrientes é baixa.
- b) Depois do estabelecimento, segue o estágio de rápido crescimento e acúmulo de nutrientes, com elevada taxa de absorção de nutrientes e acúmulo de biomassa que se relacionam diretamente com a idade.
- c) Após o fechamento das copas ocorrem pequenas flutuações nas quantidades de nutrientes acumulados, causadas principalmente por variações sazonais das condições climáticas. Quando as copas estão totalmente desenvolvidas e a área foliar está estabilizada, o acúmulo de nutrientes ocorre mais intensamente nos troncos e a produção de serapilheira aumenta até um nível máximo, determinado pelas condições de sítio e do povoamento.

No último estágio, a maior proporção dos requerimentos de nutrientes pelas árvores é atendida pela mineralização da serapilheira e pela retranslocação interna de nutrientes (O'CONNELL; SANKARAN, 1997; BINKLEY; O'CONNELL; SANKARAN, 1997)

A quantidade total de nutrientes em cada compartimento das árvores está em função da quantidade de biomassa acumulada e do teor de nutrientes nos diversos tecidos e órgãos da planta. Os teores de nutrientes são maiores nos compartimentos metabolicamente mais ativos das plantas, como folhas, brotações e tecidos corticais, e os menores teores são observados na madeira, casca e galhos mortos. Contudo, para a maioria dos nutrientes, é na madeira que se encontram os maiores conteúdos dos nutrientes, simplesmente devido à sua maior biomassa (GONÇALVES et al., 2000).

O acúmulo de nutrientes na biomassa arbórea varia de elemento para elemento em razão dos níveis de fertilidade do solo, das características nutricionais de cada espécie e da idade das plantas (FÖLSTER; KHANNA, 1997; BINKLEY; O'CONNELL; SANKARAN, 1997). As árvores acumulam nutrientes e a quantidade acumulada por uma espécie relaciona-se diretamente com a produção florestal (PRITCHETT, 1990). Para *Eucalyptus*, GONÇALVES et al. (1997) citam uma relação linear entre a taxa de crescimento e taxa de acúmulo de nutrientes nas plantas.

Todas as florestas, incluindo as plantações, dependem da ciclagem de nutrientes para atender os requerimentos nutricionais para o crescimento. A produção e decomposição da serapilheira é a principal via de ciclagem biogeoquímica para a maioria dos elementos (O'CONNELL; SANKARAN, 1997). Segundo BRAY e GHORAN (1964) há uma relação entre a produção anual de serapilheira e o estágio de desenvolvimento de uma floresta.

Normalmente, observa-se um incremento da deposição de serapilheira até a idade de fechamento das copas, quando ocorre um ligeiro declínio ou a estabilização. Os principais fatores que afetam a taxa de decomposição e de mineralização da serapilheira são a natureza dos resíduos, microambiente da superfície do solo e a composição qualitativa e quantitativa dos decompositores. Cada um destes fatores é influenciado pela espécie arbórea e por práticas silviculturais (O'CONNELL; SANKARAN, 1997).

2.2 IMPACTOS DAS PLANTAÇÕES FLORESTAIS

Qualquer atividade humana no sentido de retirar das florestas alimentos e outros produtos, por menor que seja, representa uma perturbação no ecossistema florestal. Estas perturbações não são necessariamente prejudiciais, uma vez que os ecossistemas são submetidos a certo nível de perturbações naturais, das quais se recuperam mais ou menos rapidamente.

O monitoramento das plantações florestais é uma ferramenta essencial para avaliar os efeitos do manejo de certo recurso e observar tendências que possam implicar na sua sustentabilidade, bem como determinar correções necessárias para a manutenção do potencial produtivo de um determinado sítio. O desejo de que o manejo das florestas, plantadas ou naturais, se faça de forma ecologicamente adequada, economicamente sustentável e socialmente justa, tem sensibilizado inúmeras organizações e mobilizado diversos segmentos da sociedade com o objetivo de colocar em prática esse paradigma (RODRIGUEZ, 1998).

A sustentabilidade de uma floresta manejada ou de uma plantação florestal está fundamentada nas seguintes premissas básicas: manutenção e até aumento da produção, perpetuidade do equilíbrio dinâmico entre a entrada e saída de energia e nutrientes e conservação da capacidade de regeneração do ecossistema (POGGIANI; STAPE; GONÇALVES, 1998).

O manejo sustentável das plantações florestais deve ser planejado com o objetivo de procurar transformar as plantações em florestas. Isto envolveria a manutenção da capacidade de suporte natural do solo (potencial de produtividade), dos valores da microbacia (hidrologia), de um nível de biodiversidade ao longo da área e de rendimento sustentado das plantações (LIMA; ZAKIA, 1998).

2.2.1 Exportação de Nutrientes

As plantações florestais causam menos impactos que qualquer outra cultura intensiva; entretanto, precisam estar em harmonia com as prioridades ecológicas e sociais da região. Ecologicamente constituem-se em áreas de sucessão secundária, controlada e dirigida pelo silvicultor e mantida sempre na fase juvenil de elevada produtividade.

Com isto, as plantações extraem consideráveis quantidades de nutrientes e água do solo, que se não forem bem manejados podem causar degradação do meio ambiente. Nas plantações florestais são toleráveis determinados desequilíbrios nutricionais temporários, mas ao longo do ciclo silvicultural deve ser mantido o equilíbrio dinâmico entre entradas e as saídas dos nutrientes do sítio (POGGIANI; STAPE; GONÇALVES, 1998).

A entrada de nutrientes em um ecossistema florestal ocorre principalmente através da precipitação, fixação por microorganismos, fertilização e intemperismo da rocha matriz. As saídas ocorrem pelo escoamento da água, lixiviação, volatilização e retirada de produtos florestais (SALAS, 1987; FASSBENDER, 1993). Em plantações florestais de alta produtividade as maiores perdas de nutrientes ocorrem na colheita florestal.

A quantidade e o tipo de nutriente exportado dependem principalmente do componente da árvore a ser colhido, da idade de corte do povoamento, das condições edafoclimáticas e da eficiência dos processos de ciclagem de nutrientes de cada uma das espécies (SCHUMACHER, 1996). A contínua exportação de nutrientes reduz a capacidade produtiva e desestabiliza o ecossistema, comprometendo a produtividade do sítio em futuros ciclos de produção (REIS; BARROS, 1990).

Na colheita da acácia-negra é retirada da área de cultivo a casca e a madeira que apresenta diâmetro superior a 6 cm. Segundo BARICHELLO (2003), em plantações de acácia-negra esta exportação representa 63% da biomassa florestal total e 53% dos nutrientes contidos nela; e, considerando as características do solo em que foi realizado o trabalho, o nutriente mais limitante para as futuras rotações seria o potássio, sendo seu estoque no solo suficiente para realização de somente 1,8 rotações da cultura.

Os nutrientes contidos nas folhas, galhos e serapilheira, principais resíduos da colheita florestal, representam uma percentagem altamente significativa no estoque de nutrientes de um povoamento florestal. O manejo inadequado destes resíduos pode ter influências negativas na produtividade florestal das novas rotações, tanto por perdas de nutrientes contidos nestes resíduos como pela falta de proteção do solo (GONÇALVES et al., 2000).

Nas plantações de acácia-negra, além da colheita da madeira e casca, ainda se realiza a queima dos resíduos (folhas e galhos), com objetivo de combater a principal praga da cultura, o cascudo serrador (STEIN; TONIETTO, 1997). Esta queima pode afetar a sustentabilidade dos sistemas de produção, mesmo que restrita em 15 a 20% da área. Durante a queima ocorre uma grande perda de nutrientes armazenados na biomassa das plantas por volatilização; ademais, os nutrientes que são depositados sobre o solo na forma de cinzas ficam mais susceptíveis a lixiviação e escoamento superficial (MARTINS et al., 1995; HOPMANS; FLINN; FARRELL, 1987; STEWART; FLINN, 1985).

MACKENSEN et al. (1996) verificaram transferências para atmosfera, por volatilização e em partículas de cinzas, de 98% de carbono, 96% de nitrogênio, 76% de enxofre, 48% de potássio, 47% de fósforo, 40% de magnésio, 35% de cálcio e

30% do sódio, durante a queima da biomassa de uma capoeira com sete anos de idade, que apresentava 31,2 t/ha de matéria seca. Estas transferências são citadas como responsáveis pela redução da capacidade produtiva dos solos utilizados pela agricultura migratória, já que as entradas destes nutrientes, via precipitação e adubações, são menores que as perdas pelas queimadas e retiradas pelo cultivo agrícola (HÖLSCHER et al., 1997).

Vários fatores ambientais estão envolvidos no processo de erosão hídrica e de escoamento superficial, como intensidade e quantidade de chuvas, declividade da área, práticas de preparo do solo, vegetação e cobertura do solo e condições do solo (tipo, textura, teor de matéria orgânica, compactação, profundidade, etc). Portanto, cada ambiente apresenta um potencial de erodibilidade que deve determinar as práticas de manejo visando à conservação do solo. LOPES, COGO e LEVIEN (1987) verificaram que pequenos acréscimos de resíduos culturais na superfície do solo ampliam a proteção do mesmo contra a erosão, sendo que nos com cobertura superior a 80% a erosão hídrica é insignificante.

A manutenção dos resíduos da colheita em plantações de acácia-negra reduziu as perdas de solo e água ao mesmo nível dos encontrado para uma plantação com 10 anos de idade (SILVA; SCHNEIDER; ELTZ, 1998). HOPMANS, FLINN e FARRELL (1987) em uma floresta natural de *Eucalyptus* na Austrália, encontraram um aumento substancial de nutrientes e sólidos em suspensão na água do deflúvio de uma microbacia no período da colheita florestal e preparo da área para um novo plantio, que incluiu a queima dos resíduos. A exportação de nutrientes pelo deflúvio retornou, dezoito meses após o corte, ao nível anterior ao da colheita florestal.

A perda por lixiviação dos nutrientes liberados pela queima pode ser muito rápida em solos arenosos, ao passo que em solos argilosos menos friáveis, os nutrientes permanecem no sistema por vários anos, desde que não haja um grande escoamento superficial. MARTINS et al. (1995) estudando a lixiviação em colunas de solo retirado após a queima da serapilheira de três plantações florestais (*Anadenanthera peregrina*, *Eucalyptus grandis* e *Pinus* sp.) encontraram um aumento significativo da concentração de Ca, Mg e K no lixiviado das três coberturas vegetais, sendo este efeito maior na floresta com maior concentração destes nutrientes.

A biomassa da serapilheira e dos resíduos de colheitas é a principal fonte de matéria orgânica dos solos das plantações florestais. São bem conhecidos os efeitos benéficos da matéria orgânica sobre as características físicas e biológicas dos solos, dentre os quais podemos citar: melhoria da estrutura, infiltração, drenagem e aeração do solo, redução de perdas de água por evaporação, aumento da capacidade de retenção água e seu aproveitamento pelas raízes das plantas e aumento da atividade microbiana (FASSBENDER; BORNEMISZA, 1994).

2.2.2 Diversidade da Vegetação

Os sucessivos ciclos de uso da terra pela agropecuária nas regiões tropicais e subtropicais causaram alta fragmentação da cobertura vegetal nativa, com perdas substanciais da diversidade biológica regional. Neste contexto, as plantações florestais possivelmente seriam ambientes mais permeáveis para a flora e fauna que outras atividades agropecuárias.

O estabelecimento de plantações florestais em áreas alteradas pela agropecuária pode exercer um efeito catalítico da sucessão secundária, facilitando a regeneração natural da vegetação nativa por meio de mudanças microclimáticas,

favorecendo entre outros aspectos a germinação e estabelecimento de plântulas, o desenvolvimento de uma camada de serapilheira e húmus e um aumento da complexidade estrutural do habitat (ENGEL; PARROTTA 2003).

Por outro lado, as plantações florestais também provocam alterações em ecossistemas naturais, modificando a composição e diversidade da vegetação nativa. Por isto, a diversidade vegetal nos talhões das plantações florestais é menor do que a do ambiente natural original. Para superar o problema da baixa diversidade nestas plantações sugere-se a conservação de fragmentos com a vegetação original, tendo a finalidade de proteger as espécies indígenas da flora e fauna (POGGIANI; OLIVEIRA, 1998). Segundo estes autores (ibidem), estes núcleos de vida silvestre podem proporcionar para o futuro o suporte biológico para a sucessão secundária, bem como fornecer refúgio para a fauna silvestre.

Plantações florestais estabelecidas em ambientes campestres, como savanas e estepes, podem manter em seu sub-bosque uma parte da diversidade florística regional, especialmente as espécies herbáceas tolerantes ao sombreamento (PILLAR; BOLDRINI; LANGE, 2002; FUCKS, 1999). Estas áreas normalmente são utilizadas em sistemas silvipastoris, com a finalidade de controlar a vegetação do sub-bosque, reduzir a competição e os riscos de incêndios florestais, e facilitar as práticas silviculturais (GARCIA; ANDRADE, 2001; POLLA, 2001; SILVA; SAIBRO; CASTILHOS, 2001).

Algumas espécies florestais exóticas utilizadas em plantações florestais e sistemas agroflorestais causam problemas de invasão a ecossistemas naturais e em áreas alteradas. O reduzido número de espécies utilizadas em diferentes partes do mundo tem agravado o problema, principalmente as espécies do gênero *Pinus*. As áreas mais afetadas têm históricos de longo tempo de plantios intensivos da espécie invasora (RICHARDSON, 1998).

A invasão de um ambiente por plantas exóticas ocorre quando qualquer espécie introduzida numa área, de forma intencional ou acidental, estabelece uma população adulta, reproduz consistentemente e se dispersa para áreas vizinhas, podendo provocar alterações no ambiente natural (RICHARDSON et al., 2000). A invasão por plantas exóticas afeta o funcionamento natural do ecossistema e tira espaço das plantas nativas. O potencial de espécies exóticas de alterar sistemas naturais é tamanho que as plantas invasoras são hoje a segunda maior ameaça mundial à biodiversidade, só perdem para a destruição de hábitat pela exploração humana direta (ZILLER; 2001).

Ao contrário de muitos problemas ambientais que se amenizam com o tempo, como por exemplo, a poluição química, a invasão tende a se multiplicar e espalhar, causando problemas de longo prazo, que se agravam com o passar do tempo e não permitem que os ecossistemas afetados se recuperem naturalmente (WESTBROOKS, 1998).

Os ambientes apresentam graus diferenciados quanto a sua susceptibilidade à invasão. Considera-se um ambiente susceptível quando uma espécie introduzida se estabelece e mantém-se na área, podendo expandir-se (BURKE; GRIME, 1996). As áreas de solo exposto são as mais suscetíveis à invasão, seguidas pelas dunas, ambientes campestres e, por fim, comunidades florestais (RICHARDSON; HIGGINS, 1998).

Algumas hipóteses foram construídas na tentativa de explicar os motivos pelos quais alguns ambientes são aparentemente mais suscetíveis a plantas exóticas invasoras do que outros (ZILLER, 2001):

- a) Quanto mais reduzida a diversidade natural, a riqueza e as formas de vida de um ecossistema, mais suscetível ele é à invasão por apresentar funções ecológicas que não estão supridas e que podem ser preenchidas por espécies exóticas.
- b) As espécies exóticas estão livres de competidores, predadores e parasitas, apresentando vantagens competitivas com relação a espécies nativas.
- c) Quanto maior o grau de perturbação de um ecossistema natural, maior o potencial de dispersão e estabelecimento de exóticas, especialmente após a redução da diversidade natural pela extinção de espécies ou exploração excessiva.

A acácia-negra é considerada uma invasora de ambientes naturais, sendo classificada entre as 100 espécies exóticas com maior potencial invasor do mundo (LOWE et al., 2004). Na África do Sul é declarada pela legislação uma invasora de categoria 2, sendo permitido seu cultivo somente em áreas demarcadas, necessitando autorização para importação e transporte de material genético e as plantas fora da área de cultivo devem ser erradicadas ou controladas (HENDERSON, 2001).

Na África do Sul a acácia-negra é uma invasora de áreas campestres, clareiras de florestas e estradas, sendo especialmente prolífica ao longo de cursos d'água. Depois de inundações forma densos talhões, que competem com a vegetação nativa e constituem numa ameaça para a biodiversidade. O sub-bosque destas áreas com densa invasão é ralo, aumentando a susceptibilidade para erosão do solo. Apresenta maiores requerimentos por água que a vegetação nativa, reduzindo fluxos de água e vazão de rios (WORKING FOR WATER, s.d).

Diversas características biológicas da acácia-negra a capacitam como invasora de ambientes naturais, dentre os quais se destacam: floração aos dois anos e grande produção de sementes a partir de cinco anos de idade (SHERRY, 1971; STEIN; TONIETTO, 1997); sementes podem ser dispersas pela água e outras formas não intencionais (HENDERSON, 1989), sementes apresentam dormência, permanecendo viáveis por longos períodos (MARTINS-CORDER; BORGES; BORGES JUNIOR, 1999; PIETERSE; BOUCHER, 1997), queima e distúrbios no solo induzem germinação e o estabelecimento de plantas (PIETERSE; BOUCHER, 1997), capacidade de estabelecer-se em áreas alteradas e degradadas (KANNEGIESSER, 1990; CARPANEZZI, 1998) e rápido crescimento (DEDECEK; HIGA, 2003).

2.3 ACÁCIA-NEGRA

Acacia mearnsii De Wild. pertence à família *Fabaceae* (Leguminosas), subfamília *Mimosoideae*. Os nomes comuns, acácia-negra no Brasil, aromo-negro no Chile e Argentina e “*black wattle*” na Austrália e África do Sul, fazem referência à coloração escura da casca e folhagem (KANNEGIESSER, 1990).

A acácia-negra é originária do sudoeste da Austrália e da Tasmânia, onde se encontra, principalmente, nas terras baixas, nas planícies costeiras e em pequenos declives dos planaltos, preferindo aos de exposição leste e sul. A região de ocorrência está situada entre as latitudes 33 a 44° sul e longitudes 140 a 151° leste de Greenwich, em altitudes que variam desde o nível do mar até 1.070 m (BOLAND et al., 1984).

Cresce na zona climática úmida a subúmidas, frias a moderadamente quentes, com média de temperatura máxima do mês mais quente entre 21 e 29 °C e média mínima entre -3 e 7 °C no mês mais frio. Raramente é encontrada em áreas que a temperatura excede aos 38 °C. A ocorrência de geadas nesta região variam entre 1 a 10 por ano nas áreas costeiras e chegando até 40 em alguns locais do planalto. As precipitações anuais ficam entre 450 a 1.600 mm, com 15 a 75 mm no mês de menor precipitação (BOLAND et al., 1984; SEARLE, 1997).

A acácia-negra é uma espécie pioneira, que apresenta como principais características a rápida colonização de ambientes abertos; capacidade de estabelecer-se em áreas alteradas e degradadas; requerimento de luz direta para germinação e crescimento; produção de grande quantidade de sementes que permanecem viáveis no solo por longo tempo; germinação rápida, mas que requer indução; rápido crescimento; e vida curta (SHERRY, 1971; BOLAND et al., 1984; PIETERSE; BOUCHER, 1997; CARPANEZZI, 1998; DEDECEK; HIGA, 2003).

É uma eficiente fixadora de nitrogênio, não apresenta restrição a tipos de solo, embora tenha maior crescimento de altura em solos relativamente profundos, textura média e bem drenados. Cresce em solos ácidos a neutro (pH 4,5 a 7,0) e de baixa fertilidade (KANNEGIESSER, 1990; SEARLE, 1997). Estas características ditam seu comportamento em plantações e na dispersão para novas áreas.

Em seu ambiente natural é um arbusto ou pequena árvore, comumente com 6 a 10 m de altura, podendo alcançar até 15 m. O caule geralmente é reto e dominante, quando em conjunto com outras árvores. A casca de árvores adultas é de coloração preto-amarronzada, dura e fissurada. As folhas são compostas, bipenadas e de coloração verde-escuro. As inflorescências são em panículas terminais ou axilares, com flores hermafroditas de coloração amarelo-creme claro. Os frutos são legumes mais ou menos retos, finamente peludos, comprimidos entre as sementes; cada legume contém entre 1 a 14 sementes de coloração negra, ovóide, de 3 a 5 mm de comprimento e 2 a 3,5 mm de largura, que se caracterizam por apresentar um arilo terminal curto de cor creme. A madeira apresenta albúrnio muito claro, cerne muito duro, resistente e de coloração marrom claro com marcas avermelhadas (BOLAND et al., 1984).

2.3.1 Utilização

A acácia-negra é a principal fonte de casca para a indústria de taninos vegetais em nível mundial, utilizados principalmente no curtimento de peles. A partir dos taninos também são produzidos adesivos para chapas de madeira e floculantes para tratamento de água, além de outros produtos como dispersantes, resinas, quelantes e conservantes (SIMON, 2005).

A madeira da acácia-negra apresenta qualidade para a produção de celulose e papel, que atualmente constitui seu principal destino (STEIN; TONIETTO, 1997). Apresenta também um alto poder calorífico (KANNEGIESSER, 1990), tendo as pontas de troncos, galhos e árvores mortas aproveitadas para lenha e produção de carvão.

Plantações de acácia-negra apresentam características multifuncionais, pois além de produção florestal (madeira, lenha e casca) também oferecem serviços ambientais, como a recuperação e proteção de solos. A acácia-negra é uma eficiente fixadora de nitrogênio, possui capacidade de adaptação a uma grande variedade de ambientes e habilidade de colonizar áreas que tenham perdido quase todo o solo superficial (KANNEGIESSER, 1990). Apresenta perfil ideal para recuperação de ambientes alterados, pois é uma pioneira de vida curta, cobre rapidamente o terreno, não tem demonstrado ser uma invasora agressiva dos ambientes naturais da região sul do Brasil, não rebrota de cepa ou raiz e não inibe a sucessão local (CARPANEZZI, 1998). A estimativa de fixação de nitrogênio de acácia-negra fica em torno de 200 kg/ha/ano (FRANCO; DÖBEREINER, 1994).

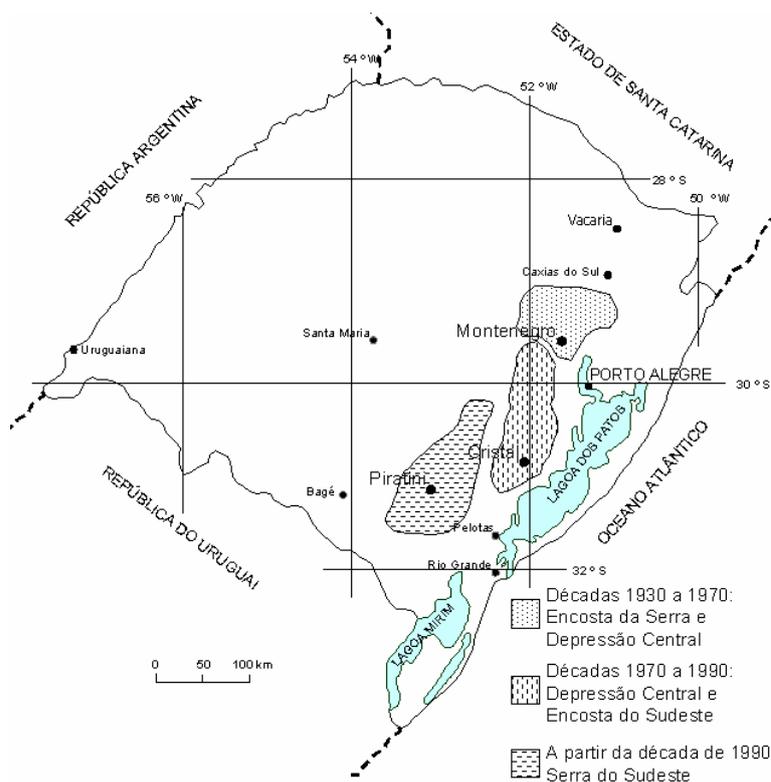
2.3.2 Acacicultura no Rio Grande do Sul

A acácia-negra é cultivada comercialmente no Brasil exclusivamente no Rio Grande do Sul. Os primeiros plantios comerciais foram realizados em 1928 no Município de Estrela, com sementes provenientes da África do Sul, tendo como objetivo a utilização da casca *in natura* em curtumes. A instalação de indústrias para o processamento de tanino a partir de 1941 promoveu uma expansão da acacicultura na região da Encosta da Serra Geral até o Vale do Jacuí, início da Depressão Central (figura 1), atingindo em 1968 aproximadamente 50 mil hectares de área plantada (OLIVEIRA, 1968).

Nessa região predominam pequenas propriedades, com áreas inferiores a 50 ha, que representam 97% do número total de produtores e correspondem a 80% da área total da região (IBGE, Censo Agropecuário 1995-1996).

A partir da década de 1970 verificou-se uma expansão das plantações em direção ao sul do estado, atingindo a parte sul da Depressão Central e a Encosta do Sudeste no período de 1970 a 1990 e a Serra do Sudeste a partir de 1990 (figura 1). Estas regiões caracterizam-se por uma maior concentração fundiária, tendo 58% da área total ocupada por estabelecimentos maiores que 200 ha, que representam 5% das propriedades rurais (IBGE, Censo Agropecuário 1995-1996). Pela quantidade de mudas produzidas, estima-se que são plantados anualmente 30 mil hectares com acácia-negra (SIMON, 2005), tendo em 2005 alcançando uma área total de 156.377 ha (ABRAF, 2006).

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DA ACACICULTURA NO RIO GRANDE DO SUL NO PERÍODO DE 1930 A 2000.



FONTE: Mora, 2002.

Até vinte anos atrás a casca constituía-se no principal produto da acacicultura, sendo a madeira utilizada principalmente para energia. Atualmente toda a produção de casca ainda é destinada para produção de taninos; no entanto, devido à redução de seu valor de mercado, é considerada um produto secundário, utilizada pelos pequenos produtores para custear as despesas de corte e descascamento da madeira. A produção de casca em 2004 foi de 242 mil toneladas (IBGE, 2004a).

A madeira ganhou espaço no mercado com sua utilização para aglomerados e celulose, tendo grande valorização com a instalação em 1995 de indústrias processadoras e exportadoras de cavacos. Praticamente toda a madeira produzida com diâmetro acima de 6 cm é destinada para estas indústrias, constituindo na principal fonte de rendimento dos produtores. Em 2005 as exportações de cavacos de acácia-negra alcançaram 899 mil toneladas (MDIC, 2006).

A acacicultura é uma sólida atividade econômica e tem trazido consideráveis benefícios aos produtores, pela geração de renda, redução da jornada de trabalho, aproveitamento de áreas com uso restrito para agricultura e integração com outros cultivos agrícolas e com a pecuária (FLEIG, 1993; CONTO et al., 1997). Exerce grande importância social, pois cerca de 60% das plantações estão em pequenas propriedades (FILGUEIRAS, 1990), beneficiando pelo menos 40 mil famílias em atividades ligadas a seu cultivo no Rio Grande do Sul (STEIN; TONIETTO, 1997).

2.4 SILVICULTURA DA ACÁCIA-NEGRA NO RIO GRANDE DO SUL

A acácia-negra é uma espécie de rápido crescimento, que alcança a taxa máxima de crescimento entre 3 e 5 anos de idade. Possui sistema radicular superficial, tornando-a susceptível ao tombamento por ventos fortes (KANNEGIESSER, 1990). No Rio Grande do Sul não tolera geadas fortes e intensas, nem a período de estiagem, principalmente no primeiro ano após o plantio. As plantações desenvolvem-se bem mesmo em solos rasos e das mais variadas texturas, entre eles o argiloso, porém não tolera os mal drenados, hidromórficos e muito úmidos e apresenta crescimento reduzido em solos muito ácidos e de baixa fertilidade, quando não adubadas (STEIN; TONIETTO, 1997; DEDECEK; HIGA, 2003).

2.4.1 Sementes Melhoradas Geneticamente

A maior parte das sementes utilizadas nas plantações é coletada junto a formigueiros dentro ou próximos a plantios anteriores, não havendo nenhum controle sobre sua qualidade genética. Provavelmente todos os plantios de acácia-negra no Rio Grande do Sul têm como base os primeiros 30 kg de sementes oriundos da África do Sul em 1928, quando foi realizado o primeiro plantio comercial no estado (MORA, 2002).

Um programa de melhoramento genético da acácia-negra vem sendo desenvolvido pela empresa TANAGRO S.A., Embrapa Floresta e Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (FUPEF), vinculada a Universidade Federal do Paraná (UFPR). Desde 1983 são desenvolvidos trabalhos de seleção fenotípica, em plantações comerciais, e genética, através de testes de procedências e progênies, com material introduzido da Austrália. A descrição completa deste programa pode ser consultada no trabalho de MORA (2002).

Os trabalhos de melhoramento iniciaram-se em Montenegro, com a instalação da primeira Área de Produção de Sementes (APS) em uma área de plantio comercial. A seleção das árvores foi feita através de seleção massal, baseada em crescimento, vigor, forma e distribuição espacial. Posteriormente foram realizados mais dois ciclos de seleção, sendo a partir de 2001 produzidas sementes de terceira geração (MORA, 2002).

As plantações comerciais com sementes melhoradas são atualmente cerca de 18% da área plantada com acácia-negra no Rio Grande do Sul. Segundo a TANAGRO (s.d.), plantações com sementes de segunda geração apresentaram produções 16,8% superiores aos das sementes comuns de formigueiros. Atualmente esta empresa disponibiliza para viveiristas sementes colhidas em plantios comerciais estabelecidos com sementes de APS de terceira geração (TANAGRO, 2005).

2.4.2 Estabelecimento das Plantações

O estabelecimento das plantações de acácia-negra pode ser realizado através do manejo da regeneração natural, semeadura direta e por mudas. No manejo da regeneração natural realiza-se a queima dos resíduos florestais das áreas anteriormente cultivadas com acácia-negra. Estes resíduos podem ficar dispersos por toda a área ou reunidos em leiras orientadas em curva de nível. A queima provoca a quebra da dormência das sementes, possibilitando sua germinação. Depois de alguns meses iniciam-se os desbastes, mantendo uma densidade de 2.000 a 2.500 plantas/ha, mas que pode chegar a até 4.000 plantas/ha (FLEIG, 1993). Este sistema de estabelecimento é restrito a alguns produtores da região da Serra Gaúcha.

A semeadura direta é realizada em covas, com 15-30 sementes por cova. A germinação das sementes de acácia-negra requer quebra de dormência, normalmente efetuada por choque térmico. Quando as plantas atingem 30 cm de altura iniciam-se os desbastes. Apresenta menor custo em relação ao plantio por mudas e possibilita a mecanização, porém a competição com ervas daninhas e a ocorrência de pragas e predadores pode limitar o estabelecimento de plantas, provocando falhas e desuniformidade no povoamento (STEIN; TONIETTO, 1997).

A prática predominante de plantio é feita com o uso de mudas, pois tem a vantagem de formar povoamentos mais homogêneos, devido a menor suscetibilidade às pragas e predadores e menor concorrência com plantas invasoras (STEIN; TONIETTO, 1997). Há dois tipos de mudas no mercado: mudas em torrão e em cartuchos de laminado com substrato de terra.

As mudas de torrão são produzidas em canteiros construídos diretamente no solo de áreas úmidas e com textura argilosa. Quando prontas é realizado o corte do solo, formando pequenos torrões de terra. Estas mudas desenvolvem-se sob forte competição, devido ao semeio de mais de uma semente por unidade de torrão, e são produzidas com pouco controle das variáveis ambientais. Devido a estes fatores, normalmente são de menor qualidade. Cada unidade de torrão apresenta mais de uma planta, que se não for desbastada até três meses após o plantio definitivo pode reduzir significativamente a produção do povoamento (TANAGRO, 2005; SIMON, 2005).

As mudas produzidas em laminados são de melhor qualidade, pois há um maior controle do ambiente de produção, como por exemplo, o substrato, umidade, proteção e competição. O período de formação das mudas é de 60 a 100 dias, tanto para torrão como para laminado.

A acácia-negra não necessita de área preparada intensivamente, somente nos solos compactados é recomendada à subsolagem e gradagem nas linhas de plantio. Quando o produtor deseja consorciar com outras culturas anuais faz-se necessário o preparo total do solo, com aração e gradagem. Em área de segundo ciclo em diante, que não tenha sido compactada pela colheita, não há necessidade de preparo do solo, podendo ser realizado o plantio direto nas linhas de tocos, com aplicação de herbicidas (TANAGRO, s.d.; DEDECEK; HIGA, 2003; STEIN; TONIETTO, 1997).

O espaçamento utilizado por empresas florestais varia entre 3,00 x 1,66 a 3,00 x 1,33 m, correspondendo a uma densidade de 2.000 a 2.500 árvores/ha, respectivamente. Em áreas de produtores, os espaçamentos são bastante variados e até indefinidos, mantendo-se densidades de 2.500 a 3.000 árvores/ha (STEIN; TONIETTO, 1997). Estudos indicam que quanto menor o espaçamento maior a produção de madeira e casca por hectare em menor idade, porém com menor diâmetro médio por árvore, menor densidade da madeira e menor teor de tanino na casca (SCHNEIDER et al., 2000; SIMON, 2005). Maiores densidades de plantio também provocam maior mortalidade de plantas em idades mais jovens (SCHNEIDER et al., 2005a).

A acácia-negra tolera solos relativamente pobres, mas requer o fornecimento de nutrientes para um bom crescimento. MAESTRI et al. (1987) encontraram respostas positivas a adubação fosfatada em solo de baixa fertilidade. Em plantios comerciais, a adubação da cultura é feita somente no primeiro ano de implantação com 50 g/cova da fórmula 5-30-15 (DEDECEK; HIGA, 2003).

Os plantios de acácia-negra são pouco competitivos com gramíneas em geral, especialmente na fase inicial de crescimento. A competição com plantas invasoras deve ser reduzida ao máximo, com a realização de capinas manuais ou mecanizadas e roçadas (STEIN; TONIETTO, 1997). Em áreas de reforma normalmente ocorre uma grande regeneração de plantas de acácia-negra, conhecidas como “gaudérios”, que devem ser eliminadas para evitar a competição com o plantio.

Nas pequenas propriedades normalmente a acácia-negra é cultivada em sistemas agrossilvipastoris. Inicialmente, quando as árvores apresentam pequena altura e o dossel aberto, os acacicultores fazem o plantio de milho, melancia, mandioca e outras culturas agrícolas. FLEIG (1993), analisando dez sistemas de produção agrossilvicultural com acácia-negra, constatou que o sistema mais rentável é o plantio consorciado com melancia. Posteriormente, quando o dossel da plantação florestal está fechado, a plantação é então aproveitada para o pastoreio, aumentando com isso a rentabilidade do investimento.

2.4.3 Manejo das Plantações

A acácia-negra não requer podas de formação e/ou condução. A competição com outras plantas deve ser reduzida ao máximo através de roçadas mecanizadas. A utilização de bovinos em pastoreio nos plantios de acácia-negra, a partir do segundo ano, reduz os custos com o controle de invasoras e os riscos de incêndios florestais, além de gerar receita pela atividade pecuária. Trabalhos desenvolvidos pela TANAGRO (1992) indicaram fácil adaptação dos animais nas plantações de acácia-negra, redução dos custos de manutenção do plantio e da atividade pecuária e boa rentabilidade do sistema integrado.

SILVA, SAIBRO e CASTILHOS (2001) relatam ganhos de peso de 0,550 kg/animal/dia durante o período de inverno na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, em sistemas silvipastoril de acácia-negra no espaçamento de 2,0 x 3,0 m, com pastagem de *Panicum maximum* nas entre linhas. A lotação deve ser de 0,3 a 0,5 novilhos/ha (TANAGRO, s.d.).

2.4.4 Praga e Doenças

As formigas cortadeiras causam severos danos na fase inicial do plantio, por isto antes do preparo do solo é de fundamental importância o seu combate através de iscas granuladas, com até 3,0 kg/ha. Caso necessário, este combate deve ser realizado após o estabelecimento do cultivo (STEIN; TONIETTO, 1997).

A gomose causada por *Phytophthora* sp. é a principal doença da acácia-negra, apresentando como sintomas lesões necróticas na casca, de tamanhos variados e com exsudação ou não de goma, localizada no colo e ao longo do tronco, com maior severidade no segmento basal do tronco (SANTOS et al., 2001). SOTTA et al. (1994) avaliando plantios comerciais, com oito anos de idade, encontraram 23% das árvores atacadas. Até o momento, não se dispõe de uma medida de controle desta doença, sendo em longo prazo, o uso de plantas resistentes, pode ser a alternativa mais viável.

A principal praga da acácia-negra é o cascudo serrador (*Oncideres impluviata*). Este coleóptero corta os ramos para ovoposição, prejudicando o crescimento da planta. As larvas deste inseto necessitam de madeira recentemente cortada para seu desenvolvimento. O combate é obrigatório por lei estadual, e deve ser realizado através da coleta e queima de ramos caídos, prática que deve ser realizada de fevereiro a maio (TANAC, s.d.). A maior concentração desta praga

ocorre no centro da região de cultivo, em decorrência do maior número de produtores que combatem inadequadamente a praga, tornando suas áreas centros de proliferação (STEIN; TONIETTO, 1997).

Os resíduos de colheita também são considerados pelos acacicultores como fontes de propagação do cascudo serrador, sendo a queima controlada em coivaras utilizada para eliminar as larvas e pupas do inseto, bem como para limpeza da área para um novo plantio.

2.4.5 Produção e Colheita

O ciclo econômico da cultura é curto, com maturação a partir do sétimo ano de idade. Pela grande demanda de madeira e casca ou pela necessidade financeira dos produtores, ocorrem cortes a partir dos 3,5 anos de idade, com perdas na produtividade, densidade da madeira e do teor de tanino na casca (SIMON, 2005). Segundo FLEIG (1993) a maior renda líquida é obtida quando o plantio completa sete anos de idade.

A produção florestal depende de fatores como, clima, solo, qualidade de sementes, técnicas silviculturais e manejo adotado. STEIN; TONIETTO (1997) relatam rendimentos médios em plantio comerciais de 175 st/ha de madeira para cavaco, 18 st/ha de lenha e 15,8 t/ha de casca verde. MORA (2002), numa revisão sobre produções obtidas em diversas plantações no Rio Grande do Sul, cita produções de madeira de 22,8 a 31,4 st/ha/ano e de casca de 10,5 a 19,0 t/ha.

O corte é raso e independe da variação diamétrica do povoamento. O descascamento é manual, iniciando-se com a árvore em pé. O corte e seccionamento do fuste são realizados com motosserra, e o baldeio é efetuado em carretas puxadas por bois ou trator. Somente a empresa TANAGRO (s.d.) utiliza um sistema misto de colheita, com corte e parte do descascamento mecanizado, sendo a finalização realizada manualmente.

3 CARACTERIZAÇÃO DAS REGIÕES ESTUDADAS

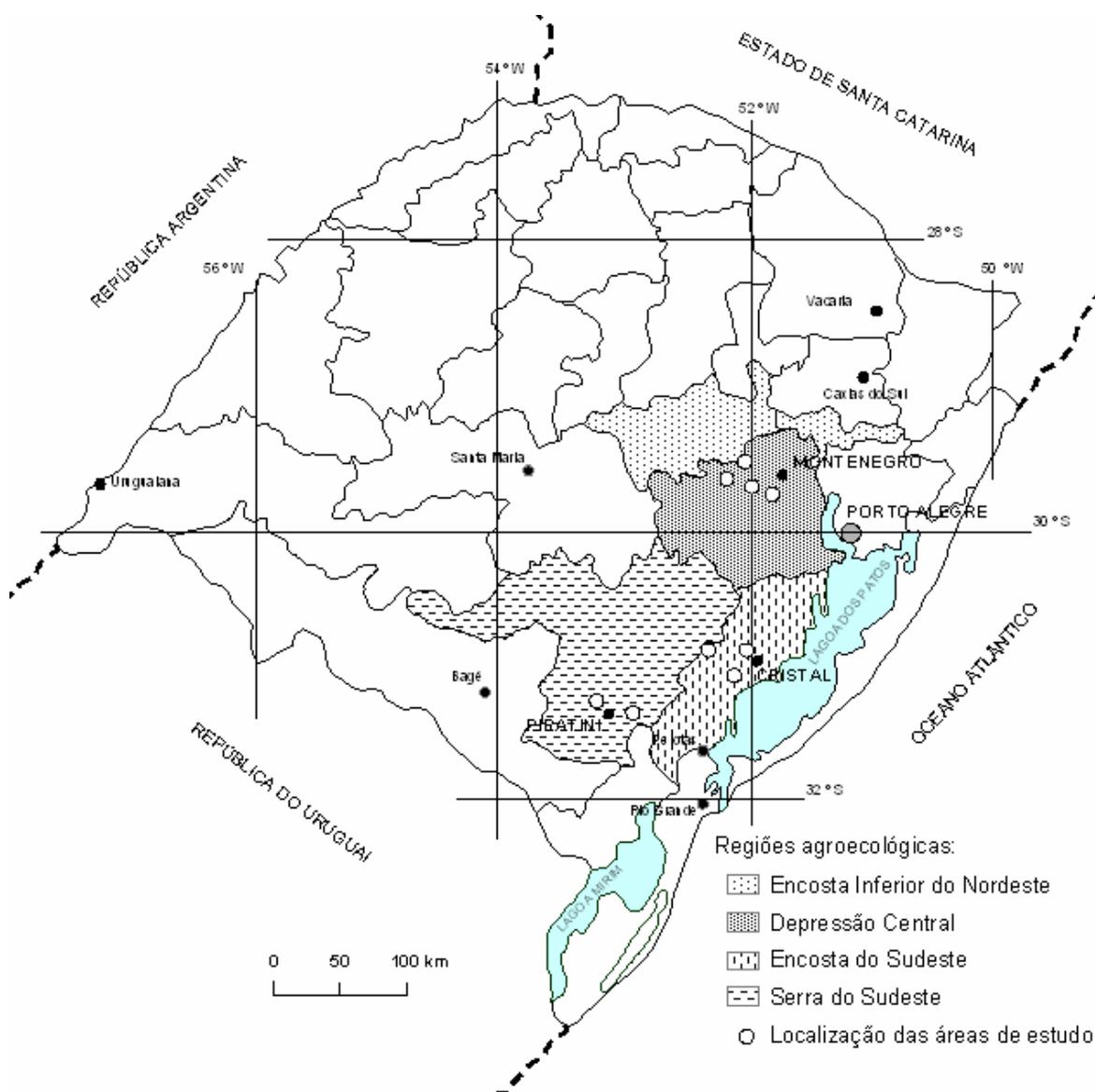
Os trabalhos de campo foram realizados nas regiões agroecológicas que concentram a maior parte das plantações de acácia-negra no Rio Grande do Sul, especificamente foram desenvolvidos nos seguintes municípios (figura 2):

- 1) Municípios de Montenegro, Triunfo, Taquari e Tabai, zona limítrofe entre as regiões da Encosta Inferior do Nordeste e Depressão Central. Nesta região foi realizado o estudo sobre “*produtividade de sistemas de produção em áreas de pequenos produtores*”, apresentado no capítulo 1.
- 2) Município de Cristal, localizado na região da Encosta do Sudeste. Realizou-se nesta região os estudos sobre “*acúmulo, ciclo e exportação de nutrientes e de biomassa*” (capítulo 2), “*fertilização com fósforo e potássio*” (capítulo 3), “*invasão a ambientes campestres*” (capítulo 4), “*regeneração de espécies florestais nativas*” (capítulo 5) e “*diversidade da vegetação herbácea*” (capítulo 6).
- 3) Município de Piratini, localizado na região da Serra do Sudeste. Os estudos realizados nesta região foram os mesmos de Cristal, exceto o estudo do capítulo 5.

A região limítrofe entre a Encosta Inferior do Nordeste e Depressão Central apresenta relevo levemente ondulado e altitude inferior a 100 m. A formação geológica é bastante variada, apresentando material de origem relativamente pobre em nutrientes trocáveis. A Depressão Central ocupa terrenos pertencentes à cobertura sedimentar gondwânica do domínio geológico bacia do Paraná, constituindo uma extensa área de terras baixas formadas por sucessivos e intensos processos erosivos sobre derrames basálticos. A Encosta Inferior do Nordeste

pertence à formação Serra Geral, gerada principalmente por derrames basálticos, mas também silticos e folhelhos silticos (MONDIN; BAPTISTA, 1996; SEMA, 2001). A área delimitada na figura 2 para a Depressão Central corresponde às sub-regiões em que se concentram as plantações de acácia-negra.

FIGURA 2 - REGIÕES AGROECOLÓGICAS COM MAIOR CONCENTRAÇÃO DE PLANTAÇÕES DE ACÁCIA-NEGRA NO RIO GRANDE DO SUL E LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.



FONTE: Adaptado de RIO GRANDE DO SUL, 1994.

A Encosta do Sudeste está encravada entre as grandes lagoas (Patos e Mirim) e a Serra do Sudeste. Apresenta uma faixa de sedimentos arenosos e aluviões holocênicos ao longo dos rios, sendo cortada por esporões de granito entre Jaguarão e Pelotas, e magnetitos entre Pelotas e Camaquã e também entre este e Guaíba, ambos pré-cambrianos. O relevo é plano, com altitude inferior a 30 m, exceto os esporões e alcançam até 200 m, onde encontram-se os campos secos e as florestas latifoliadas altas (SEMA, 2001). Na figura 2 está delimitada somente a subregião de maior ocorrência de plantações de acácia-negra na Encosta do Sudeste.

A região da Serra do Sudeste, também chamada de Escudo Rio-Grandense, coincide com a província geomorfológica do escudo cristalino, pertencendo ao domínio geológico dos terrenos pré-cambriânicos, com um mosaico de inúmeras formações geológicas predominando as formações graníticas e magmáticas, gnaisses, granitos, siltitos, etc. O relevo apresenta-se em formas arredondadas, sendo mais brusco para o Norte e suave na direção Leste. A altitude varia entre 20 a 200 metros nas bordas e até 400 a 600 metros nas serras (MONDIN; BAPTISTA, 1996; SEMA, 2001).

3.1 CLIMA

O clima do Rio Grande do Sul, segundo a classificação de Köppen, se enquadra na zona fundamental temperada moderada ou "C", determinada pelas isotermas do mês mais frio compreendidas entre -3 e 18°C; tipo climático temperado úmido ou "Cf", que apresenta chuvas distribuídas por todo o ano, com precipitações mensais superiores a 60 mm. As isotermas do mês mais quente delimitam as variedades Cfa e Cfb, que apresentam a temperatura média do mês mais quente, respectivamente, superior e inferior 22°C (MORENO, 1961). As regiões da Encosta Inferior do Nordeste, Depressão Central e Encosta do Sudeste pertencem à variedade Cfa e na Serra do Sudeste ocorre a Cfb nas partes mais altas e a Cfa nas partes mais baixas.

As principais características climáticas das regiões estudadas são apresentadas na tabela 1. A ocorrência média de geadas é maior na Serra do Sudeste e Encosta do Sudeste devido a maior latitude em que se encontram. A precipitação média anual é menor na Encosta do Sudeste (1.300 mm), que nas demais regiões (1.500 mm). As regiões em que foram realizados os estudos apresentam baixo déficit hídrico anual (inferior a 40 mm), sendo mais pronunciados na Encosta Inferior do Nordeste e na Depressão Central.

No entanto, no período de execução dos trabalhos ocorreram dois anos (2004 e 2005) em que ocorreu uma distribuição irregular de precipitações (figura 3). Em Triunfo (Depressão Central/Encosta Inferior do Nordeste) ocorreram períodos com baixa precipitação (<60 mm) nos meses de março/2004, dezembro/2004 a fevereiro/2005, e Dezembro/2005. Em Piratini (Serra do Sudeste), os períodos de baixa precipitação (<60 mm) foram em março, julho e dezembro de 2004, e em novembro e dezembro/2005.

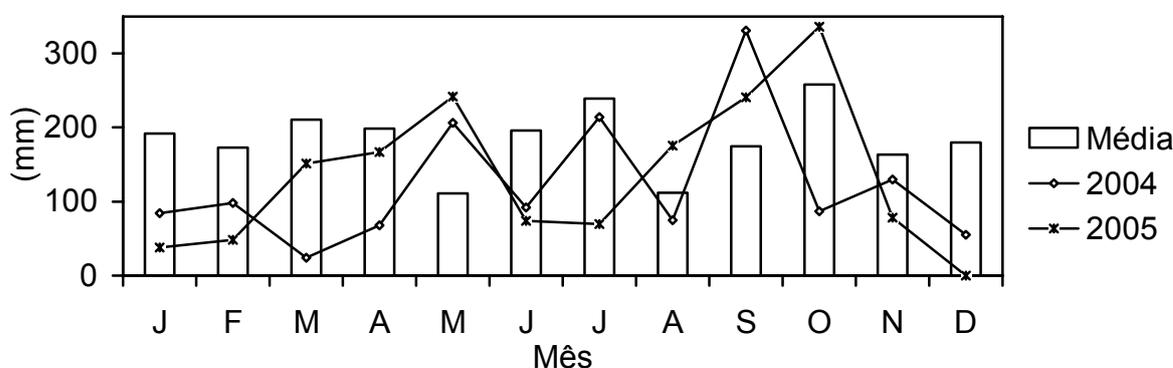
TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DAS REGIÕES FISSIOGRÁFICAS EM QUE ESTÃO LOCALIZADAS AS ÁREAS DE ESTUDO.

Variáveis	Região Agroecológica			
	Encosta Inferior do Nordeste	Depressão Central	Encosta do Sudeste	Serra do Sudeste
Temperatura:				
média anual (°C)	19,3	19,1	18,0	16,5
mínima absoluta (°C)	-3,8	-2,5	-3,6	-3,8
Geadas (dias/ano)	10,0	11,8	24,2	18,0
Precipitação anual (mm)	1547	1.509	1.309	1.507
Precipitação (dias/ano)	127,0	107,5	96,5	112,0
Deficiência hídrica (mm)	39,0	38,0	15,0	5,0
Umidade relativa (%)	75,0	77,5	80,0	78,0

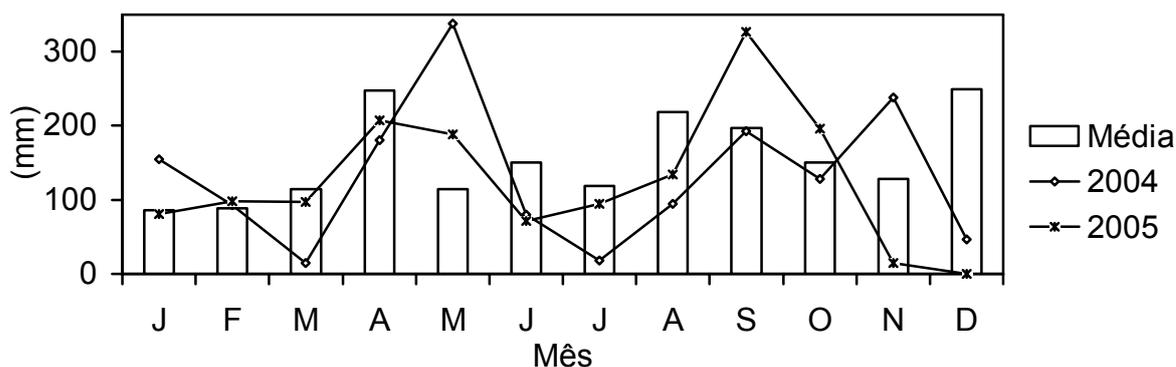
FONTE: Adaptado de RIO GRANDE DO SUL (1994).

FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO MÉDIA MENSAL DE PRECIPITAÇÃO E PRECIPITAÇÃO NOS ANOS 2004 E 2005 EM TRIUNFO E PIRATINI NO RIO GRANDE DO SUL.

a) Triunfo:



b) Piratini:



FONTE: Tanagro S.A.

3.2 SOLOS

Na área em que foram realizados os estudos da zona limítrofe entre Encosta Inferior do Nordeste e Depressão Central ocorrem principalmente os Argissolos, Neossolos e Latossolos, nas encostas e topos, e Planossolos, nas áreas planas das margens dos rios. Na Encosta do Sudeste predominam os Argissolos, Neossolos e Cambissolos, nos topos e encostas; e Planossolos e Gleissolos, nas áreas baixas e planas. Na Serra do Sudeste predominam solos originários do granito, ocorrendo principalmente os Neossolos, bem como os Cambissolos e Argissolos (RIO GRANDE DO SUL, 1994; SEMA, 2001; IBGE, 2002; KLAMT; SCHNEIDER, 2006). Os Planossolos e Gleissolos são utilizados apenas com cultivo de arroz irrigado e/ou pastagens.

Os Argissolos compreendem solos minerais, não hidromórficos, geralmente profundos, caracterizados pela presença de um horizonte B textural e argila de atividade baixa, cuja fração tem o predomínio da caulinita e óxidos. Podem apresentar limitações químicas devido à baixa fertilidade natural, forte acidez e alta saturação por alumínio e são susceptíveis à erosão hídrica, devido à presença do horizonte subsuperficial mais argiloso, que reduz drasticamente a infiltração da água e aumenta a possibilidade de escoamento superficial (EMBRAPA, 1999; SEMA, 2001).

Os Latossolos são solos minerais, não hidromórficos, profundos, bem drenados e baixo incremento de argila do horizonte A para o B, sendo estes de difícil diferenciação. São solos em avançado estágio de intemperização, praticamente destituídos de minerais primários e secundários. Apresentam baixa capacidade de permuta de cátions, fortemente ácidos e de baixa fertilidade, podendo apresentar toxidez por alumínio. Entretanto, a profundidade do solo associada ao relevo suave os torna de boa aptidão agrícola e florestal, desde que corrigida a fertilidade química (EMBRAPA, 1999; RIO GRANDE DO SUL, 2006).

Os Cambissolos são solos minerais, rasos a profundos, em processo de transformação, com horizonte B incipiente, e em geral ocorrem em áreas de maior altitude com baixas temperaturas. Apresentam opções para o uso com pastagem nativa e silvicultura. São de forte acidez e baixa disponibilidade de nutrientes, requerendo práticas conservacionistas intensivas e aplicação de elevados níveis de corretivos e fertilizantes (RIO GRANDE DO SUL, 2006).

Os Neossolos são solos minerais pouco desenvolvidos, rasos que possuem o horizonte A diretamente assentado sobre a rocha ou sobre um pequeno horizonte C, geralmente com muito material de rocha em decomposição. Apresentam-se bem acentuadamente drenados e com características morfológicas, físicas e químicas muito variáveis em função do material originário. Na Encosta Inferior do Nordeste são derivados de basalto, possuindo alta fertilidade natural devido aos valores de soma e saturação por bases e aos teores muito baixos de alumínio trocável. Na Encosta do Sudeste e Serra do Sudeste são de média e alta fertilidade natural, em relevo forte ondulado ou montanhoso, de textura argilosa, siltosa ou média (RIO GRANDE DO SUL, 2006).

As principais limitações de uso são a baixa profundidade, a acentuada declividade e presença de pedras e/ou afloramento de rocha em alguns locais. Em geral as áreas de relevo suave ondulado e ondulado podem ser utilizadas para pastagens permanentes e silvicultura e nas regiões de relevo forte ondulado para reflorestamento e fruticultura. As áreas muito íngremes devem ser reservadas para preservação permanente (SEMA, 2001; RIO GRANDE DO SUL, 2006).

A classificação dos solos das parcelas experimentais dos estudos dos capítulos 1, 2 e 3 foi realizada pelo Dr. Itamar Antonio Bognolo, pesquisador da Embrapa Floresta.

3.3 VEGETAÇÃO

A vegetação original predominante na zona limítrofe da Encosta Inferior do Nordeste e Depressão Central foi a Floresta Estacional Decidual e Semidecidual e Estepe (IBGE, 2004b; RIO GRANDE DO SUL, 1994; VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991). Esta região sofreu um intenso processo de desflorestamento para utilização agropecuária, que devastou quase que completamente a cobertura vegetal original. Atualmente são encontrados fragmentos com vegetação secundária apenas nos locais de relevo mais acidentado.

Originalmente a Encosta do Sudeste era coberta pela Floresta Estacional Semidecidual, Estepe Gramíneo-Lenhosa e Formações Pioneiras e a Serra do Sudeste por Estepe Arborizada, mas também apresentava áreas de Floresta Estacional Semidecidual na parte leste da região e nas várzeas dos rios (IBGE, 2004b; RIO GRANDE DO SUL, 1994; VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991). Estas regiões também sofreram um processo de ocupação, sendo encontrados fragmentos da Floresta Semidecidual em áreas de maior dificuldade à utilização agrícola. As áreas de Estepe, apesar de ter sido bastante antropizadas pela utilização pecuária, mantêm grande parte da vegetação original.

As áreas da Floresta Estacional Decidual e Semidecidual são tipicamente Ombrófila, sem período seco e com precipitações intensas e regulares. As baixas temperaturas durante um período do ano imprimem o caráter estacional nestas florestas, atingindo de 20 a 50% da cobertura vegetal superior na Floresta Semidecidual e quase que a totalidade na Decidual. A queda foliar ocorre durante a estação mais fria do ano, faz parte de um processo de hibernação, provavelmente acionado através de reações hormonais (SEMA, 2001).

A cobertura vegetal de Estepe refere-se à campanha gaúcha, que no projeto RADAMBRASIL recebeu a denominação de savana (LEITE; KLEIN, 1990). Esta vegetação é caracterizada como campestre subtropical, onde as plantas são submetidas à dupla estacionalidade, uma fisiológica, provocada pelo frio das frentes polares, e outra seca, mais curta, com déficit hídrico (VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991).

As regiões estudadas apresentam dois subgrupos: Estepe Arborizada e Estepe Gramíneo-Lenhosa (IBGE, 2004b). A Estepe Arborizada é composta de dois estratos distintos: o primeiro formado por árvores e arbustos dispersos, ligados ou não as florestas de galeria, e o segundo pela vegetação herbácea, constituída principalmente por gramíneas. A Estepe Gramíneo-Lenhosa apresenta somente o estrato herbáceo constituído por duas sinúsias graminóides, com florestas de galeria de porte baixo flanqueando algumas drenagens (VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991).

As Formações Pioneiras é uma vegetação em constante sucessão pela influência de inundações periódicas. Nos locais de solos hidromórficos habitam espécies higrofitas, geófitas e hemicriptófitas. A maior parte da área com esta cobertura vegetal encontra-se drenado e transformado em lavouras de arroz (RIO GRANDE DO SUL, 1994).

Para a identificação taxonômica das espécies dos estudos dos capítulos 5 (espécies arbóreas da Floresta Estacional Semidecidual) e 6 (espécies herbáceas da Estepe Gramíneo-Lenhosa e Estepe Arborizada) contou-se com a contribuição dos pesquisadores A. Guglieri, F.J.M. Caporal, J.A. Jaerenkow, J. Budke e J.G. Kray do Departamento de Botânica da UFRGS.

SEÇÃO 2

CAPÍTULOS

1 PRODUTIVIDADE E RENTABILIDADE DE PLANTAÇÕES DE ACÁCIA-NEGRA NA PEQUENA PROPRIEDADE EM FUNÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE SEMENTES MELHORADAS E DAS CONDIÇÕES DE SOLO

INTRODUÇÃO

Ao contrário do *Pinus* e *Eucalyptus*, que tiveram significativos aumentos de produtividade nas últimas décadas pelo investimento expressivo em novas tecnologias (JUVENAL; MATTOS, 2002), a produção da acácia-negra na pequena propriedade tem se mantido nos mesmos patamares desde o estabelecimento dos primeiros plantios comerciais na década de 1930, em decorrência do pouco aprimoramento de seus sistemas de produção.

O aumento da produtividade da acácia-negra na pequena propriedade depende da determinação dos fatores ambientais limitantes ao crescimento da plantação, material genético selecionado para condições edafo-climáticas e do uso de práticas silviculturais tecnicamente adequadas, economicamente viáveis, socialmente justas e ambientalmente corretas.

Segundo LITTLE et al. (2000) os benefícios proporcionados pelo melhoramento genético da acácia-negra são potencializados pela utilização de sítios adequados e corretas práticas silviculturais. A produtividade máxima de um sítio pode ser alcançada através de técnicas silviculturais apropriadas, destacando-se a produção de mudas, preparação da área, fertilização, densidade de plantio, controle de ervas daninhas, controle de pragas e manejo de resíduos de colheita.

Numa mesma região climática, o solo é a característica ambiental que mais influencia a produtividade florestal (PRITCHET, 1990). No entanto, na maioria das vezes, o estabelecimento de relações diretas entre os atributos de solo e o crescimento florestal não tem tido sucesso (SCHÖNAU; ALDWORTH, 1991). A dificuldade para se encontrar relações entre teores de nutrientes no solo e a

produtividade florestal pode estar relacionada com as técnicas de análises da disponibilidade de nutrientes para as plantas, que foram calibradas para cultivos de ciclo curto, que podem não ser totalmente aplicáveis para cultivos de ciclos longos, como as plantações florestais.

A estratificação das áreas, delimitando solos de classes similares (WILDE et al., 1964) e a utilização de técnicas de análises multivariadas (SCOLFORO, 1998) pode ajudar na determinação dos fatores do solo limitantes ao crescimento da acácia-negra e viabilizar alternativas para superação destas limitações.

A produção de mudas de acácia-negra com mais de uma planta por unidade é uma prática adotada por muitos viveiristas, principalmente para as mudas produzidas em torrão. Muitos produtores não realizam o desbaste destas mudas ou fazem o raleio em idade avançada quando a competição já está estabelecida, formando plantações de menor produção (SIMON, 2005). As mudas produzidas em torrão normalmente são mais heterogêneas devido à competição entre plantas no viveiro e condições inapropriadas de produção (TANAGRO, 2005). A heterogeneidade nas mudas tem como consequência o aumento da mortalidade em idades mais jovens (SCHNEIDER et al., 2005).

Na África do Sul, experimentos envolvendo subsolagem, aração, sulcamento, posição de plantio e tamanho da cova indicaram que o cultivo intensivo não melhora o crescimento da acácia-negra em comparação com a cova comum; e que o crescimento das plantas pode ser melhorado através da subsolagem somente em áreas severamente compactadas e com impedimentos para o desenvolvimento de raízes (SMITH; LITTLE; NORIS. 2001).

O adensamento excessivo, com até 4.000 árvores/ha (FLEIG, 1993), aumenta a mortalidade de plantas, reduz o crescimento em diâmetro (KLEIN et al., 1992), acelera o amadurecimento da floresta e diminui o período de rotação, que eventualmente pode chegar a 3,5 anos (SIMON, 2005). A tendência de incremento

da produção com o aumento da densidade (SCHNEIDER et al., 2000) pode não representar a alternativa mais econômica, pois os custos de implantação e de exploração são maiores nos plantios mais adensados (KLEIN et al., 1992).

A aplicação de P e K no plantio da acácia-negra na África do Sul incrementou produção de casca em 7 Mg/ha e de volume em 60 m³/ha (HERBERT, 1991). Na Índia foram encontrados incrementos de 54% no crescimento em diâmetro aos três anos de idade pela adubação de P e K (HUSAIN; PONNUSWAMY; VISWANATHAN, 1980). MAESTRI et al. (1987) encontraram um acréscimo de 95,2% na produtividade média do povoamento com três anos de idade pela aplicação de fosfato de Araxá no Rio Grande do Sul. No entanto, a magnitude da resposta da fertilização depende dos efeitos integrados da preparação do solo, qualidade de muda e controle de plantas daninhas (LITTLE; SMITH; NORRIS, 2000).

A competição com ervas daninhas pode reduzir significativamente o crescimento da acácia-negra, sendo o período do plantio ao estabelecimento do povoamento o mais crítico (LITTLE, 2000). LITTLE, SMITH e NORRIS (2000) não encontraram diferenças de crescimento em áreas de reforma da plantação entre quatro métodos de manejo de resíduos em que se realizou o controle das plantas competidoras. No entanto, quando não foi feito controle das competidoras, as áreas queimadas apresentaram o pior desempenho. A queima de resíduos da colheita (coivaras) promove uma grande regeneração de plantas de acácia-negra (PIETERSE; BOUCHER, 1997), que se não forem controladas corretamente tornam-se fortes competidoras das plantas do povoamento.

O objetivo deste estudo foi determinar ganhos de produtividade e nos rendimentos econômicos pela adoção de sementes melhoradas geneticamente e práticas silviculturais adequadas em plantações de acácia-negra e analisar o efeito dos atributos químicos e físicos do solo sobre o crescimento desta espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A empresa TANAGRO S.A. iniciou em 2001 um projeto de transferência de tecnologias para pequenos acacicultores, visando demonstrar ganhos de produção pela adoção de sementes melhoradas geneticamente e práticas adequadas de plantio e manejo do povoamento. Os produtores receberam a doação de mudas para o plantio de 10 ha de acácia-negra e recomendações sobre o combate de formigas cortadeiras, preparo da área, espaçamento, adubação, tratamentos silviculturais e controle de pragas. As mudas foram produzidas no viveiro desta empresa com sementes provenientes de APS de segunda geração.

Este trabalho foi realizado em nove propriedades dos municípios de Montenegro, Triunfo, Taquari e Tabaí, localizados num raio de aproximadamente 15 km. Estes municípios estão na zona limítrofe das regiões da Encosta Inferior do Nordeste e Depressão Central. O clima destas regiões é do tipo temperado úmido, com precipitações anuais em torno de 1.500 mm, bem distribuídas durante o ano. A vegetação original, formada pela Floresta Estacional Decidual e Semidecidual e pela Estepe, foi completamente desfigurada pela agropecuária (RIO GRANDE DO SUL, 1994; VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991). As áreas avaliadas apresentam altitudes entre 80 e 120 m acima do nível do mar, relevo com inclinações suaves e solos profundos de avançado estágio de intemperização.

Nestas propriedades foram estabelecidos, entre agosto e outubro de 2001, dois sistemas de produção de acácia-negra: o sistema melhorado, com mudas doadas pela TANAGRO S.A., produzidas em laminados com sementes melhoradas geneticamente; e o sistema tradicional, com mudas adquiridas de viveiristas, produzidas em torrão ou laminado, com sementes provenientes de coletas junto a formigueiros próximos ou dentro de plantações comerciais, ou seja, sementes sem nenhuma seleção genética ou fenotípica.

No quadro 1 estão apresentadas as práticas silviculturais realizadas nas propriedades avaliadas. Exceto pela procedência da muda (TANAGRO ou viveirista) e densidade de plantio, os dois sistemas de produção tiveram, numa mesma propriedade, as mesmas práticas de preparo de área, plantio, adubação e manejo silvicultural.

No sistema tradicional, quando se utilizou mudas com mais de uma planta por unidade de torrão ou laminado, foi necessário realizar o desbaste, sendo que dois produtores fizeram diretamente na muda antes do plantio (DA e RA); três realizaram no campo até seis meses após o plantio (AE, HK e NR) e dois no campo com mais de um ano de idade (MP e VS). Dois produtores (JF e OS) adquiriram mudas em recipientes de laminados com uma planta por unidade, não necessitando de desbastes.

Os talhões dos sistemas melhorado e tradicional estavam separados somente por uma estrada em sete propriedades e por um riacho em duas. Em três propriedades (JF, MP e RA) o plantio da acácia-negra foi consorciado com melancia, tanto no sistema tradicional como no melhorado. Nestas áreas, além da adubação da acácia-negra que consta no quadro 1, também foi realizada uma adubação com até 250 kg/ha de nitrato de amônio.

Somente um produtor era proprietário da terra, os demais eram arrendatários. A implantação e manutenção da plantação foram custeadas pelo arrendatário e o proprietário arcou com os custos da terra (impostos e custo de oportunidade). A produção da acácia-negra (madeira, casca e lenha) é dividida com a plantação em pé, na base de 50% para cada parte. O período de arrendamento contratado foi de cinco a sete anos.

QUADRO 1 - PRÁTICAS SILVICULTURAIS REALIZADAS NAS ÁREAS AVALIADAS.

Propriedade	Antecedentes da área	Controle de formigas	Preparo da área	Sistema Tradicional ¹		Plantio	Adubação	Consórcio	Limpeza	Manutenção	Pastejo após
				Muda	Desbaste						
AE	Três ou quatro rotações de acácia-negra	Brometo nos formigueiros	Queima das coivaras e aração, subsolagem e gradagem somente na linha de cultivo	Torrão	Quatro meses após o plantio	Manual	210 kg/ha de 5-30-15 70 g/cova no plantio 30 g/cova 60 dias após o plantio	Não	Coroamento manual e capina mecânica 60 dias após o plantio	Roçagem manual com um ano	Dois anos de idade
DA	Duas rotações de acácia-negra	Iscas em toda a área	Queima das coivaras e aração e duas gradagem somente na linha de cultivo	Torrão	Na muda, antes do plantio	Mecânico - replantio manual	140 kg/ha de 5-30-15 70 g/cova no plantio	Não	Coroamento manual e capina mecânica 90 dias após o plantio	Roçagem mecânica nas entre-linhas com um ano	Dois anos de idade
HK	Mais de duas rotações de acácia-negra	Iscas nos formigueiros	Queima das coivaras, herbicida em toda a área e subsolagem e gradagem somente na linha de cultivo	Torrão	Seis meses após o plantio	Manual	250 kg/ha de 5-30-15 75 g/cova no plantio 50 g/cova 60 dias após o plantio	Não	Capina mecânica 60 dias após o plantio	Roçagem mecânica nas entre-linhas com um ano	Dois anos de idade
JF	Duas rotações de acácia-negra	Iscas em toda a área	Queima das coivaras e subsolagem e gradagem somente na linha de cultivo	Laminado com uma planta por unidade	Não	Manual	250 kg/ha de 5-30-15 Distribuição na linha de cultivo com adubadeira	Melância em parte da área ²	Capina mecânica 180 dias após o plantio	Roçagem manual com um ano	Dois anos de idade
MP	Pastagem nativa	Iscas em toda a área	Aração e gradagem em toda a área	Laminado com mais de uma planta por unidade	Mais de um ano após o plantio	Manual	400 kg/ha de 5-30-15 Distribuição com adubadeira na linha	Melância ²	Capina mecânica 60 dias após o plantio	Não	Dois anos de idade
NR	Pastagem nativa	Iscas em toda a área	Queima da pastagem e aração, gradagem e subsolagem somente na linha de cultivo	Torrão	Seis meses após o plantio	Manual	180 kg/ha de 5-30-15 40 g/cova no plantio 40 g/cova 60 dias após o plantio	Não	Coroamento manual e capina com tração animal 60 dias após o plantio	Roçagem mecânica nas entre-linhas com um ano	Um ano de idade
OS	Pastagem nativa com nogueiras bem dispersas	Iscas nos formigueiros	Aração, subsolagem e gradagem em toda a área	Laminado com uma planta por unidade	Não	Manual	250 kg/ha de 5-20-20 Distribuição na linha de cultivo com adubadeira	Não	Capina manual na linha de cultivo 90 dias após o plantio	Roçagem mecânica nas entre-linhas com um ano	Dois anos de idade
RA	Pastagem nativa	Iscas em toda a área	Arranquio de reboleras de vegetação nativa, aração e gradagem em toda a área	Torrão	Na muda, antes do plantio	Mecânico - replantio manual	240 kg/ha de 5-30-15 100 g/cova no plantio	Melância ²	Coroamento manual e capina mecânica 30 dias após o plantio	Roçagem manual com um ano	Três anos de idade
VS	Mais de duas rotações de acácia-negra	Iscas nos formigueiros	Queima das coivaras e aração, gradagem e subsolagem somente na linha de cultivo	Torrão	Dois anos após o plantio	Manual	300 kg/ha de 5-20-20 Distribuição na linha de cultivo com adubadeira	Não	Capina manual na linha de cultivo 90 dias após o plantio	Roçagem mecânica nas entre-linhas com um ano	Três anos de idade

OBS.: Em todas as propriedades foi realizado o controle anual de serrador (amontoa e queima de galhos) e de formigas (iscas nos formigueiros).

¹Sistema Melhorado: mudas em laminado com uma planta por unidade, fornecidas pelo viveiro da TANAGRO S.A., sementes provenientes de APS de segunda geração.

²Fertilização com até 250 kg/ha com nitrato de amônia

Avaliação das Áreas

Em 2003, quando os plantios atingiram três anos de idade, iniciou-se a avaliação dos sistemas de produção. Foram demarcadas seis parcelas em cada propriedade, sendo três no talhão do sistema melhorado e três no sistema tradicional. Cada parcela foi constituída de seis linhas de plantio (média de 18,2 m de largura) por 30 m de comprimento (média de 20 plantas), tendo em média 546 m² e 120 plantas amostradas por parcela. As parcelas foram alocadas no terço superior, médio e inferior da pendente de cada talhão. Nas propriedades que os sistemas melhorado e tradicional estavam separados somente por uma estrada, as parcelas dos sistemas melhorado e tradicional do mesmo terço da pendente foram demarcadas a menos de 30 m uma da outra.

As medições das parcelas foram realizadas do terceiro (2003) ao quinto ano de idade (2006). Foi medido anualmente, com fita métrica graduada em 0,5 cm, o CAP (circunferência a altura do peito) de todas as árvores e a altura de 20% destas com hipsômetro Blume-leiss. Árvores com CAP <20 cm (dominadas, suprimidas e não comerciais) na avaliação de três anos de idade (2004) não foram mensuradas, sendo consideradas como falhas. Também foi medida a altura das cinco árvores de maior diâmetro de cada parcela, para determinação da altura dominante.

A ocorrência de gomose de *Phytophthora* sp. (SANTOS, 2001), principal doença da acácia-negra, foi avaliada no terceiro e quinto ano em três linhas de cada parcela. Inicialmente verificou-se a incidência da doença (expressa em %) até 1,5 m de altura em cada árvore. Em seguida procedeu-se à avaliação de severidade da doença, utilizando-se duas hastes graduadas de 1,5 m de altura, colocadas ao lado do tronco (SANTOS; AUER, 1998), devido esta apresentar maior severidade de ataque no segmento basal do tronco (SANTOS et al., 2001).

O grau de severidade da doença, até 1,5 m do solo, foi avaliado em cada lado do tronco por notas de 1 a 5, sendo: 1 (lesões em até 5% do tronco), 2 (5 e 15%), 3 (15 a 25%), 4 (25 a 50%) e 5 (lesões acima de 50% do tronco). Foram consideradas tanto as lesões sem exsudação (mosqueado), como as lesões com exsudação (goma no tronco e/ou colo). Não foi considerada a exsudação de goma por injúrias mecânicas e ataque de insetos.

O solo de cada parcela foi caracterizado através de tradagens até 1,20 m de profundidade. Foram coletadas amostras compostas a 0-20 cm de profundidade do horizonte superficial (A) e a 50-70 cm do horizonte B latossólico ou a 10 cm de profundidade do início do horizonte B textural. Nestas amostras foram realizadas análises químicas (matéria orgânica, pH, P, K, Ca, Mg, H+Al e Al) e análises granulométricas (argila, silte e areia) pelo Laboratório de Solos da Fundação ABC, em Castro-PR.

A densidade do solo foi determinada na camada arável do solo (0 a 40 cm de profundidade) através de amostras coletadas em anéis volumétricos a três profundidades (0-5, 15-20 e 30-35 cm) e em dois locais de cada parcela. Estas amostras foram secas em estufa a 105 °C por 24 horas e determinada a densidade por peso seco do solo/volume do anel. A densidade do solo de cada parcela foi calculada pela média das três profundidades e dos dois locais de coleta.

Análise dos Dados

Com os dados mensurados no campo de CAP, número de árvores e dimensões das parcelas foi calculado a densidade de plantio, sobrevivência de plantas, densidade de árvores e área basal. A altura dominante foi calculada pela média das alturas das cinco árvores de maior diâmetro de cada parcela.

Para calcular a porcentagem de ataque de gomose de cada árvore atribuiu-se os valores médios de 2,5%, 10,0%, 20,0%, 37,5% e 75,0% de área lesionada para as notas 1, 2, 3, 4 e 5 atribuídas na avaliação do grau de severidade, respectivamente, e encontrou-se a média dos dois lados do tronco. A média de mortalidade (total e por gomose) e de severidade da gomose para cada povoamento foram calculadas pelas seguintes fórmulas, sendo considerado para estes cálculos somente as árvores com CAP \geq 20 cm na avaliação de três anos de idade:

$$SG = (\sum PAG / AG) 100, \quad \text{onde:}$$

SG (%) = Severidade de gomose do povoamento.
 \sum PAG = Somatório da porcentagem média de área do tronco lesionada por gomose em cada árvore.
 AG = Árvores com gomose.

$$MT = (AM/TA3) 100, \quad \text{onde:}$$

MT (%) = Mortalidade total de árvores no período de três a cinco anos de idade.
 AM = Árvores mortas no período de três a cinco anos de idade.
 TA3 = Total de árvores aos três anos de idade.

$$MG = (AMG/AIG3) 100, \quad \text{onde:}$$

MG (%) = Mortalidade de árvores com gomose no período de três a cinco anos de idade.
 AMG = Árvores mortas com gomose no período de três a cinco anos de idade.
 AIG3 = Árvores com gomose aos três anos de idade.

Algumas variáveis foram estimadas partindo-se dos dados medidos em campo. A altura das árvores foi estimada pela relação hipsométrica, ajustada para cada parcela e idade, conforme modelo recomendado por CALDEIRA et al. (2002):

$$H = b_0 + b_1 \ln(DAP).$$

O volume de madeira com e sem casca e peso de casca verde foram estimados por meio de equações preconizadas por SCHNEIDER et al. (2001), ajustadas para várias idades e povoamentos da região estudada:

$$\text{Log}(V_{cc}) = -4,20076 + 0,9494568 \text{ Log}(DAP^2H)$$

$$\text{Log}(V_{sc}) = -4,29654 + 0,9562276 \text{ Log}(DAP^2H)$$

$$\text{Casca Verde} = 1,627002 + 0,00629 (DAP^2H) + 0,0000075 (DAP^2H^2)$$

Incremento Médio Anual (IMA) e o Incremento Corrente Anual (ICA) para produção de madeira e casca foram calculados para três a cinco anos de idade.

Foram considerados os seguintes fatores para as análises de variância: sistemas (melhorado e tradicional), propriedades (AE, DA, HK, JF, MO, NR, OS, RA e VS), interação sistemas x propriedade e localização das parcelas (terço superior, médio e inferior da pendente). Foram analisadas as seguintes variáveis: densidade de plantio, sobrevivência e densidade ao final da rotação, diâmetro, área basal, altura dominante, volume de madeira com e sem casca, produção de casca verde, incremento médio e corrente anual de madeira e casca, incidência e severidade de gomose, e mortalidade total e por gomose. Estas análises foram realizadas no programa SAS (SAS INSTITUTE, 1999), pelo seguinte modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + P_j + R_k + SP_{ij} + e_{ijk}, \text{ onde:}$$

Y_{ijk} = Observação do sistema i , na propriedade j , na parcela k ;
 μ = média geral;
 S_i = efeito do sistema i ;
 P_j = efeito da propriedade j ;
 SP_{ij} = efeito da interação sistema i x propriedade j ;
 R_k = efeito da localização da parcela k ;
 e_{ijk} = efeito do erro associado a parcela ijk ;

Os dados foram previamente testados quanto às pressuposições da análise de variância, sendo analisadas a homogeneidade de variância (Teste de Levene) e normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilks) pelo programa STATGRAPHICS (STATISTICAL GRAPHICS CORP, 1994). Para atender a estes pressupostos foi retirada das análises de variância a parcela do terço inferior do sistema tradicional da propriedade MP, por ter sido considerada “*outliers*”. Também foi necessária a transformação dos dados de incidência e severidade de gomose e de mortalidade por $yt = \arcsen\sqrt{y/100}$, sendo y = dado original e yt = dado transformado (STEEL; TORRIE, 1988). A apresentação dos resultados das variáveis transformadas foi por médias retransformadas à escala original.

A comparação das médias dos sistemas melhorado e tradicional para cada propriedade e geral foi realizada pelo teste t e das médias das propriedades dentro dos sistemas pelo teste de Scott-Knott (ZIMMERMANN, 2004).

Para avaliar o efeito da gomose sobre o crescimento das plantas foram escolhidas, na planilha de mensuração de três anos de idade, árvores sadias com o mesmo diâmetro de árvores com gomose. Estimou-se o volume e o incremento periódico de madeira com casca no período de três a cinco anos de idade para árvores sadias e árvores com gomose em três classes de severidade (<5%, 5 a 15% e >15% de lesões no tronco) e média. Os dados foram comparados pelo teste t para amostras pareadas (STEEL; TORRIE, 1988).

Influência dos Atributos do Solo sobre o Crescimento

Foram realizadas análises de correlação de Pearson e regressão múltipla entre a altura dominante aos quatro anos de idade e os atributos químicos e físicos dos horizontes A e B do solo de cada parcela do sistema melhorado. Foi realizada uma análise para a identificação de observações atípicas, através da padronização das variáveis (média=0, desvio padrão=1), sendo considerados *outliers* dados que apresentaram escores padrão ≥ 3 (HAIR et al., 2005). Os dados de solos das parcelas do terço inferior das propriedades OS e MP foram considerados atípicos, sendo retirados das análises.

A análise de regressão múltipla foi realizada pelo método passo a passo para frente e para trás (*stepwise*), verificando a precisão estatística com a inclusão de uma nova variável, sua influência se for retirada do modelo e, testando outras possibilidades de variáveis a serem incluídas no processo.

Esta análise foi realizada no programa SAS (SAS INSTITUTE, 1999), utilizando-se o modelo completo com todas as variáveis químicas e físicas do solo dos horizontes A e B e a adubação utilizada no estabelecimento do povoamento:

$$\begin{aligned} \hat{h}_{dom} = & \beta_0 + \beta_1 FN + \beta_2 FP + \beta_3 FK + \beta_4 P_A + \beta_5 MO_A + \beta_6 pH_A + \beta_7 Al_A + \beta_8 K_A + \beta_9 Ca_A \\ & + \beta_{10} Mg_A + \beta_{11} SB_A + \beta_{12} CTC_A + \beta_{13} V + \beta_{14} m_A + \beta_{15} P_B + \beta_{16} MO_B + \beta_{17} pH_B + \\ & \beta_{18} Al_B + \beta_{19} K_B + \beta_{20} Ca_B + \beta_{21} Mg_B + \beta_{22} SB_B + \beta_{23} CTC_B + \beta_{24} V_B + \beta_{25} m_B + \\ & \beta_{26} Ca/Mg_A + \beta_{27} Ca/Mg_B + \beta_{28} Ca/K_A + \beta_{29} Ca/K_B + \beta_{30} Mg/K_A + \beta_{31} Mg/K_B + \\ & \beta_{32} Ca+Mg/K_A + \beta_{33} Ca+Mg/K_B + \beta_{34} Areia_A + \beta_{35} Silte_A + \beta_{36} Argila_A + \\ & \beta_{37} Areia_B + \beta_{38} Silte_B + \beta_{39} Argila_B + \beta_{40} Densidade_{(0-40\text{ cm})} + \varepsilon \end{aligned}$$

Onde: \hat{h}_{dom} = altura dominante aos 4 anos;
 $\beta_0, \dots, \beta_{40}$ = coeficientes parciais;
 FN = adubação com N;
 FP = adubação com P;
 FK = adubação com K;
 MO_A = Matéria orgânica do horizonte A;
 pH_A = Potencial de hidrogênio do horizonte A;
 Al_A = Alumínio trocável do horizonte A;
 e assim por diante...
 ε = Erro.

As variáveis regressoras foram incluídas pelo maior R² ajustado, estatística de Mallows (Cp) e menor quadrado médio do resíduo (CARRASCO; HERNÁN, 1993; HAIR et al., 2005). O valor de Cp próximo a p + 1 indica que a equação possui um número adequado de variáveis, onde p = número de variáveis selecionadas. A equação selecionada foi testada quanto aos pressupostos de linearidade (gráficos de resíduos x valores preditos); normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk e gráfico de probabilidade normal); homogeneidade da variância (gráficos de resíduos x valores preditos); independência dos resíduos (teste de Durbin-Watson) e multicolinearidade (fator de inflação da variância) (SCHNEIDER, 1998; HAIR et al., 2005).

Rentabilidade Econômica dos Sistemas e Idade Ótima Econômica de Corte

Foi realizada uma análise financeira com o objetivo de comparar os sistemas melhorado e tradicional. Para tanto foi realizada uma entrevista com cada produtor sobre as práticas silviculturais realizadas, índices técnicos e custos unitários de cada despesa (análise *ex-post*). O final da rotação foi considerado aos cinco anos de idade, já que a maioria dos produtores pretende cortar a floresta nesta idade (dois produtores cortaram com quatro anos).

Os custos e benefícios foram calculados em valores relativos a 1 ha. Para a composição dos custos considerou-se todos os insumos e serviços diretamente relacionados com as práticas silviculturais da acácia-negra, não sendo considerados os custos de plantio da melancia, realizada em três propriedades, e de construção e manutenção de cercas para o gado, bem como os custos da terra. Nos benefícios também se considerou apenas a produção da acácia-negra, com a venda da plantação em pé, sistema de comercialização muito utilizado na região.

Houve dificuldades para quantificar custos e benefícios dos produtos agregados (melancia e gado), pois na maioria das vezes, as áreas foram cedidas para um terceiro sem nenhum benefício econômico direto para o produtor de acácia-negra ou proprietário da área. Por exemplo, a maioria das áreas foi utilizada por bovinos de vizinhos, que somente realizaram a manutenção das cercas. O ganho do produtor de acácia-negra foi indireto, pela redução de custos de limpeza da área. Somente dois produtores obtiveram ganhos financeiros pela utilização de bovinos nas plantações.

Os indicadores de desempenho para comparação dos sistemas foram o Valor Presente Líquido (VPL), Razão Benefício/Custo (RB/C) e Taxa Interna de Retorno (TIR), calculados conforme recomendado por REZENDE; OLIVEIRA (2001). Para o cálculo do VPL e RB/C foi utilizada a taxa de desconto ou taxa de mínima

atratividade (TMA) de 8,75% a.a. Este valor é igual aos juros médios cobrados pelos programas de financiamentos do BB Florestal (BANCO DO BRASIL, s.d.), principal financiador de plantações florestais na região.

Os indicadores de desempenho foram calculados considerando a média de custos dos produtores para a implantação e manutenção dos sistemas melhorado e tradicional, já que não se observou nenhuma relação entre custos e a produção obtida. Para os benefícios foram utilizados três cenários de produtividade aos cinco anos de idade: média geral das propriedades, média das propriedades MP, NR e VS (maior diferença de produtividade entre os sistemas melhorado e tradicional) e média das propriedades AE, DA, HK, JF, OS e RA (menor diferença de produtividade entre os sistemas melhorado e tradicional).

A idade ótima econômica de corte ou rotação econômica foi definida pelo máximo VPL, considerando um horizonte de planejamento infinito (VPL_{∞}). Segundo REZENDE; OLIVEIRA (2000) este é um critério adequado e de fácil aplicação, para comparar projetos de durações diferentes, sendo determinado pela seguinte equação:

$$VPL_{\infty} = \frac{VPL(1+i)^k}{(1+i)^k - 1},$$

onde i = taxa anual de desconto;
 K = duração da rotação.

Foram calculados o VPL e VPL_{∞} nas idades de corte de três a oito anos, considerando total da plantação (total de custos e total dos benefícios), a parte do arrendatário (total de custo e 50% dos benefícios) e a parte do proprietário (50% dos benefícios). Para as idades de três a cinco anos utilizou-se a média das produções obtidas neste trabalho nos sistemas melhorado e tradicional. Para as idades de seis a oito anos estimou-se a produção futura com base nas curvas de produção por índice de sítio e espaçamento, desenvolvidas para a região por SCHNEIDER et al. (2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade, Sobrevivência e Crescimento

Considerando a média das propriedades, não houve diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os sistemas de produção melhorado e tradicional de acácia-negra para a densidade de plantio, sobrevivência e densidade ao final da rotação (tabela 1). No sistema melhorado observou-se que as densidades de plantio e ao final da rotação foram semelhantes ($P < 0,05$) entre as propriedades. O mesmo não ocorreu no sistema tradicional, em que as propriedades JF, NR, RA e VS apresentaram maiores ($P < 0,05$) densidades de plantio e MP e RA apresentaram menores ($P < 0,05$) densidades ao final da rotação. Para uma mesma propriedade, verificou-se que o sistema tradicional apresentou maior ($P < 0,05$) densidade de plantio para JF e menor ($P < 0,05$) densidade ao final da rotação para MP.

TABELA 1 - DENSIDADE DE PLANTIO, SOBREVIVÊNCIA E DENSIDADE DE PLANTAS AO FINAL DA ROTAÇÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL, ESTABELECIDOS EM NOVE PROPRIEDADES.

Propriedades	Densidade de plantio (plantas/ha)		Sobrevivência final (%)		Densidade final (árvores/ha)	
	Melhorado	Tradicional	Melhorado	Tradicional	Melhorado	Tradicional
AE	2103 Aa	1970 Ab	71,5 Aa	74,0 Ab	1505 Aa	1457 Aa
DA	1987 Aa	1927 Ab	69,8 Ba	79,1 Aa	1389 Aa	1522 Aa
HK	1887 Aa	1996 Ab	74,8 Aa	81,6 Aa	1411 Aa	1630 Aa
JF	2059 Ba	2344 Aa	69,0 Aa	60,5 Bc	1426 Aa	1408 Aa
MP ¹	2093 Aa	2015 Ab	66,2 Aa	51,8 Bd	1385 Aa	1045 Bb
NR ¹	2269 Aa	2313 Aa	71,0 Aa	65,5 Ac	1611 Aa	1516 Aa
OS	2203 Aa	2121 Ab	66,1 Aa	69,6 Ab	1457 Aa	1476 Aa
RA	2348 Aa	2458 Aa	56,2 Ab	52,6 Ad	1314 Aa	1292 Ab
VS	2157 Aa	2392 Aa	77,5 Aa	63,7 Ac	1671 Aa	1526 Aa
Média	2123 A	2171 A	69,1 A	66,5 A	1463 A	1430 A

Letras maiúsculas diferentes, para comparar sistemas de produção da mesma propriedade, diferem entre si pelo teste t ($P < 0,05$).

Letras minúsculas diferentes, para comparar propriedades dentro do mesmo sistema de produção, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

¹O final da rotação foi aos quatro anos idade para as propriedades MP e NR e cinco anos para as demais.

A sobrevivência média dos sistemas ao final da rotação foi de 69,1 e 66,5% para o melhorado e tradicional, respectivamente (tabela 1). Comparando-se as propriedades no sistema melhorado encontrou-se que RA teve a menor ($P < 0,05$) sobrevivência que as demais propriedades. Já no sistema tradicional, verificou-se maior ($P < 0,05$) sobrevivência para DA e HK e menor ($P < 0,05$) para MP e RA. A acácia-negra apresenta alta mortalidade de árvores durante a vida do povoamento, em decorrência da densidade populacional, estabelecimento desuniforme, diferenças de sítio e duração da rotação (SHERRY, 1971; SCHNEIDER et al., 2005a).

O sistema melhorado apresentou maior ($P < 0,05$) média de DAP, área basal e altura dominante (tabela 2). Comparando-se os dois sistemas na mesma propriedade, observou-se que o tradicional apresentou menor ($P < 0,05$) DAP e altura dominante para HK, MP, NR e VS e menor ($P < 0,05$) área basal para MP, NR e VS; para as demais propriedades estas diferenças não foram significativas ($P < 0,05$). Observaram-se diferenças significativas ($P < 0,05$) entre propriedades para DAP e altura dominante nos sistemas melhorado e tradicional e para área basal no melhorado (tabela 2).

A densidade de plantio apresentou correlação negativa com a sobrevivência de plantas e não se correlacionou com a densidade ao final da rotação, altura dominante, DAP, área basal e volume de madeira (tabela 3). Estes resultados demonstraram que a mortalidade de plantas da acácia-negra foi maior nas parcelas com maiores densidades de plantio, efetuando um controle da densidade nas parcelas de plantio mais adensado, tendendo a igualar a densidade final em todas as plantações (tabela 1). SCHNEIDER et al. (2005a) também observaram em povoamentos de acácia-negra uma correlação negativa da mortalidade em função

TABELA 2 - DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP), ÁREA BASAL E ALTURA DOMINANTE AOS QUATRO ANOS DE IDADE EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL, ESTABELECIDOS EM NOVE PROPRIEDADES.

Propriedades	DAP (cm)		Área basal (m ³ /ha)		Altura dominante (árvores/ha)	
	Melhorado	Tradicional	Melhorado	Tradicional	Melhorado	Tradicional
AE	10,8 Ab	10,9 Aa	15,3 Ab	14,6 Aa	16,4 Aa	16,0 Aa
DA	11,1 Ab	10,4 Ab	14,4 Ab	13,6 Aa	16,4 Aa	16,0 Aa
HK	10,6 Ab	9,7 Bb	13,4 Ab	13,6 Aa	15,5 Ab	14,8 Bb
JF	10,9 Ab	10,8 Aa	14,4 Ab	14,1 Aa	15,8 Ab	16,0 Aa
MP	11,7 Aa	11,0 Ba	15,9 Aa	11,6 Ba	15,9 Ab	14,0 Bb
NR	11,6 Aa	10,3 Bb	17,7 Aa	13,0 Ba	16,9 Aa	15,7 Ba
OS	10,9 Ab	10,3 Ab	14,4 Ab	13,1 Aa	15,9 Ab	16,0 Aa
RA	11,5 Aa	11,2 Aa	14,9 Ab	14,2 Aa	16,5 Aa	16,4 Aa
VS	10,6 Ab	9,5 Bb	16,1 Aa	11,8 Ba	16,6 Aa	14,1 Bb
Média	11,1 A	10,5 B	15,2 A	13,5 B	16,2 A	15,5 Bb

Letras maiúsculas diferentes, para comparar sistemas de produção da mesma propriedade, diferem entre si pelo teste t (P<0,05).

Letras minúsculas diferentes, para comparar propriedades dentro do mesmo sistema de produção, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

do aumento do espaçamento inicial de plantio, indicando que quanto maior for o espaçamento, menor é a taxa de mortalidade ou vice-versa, por causa da menor competição entre as árvores no povoamento.

Há uma tendência entre os pequenos produtores de utilizar o adensamento das plantações de acácia-negra, por entenderem que pelo maior número de plantas por área se obterá maior produtividade (SIMON, 2005). No entanto, os resultados encontrados indicaram que as densidades de plantio acima de 2.000 plantas/ha não tiveram influência sobre a densidade de colheita e o volume de madeira com casca produzido aos cinco anos de idade (tabela 3). A competição entre árvores nos povoamentos mais adensados provocou um maior número de plantas dominadas e suprimidas, que morreram antes de completar cinco anos de idade. SHERRY (1966) citado por SCHNEIDER et al. (2005a) encontrou que a menor mortalidade foi em densidades de 1.483 árvores/ha.

A densidade ao final da rotação correlacionou-se negativamente com o DAP e positivamente com a sobrevivência, área basal e produção de madeira, porém não se correlacionou com a altura dominante (tabela 3). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por SCHNEIDER et al. (2000), estudando povoamentos de acácia-negra em densidades de plantio de 1.667 a 10.000 árvores/ha. As demais correlações encontradas neste estudo entre altura dominante, DAP, área basal e produção de madeira são características da maioria dos povoamentos florestais.

TABELA 3 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE ALGUMAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DOS POVOAMENTOS DE ACÁCIA-NEGRA AVALIADOS.

Variáveis	Sobr5	Dens5	Hd5	DAP5	G5	Vcc5
DensPlantio	-0,6668**	0,0500 ^{ns}	0,0187 ^{ns}	-0,0147 ^{ns}	0,0043 ^{ns}	-0,0037 ^{ns}
Sobr5		0,7051**	-0,1027 ^{ns}	-0,4079**	0,3199*	0,2418 ^{ns}
Dens5			-0,0917 ^{ns}	-0,5604**	0,4335**	0,3297*
Hd5				0,5994**	0,4761**	0,6579**
DAP5					0,4737**	0,5626**
G5						0,9580**

DensPlantio: Densidade de plantio; Sobr5: Sobrevivência aos cinco anos; Dens5: Densidade aos cinco anos; Hd5: Altura dominante aos cinco anos; DAP5: diâmetro aos cinco anos; G5: Área basal aos cinco anos; e Vcc5: Volume com casca aos cinco anos.

ns: não significativo; *: significativo a $P < 0,05$; e **: significativo a $P < 0,01$.

Produção de Madeira e Casca

Os resultados do volume de madeira com e sem casca e da produção de casca verde foram estatisticamente semelhantes, devido terem sido estimados por equações ajustadas com as mesmas variáveis independentes: o diâmetro e a altura. Desta forma, serão apresentados e discutidos somente os resultados para o volume de madeira com casca, já que as conclusões quanto ao desempenho dos sistemas e propriedades nos três anos de avaliação podem ser aplicadas igualmente para o volume sem casca e produção de casca verde.

A produção da acácia-negra no sistema melhorado foi maior ($P<0,05$) que o tradicional nos três anos de avaliação (tabela 4). Aos cinco anos de idade o sistema melhorado apresentou produções de 146,9 m³/ha, 124,2 m³/ha e 24,5 Mg/ha, enquanto que o sistema tradicional apresentou 127,5 m³/ha, 107,8 m³/ha e 21,6 Mg/ha, respectivamente para madeira com casca, madeira sem casca e casca verde. A produção média do sistema melhorado foi 15,2% superior para o volume de madeira com e sem casa e 13,4% para casca verde. Comparando as produções encontradas neste trabalho com tabelas de produção da acácia-negra para a região, desenvolvidas por SCHNEIDER et al. (2001), verificou-se que o sistema melhorado está de acordo com o índice de sítio 16 e o tradicional está mais próximo do índice de sítio 14.

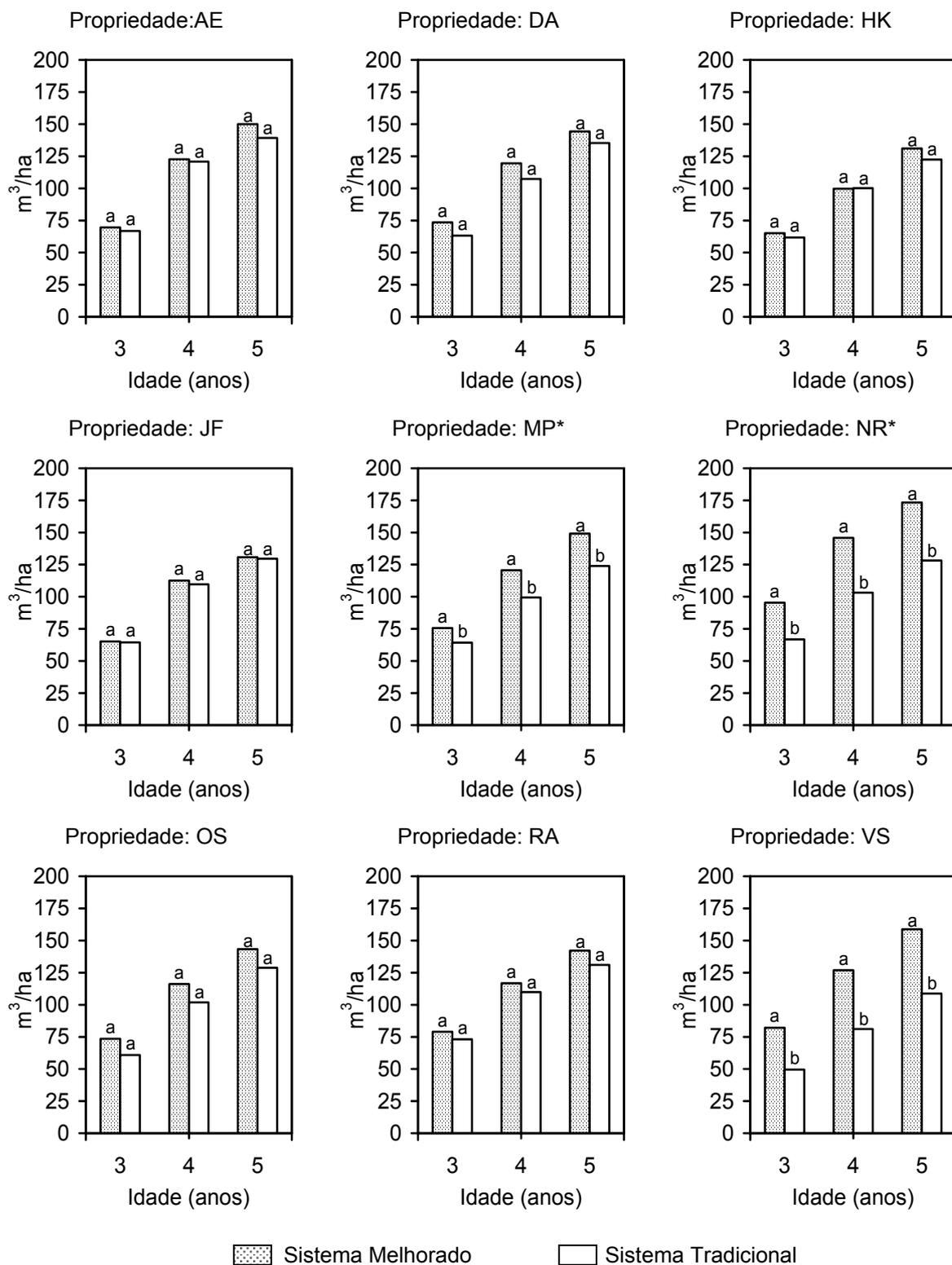
Analisando os sistemas dentro de cada propriedade nas três idades avaliadas, encontrou-se que o sistema melhorado apresentou valores numéricos superiores de volume de madeira com casca para todas elas, no entanto em três situações (MP, NR e VS) esta produção foi estatisticamente significativa ($P<0,05$) (figura 1). A diferença de produção entre o sistema melhorado e tradicional aos cinco anos de idade foi em média de 33,4% para MP, NR e VS e de 7,0% para as demais propriedades (figura 2). Numa mesma propriedade, as parcelas localizadas no mesmo terço da pendente possuem atributos de solos semelhantes, conforme pode ser observado no apêndice 1. Portanto, as diferenças entre os sistemas melhorado e tradicional não devem ser atribuídas às condições edáficas das áreas avaliadas.

TABELA 4 - PRODUÇÃO DE MADEIRA E CASCA NOS SISTEMAS MELHORADO E TRADICIONAL AOS TRÊS, QUATRO E CINCO ANOS DE IDADE.

Idade	Volume com casca (m ³ /ha)		Volume sem casca (m ³ /ha)		Casca verde (Mg/ha)		Estéreo sem casca ¹ (st/ha)	
	Melhorado	Tradicional	Melhorado	Tradicional	Melhorado	Tradicional	Melhorado	Tradicional
3	75,4 A	63,5 B	63,5 A	53,4 B	13,4 A	11,6 B	94,0 A	79,0 B
4	120,1 A	103,9 B	101,5 A	87,5 B	20,4 A	17,8 B	150,2 A	129,5 B
5	146,9 A	127,5 B	124,2 A	107,8 B	24,5 A	21,6 B	183,8 A	159,5 B

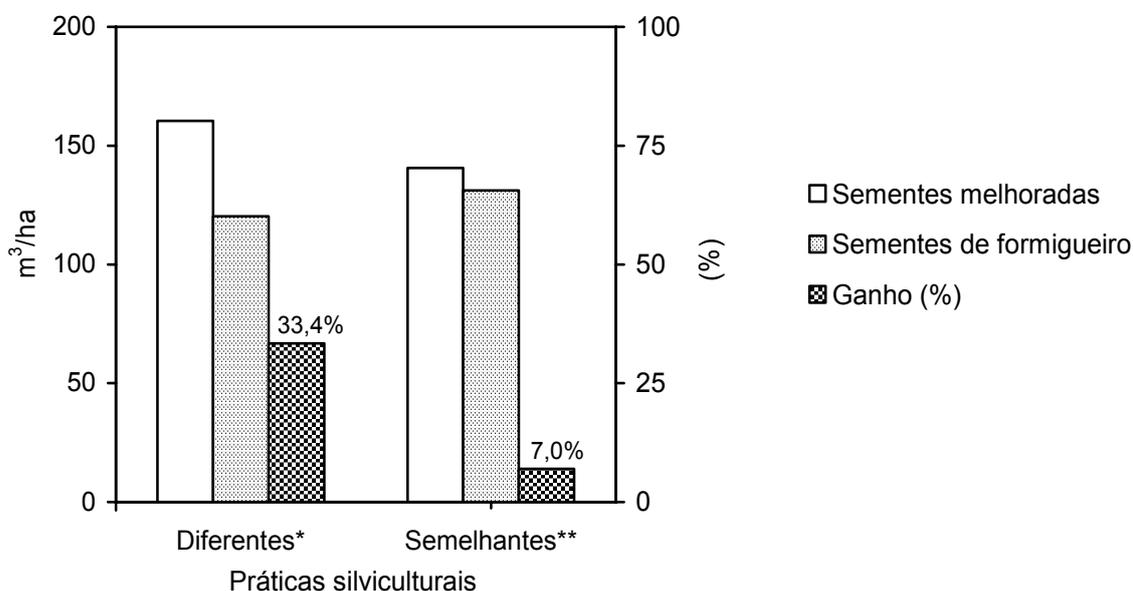
Letras maiúsculas diferentes, para comparar sistemas de produção na mesma variável, diferem entre si pelo teste t ($P<0,05$).
¹Metro cúbico empilhado = 1,48 x volume sem casca (m³).

FIGURA 1 - VOLUME DE MADEIRA COM CASCA AOS TRÊS, QUATRO E CINCO DE IDADE EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL, ESTABELECIDOS EM NOVE PROPRIEDADES.



Letras diferentes, para comparar sistemas de produção na mesma propriedades e idade, diferem entre si pelo teste t ($P < 0,05$).
 *Volume aos cinco anos para MP e NR o foi estimado, conforme tabela de produção de SCHNEIDER et al. (2001).

FIGURA 2 - GANHO (%) NA PRODUÇÃO DE MADEIRA (m³/ha) PELA UTILIZAÇÃO DE SEMENTES MELHORADAS DE ACÁCIA-NEGRA.



*Propriedades: MP, NR e VS – práticas silviculturais equivocadas nas plantações com sementes de formigueiro.

**Propriedades: AE, DA, HK, JF, OS e RA – práticas silviculturais semelhantes

A maior diferença de produção observada entre os sistemas nas propriedades MP, NR e VS está relacionada com práticas silviculturais equivocadas, utilizadas no sistema tradicional, como o desbaste tardio e o controle inadequado de invasoras.

As propriedades MP e VS utilizaram, no sistema tradicional, mudas com mais de uma planta por unidade de torrão ou laminado e somente realizaram o desbaste com mais de um ano de idade (quadro 1). O desbaste tardio é uma prática utilizada por muitos produtores, pela crença que a seleção das plantas de maior tamanho (2 a 4 m de altura) garante a formação de um povoamento com melhor densidade de árvores e maior produtividade. Este entendimento é equivocado, pois a competição reduz o crescimento das plantas, tendo efeito negativo sobre a produção final do povoamento. Isto ocorreu especialmente na propriedade VS, que realizou o desbaste somente com dois anos de idade (quadro 1).

O desbaste tardio também causa desuniformidade na plantação, aumentando o número de árvores dominadas e suprimidas e, conseqüentemente incrementando a mortalidade de plantas. A desuniformidade das plantas pelo desbaste tardio é a principal causa da menor ($P < 0,05$) sobrevivência de árvores no sistema tradicional da propriedade MP (tabela 1).

No sistema tradicional da propriedade NP, houve um atraso da capina com tração animal, tendo como conseqüência danos às raízes das plantas e maior competição da plantação com as ervas daninhas, sendo esta a mais provável causa da maior diferença entre os dois sistemas neste produtor.

Nas propriedades que os dois sistemas tiveram práticas silviculturais similares, o sistema melhorado apresentou volumes de madeira com casca 7% maior que o tradicional, o que representou um aumento de $9,1 \text{ m}^3/\text{ha}$ de madeira com casca aos cinco anos de idade (figura 2). Este ganho de produção deve ser atribuído à qualidade genética da semente, com maior potencial produtivo, utilizada na produção das mudas do sistema melhorado. A avaliação de progênies de acácia-negra oriundas de plantios comerciais estimou em 3,5% os ganhos em DAP para uma seleção na proporção de 1:6 (RESENDE et al., 1991). Segundo a TANAGRO (s.d.) as sementes de APS de segunda geração, mesma procedência das sementes utilizadas neste estudo, mostrou-se 16,8% superior em volume às sementes comuns. Os menores ganhos observados neste trabalho podem estar relacionados com as condições ambientais da região.

As plantações da empresa TANAGRO estão localizadas na metade sul do estado (Encosta do Sudeste e Serra do Sudeste), enquanto este trabalho foi realizado na zona limítrofe das regiões da Depressão Central e Encosta inferior do nordeste. Estas regiões apresentam diferentes condições de clima e solo, e no

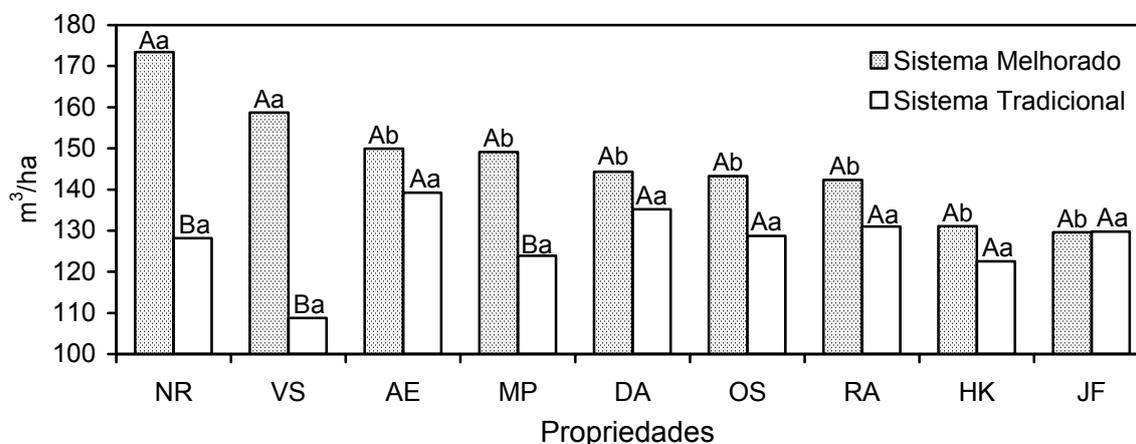
número de rotações com acácia-negra (ver capítulo 3), que podem ter influência na expressão genética da produção na semente melhorada. Em testes com as mesmas procedências, MORA (2002) encontrou uma produtividade em Piratini (Serra do Sudeste) 58,3% superior à obtida em Cristal (Encosta do Sudeste), tendo atribuído esta diferença as melhores condições ambientais e a maior porcentagem de plantas úteis do teste de Piratini.

As diferenças observadas entre o sistema melhorado e tradicional de cada propriedade indicaram a importância das práticas silviculturais para a produção da acácia-negra e que os ganhos em produtividade pela utilização de sementes melhoradas geneticamente dependem de práticas silviculturais adequadas.

As comparações de médias, pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$), de produção de madeira aos cinco anos de idade no sistema melhorado permitiram a formação de dois grupos de propriedades (figura 3). O grupo de maior produtividade foi formado pelas propriedades NR e VS, que apresentaram, respectivamente, 173,4 e 158,8 m³/ha de madeira com casca (média de 166,1 m³/ha). O outro grupo foi formado pelas demais propriedades (AE, MP, DA, OS, RA, HK e JF), com uma média de 141,4 m³/ha e produções que variaram de 129,6 a 149,9 m³/ha de madeira com casca. As maiores produções obtidas por NR e VS estão relacionadas com a melhor qualidade de sítio, expressada pelos maiores valores de altura dominante (tabela 2).

No sistema tradicional as produções de madeira com casca variaram de 108,8 m³/ha (VS) a 139,3 m³/ha (AE) aos cinco anos de idade, porém esta diferença não foi significativa ($P < 0,05$) pelo teste de Scott-Knott (figura 3). A média de produção das propriedades no sistema tradicional foi de 127,5 m³/ha.

FIGURA 3 - VOLUME DE MADEIRA COM CASCA AOS CINCO ANOS DE IDADE EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL, ESTABELECIDOS EM NOVE PROPRIEDADES.



Letras maiúsculas diferentes, para comparar sistemas de produção na mesma propriedade, diferem entre si pelo teste t ($P < 0,05$).

Letras minúsculas diferentes, para comparar propriedades no mesmo sistema de produção, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

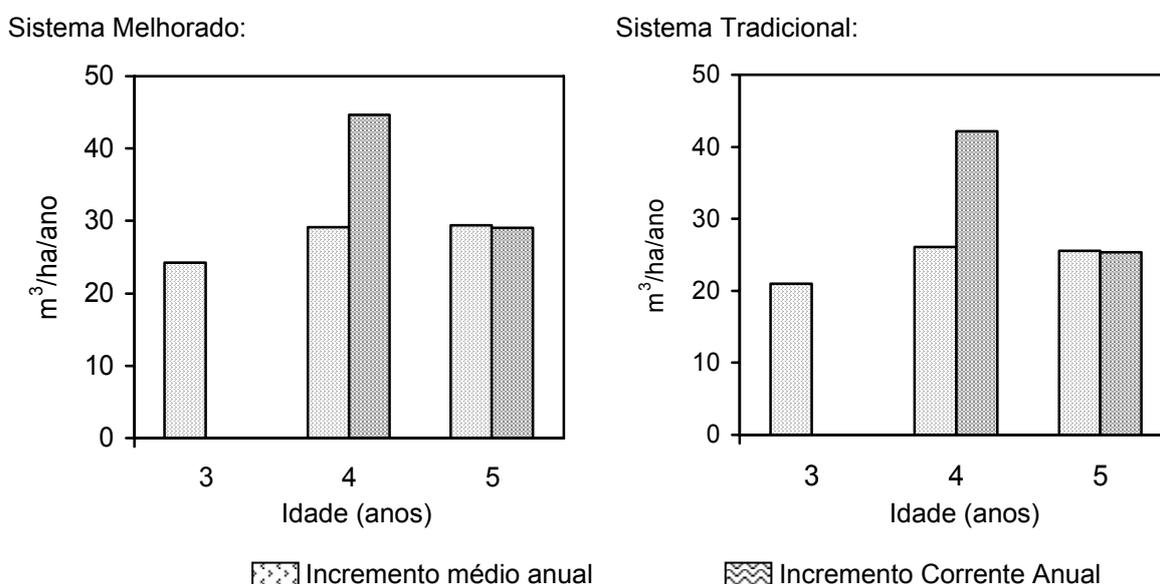
*Volume estimado para as propriedades MP e NR, conforme tabela de produção de SCHNEIDER et al. (2001).

O incremento corrente anual máximo foi observado com quatro anos, quando alcançou a produção anual de 45,6 e 41,4 m³/ha de madeira com casca, respectivamente para o sistema melhorado e tradicional (figura 4). Aos cinco anos de idade ocorreu máxima produtividade biológica, com volume médio de 30,0 e 25,9 m³/ha/ano de madeira com casca, respectivamente para o sistema melhorado e tradicional. A máxima produtividade ocorre na idade em que o incremento médio anual é máximo e igual ao incremento corrente anual (FINEGAN, 1993a). Para o produtor que deseja maximizar a produção em quantidade, independentemente da qualidade, a rotação deve ser realizada na idade de máxima produtividade, que neste estudo ocorreu aos cinco anos.

A definição da idade de rotação pelo máximo incremento médio anual tem sido utilizada pela sua simplicidade de determinação e por proporcionar a máxima produção volumétrica por unidade de tempo, resultando na menor ocupação possível de área (NAUTIYAL, 1988). Neste caso, a idade de corte é definida

independentemente de questões econômicas, como o valor dos produtos florestais, custo de oportunidade do capital e tempo de ocupação da terra em cada rotação (NEWMAN, 1988). No entanto, a definição da rotação pelo resultado econômico é o mais conveniente, devido considerar a taxa de juros, custo de produção, dimensões das árvores e valor dos produtos florestais (SCOLFORO; HOSOKAWA, 1992).

FIGURA 4 - INCREMENTO MÉDIO ANUAL E INCREMENTO CORRENTE ANUAL DO VOLUME DE MADEIRA COM CASCA, NO PERÍODO DE TRÊS A CINCO ANOS DE IDADE, EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL.



Ocorrência de Gomose e Mortalidade de Árvores

A incidência de gomose não apresentou diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os sistemas melhorado e tradicional. Aos três anos de idade verificou-se uma média de 13,2% das árvores atacadas por gomose e aos cinco anos de idade este ataque aumentou ($P < 0,05$) para 25,8%; este incremento foi observado em todas propriedades (tabela 5). Em plantios comerciais do Rio Grande do Sul são relatadas incidências de gomose de 23% a 48% (SOTTA et al., 1994; SANTOS, 2001).

As plantações das propriedades JF, MP e RA apresentaram maior ($P>0,05$) incidência da doença aos três anos de idade (tabela 5). Aos cinco anos de idade, as propriedades JF e RA (o produtor MP cortou o povoamento aos quatro anos) apresentaram incidência de gomose acima de 30% das árvores, porém estes valores não foram significativamente maiores ($P<0,05$) que as demais propriedades.

A severidade da gomose, ou seja, a porcentagem do tronco até 1,5 m de altura com lesões de gomose, foi em média de 8,4% aos três anos de idade e aumentou ($P<0,05$) para 12,6 % aos cinco anos de idade (tabela 5). O aumento de severidade no período de três a cinco anos de idade foi significativo ($P<0,05$) nas propriedades AE, HK, JF, RA e VS e não significativo para os demais. Entre propriedades, a área lesionada variou de 4,9 a 12,2% aos três anos, não sendo significativamente diferentes ($P<0,05$), e de 6,9 a 17,0% de lesões aos cinco anos de idade, sendo que as propriedades AE, DA e OS apresentaram a menor severidade e menor mortalidade ocasionada pela gomose.

TABELA 5 - MORTALIDADE DE PLANTAS, INCIDÊNCIA E SEVERIDADE DE GOMOSE NO TRONCO, AOS TRÊS E CINCO ANOS DE IDADE.

Propriedade	Incidência ¹ (% de plantas com gomose)		Severidade ² (% de área lesionada)		Mortalidade ³ (%)	
	3 anos	5 anos	3 anos	5 anos	Gomose	Total
AE	9,9 Bb	22,8 Aa	4,9 Ba	10,6 Ab	4,2 b	3,4 b
DA	13,0 Bb	25,4 Aa	7,7 Aa	6,9 Ab	0,0 b	3,8 b
HK	10,8 Bb	23,7 Aa	11,6 Ba	14,7 Aa	15,6 a	4,4 b
JF	20,7 Ba	34,0 Aa	12,2 Ba	14,8 Aa	20,4 a	5,6 a
MP ⁴	19,7 a	.	9,0 Aa	.	12,3 a	5,6 a
NR ⁴	6,3 b	.	6,3 Aa	.	16,7 a	1,8 b
OS	9,1 Bb	24,9 Aa	7,7 Aa	7,9 Ab	0,0 b	2,5 b
RA	18,7 Ba	30,9 Aa	9,0 Ba	16,2 Aa	14,4 a	8,4 a
VS	11,8 Bb	19,0 Aa	7,7 Ba	17,0 Aa	15,9 a	4,2 b
Média	13,2 B	25,8 A	8,4 B	12,6 A	11,0	4,4

Letras maiúsculas diferentes, para comparar idades da mesma variável, diferem entre si pelo teste t ($P<0,05$).

Letras minúsculas diferentes, para comparar propriedades dentro da mesma variável e idade, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P<0,05$).

¹Porcentagem de plantas que apresentam exsudação de gomose no tronco.

²Porcentagem do tronco até 1,5 m de altura com lesões de gomose.

³Mortalidade de plantas dominantes, co-dominantes e intermediárias (CAP ≥ 20 cm aos três anos de idade).

⁴Mortalidade aos quatro anos idade para as propriedades MP e NR e cinco anos para as demais.

Considerando somente as árvores com CAP ≥ 20 cm (plantas dominantes, co-dominantes e intermediárias) encontrou-se que em média 11% das árvores com gomose morreram no período de três a cinco anos de idade, com uma variação entre propriedades de 0 a 20,4%, que esteve positivamente relacionada com a severidade da doença em cada área (tabela 5). Já a mortalidade total foi em média de 4,4% no mesmo período, com as propriedades JF, MP e RA apresentando a maior ($P < 0,05$) mortalidade total.

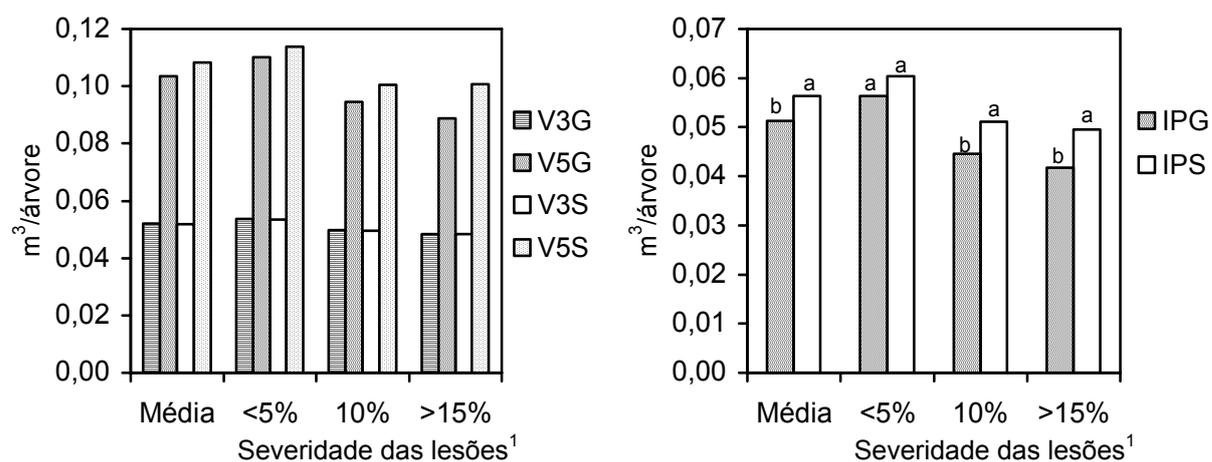
As causas desta mortalidade não foram totalmente identificadas. A incidência de gomose foi observada em 33,9% das árvores que morreram no período de avaliação, podendo ser atribuído a esta doença sua causa de morte. O tombamento pelo vento e a competição foram outras causas de mortalidade identificadas, porém não quantificadas na avaliação.

A mortalidade de árvores de acácia-negra é de difícil controle, pois pode ocorrer de forma regular e irregular (SCHNEIDER et al., 2005a). A mortalidade irregular está ligada a fatores exógenos, como incêndios, pragas, ventos e danos mecânicos causados pelo homem ou animais. A mortalidade regular é definida como morte casual, ligada a fatores endógenos definidos pelo espaçamento e duração da rotação, podendo manifestar-se a partir do plantio, em consequência de mudas menos vigorosas. Estas mudas apresentam um menor crescimento, tornam-se árvores suprimidas e posteriormente morrem.

A maior mortalidade, incidência e severidade de gomose observada nas propriedades JF, MP e RA pode estar relacionada com a adubação nitrogenada (até 250 kg/ha de nitrato de amônio) utilizada pelo consórcio de melancia no estabelecimento da acácia-negra (quadro 1). A adubação nitrogenada estimula um rápido crescimento inicial das plantas, gerando árvores mais susceptíveis à gomose de *Phytophthora* e ao tombamento. A redução do período de rotação, como realizado na propriedade MP, é a estratégia utilizada para reduzir estas perdas.

As árvores atacadas pela gomose apresentaram menor crescimento que árvores sadias no período avaliado (figura 5). O volume inicial (três anos) das plantas doentes foi semelhante aos das sadias. No final da rotação (cinco anos), observou-se que o volume das plantas atacadas foi em média 4,4% inferior aos das árvores sadias. Considerando as classes de intensidade de ataque da gomose (severidade), observou-se uma redução de 3,2%, 6,1% e 7,6% no volume das árvores que apresentavam, respectivamente, <5%, 5 a 15% e >15% de lesões no tronco. O incremento periódico de volume de madeira com casca das árvores atacadas, no período de três a cinco anos, foi em média 9,0% menor ($P < 0,05$) que das árvores sadias. A redução do incremento em volume foi significativa ($P < 0,05$) para as classes com lesões em 5% ou mais do tronco e não significativa para a classe com menos de 5% de lesões.

FIGURA 5 - VOLUME E INCREMENTO PERIÓDICO DE MADEIRA COM CASCA EM ÁRVORES COM E SEM SISTEMAS DE GOMOSE.



V3G: Volume aos três anos de idade de árvores com gomose.

V5G: Volume aos cinco anos de idade de árvores com gomose.

V3S: Volume aos três anos de idade de árvores sadias.

V5S: Volume aos cinco anos de idade de árvores sadias.

IPG: Incremento em volume no período de três a cinco anos de idade de árvores com gomose.

IPS: Incremento em volume no período de três a cinco anos de idade de árvores sadias.

¹Porcentagem do tronco até 1,5 m de altura com lesões de gomose aos três anos de idade.

Letras minúsculas diferentes, para comparar incremento na mesma classe de severidade, diferem entre si pelo teste t ($P < 0,05$).

Os danos provocados pela gomose aos povoamentos de acácia-negra podem ser estimados pela mortalidade e redução de crescimento das árvores. Os resultados deste trabalho indicaram que a gomose provocou a mortalidade de 1,45% das árvores dominantes, co-dominantes e intermediárias (CAP ≥ 20 cm) e uma redução de incremento de volume de 1,2% no total do povoamento.

Influência dos Atributos do Solo sobre o Crescimento

Entre as diversas características de um povoamento florestal, a altura dominante é a variável mais utilizada para descrever qualidade de sítio, devido ser pouco afetada por variações de densidades e apresentar forte correlação com o crescimento potencial em volume (CLUTTER et al., 1983; SCOLFORO, 1998). Neste estudo, utilizou-se os dados dos atributos do solo de cada parcela do sistema melhorado e a altura dominante da medição de quatro anos, já que dois produtores (MP e NR) realizaram corte do povoamento nesta idade.

As parcelas analisadas apresentaram variações relativamente grandes para a altura dominante e atributos químicos e físicos do solo, porém não foi possível estabelecer relações para a maior parte das variáveis avaliadas (tabela 6). As únicas variáveis do solo que apresentaram correlação significativa ($P < 0,05$) com altura dominante foram P, Al e CTC do horizonte A, porém estas relações foram de baixa magnitude ($r = 0,237$; $-0,232$; e $-0,219$, respectivamente).

A altura dominante, aos quatro anos de idade, apresentou a média de 16,3 m, com uma variação de 14,6 a 18,0 m (tabela 6). A classificação de sítios para acácia-negra na região considerou, na idade referência de cinco anos, uma amplitude de 12 a 20 m para altura dominante (SCHNEIDER; SILVA, 1980). Por esta classificação, as parcelas deste estudo pertenceriam aos sítios de 16 a 20 m, correspondendo aos de média a alta produtividade.

TABELA 6 - MÉDIA, DESVIO PADRÃO, VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E SUA CORRELAÇÃO (r) COM A ALTURA DOMINANTE.

Variável e unidade de medição	Média	Desvio padrão	Valor mínimo	Valor máximo	Coefficiente de correlação com altura dominante (m)
Altura dominante (m)	16,3	0,67	14,6	18,0	1,000
Fertilização N (kg/ha)	12,2	3,3	7,0	20,0	-0,129
Fertilização P (kg/ha)	66,5	19,3	42,0	120,0	-0,188
Fertilização K (kg/ha)	38,9	12,7	21,0	60,0	-0,013
P _A (mg/dm ³)	4,5	1,80	2,0	9,0	0,237**
Matéria orgânica _A (g/dm ³)	19,9	7,77	10,0	39,0	-0,090
pH _A (CaCl)	3,7	0,19	3,5	4,1	0,144
Al _A (mmol _c /dm ³)	24,8	9,27	5,0	38,0	-0,232*
K _A (mmol _c /dm ³)	1,1	0,35	0,6	1,8	0,059
Ca _A (mmol _c /dm ³)	5,7	2,70	1,0	11,0	-0,017
Mg _A (mmol _c /dm ³)	2,9	1,07	1,0	5,0	-0,113
Soma de Bases _A (mmol _c /dm ³)	9,7	3,52	2,6	16,7	-0,045
CTC _A (mmol _c /dm ³)	112,8	45,4	36,6	173,9	-0,219**
Saturação por Bases _A (%)	10,6	6,93	2,0	32,0	0,132
Saturação por Al _A (%)	71,3	15,24	30,1	92,0	-0,119
P _B (mg/dm ³)	1,7	0,67	1,0	3,0	0,108
Matéria orgânica _B (g/dm ³)	10,4	4,36	3,0	19,0	-0,142
pH _B (CaCl)	3,8	0,08	3,7	4,0	-0,025
Al _B (mmol _c /dm ³)	28,5	9,57	9,0	45,0	-0,010
K _B (mmol _c /dm ³)	0,8	0,42	0,2	2,2	-0,187
Ca _B (mmol _c /dm ³)	3,6	2,33	1,0	8,0	0,074
Mg _B (mmol _c /dm ³)	2,1	1,17	1,0	6,0	-0,002
Soma de Bases _B (mmol _c /dm ³)	6,5	3,35	2,2	14,1	0,027
CTC _B (mmol _c /dm ³)	121,4	46,5	24,6	193,7	-0,067
Saturação por Bases _B (%)	5,6	2,57	2,0	11,0	0,029
Saturação por Al _B (%)	81,7	6,68	63,9	92,5	-0,002
Relação Ca/Mg _A	2,0	0,96	1,0	4,5	0,071
Relação Ca/Mg _B	1,6	0,66	1,0	3,0	0,035
Relação Ca/K _A	5,3	2,90	0,7	12,9	-0,059
Relação Ca/K _B	5,2	3,72	0,5	15,0	0,043
Relação Mg/K _A	2,8	1,35	0,7	6,7	-0,019
Relação Mg/K _B	3,0	1,54	0,5	5,5	0,123
Relação Ca+Mg/K _A	8,1	3,91	1,3	18,3	-0,050
Relação Ca+Mg/K _B	8,2	5,04	0,9	20,0	0,069
Argila _A (g/kg)	199	81	62	357	-0,183
Silte _A (g/kg)	85	36	41	220	0,001
Areia _A (g/kg)	716	104	506	897	0,143
Argila _B (g/kg)	264	112	48	433	-0,053
Silte _B (g/kg)	78	22	22	108	0,023
Areia _B (g/kg)	658	123	492	905	0,044
Densidade do solo _(0-40 cm) (g/cm ³)	1,40	0,09	1,20	1,57	0,141

*significativo a P<0,05; A e B = Horizonte A e B do solo.

Utilizando-se a classificação de TOMÉ JUNIOR (1997) para interpretação das análises químicas dos solos (tabela 6), encontrou-se que as áreas avaliadas apresentaram teores de P de muito baixo (0 a 2 mg/dm³) a alto (9 a 16 mg/dm³); matéria orgânica de baixo (>15 g/dm³) a médio (15 a 50 g/dm³); Al de baixo (<5 mmol_c/dm³) a alto (>15 mmol_c/dm³); K de baixo (≤1 mmol_c/dm³) a médio (1,1 a 3,0 mmol_c/dm³); Ca baixo (<20 mmol_c/dm³); Mg de baixo (<4 mmol_c/dm³) a médio (4 a 8 mmol_c/dm³); e acidez muito alta (pH em CaCl ≤4,3). Todas as parcelas apresentaram solos distróficos, ou seja com saturação por base < 50% (EMBRAPA, 1999). Para as análises físicas verificou-se que os solos avaliados foram profundos (>1,2 m de profundidade), de textura arenosa (>700 g/kg de areia) a argilosa (350 a 600 g/kg de argila) e densidades de 1,20 a 1,57 g/cm³.

SCHÖUNAU e ALDWRTH (1991), estudando 67 povoamentos de acácia-negra em Oxissolos, Alfissolos e Inceptissolos na África do Sul, encontraram correlações de baixa magnitude somente para o pH do horizonte B (r = 0,271) e profundidade efetiva de solo (r = 0,367), demonstrando a dificuldade do estabelecimento de relações diretas entre os atributos do solo e o crescimento da espécie. Em contraste, para solos derivados de micaxistos na Serra do Sudeste no Rio Grande do Sul (NEOSSOLO LITÓLICO, CAMBISSOLO E ARGISSOLO), encontrou-se correlações de maior magnitude entre DAP da acácia-negra aos quatro anos de idade e a saturação de alumínio (r = - 0,65), Ca + Mg (r = 0,55) e a saturação de bases (r = 0,60) do horizonte superficial (RACHWAL; CURCIO; DEDECEK, 1997).

A análise de regressão múltipla selecionou 14 atributos do solo e a adubação de N como preditores da variação da altura dominante da acácia-negra aos quatro anos de idade (tabela 7 A). A equação preditiva apresentou R² = 0,64, indicando que

grande parte da variância da altura dominante está relacionada com os fatores incluídos na equação. A estatística de Mallows $C_p = 15,0$, indicou que o número de variáveis da equação foi adequado. As análises de linearidade da relação entre a variável dependente e independentes, normalidade dos resíduos, homogeneidade da variância e independência dos erros demonstraram que o modelo selecionado atendeu a estes requisitos.

No entanto, quatro variáveis do modelo apresentaram fator de inflação da variância $VIF > 10$, indicando multicolinearidade entre variáveis. A multicolinearidade ocorre quando qualquer variável independente é altamente correlacionada com um conjunto de outras variáveis independentes, afetando a explicação e estimação do modelo (HAIR et al., 2005). Com a multicolinearidade a representação e compreensão do efeito de cada variável independente podem ser comprometidas, devido estes efeitos estarem misturados e a estimação dos coeficientes de regressão e os testes de significância podem ser incorretas, e tenham até mesmo os sinais errados.

Desta forma, foram identificadas as variáveis altamente correlacionadas que causaram a multicolinearidade, sendo eliminadas duas variáveis do modelo (saturação por bases e relação Mg/K_A). O segundo procedimento de análise de regressão múltipla selecionou oito preditores entre as variáveis anteriores, que apresentou $C_p = 9,0$, $VIF < 10$ e $R^2 = 0,41$ (tabela 7 B). A nova equação também atendeu aos pressupostos de linearidade, homogeneidade, normalidade e independência dos erros. O valor de R^2 indicou que a maior parte da variância da altura dominante não pode ser explicada pelos fatores selecionados pelo modelo. Mesmo assim, foi possível identificar alguns atributos de solo que influenciam o crescimento da acácia-negra.

TABELA 7 - VARIÁVEIS PREDITORAS SELECIONADAS POR REGRESSÃO MÚLTIPLA PARA A RELAÇÃO ENTRE ALTURA DOMINANTE E OS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DOS SOLOS.

A) Todas variáveis selecionadas pelo método *stepwise*:

Variáveis predictoras	Parâmetro estimado	Erro Padrão	t-Valor	R ² Parcial	R ² Modelo	C(p)	F	VIF
Intercepto	11,00147	1,456	57,13**					
P _A	0,12232	0,045	7,27**	0,0562	0,0562	166,3	7,32**	4,03
Mg _A	-1,20419	0,113	114,08**	0,1070	0,1632	135,7	15,60**	8,88
CTC _A	-0,00776	0,003	5,23*	0,0619	0,2251	118,9	9,67**	14,39
Silte _B	0,01381	0,003	22,27**	0,0295	0,2546	111,9	4,75*	2,42
Relação Ca/K _B	-0,07921	0,029	7,31**	0,0227	0,2773	107,0	3,73*	7,19
Relação Mg/K _B	0,37009	0,062	35,12**	0,0397	0,3170	96,9	6,86**	5,61
Matéria orgânica _B	0,12077	0,022	30,42**	0,0721	0,3891	76,9	13,82**	5,52
K _B	1,00791	0,215	22,02**	0,0230	0,4121	71,9	4,54*	4,88
Relação Mg/K _A	0,85933	0,140	37,78**	0,0263	0,4384	65,9	5,38*	21,41
K _A	1,90706	0,503	14,40**	0,0460	0,4844	53,9	10,17**	18,98
Fertilização N	-0,15887	0,027	34,39**	0,0691	0,5535	34,9	17,49**	4,77
Relação Ca/K _A	-0,17936	0,043	17,32**	0,0243	0,5778	29,5	6,45*	9,43
Saturação por Bases _A	0,14010	0,033	17,50**	0,0464	0,6242	17,4	13,70**	32,57
Saturação por Al _B	0,02565	0,012	4,38*	0,0144	0,6386	15,0	4,38*	4,06

B) Retirada das variáveis com multicolinearidade:

Variáveis predictoras	Parâmetro estimado	Erro Padrão	t-Valor	R ² Parcial	R ² Modelo	C(p)	F	VIF
Intercepto	15,73403	0,302	2714,84**					
P _A	0,26748	0,038	49,03**	0,0562	0,0562	65,2	7,32**	1,95
Mg _A	-0,44107	0,065	45,59**	0,1070	0,1632	46,1	15,60**	2,04
CTC _A	-0,01671	0,003	31,44**	0,0619	0,2251	35,9	9,67**	7,58
Silte _B	0,01381	0,003	19,03**	0,0295	0,2546	32,1	4,75*	1,81
Relação Ca/K _B	-0,14027	0,029	23,43**	0,0227	0,2773	29,6	3,73*	4,81
Relação Mg/K _B	0,28519	0,064	19,53**	0,0397	0,3170	23,8	6,86**	4,09
Matéria orgânica _B	0,09489	0,026	13,78**	0,0721	0,3891	11,5	13,82**	5,14
K _B	0,47345	0,222	4,54**	0,0230	0,4121	9,0	4,54*	3,55

C) Substituição da variável CTC_A por Al_A:

Variáveis predictoras	Parâmetro estimado	Erro Padrão	t-Valor	R ² Parcial	R ² Modelo	C(p)	F	VIF
Intercepto	16,82042	0,253	4409,58**					
P _A	0,17367	0,038	20,76**	0,0562	0,0562	21,2	7,32**	1,59
Mg _A	-0,28770	0,064	20,01**	0,1070	0,1632	7,0	15,60**	1,62
Al _A	-0,01779	0,006	8,69**	0,0561	0,2193	0,6	8,69**	1,06

*significativo a P<0,05; **significativo a P<0,01; A e B = Horizonte A e B do solo.

Os atributos do solo que correlacionaram positivamente com a altura dominante foram o teor de fósforo no horizonte A e o potássio, silte, matéria orgânica e a relação Mg/K no horizonte B. Já o teor de Mg e a CTC no horizonte A e a relação Ca/K no horizonte B correlacionaram-se negativamente com a altura dominante (tabela 7 B).

A existência de relações estatisticamente significantes entre o crescimento e fatores do solo não significa que a relação causal também exista. Esta relação pode ser circunstancial, descrevendo condições particulares da base de dados. Este parece ser o caso da CTC_A , que apresentou relação negativa com a altura dominante. A CTC reflete a capacidade do solo em manter uma reserva de nutrientes, não tendo efeito direto sobre o crescimento de plantas. Maiores CTCs apresentam melhor eficiência na utilização dos nutrientes de adubações, portanto não se deve esperar que o aumento da CTC_A nos solos estudados tenham efeito negativo sobre o crescimento de plantas.

Analisando-se os dados, verificou-se que o aumento da CTC_A dos solos foi acompanhado pelo incremento do Al_A trocável, sendo encontrada uma alta correlação positiva entre estas variáveis ($r = 0,96$; $P < 0,001$). Por sua vez, o Al_A trocável também apresentou correlação negativa com a altura dominante ($r = - 0,23$; tabela 6), no entanto não foi selecionado para compor o modelo como variável preditora, mesmo quando a CTC_A foi suprimida da base de dados. Desta forma, o Al trocável parece ser o atributo do solo que esteja influenciando negativamente o crescimento da acácia-negra, sendo substituído no modelo selecionado pela CTC_A .

RACHWAL, CURCIO e DEDECEK (1997) verificaram correlações negativas entre a saturação de alumínio e volume de madeira de acácia-negra em vários tipos de solos do Município de Piratini, RS. A substituição “forçada” da variável CTC_A por

Al_A no modelo B da tabela 7 resultou em uma equação de baixo ajuste ($R^2=0,22$), em que P_A correlacionou-se positivamente e Mg_A e Al_A relacionaram-se inversamente com a altura dominante (tabela 7 C).

O teor de Mg_A também apresentou uma relação negativa. No entanto, não se pode esperar uma redução de crescimento da acácia-negra em função do aumento da concentração deste nutriente no solo, pelo menos nos níveis encontrados neste trabalho. O aumento dos teores de Mg nos solos estudados pode ter sido acompanhado pela deficiência de outro nutriente (macro ou micro) que efetivamente limitou o crescimento da acácia-negra. Outra possibilidade são as relações inadequadas entre nutrientes, determinando uma deficiência induzida, como consequência de antagonismos na absorção de cátions (MENGEL; KIRKBY, 1987). As relações Ca/K_B e Mg/K_B do horizonte B do solo foram selecionadas como preditoras do modelo (tabela 7), indicando que em determinadas circunstâncias de disponibilidade destes nutrientes no solo, as relações entre estes cátions podem ser importantes para a acácia-negra.

VENTURIN et al. (2000) encontraram que a relação Ca/Mg influenciou o desenvolvimento e nutrição de plantas de aroeira, entretanto, não obteve uma tendência de resposta a esta relação. Normalmente os cultivos apresentam uma larga faixa de tolerância para as relações entre cátions (TOMÉ JUNIOR, 1997). No entanto, em solos com baixo teor de algum cátion (K, Ca ou Mg), estas relações podem influenciar o crescimento das plantas pelo antagonismo de absorção (MENGEL; KIRKBY, 1987). A relação K/Ca é sempre menor nos piores sítios de *Pinus*, onde o K é deficiente (REISSMANN; WISNEWSKI, 2000). SCHÖNAU; ALDWORTH (1991) também encontraram correlação negativa do Mg com a altura de acácia-negra na África do Sul e atribuíram este resultado a deficiência induzida ou não de Ca.

O P do horizonte A e K do horizonte B apresentaram uma relação positiva no modelo selecionado, estando diretamente relacionados com o crescimento da altura dominante da acácia-negra. Resultados semelhantes foram encontrados para esta espécie na África do Sul (SCHÖNAU; ALDWORTH, 1991). Estes nutrientes fazem parte da adubação básica utilizada para a acácia-negra pelos produtores (STEIN; TONIETTO, 1997) e respostas à fertilização de P e K são encontradas em diversos tipos de solos (MAESTRI et al., 1987; HERBERT, 1991).

No entanto, os baixos valores dos coeficientes obtidos neste trabalho, podem indicar que em alguns sítios a disponibilidade de P e K no solo e a fertilização foram capazes de suprir a demanda da plantação de acácia-negra. Por outro lado, estes resultados também indicaram que o crescimento da acácia-negra poderá ser melhorado por adubações adequadas nas áreas em que o P e K apresentaram menor disponibilidade.

A matéria orgânica do horizonte B apresentou coeficiente positivo no modelo (tabela 7), porém esta relação é indireta, através de benefícios a outros atributos do solo. A matéria orgânica tem efeitos benéficos sobre as propriedades físicas e químicas do solo. Entre eles, cabe destacar o favorecimento de formação de agregados, aumento da capacidade de retenção de água e de troca catiônica e favorece a disponibilidade de N, P e S, através de processos de mineralização (SALAS, 1987). Atualmente os produtores realizam a queima dos resíduos de colheita, visando eliminar larvas do cascudo serrador. Esta pratica pode reduzir o suprimento de matéria orgânica ao solo, com conseqüências negativas sobre a produtividade florestal em médio e longo prazo.

O crescimento da segunda rotação de *Pinus radiata* em solos arenosos foi menor em áreas que os resíduos foram queimados ou retirados (HOPMANS et al. 1993). BOYER; MILLER (1994) reportam uma redução de 27% no crescimento em volume de povoamentos de *Pinus palustris*, que teve a serapilheira queimada a cada dois anos. Este impacto negativo da queima está associado com a regular remoção da matéria orgânica (McLEOD et al., 1979).

O silte no horizonte B foi o único atributo físico do solo selecionado pelo modelo. O silte é relativamente inerte, com baixa capacidade de troca catiônica, porém tem um considerável poder de retenção para a água (LIMA, 2004). A acácia-negra apresentou bom crescimento nas diferentes condições físicas dos solos estudados. Apresentou as maiores alturas dominantes (tabela 2) tanto em solos arenosos (propriedades AE e DA) como nos argilosos (propriedade VS). A densidade do solo até 1,57 g/cm³ também não influenciou o crescimento da acácia-negra.

Rentabilidade Econômica dos Sistemas e Idade Ótima Econômica de Corte

Os preços dos insumos, aluguel de máquinas e mão-de-obra (tabela 8) e os coeficientes técnicos dos sistemas foram obtidos através de entrevistas com os produtores avaliados, tendo como base o preço médio do ano de 2001 na região do estudo. O preço de venda da madeira em pé foi obtido junto a compradores das empresas consumidoras, tendo como base o mês de setembro de 2006. O preço médio da madeira sem casca em pé de março de 2003 a março de 2006 foi de R\$ 38,00 por estéreo. Em abril de 2006 ocorreu uma redução de 23,7% neste preço, passando para R\$ 29,00 por estéreo. Esta redução foi devido à diminuição da cotação do dólar americano neste período, pois a madeira da acácia-negra é destinada principalmente para a produção de cavaco para exportação.

TABELA 8 - PREÇOS UNITÁRIOS DOS ELEMENTOS DE DESPESAS (VALOR MÉDIO DE 2001) E PREÇO DE VENDA DA MADEIRA (VALOR DE SETEMBRO 2006).

Especificações	Unidade	Valor (R\$)
Despesas:		
Mão-de-obra	dia/homem	30,00
Isclas para formigas	kg	6,00
Herbicida	l	18,00
NPK 5-30-15 - na propriedade	saco/50 kg	41,00
NKP 5-20-20 - na propriedade	saco/50 kg	40,00
Mudas de acácia-negra em laminado - na propriedade	lote/1.000	71,00
Mudas de acácia-negra em torrão - na propriedade	lote/1.000	39,00
Aluguel de trator com implementos (com operador)	hora/trator	41,00
Aluguel de trator/plantadeira (com operadores)	hora/trator	55,00
Aluguel de mecanização animal	tração/dia	50,00
Benefícios:		
Madeira sem casca (floresta em pé)	estéreo ¹	29,00

¹Metro cúbico empilhado = 1,48 x volume sem casca (m³).

O custo médio de implantação do sistema melhorado foi de R\$ 830,83 e o tradicional de R\$ 797,52 (tabela 9). O sistema melhorado apresentou maior custo para a aquisição de mudas em laminados e o tradicional um maior custo de mão-de-obra para o desbaste de plantas. O custo do desbaste foi menor quando realizado na muda antes do plantio (propriedades DA e RA) e aumentou com a idade do povoamento. Entre propriedade, o custo de implantação do sistema melhorado variou de R\$ 697,40 (NR) a R\$ 976,60 (RA) e no tradicional de R\$ 663,55 (NR) a R\$ 924,00 (RA). Estas diferenças estão relacionadas com as atividades realizadas no preparo da área, quantidade de fertilizantes e nível de manejo empregado (cultivo mínimo ou preparo total da área). As atividades de preparo da área estiveram relacionadas com as condições destas antes do plantio, como a necessidade de desmatamentos e a queima de coivaras do plantio anterior (quadro 1).

O custo médio de manutenção no primeiro ano foi de R\$ 51,24 para o sistema melhorado e de R\$ 60,68 para o tradicional (tabela 10). A partir do segundo ano os custos foram somente o de controle de pragas (formigas e cascudo serrador), com

média de R\$ 18,47 por ano para os dois sistemas. Não foi detectada relação entre o diferencial de custos das práticas silviculturais (implantação e manutenção) e a produtividade das plantações.

O benefício auferido foi a venda da madeira em pé aos cinco anos de idade (tabela 11). Duas propriedades realizaram o corte da floresta aos quatro anos de idade (MP e NR), tendo o volume de madeira aos cinco anos estimados pela tabela de produção para a região (SCHNEIDER et al., 2001); para as demais propriedades foi considerada a produção medida aos cinco anos de idade.

TABELA 9 - CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE 1 ha DE ACÁCIA-NEGRA EM NOVE PROPRIEDADES, NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL.

Propriedade	Comuns para os dois sistemas			Mudas			Total (Ano 0)	
	Mão-de-obra	Adubos e defensivos	Mecanização	Melhorado Aquisição	Tradicional		Melhorado	Tradicional
					Aquisição	Desbaste		
AE	189,00	212,20	246,00	163,30	85,80	36,00	810,50	769,00
DA	91,50	123,80	390,50	163,30	85,80	4,40	769,10	696,00
HK	192,00	253,00	246,00	163,30	85,80	30,00	854,30	806,80
JF	141,00	217,60	256,25	163,30	181,05	0,00	778,15	795,90
MP	156,00	211,00	328,00	163,30	156,20	0,00	858,30	851,20
NR	168,00	156,60	209,50	163,30	99,45	30,00	697,40	663,55
OS	162,00	212,00	328,00	163,30	163,30	0,00	865,30	865,30
RA	73,50	205,80	534,00	163,30	105,30	5,40	976,60	924,00
VS	186,00	252,00	266,50	163,30	101,40	0,00	867,80	805,90
Média	151,00	204,89	311,64	163,30	118,23	11,76	830,83	797,52

TABELA 10 - CUSTOS DE MANUTENÇÃO DE 1 ha DE ACÁCIA-NEGRA EM NOVE PROPRIEDADES, NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL.

Propriedade	Tradicional Desbaste (Ano 1)	Melhorado e tradicional		Total (Ano 1)		Total (Ano 2 ao final)
		Roçagem (Ano 1)	Controle de pragas (Ano 1 ao final)	Melhorado	Tradicional	Melhorado e tradicional
	AE	0,00	60,00	18,00	78,00	78,00	18,00
DA	0,00	41,00	16,20	57,20	57,20	16,20
HK	0,00	41,00	21,00	62,00	62,00	21,00
JF	0,00	15,00	18,00	33,00	33,00	18,00
MP	39,90	0,00	21,00	21,00	60,90	21,00
NR	0,00	41,00	15,00	56,00	56,00	15,00
OS	0,00	41,00	18,00	59,00	59,00	18,00
RA	0,00	15,00	18,00	33,00	33,00	18,00
VS	45,00	41,00	21,00	62,00	107,00	21,00
Média	9,43	32,78	18,47	51,24	60,68	18,47

Os indicadores desempenho financeiro dos sistemas melhorado e tradicional foi analisado em três cenários de produtividade (tabela 11). No primeiro cenário foi considerada a produção média de todas propriedades. No segundo a produção de MP, NR e VS, que apresentaram as maiores diferenças entre os sistemas melhorado e tradicional, devido principalmente a diferentes práticas silviculturais (desbaste tardio e limpeza inadequada). O terceiro cenário utilizou as produções das propriedades que apresentaram práticas silviculturais semelhantes nos dois sistemas (AE, DA, HK, JF, OS e RA), sendo as diferenças de produtividade atribuídas ao uso de sementes melhoradas geneticamente de acácia-negra.

Para o cálculo destes indicadores de desempenho não foram considerados a remuneração de gerenciamento do empreendimento do proprietário e do arrendatário, remuneração da terra, imposto sobre a terra e os encargos sociais sobre a mão-de-obra, já que a maior parte das atividades foram realizadas pela mão-de-obra familiar dos produtores. Desta forma, os indicadores calculados neste trabalho deverão ser utilizados somente para comparar os sistemas melhorado e tradicional nos três cenários de produtividade estabelecidos. Comparações com outros sistemas de produção somente serão válidas caso sejam adotados critérios semelhantes.

Os três cenários do sistema melhorado apresentaram maiores retornos financeiros que os três cenários do sistema tradicional (tabela 11). Considerando a média das propriedades, o VPL foi de R\$ 2.560 no melhorado e de R\$ 2.121 no tradicional. No cenário que os tratamentos silviculturais foram diferentes, esta disparidade foi a maior, com VPL de R\$ 2.883 para o melhorado e de R\$ 1.949 para o tradicional, devido a menor produção do tradicional (figura 2). Quando os tratamentos silviculturais foram semelhantes, o VPL pela utilização de sementes melhoradas geneticamente foi de R\$ 2.398 e o VPL de sementes oriundas de plantios comerciais foi de R\$ 2.205.

TABELA 11 - INDICADORES DE DESEMPENHO FINANCEIRO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO MELHORADO E TRADICIONAL EM TRÊS NÍVEIS DE PRODUÇÃO, COM CORTE AOS CINCO ANOS DE IDADE.

Indicadores	Sistema melhorado			Sistema tradicional		
	Cenário de produção			Cenário de produção		
	Média ¹	ProdA ²	ProdB ³	Média ¹	ProdA ²	ProdB ³
Madeira (m ³ /ha)	124,2	135,7	118,5	107,8	101,7	110,8
Receita bruta (R\$/ha)	3.506	3.829	3.344	3.042	2.869	3.126
VPL (R\$/ha)	2.560	2.883	2.398	2.121	1.949	2.205
RB/C	3,7	4,0	3,5	3,3	3,1	3,4
TIR (%)	43,1	45,7	41,7	39,9	38,2	40,6

¹ Média geral das propriedades.

² Média das propriedades MP, NR e VS (diferenças na produção por tratos silviculturais e pelo uso de sementes melhoradas).

³ Média das propriedades AE, DA, HK, JF, OS e RA (diferenças de produção pelo uso de sementes melhoradas).

A RB/C e TIR apresentaram a mesma tendência da VPL, com maiores valores nos três cenários do sistema melhorado (tabela 11). Estes resultados demonstraram ser economicamente vantajoso para os produtores à utilização de mudas produzidas com sementes melhoradas geneticamente. O aumento dos custos para aquisição destas mudas foi em média de R\$ 33,31/ha (tabela 9) e o ganho líquido médio ao final da rotação foi de R\$ 193,00/ha (tabela 11), valor corrigido pela taxa de 8,75% a.a. Entretanto, estes ganhos dependem da adoção de práticas silviculturais adequadas, especialmente o desbaste de plantas até seis meses de idade, caso as mudas apresentem mais de uma planta por unidade, e o controle apropriado de ervas competidoras.

A idade ótima econômica de corte, definida pelo VPL_{∞} com horizonte no infinito, apresentou diferenças quanto ao beneficiário dos rendimentos (tabela 12). A análise global da plantação, considerando os custos e benefícios totais, indicou que os sistemas melhorado e tradicional deveriam ser cortados com quatro anos de idade para obtenção de maiores rendimentos econômicos. Para o proprietário da área, que não teve custos de implantação e manutenção das plantações e recebeu 50% dos benefícios, o corte do povoamento também deveria ocorrer aos quatro anos nos dois sistemas.

No entanto, quando se analisou a parte do arrendatário, que arcou com todas as despesas de implantação e manutenção do plantio e recebeu 50% dos benefícios, a idade ótima econômica ocorreu aos seis anos de idade, tanto no melhorado como no tradicional. O corte realizado anterior à idade ótima (três anos, por exemplo) apresentou tendência de maior perda nos ganhos do que o corte feito após a idade ótima, tanto para o arrendatário como para o proprietário (tabela 12).

A diferença na idade ótima de corte é percebida pelos produtores, gerando conflitos entre proprietários e arrendatários. Os arrendatários relataram que alguns proprietários somente fazem contratos de arrendamento por um período de cinco anos, o que leva o corte para o quarto ano após o plantio. A densidade da madeira e a concentração de tanino na casca da acácia-negra, dois importantes indicadores de qualidade, têm incremento de acordo com a idade (SIMON, 2005). No entanto, as empresas compradoras não valorizam a qualidade da madeira ou casca, levando a maioria dos produtores definirem o corte pela idade de máxima produtividade biológica, o que neste estudo ocorreu aos cinco anos (figura 3).

TABELA 12 - VPL E VPL_{∞} (R\$/ha) PARA O ARRENDATÁRIO, PROPRIETÁRIO E TOTAL DA PLANTAÇÃO, EM DIFERENTES IDADE DE CORTE (ANOS), NOS SISTEMAS MELHORADO E TRADICIONAL.

Idade de Corte	Produção madeira (m ³ /ha)	Total da plantação			Arrendatário			Proprietário		
		VPL	VPL_{∞}	R ¹	VPL	VPL_{∞}	R ¹	VPL	VPL_{∞}	R ¹
Sistema Melhorado										
3	63,5	1.207	5.426	0,71	148	664	0,28	1.060	4.762	0,87
4	101,4	2.183	7.657	1,00	627	2.199	0,92	1.556	5.458	1,00
5	124,2	2.560	7.473	0,98	807	2.356	0,98	1.753	5.117	0,94
6 ²	147,3	2.859	7.230	0,94	948	2.397	1,00	1.911	4.832	0,89
7 ²	164,1	2.935	6.610	0,86	978	2.202	0,92	1.958	4.408	0,81
8 ²	176,9	2.884	5.900	0,77	944	1.931	0,81	1.941	3.970	0,73
Sistema Tradicional										
3	53,4	895	4.022	0,64	4	17	0,01	891	4.005	0,85
4	87,5	1.781	6.247	1,00	438	1.538	0,85	1.343	4.710	1,00
5	107,8	2.121	6.190	0,99	600	1.750	0,97	1.521	4.440	0,94
6 ²	127,3	2.365	5.980	0,96	713	1.804	1,00	1.652	4.176	0,89
7 ²	144,9	2.502	5.634	0,90	773	1.741	0,97	1.729	3.892	0,83
8 ²	158,2	2.499	5.111	0,82	763	1.561	0,87	1.735	3.550	0,75

¹Relação = $\frac{VPL_{\infty}(ic)}{VPL_{\infty}(max)}$, onde ic = idade de corte e max = VPL_{∞} máximo.

²Produção do sexto ao oitavo ano foram estimadas pelas tabelas de produção de SCHEIDER et al. (2001).

CONCLUSÕES

A densidade de plantio acima de 2.000 plantas/ha não apresenta relação com a densidade ao final da rotação e nem com a produção da acácia-negra.

O DAP, área basal, altura dominante, volume de madeira e peso de casca da acácia-negra são maiores no sistema melhorado, sendo as diferenças maiores nas áreas em que se verificam práticas silviculturais inapropriadas no sistema tradicional. Quando estas práticas são semelhantes, constata-se ganhos de produtividade pela utilização de sementes melhoradas geneticamente.

Plantações com densidades de plantio acima de 2.000 plantas/ha apresentam incremento médio anual máximo aos cinco anos de idade, indicando a idade de corte para maximizar a produtividade.

A incidência e a severidade de gomose incrementam-se com a idade do povoamento. O crescimento das plantas atacadas é menor do que as sadias e a redução de crescimento é maior nas árvores com maior severidade de gomose.

Os teores de P, K e a matéria orgânica no solo apresentam influência positiva sobre o crescimento da acácia-negra.

A utilização de sementes melhoradas geneticamente e de práticas silviculturais adequadas propiciam maior rentabilidade nas plantações de acácia-negra.

A idade ótima econômica de corte ocorre aos quatro anos para o proprietário da área e aos seis anos para o arrendatário. A antecipação do corte gera maiores prejuízos do que o corte feito após a idade ótima.

2 ACÚMULO, CICLAGEM E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES E BIOMASSA EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA

INTRODUÇÃO

Nas plantações florestais, altos níveis de produtividade dependem do fornecimento adequado de recursos, como nutrientes, água e luz; de condições ambientais favoráveis; da eficiência das árvores para o uso destes recursos; e de outros fatores como pragas, doenças e competição com plantas daninhas. A produtividade destas plantações pode ser mensurada pela fotossíntese, biomassa total (fotossíntese – respiração), biomassa acima do solo (tronco + copa) e biomassa e/ou volume do tronco (madeira + casca). A taxa de produção destes componentes pode ser representada pelo incremento periódico e médio anual.

Segundo BINKLEY, O'CONNELL e SANKARAN (1997), para determinação do manejo ótimo do povoamento florestal é necessário quantificar estas taxas de produção. Por exemplo, a rotação depende do tempo e da magnitude do declínio da taxa de produção após alcançar o ponto máximo. Se este declínio no incremento for causado por mudanças nutricionais, práticas de manejo podem alterar a idade ótima da rotação.

A alocação de biomassa e do ciclo nutrientes nos diversos compartimentos das árvores e da plantação florestal apresenta substanciais mudanças com a idade do povoamento, que também depende da fertilidade do sítio, densidade de plantio e espécies utilizadas (MILLER, 1984; BINKLEY; O'CONNELL; SANKARAN, 1997). O conhecimento das fases de desenvolvimento do povoamento florestal permite determinar práticas de manejo, como densidade de plantio e a realização de desbastes, que venham a favorecer a alocação de biomassa nos compartimentos de interesse do silvicultor e a qualidade dos produtos florestais.

A quantificação da biomassa das árvores pode ser realizada através do emprego de modelos matemáticos, que estimam com grande precisão a biomassa de cada compartimento (BELLOTE; SILVA, 2000). As equações desenvolvidas para estimar a biomassa dos compartimentos das árvores são, na maioria, baseadas em relações logarítmicas entre o peso de cada componente e o diâmetro da árvore, ou a combinação de altura total e diâmetro (REIS et al., 1985).

A estimativa da biomassa e a determinação da quantidade de nutrientes contidos em cada compartimento podem ser usados como indicadores dos impactos provocados pela colheita florestal sobre o estoque de nutrientes do solo.

A compreensão do ciclo dos nutrientes nas plantações florestais, como a velocidade de fluxo, entradas e perdas, interação solo-planta, distribuição nos componentes da parte aérea e sistema radicular ao longo do tempo, é fundamental para a definição de tecnologias de manejo florestal, particularmente na definição de doses, método e época de aplicação de fertilizantes (GONÇALVES et al., 2000).

Para POGGIANI e SCHUMACHER (2000), a ciclagem de nutrientes é um processo de suma importância para o equilíbrio ecológico de florestas nativas e das plantações florestais. O conhecimento destes ciclos possibilita a previsão de situações que poderiam ser críticas em médio e longo prazo, tanto em relação à produtividade, como em relação à fertilidade do solo. Também permitem determinar a eficiência de utilização dos nutrientes e o nível de utilização da árvore, minimizando os efeitos negativos sobre os estoques de nutrientes dos solos; e auxiliam na escolha de métodos de manejo, como a idade da rotação.

A devolução de nutrientes ao solo, por meio da serapilheira e resíduos da colheita, constitui-se num fator importante do ciclo biológico de nutrientes em povoamentos florestais, pois permite que, pelo menos em parte, ocorra o retorno ao

solo de uma significativa quantidade de nutrientes absorvidos pelas árvores (SCHUMACHER et al., 2003). Tal fato contará positivamente no balanço de nutrientes do sítio, diminuindo os impactos da colheita florestal.

Em plantações de acácia-negra, estudos sobre quantificação de biomassa e sobre conteúdo, ciclagem e exportação de nutrientes foram realizados em uma única idade dos povoamentos em cada estudo (PEREIRA et al, 1997 e 2000; CALDEIRA 1998; SCHUMACHER et al., 2003; BARICHELLO, 2003), não sendo possível compreender completamente a dinâmica do crescimento e dos ciclos de nutrientes durante e ao final da rotação. O conhecimento desta dinâmica é necessário para a determinação de práticas de manejo que venham a assegurar a manutenção, ou até mesmo um aumento da produção ao longo das rotações.

O objetivo deste trabalho foi quantificar o acúmulo, ciclo e exportação de nutrientes e de biomassa em plantações de acácia-negra numa seqüência de idades e em duas condições ambientais.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo e Demarcação das Parcelas de Avaliação

Este estudo foi realizado nos municípios de Cristal e Piratini, localizados nas regiões da Encosta do Sudeste e Serra do Sudeste, respectivamente (FORTES, 1956). As áreas avaliadas em Cristal apresentam altitudes entre 180 e 220 m acima do nível do mar, relevo com inclinações moderadas e precipitações entre 1.200 a 1.400 mm. As áreas de Piratini apresentam altitudes entre 320 e 370 m acima do nível do mar, relevo com inclinações fortes e precipitações entre 1.400 a 1.600 mm (RIO GRANDE DO SUL, 1994).

Foram utilizados povoamentos de acácia-negra em uma seqüência de idade, que em 2004 apresentavam 1, 3 e 5 anos. A distância máxima entre estes povoamentos em cada região foi de 10 km. Os plantios de Cristal foram estabelecidos em áreas novas (1ª rotação) e os de Piratini em áreas de reforma da plantação (2ª rotação). O preparo do solo foi realizado apenas na linha de plantio (cultivo mínimo), constando de uma subsolagem com três hastes a 40 cm de profundidade e duas gradagem. O plantio foi realizado no espaçamento de 3,0 x 1,5 m (2.222 plantas/ha) e a adubação de 50 g por cova de NPK (5-30-15).

Em cada povoamento (1, 3 e 5 anos de idade) foi selecionada uma encosta de exposição norte, onde foram demarcadas três parcelas, localizadas no terço superior, médio e inferior da pendente. O tamanho das parcelas foi de 18 m x 30 m (540 m²), equivalendo a seis linhas de plantio e vinte plantas em cada linha, totalizando 120 árvores/parcela.

As características químicas e físicas do horizonte superficial do solo de cada parcela estão apresentadas na tabela 1. O solo das parcelas de Cristal foi classificado como NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico e o das parcelas de Piratini como NEOSSOLO LITÓLICO distrófico.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DOS SOLOS (0-20 CM) DAS PARCELAS AVALIADAS EM CRISTAL E PIRATINI.

Parcela	Classe	P	M.O.	pH	H + Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	M	Argila	Silte	Areia	F ¹	Prof
	Solo	mg/dm ³	g/dm ³	CaCl ₂	mmol _c /dm ³						%		g/kg				cm	
C - 1S	RRd	5	21	4,1	52	10	2,0	9	5	16	68	24	38	156	101	743	0	40
C - 1M	RRd	4	20	4,0	52	11	2,1	10	6	18	70	26	38	165	105	730	50	40
C - 1I	RRd	4	19	3,9	64	15	2,1	6	4	12	76	16	55	145	110	745	30	40
C - 3S	RRd	6	31	4,3	64	6	3,3	22	7	32	96	34	16	179	137	684	30	50
C - 3M	RRd	4	13	4,0	47	11	3,2	6	2	11	58	19	50	111	108	781	70	50
C - 3I	RRd	4	15	4,2	47	9	2,0	7	3	12	59	20	43	118	109	773	40	40
C - 5S	RRd	7	23	4,0	72	14	5,0	15	6	26	98	27	35	158	165	677	60	60
C - 5M	RRd	5	27	4,3	58	11	2,1	20	7	29	87	33	27	182	138	680	80	50
C - 5I	RRd	4	17	4,3	38	5	2,3	13	5	20	58	35	20	131	142	727	50	40
P - 1S	RLd	28	31	4,0	80	15	4,7	19	8	32	112	28	32	148	181	671	214	45
P - 1M	RLd	14	52	4,2	109	18	3,3	28	9	40	149	27	31	276	310	414	359	50
P - 1I	RLd	5	29	4,1	135	25	2,2	14	7	23	158	15	52	293	247	460	314	55
P - 3S	RLd	14	44	4,1	135	28	3,0	14	9	26	161	16	52	395	396	209	218	65
P - 3M	RLd	9	53	4,4	98	16	2,0	23	9	34	132	26	32	310	328	362	573	50
P - 3I	RLd	9	43	4,0	135	29	1,9	12	6	20	155	13	59	365	363	272	486	40
P - 5S	RLd	8	46	3,9	121	25	3,1	16	8	27	148	18	48	365	366	269	345	50
P - 5M	RLd	9	48	3,7	150	33	1,3	6	4	11	161	7	74	372	397	231	523	50
P - 5I	RLd	9	40	4,0	121	27	1,6	13	9	24	145	16	53	364	371	265	373	40

¹F: fração cascalho + calhau (>2 mm);

Prof.: profundidade efetiva do solo;

RRd: NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico;

RLd: NEOSSOLO LITÓLICO distrófico.

C: Cristal; P: Piratini;

1, 3 e 5: idade dos povoamentos na avaliação inicial;

S, M e I: terço superior, médio e inferior, respectivamente.

Inventário Florestal e Avaliação de Biomassa e Serapilheira

O inventário florestal e as avaliações de biomassa foram realizados no mês de julho de cada ano. Os povoamentos que apresentavam um ano de idade no início do estudo (2004) foram avaliados aos 1, 2 e 3 anos (2004 a 2006); os com três anos foram avaliados aos 3, 4 e 5 anos; e os com cinco anos foram avaliados aos 5, 6 e 7 anos. Desta maneira, abrangeu-se todas as idades de 1 a 7 anos da rotação da acácia-negra.

Nos povoamentos de um ano de idade foi medida a altura de todas as plantas e nos povoamentos com dois a sete anos de idade foi mensurado o CAP (circunferência a altura do peito) de todas as árvores e altura de 20% destas. Também foi medida a altura das cinco árvores de maior diâmetro de cada parcela, para determinação da altura dominante. A medição da circunferência foi realizada

com fita métrica graduada em 0,5 cm e a altura com régua telescópica, para plantas menores que 10 m de altura, ou hipsometro Blume-leiss, para árvores maiores que 10 m de altura.

Para determinação da biomassa acima do solo foram abatidas 98 árvores durante os três anos avaliação, em média sete árvores por idade do povoamento e por região. Dentro de cada região (Cristal e Piratini) e idade de avaliação (1 a 7 anos), foi selecionada uma árvore para cada uma das classes de altura (povoamento de 1 ano de idade) ou classes de diâmetro (povoamentos de 2 a 7 anos de idade), obtidas no inventário florestal das parcelas, de forma que amplitude total das alturas e dos diâmetros fosse contemplada. As árvores abatidas estavam localizadas entre as parcela do inventário florestal (na mesma encosta), sendo escolhidas árvores representativas de sua classe de diâmetro.

Após o corte da árvore, realizado rente ao solo, procedeu-se a cubagem rigorosa do tronco com e sem casca, pelo método de SMALIAN (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003), separação e pesagem dos seguintes compartimentos: casca do tronco, madeira do tronco, galhos vivos, galhos mortos, folhas e flores + frutos. Amostras destes compartimentos foram acondicionadas em sacos de papel, pesadas e levadas para secagem em estufa de circulação e renovação de ar a 65°C por um período de 72 horas. Após a secagem, estas amostras foram pesadas para obtenção da matéria seca. A amostragem do tronco foi realizada através de discos retirados a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do fuste. Considerou-se comercial a altura que o tronco atingiu o diâmetro mínimo de 4 cm, sendo o restante do tronco (diâmetro <4 cm) avaliado como galho vivo.

Para a coleta da serapilheira (folhas, flores, frutos e galhos finos com diâmetro <5 mm) foram utilizados coletores com 1,0 m² de área útil, constituídos de uma moldura de madeira com 8 cm de borda e fundo de tela de náilon de 1 mm,

instalados a 0,60 m de altura do solo. Para coleta de galhos grossos (diâmetro ≥ 5 mm) foram demarcadas na superfície do solo subparcelas de 2 x 2 m. Em cada parcela do inventário florestal foram distribuídos três coletores de serapilheira e marcadas três subparcelas para galhos grossos, totalizando 54 unidades de coleta para cada componente.

O material interceptado nos coletores e nas subparcelas de coleta de galhos grossos foi recolhido mensalmente no período de julho/2004 a junho/2006 (2 anos). Desta forma, obteve-se a deposição de serapilheira dos povoamentos de um a sete anos de idade em duas regiões (Cristal e Piratini). O material coletado foi acondicionado em embalagens de papel e levado para secagem em estufa de circulação e renovação de ar a 65°C por um período de 72 horas, sendo posteriormente pesado para obtenção do peso seco.

A determinação de concentração de nutrientes foi realizada em cada compartimento (madeira, casca, galhos vivos, galhos mortos, folhas e flores+frutos) de quatro árvores por povoamento, totalizando 24 árvores analisadas. Da serapilheira coletada mensalmente formaram-se amostras compostas pelos coletores de cada povoamento e três meses de coleta: verão (janeiro, fevereiro e março), outono (abril, maio e junho), inverno (julho, agosto e setembro) e primavera (outubro novembro e dezembro), totalizando 48 amostras analisadas. Estas amostras foram constituídas de folhas, flores, frutos e galhos finos (diâmetro < 5 mm). Para os galhos grossos coletados mensalmente formou-se uma amostra composta por povoamento.

As amostras dos compartimentos das árvores e serapilheira foram trituradas em moinho Wiley com peneira de 30 *mesh* e analisadas quanto aos teores de N, P, K, Ca, Mg, S e C no laboratório de plantas da Fundação ABC, em Castro, PR.

Análise dos Dados

Com os dados medidos no campo do inventário florestal (CAP, número de árvores e dimensões de parcelas) foi calculada a densidade de plantio, sobrevivência de plantas, densidade de árvores e área basal. A altura dominante foi calculada pela média das alturas das cinco árvores de maior diâmetro de cada parcela.

Algumas variáveis foram estimadas partindo-se dos dados medidos em campo. A altura das árvores foi estimada pela relação hipsométrica, ajustada para cada parcela e avaliação, conforme modelo recomendado por CALDEIRA et al. (2002):

$$H = b_0 + b_1 \ln (DAP)$$

O volume com casca foi calculado utilizando-se as seguintes equações, ajustadas com dados de cubagem de 300 árvores com 3, 5 e 7 anos de idade, mensuradas em plantios comerciais da região:

$$\text{- 2 e 3 anos: } \ln (V_{cc}) = -9,878589 + 1,036013 \ln (H) + 1,85614 \ln (DAP)$$

$$\text{- 4 e 5 anos: } \ln (V_{cc}) = -9,823495 + 0,994846 \ln (H) + 1,86878 \ln (DAP)$$

$$\text{- 6 e 7 anos: } \ln (V_{cc}) = -9,768197 + 0,953452 \ln (H) + 1,89429 \ln (DAP)$$

Para a determinação da biomassa aérea por hectare foram desenvolvidas equações com os dados das árvores abatidas em cada povoamento e idade de avaliação, utilizando o seguinte modelo alométrico:

$$\ln (Y) = a + b \ln (DAP) + c \ln (H)$$

Onde: Y = peso seco de cada compartimento (madeira, casca, galhos vivos, galhos mortos, folhas e flores+frutos) e total;

a, b e c = coeficientes de regressão.

A seleção das variáveis regressoras (DAP e H) para compor as equações preditoras de cada compartimento e total foi realizada com base nos seguintes critérios (SCHNEIDER, 1998): coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa e teste de significância dos coeficientes de regressão. As equações selecionadas para cada componente e total estão apresentadas no apêndice 2.

A quantidade de N, P, K, Ca, Mg, S e C nos compartimentos acima do solo foi obtida a partir da biomassa estimada (equações do apêndice 2) e da concentração de nutrientes de cada compartimento (madeira, casca, galho vivos, galhos mortos, folhas e flores+frutos) nas diferentes idades de avaliação.

A taxa mensal de produção de biomassa na copa, tronco e total e o índice de eficiência da folhagem para produção de biomassa do tronco (madeira + casca) e total acima do solo foram calculadas pelas seguintes fórmulas:

$$\text{Taxa de produção} = (BC_2 - BC_1) / (t_2 - t_1)$$

$$\text{Índice de eficiência} = (BC_2 - BC_1) / BF_2 / (t_2 - t_1)$$

onde, BC_1 e BC_2 são a biomassa (kg) do compartimento na avaliação inicial e final, t_1 e t_2 são os meses das avaliações e BF_2 é a biomassa foliar na avaliação final. Para a biomassa total e da copa considerou-se também a deposição de serapilheira entre t_1 e t_2 .

A absorção anual de nutrientes foi calculada pela soma do acúmulo anual de nutrientes na biomassa e o retorno pela serapilheira durante o mesmo ano. A demanda anual de nutrientes do estoque do solo foi estimada como sendo igual ao acúmulo anual de nutrientes pela biomassa. Também foi realizado um balanço final de nutrientes, que considerou as exportações pela colheita e perdas pela queima de resíduos, e as entradas pela adubação e fixação biológica. Foi calculado o índice de eficiência de nutrientes para a biomassa total acima do solo e produção do tronco (madeira + casca) para o período de 2 a 7 anos de idade, calculado pela quantidade de biomassa produzida (kg) dividido pela quantidade de nutriente utilizado (kg), conforme proposto por HANSEN e BAKER (1979).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inventário Florestal

Os povoamentos de acácia-negra das duas regiões avaliadas não apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$) quanto ao crescimento e produção de madeira (tabela 2), apresentando aos sete anos de idade a média de 72,5% de sobrevivência, 16,0 m de altura média, 19,38 m de altura dominante, 12,8 cm de DAP, 20,25 m² de área basal e 165,37 m³/ha de madeira com casca. Os valores de crescimento e produção foram compatíveis aos sítios de média produtividade do Rio Grande do Sul (SCHNEIDER et al., 2001).

A curva de produção da seqüência de idade inicial (povoamentos de 1, 3 e 5 anos), formada pelos três anos de avaliação (2004 a 2006), indicou que os povoamentos avaliados pertenciam a mesma classe de sítio. No entanto, as variações entre parcelas demarcadas na mesma encosta (terço superior, médio e inferior da pendente) foram relativamente grandes, principalmente para as avaliações de 5, 6 e 7 anos de idade em Piratini (figura 1).

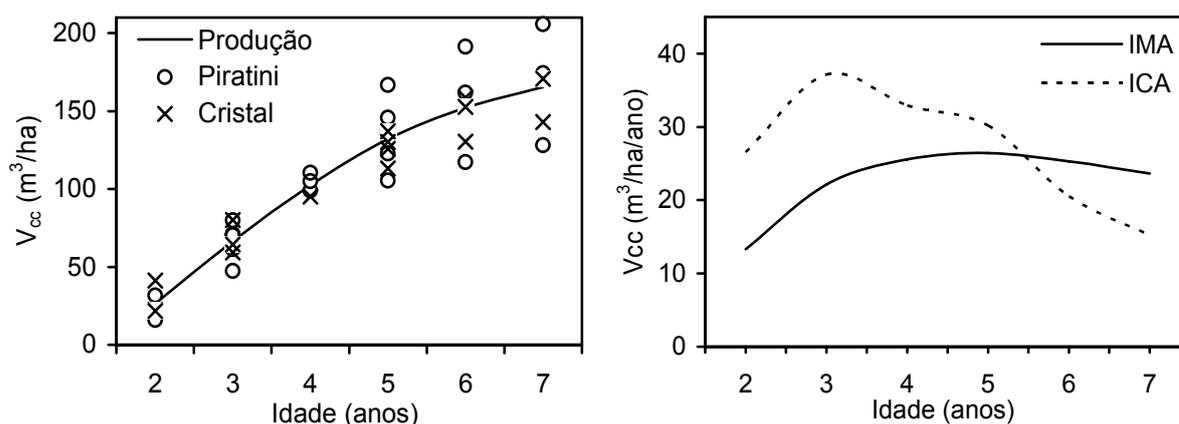
O máximo de incremento corrente anual (ICA) de volume foi alcançado aos três anos de idade, com a produção de 37,14 m³/ha de madeira com casca (figura 1). Já o incremento médio anual (IMA) de volume atingiu o ponto máximo por volta de 5,5 anos de idade, apresentando uma produção de madeira com casca de aproximadamente 27,0 m³/ha/ano. O IMA máximo ocorre quando este é igual ao ICA (FINEGAN, 1993a), podendo ser utilizado para definir a idade de rotação pela máxima produtividade biológica. A definição da idade de corte por este critério não considera a qualidade da produção, bem como questões econômicas e ambientais.

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DOS PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE AVALIADOS EM CRISTAL E PIRATINI.

Idade (anos)	Sobrev. (%)		Altura (m)		Alt. Domin. (m)		DAP (cm)		Área basal (m ²)		Volume (m ³)	
	Cristal	Piratini	Cristal	Piratini	Cristal	Piratini	Cristal	Piratini	Cristal	Piratini	Cristal	Piratini
1	95,3	93,4	3,6	3,1	5,0	4,5	-	-	-	-	-	-
2	94,1	91,1	7,1	7,3	8,9	9,0	6,3	6,0	7,0	5,7	28,4	23,8
3	91,2	84,0	10,7	10,7	12,4	13,4	8,0	8,6	10,6	11,2	67,1	66,0
4	81,7	77,8	12,6	12,6	15,8	16,6	9,3	10,3	12,0	15,6	95,1	104,7
5	75,6	75,7	14,3	14,5	17,0	18,3	11,1	11,6	16,4	18,0	126,5	135,7
6	72,8	75,6	15,4	15,3	18,2	19,2	12,1	12,6	18,7	19,7	147,2	156,8
7	70,8	74,2	16,1	15,9	18,9	19,8	12,6	13,0	19,7	20,8	161,3	169,4
Média ¹	72,5		16,0		19,4		12,8		20,3		165,4	

¹Média das duas regiões aos sete anos de idade.

FIGURA 1 - PRODUÇÃO DE MADEIRA COM CASCA (V_{CC}) E INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) E CORRENTE ANUAL (ICA) DE VOLUME EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE DOIS A SETE ANOS DE IDADE.



Biomassa Acima do Solo

Acúmulo de biomassa nos compartimentos

A biomassa dos compartimentos das árvores (tronco e copa) não apresentou diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as regiões de Cristal e Piratini. Desta forma, os resultados das análises estão apresentados conjuntamente para as duas regiões.

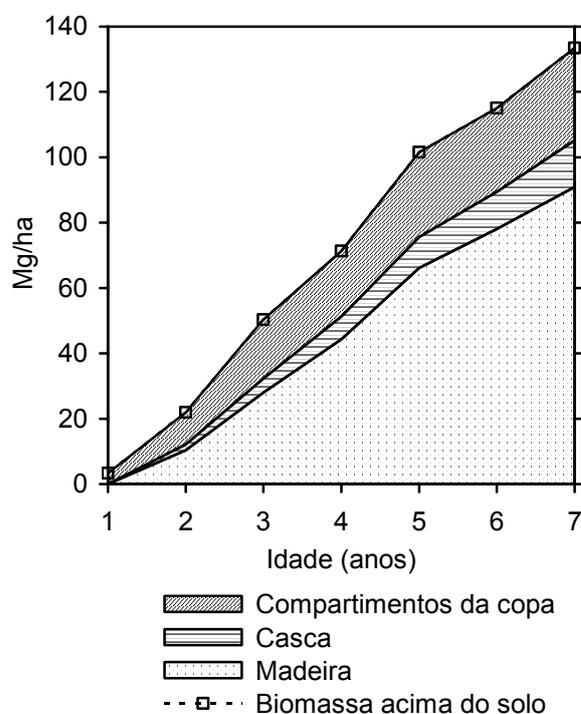
A biomassa acima do solo cresceu com a idade do povoamento, apresentando 3,32 Mg/ha de matéria seca no primeiro ano e 133,41 Mg/ha no sétimo ano (figura 2). A maior intensidade de acúmulo de biomassa acima do solo foi observada entre um e cinco anos de idade.

Em uma plantação de acácia-negra com oito anos de idade, BARICHELLO, SCHUMACHER e VOGEL (2005) encontraram que a biomassa total (aérea + raízes) foi de 132,10 Mg/ha, sendo que as raízes representaram 12,45% da produção total. Proporções semelhantes de raízes foram relatadas por SCHUMACHER et al. (2001) em povoamentos de quatro e seis anos de idade, nos quais este componente representou 12,2% e 9,0% da biomassa total, respectivamente.

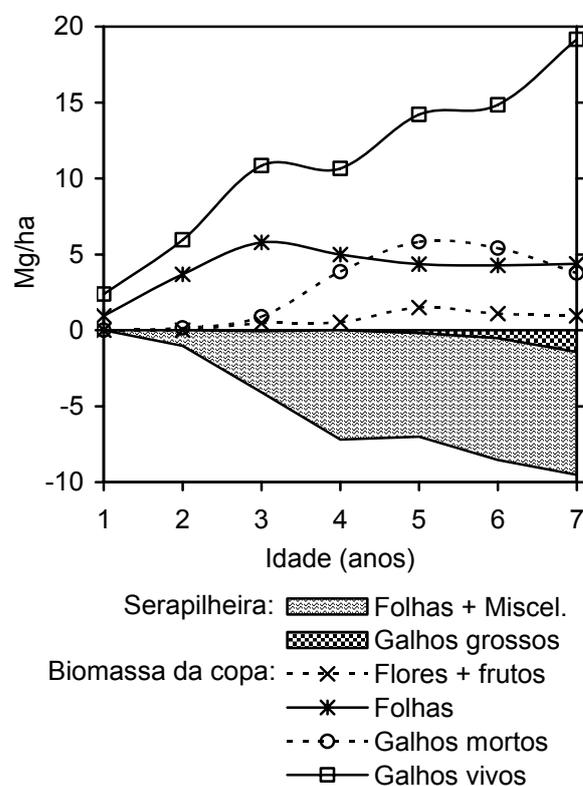
Considerando esses trabalhos, a proporção média de raízes na acácia-negra foi de 11,2% da biomassa total. Desta forma, a biomassa de raízes do presente estudo pode ser estimada em 16,8 Mg/ha e a biomassa total em 150,2 Mg/ha de matéria seca para os povoamentos com sete anos de idade.

FIGURA 2 - ACÚMULO DE BIOMASSA NOS COMPARTIMENTOS ACIMA DO SOLO E DEPOSIÇÃO ANUAL DE SERAPILHEIRA EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.

Biomassa de madeira, casca, copa e total:



Biomassa da copa e deposição de serapilheira:



A biomassa de madeira aos sete anos de idade foi de 90,92 Mg/ha e a biomassa de casca foi de 14,25 Mg/ha (figura 2). Esta produção foi superior à encontrada por BARICHELLO, SCHUMACHER e VOGEL (2005) em uma plantação de acácia-negra com oito anos de idade, na qual a biomassa de madeira foi de 82,35 Mg/ha e a de casca foi de 10,93 Mg/ha. Por outro lado, um povoamento desta espécie com nove anos de idade apresentou maior biomassa de madeira (125,0 Mg/ha) que a observada neste trabalho, porém a biomassa de casca (13,9 Mg/ha) foi semelhante (PEREIRA et al., 1997).

A madeira e a casca são os compartimentos das árvores de acácia-negra retirados da área pela colheita florestal. Considerando a realização do corte aos sete anos de idade, a exportação de biomassa pela colheita alcançou 105,17 Mg/ha de matéria seca, que representa 78,8% da biomassa acima do solo do povoamento.

A biomassa da copa teve um crescimento intenso até três anos e moderado de quatro a sete anos de idade (figura 2). A maior proporção da biomassa da copa foi formada por galhos vivos, que apresentaram maior incremento de biomassa entre um e três anos de idade (4,24 Mg/ha/ano) e menor crescimento do quarto ao sétimo ano (2,83 Mg/ha/ano). Analisando os dados de pesagens dos compartimentos, verificou-se que a proporção de galhos vivos na biomassa das copas foi semelhante em todas as classes de diâmetro até a avaliação de quatro anos de idade. Entretanto, a partir do quinto ano observou-se um incremento na proporção de galhos vivos das árvores de maior diâmetro.

Esse resultado indicou que o aumento da biomassa de galhos vivos das idades mais avançadas (5 a 7 anos) foi utilizado possivelmente para uma expansão das copas das maiores árvores, visando ocupar os espaços do dossel abertos pela mortalidade e queda de árvores.

A biomassa de folhas cresceu até a idade de três anos, quando atingiu 5,80 Mg/ha, decresceu para 5,00 Mg/ha aos quatro anos e estabilizou-se em torno de 4,30 Mg/ha, a partir de cinco anos de idade (figura 2). Segundo KOZLOWSKI, KRAMER e PALLARDY (1991) o índice de área foliar ou biomassa foliar aumenta com a idade do povoamento florestal até atingir um máximo para subseqüentemente estabilizar ou reduzir suavemente. Estes autores (ibidem) citam que a idade de máxima biomassa foliar e o grau de decréscimo depende da espécie, espaçamento e sítio florestal.

Povoamentos de *Eucalyptus grandis* em área de cerrado de Minas Gerais apresentaram crescimento da biomassa foliar até três anos de idade e subseqüentemente um acentuado declínio, atribuído a um desequilíbrio entre produção e morte de folhas em consequência da diminuição da disponibilidade de nutrientes, especialmente P (REIS et al., 1985). Provavelmente o decréscimo de biomassa foliar observada no presente estudo esteja relacionado com a fase de crescimento da plantação (KOZLOWSKI; KRAMER; PALLARDY, 1991), não tendo relação com deficiências nutricionais, já que os solos das parcelas avaliadas foram de média a alta fertilidade (tabela 1).

A produção de flores + frutos foi de 0,47 e 0,52 Mg/ha no terceiro e quarto ano, respectivamente; aumentou para 1,50 Mg/ha no quinto ano e estabilizou-se em torno de 1,0 Mg/ha no sexto e sétimo ano (figura 2). A maior liberação de material reprodutivo foi responsável por parte do incremento da deposição de serapilheira no sexto e sétimo ano dos povoamentos de acácia-negra. A redução da produção de material reprodutivo após o quinto ano esteve relacionada com as variações anual do clima. Em áreas de produção de sementes de acácia-negra no Rio Grande do Sul, PAULA (2005) encontrou que a intensidade de florescimento aumentou com o incremento das precipitações e reduziu com o aumento das temperaturas máximas.

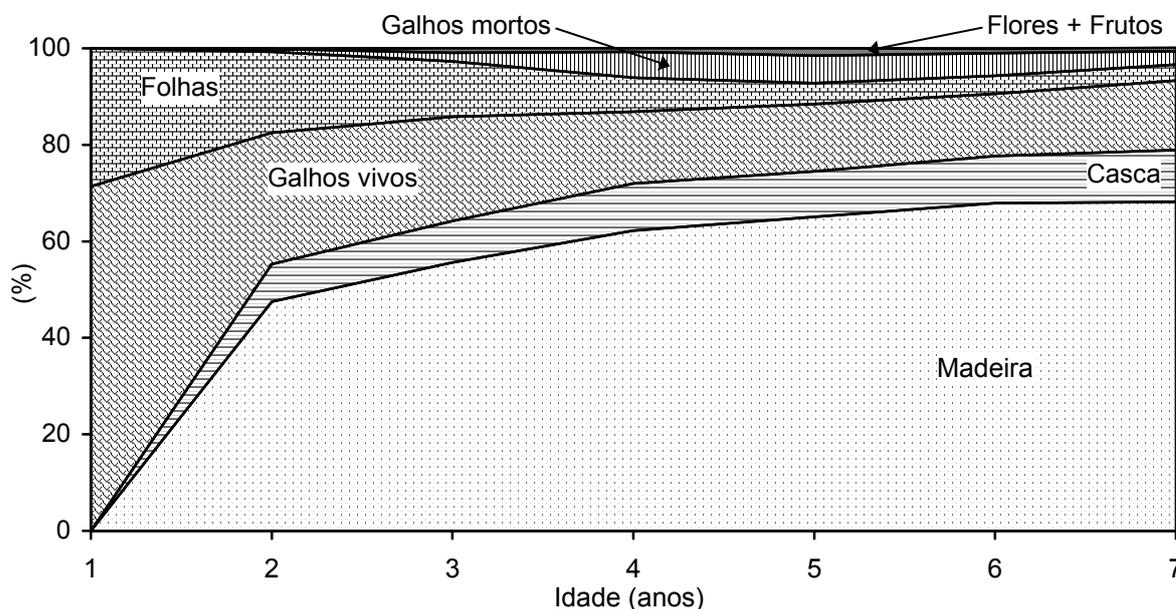
A quantidade de galhos mortos incrementou-se até os cinco anos de idade, alcançando 5,84 Mg/ha de biomassa. Aos seis anos de idade observou-se um aumento na desrama natural dos galhos mortos mais grossos (diâmetro ≥ 5 mm), reduzindo a biomassa deste compartimento nas árvores e aumentando sua presença na serapilheira (figura 2).

Proporção de biomassa nos compartimento

A biomassa acima do solo dos povoamentos de um ano de idade foi formada exclusivamente por folhas (28,6%) e galhos vivos (71,4%) (figura 3). Isto ocorreu devido que o fuste das plantas nesta idade apresentaram diâmetro menor que 4 cm, sendo avaliados como galhos vivos. A proporção de folhas na biomassa reduziu com a idade do povoamento, sendo de somente 3,3% aos sete anos de idade. Os galhos vivos representaram 27,2% e 21,6% da biomassa no segundo e terceiro ano de idade, respectivamente; mantendo uma participação em torno de 14% de quatro a sete anos de idade. A proporção de galhos mortos aumentou com a idade dos povoamentos até cinco anos, quando atingiu 5,7% da biomassa, declinando para 4,7% e 2,8% aos seis e sete anos de idade, respectivamente. As flores + frutos representaram uma proporção de aproximadamente 1% da biomassa do terceiro ao sétimo ano.

Considerando a mesma idade de avaliação, as proporções dos compartimentos acima do solo obtidas neste estudo foram semelhantes às proporções encontradas por CALDEIRA (1998) em um povoamento com 2,4 anos de idade e por BARRICHELLO, SCHUMACHER E VOGEL (2005) numa plantação de acácia-negra com oito anos de idade.

FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO RELATIVA (%) DOS COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.



Ao contrário da biomassa dos componentes da copa, a participação do tronco foi incrementando com a idade dos povoamentos (figura 3). A madeira representou 47,5% da biomassa aos dois anos e 68,2% aos sete anos de idade. Já a participação da casca aumentou de 7,8% aos dois anos para 10,7% aos sete anos. A partir do segundo ano, cerca de 60% dos assimilados da fotossíntese foram alocados na biomassa do tronco (madeira + casca). A proporção de biomassa da copa, tronco e raízes varia com a idade das árvores devido a mudanças na partição dos fotoassimilados com o crescimento das plantas (KOZLOWSKI; KRAMER; PALLARDY, 1991). A maior parte dos fotoassimilados de árvores jovens é utilizada para formação da copa (folhas e galhos) e de raízes, porém com aumento da idade uma maior proporção dos fotoassimilados é destinada para o tronco.

Taxa de produção de biomassa e índice de eficiência foliar

A taxa de produção da copa aumentou até o terceiro ano dos povoamentos, quando se estabilizou em torno de 1.000 kg/ha/mês (figura 4). Na produção das copas foram incluídos o material reprodutivo (flores e frutos), os galhos caídos e as folhas novas que substituíram as senescentes formadoras da serapilheira.

A taxa de produção do tronco cresceu com a idade dos povoamentos, atingindo o ponto máximo aos cinco anos com 2.031 kg/ha/mês, reduzindo para 1.313 kg/ha/mês aos sete anos de idade. A taxa de produção da biomassa total foi similar ao do tronco, com máximo de 3.105 kg/ha/mês aos cinco anos de idade.

Nos povoamentos florestais, a taxa de produção de biomassa do tronco cresce com idade da plantação até alcançar a máxima produtividade, para subsequentemente declinar (BINKLEY; O'CONNELL; SANKARAN, 1997). Segundo RYAN, BINKLEY e FOWNES (1997), o declínio da taxa de produção de biomassa possivelmente ocorre devido aos seguintes processos: aumento da respiração com o acúmulo de biomassa, decréscimo do suprimento de nutrientes e maior produção de raízes para aumentar o volume de solo explorado, redução da fotossíntese devido a maior resistência para o transporte de água nas árvores altas, redução da área foliar pela sobreposição das copas altas, incremento da mortalidade, mudanças fisiológicas associado a tecidos envelhecidos e aumento da produção de material reprodutivo.

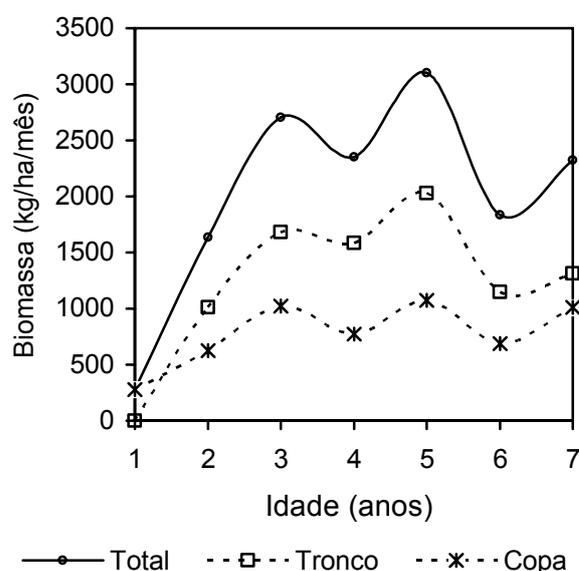
O índice de eficiência da folhagem (biomassa produzida em um período/ biomassa de folhas) cresceu com a idade dos povoamentos atingindo o ponto máximo aos cinco anos, com 0,47 e 0,71 kg de biomassa por mês para cada kg folhas, respectivamente para o tronco e total (figura 4). Tanto para o tronco como para a biomassa total, houve um declínio da eficiência foliar no sexto e sétimo ano dos povoamentos. Este índice representa a capacidade da área foliar, aqui

representada pela biomassa foliar, para a produção primária líquida (PPL) em um período de tempo, que neste caso utilizou-se o acúmulo de biomassa. A PPL das plantações florestais é, em geral, positivamente correlacionada com o índice área foliar até alcançar um valor máximo, quando frequentemente a PPL decresce devido à mortalidade de árvores e efeitos da competição sobre a eficiência fotossintética da folhas sombreadas (KOZLOWSKI; KRAMER; PALLARDY, 1991).

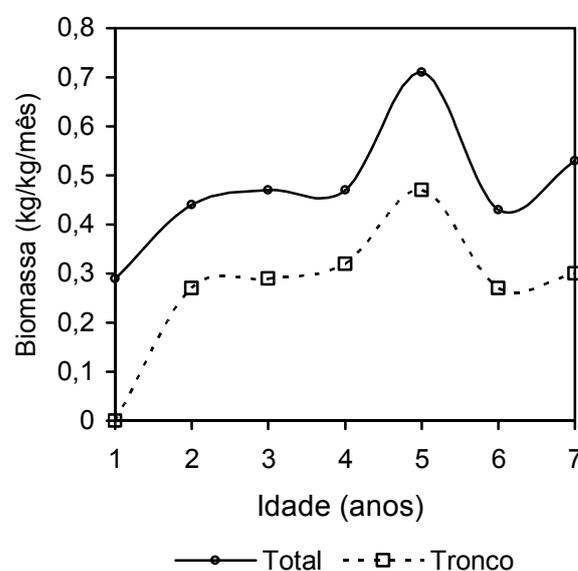
No cerrado de Minas Gerais, *Eucalyptus grandis* alcançou a máxima eficiência foliar para produção de biomassa no tronco aos três anos de idade, sendo que nos anos seguintes esta eficiência reduziu drasticamente, provavelmente causada pela deficiência no suprimento de nutrientes pelo solo (BINKLEY; O'CONNELL; SANKARAN, 1997). Segundo estes autores (ibidem) este é um padrão para diversas plantações florestais, porém também são encontrados casos em que a eficiência da biomassa foliar não declinou com a idade dos povoamentos.

FIGURA 4 - TAXA DE PRODUÇÃO DE BIOMASSA E EFICIÊNCIA DA BIOMASSA FOLIAR EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.

Taxa de produção de biomassa:



Índice de eficiência da biomassa foliar:



O achatamento das curvas da taxa de produção de biomassa e do índice de eficiência da folhagem observada aos quatro e seis anos de idade (figura 4), provavelmente foi em decorrência de déficit hídrico ocorrido no ano anterior ao da avaliação destas idades. As avaliações dos povoamentos com quatro e seis anos de idade foram realizadas em julho de 2005. No ano anterior (julho/2004 a julho/2005) ocorreram meses que as precipitações foram menores que 60 mm, indicando períodos com déficit hídrico (figura 3 da seção 1).

Entre as prováveis causas do declínio da taxa de produção de biomassa e a eficiência da folhagem dos povoamentos de acácia-negra com mais de cinco anos de idade, somente a mortalidade de plantas e o suprimento de nutrientes são passíveis de serem manejadas por práticas silviculturais. Por outro dado, a manutenção da capacidade fotossintética, redução dos gastos com respiração e produção de material podem ser modificadas pelo melhoramento genético.

Deposição de Serapilheira

A deposição anual de serapilheira foi de 1,03 Mg/ha no segundo ano do povoamento, aumentou para 4,09 e 7,20 Mg/ha no terceiro e quarto ano, respectivamente; manteve-se em 7,01 Mg/ha no quinto ano e voltou a incrementar-se no sexto e sétimo ano para 8,55 e 9,52, respectivamente (figura 2). Segundo BRAY e GHORAN (1964) há uma relação entre a deposição anual de serapilheira e o estágio de desenvolvimento de uma floresta. É comum o incremento da deposição até a idade de fechamento das copas com posterior declínio ou estabilização. A velocidade de incremento da deposição, a idade e o valor máximo de deposição são próprios de cada espécie e sítio (CARPANEZZI, 1997).

A fase de fechamento de copa foi alcançada aos três anos de idade, quando a biomassa de folhas foi máxima. Assim, ocorreu uma estabilização da deposição de serapilheira no quarto e quinto ano do povoamento (figura 2). O incremento de deposição de serapilheira observado no sexto e sétimo ano foi em decorrência da maior produção biomassa de material reprodutivo (flores e frutos) e sua posterior liberação, maior desrama natural de galhos grossos (≥ 5 mm de diâmetro) e queda de folhas e galhos de árvores mortas (tabela 2).

A quantidade de serapilheira depositada pelo povoamento de acácia-negra aos sete anos de idade (9,52 Mg/ha/ano) foi superior à média observada para florestas primárias no Brasil. DANTAS e PHILLIPSON (1989) citam a média de 8,0 Mg/ha/ano para florestas tropicais brasileiras, com produções variando entre 6,4 a 13,0 Mg/ha/ano. As espécies leguminosas demonstram certa superioridade quanto à produção de serapilheira, devido à sua característica de crescimento rápido e maior eficiência na utilização dos nutrientes extraídos do solo, em comparação com outras espécies (SCHUMACHER et al. 2003). Também, esta deposição anual (9,52 Mg/ha) foi similar aos das mais altas produções relatadas na literatura para leguminosas estabelecidas em solos de baixa fertilidade. Por exemplo, as deposições de *Mimosa caesalpinifolia* Benth., *Acacia mangium* Willd., *Acacia holosericea* A. Cunn. ex G. Don (ANDRADE, 1997) e *Mimosa scabrella* Benth. (POGGIANI et al. 1987) foram de 10,16, 9,13, 9,06 e 4,79 Mg/ha, respectivamente.

SCHUMACHER et al. (2003) encontraram uma deposição média anual de 5,85 Mg/ha para plantação de acácia-negra de 3 a 5 anos de idade, resultados similares aos encontrados neste trabalho (5,65 Mg/ha) para as mesmas idades de avaliação. Estes resultados confirmam a excelente capacidade da acácia-negra em produzir serapilheira, que pode desempenhar papel fundamental na recuperação de áreas degradadas, especialmente sobre a melhoria da atividade biológica e na formação de horizontes orgânicos no solo.

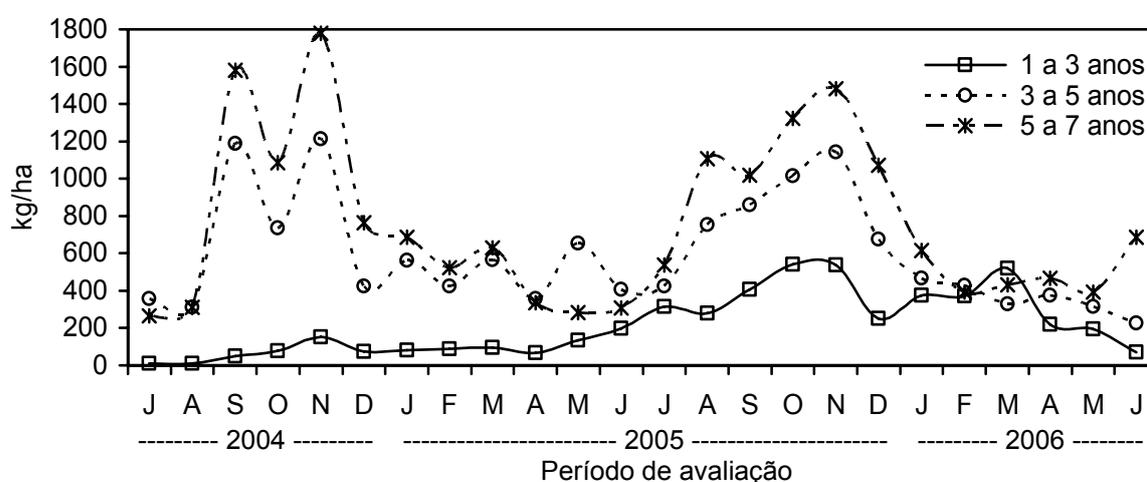
A separação do material componente da serapilheira foi somente de galhos grossos (≥ 5 mm de diâmetro) e de folhas+miscelânea (flores, frutos e galhos < 5 mm de diâmetro) (figura 2). No entanto, é possível estimar a quantidade de cada fração pela biomassa dos compartimentos da copa no ano anterior ao da sua deposição. Considerando somente o material dos coletores (folhas+miscelânea), a fração folha pode ser estimada em 73,5%, flores+frutos em 7,4% e galhos finos (< 5 mm de diâmetro) em 19,0%. Estudos realizados em diferentes florestas constataram que as folhas contribuem com a maior parte (em média 70%) do material formador da serapilheira (BRAY; GORHAM, 1964; SWAMY; PROCTOR, 1994).

A deposição mensal de serapilheira nos povoamentos de três a sete anos de idade foi maior ($P < 0,05$) nos meses de agosto a dezembro, correspondendo ao final do inverno e a primavera (figura 5); a produção mensal foi menor ($P < 0,05$) nos meses de abril a julho, correspondendo ao outono e início do inverno. Resultados semelhantes foram encontrados para *Acacia melanoxylon* em Botucatu, SP (BERTALOT et al., 2004) e *Acacia holosericea* em Seropédica, RJ (ANDRADE; 1997), que o incremento da produção de serapilheira corresponderam ao aumento da precipitação e da temperatura média mensal. Para os povoamentos de acácia-negra estudados, a aumento das temperaturas após o inverno possivelmente induziu uma intensa troca de folhagem para atender ao período de maior atividade fisiológica das plantas, já que as precipitações mensais não apresentaram grandes oscilações durante ano (figura 2 da seção 1). Para *Mimosa scabrella*, CARPANEZZI (1997) verificou que, na ausência de déficit hídrico, a temperatura foi o principal mecanismo de acionamento da caducidade foliar.

Em Butiá, RS, plantações de acácia-negra com três anos de idade tiveram maior deposição de serapilheira na primavera e verão (outubro a fevereiro), estando correlacionada com o aumento temperatura média mensal (SCHUMACHER et al.,

2003). O inverno mais rigoroso de Cristal e Piratini, com maior ocorrência de geadas, pode ser a causa da antecipação do período de maior produção de serapilheira para agosto a dezembro, comparado com o resultado do estudo de Butiá, que a maior deposição foi de outubro a fevereiro.

FIGURA 5 - DEPOSIÇÃO MENSAL DE SERAPILHEIRA EM PLANTAÇÕES DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.



Concentração de Nutrientes na Biomassa e Serapilheira

As folhas e flores+frutos apresentaram os maiores teores de N, P, K, Mg e S, e a casca a maior concentração de Ca (tabela 3). As menores concentrações dos nutrientes foram observadas nos galhos mortos e na madeira. As folhas tendem a apresentar maiores concentrações de N, P e K, nutrientes associados com o metabolismo, e o tronco (madeira + casca) de Ca, elemento componente da parede celular (LAMBERS; CHAPIN III; PONS, 1998). As flores e frutos acumulam nutrientes para os processos de crescimento, maturação e formação de reservas para a germinação das sementes (KRAMER; KOZLOWSKI, 1979).

TABELA 3 - CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NOS COMPARTIMENTO DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SEIS ANOS DE IDADE.

Compartimento	N	P	K	Ca	Mg	S	C
	g/kg						
Folhas:							
1 e 2 anos	31,35 a	1,41 a	9,30 a	7,48 b	1,81 a	1,83 a	538,13 a
3 e 4 anos	30,28 a	1,23 b	8,79 a	7,55 b	1,95 a	1,59 a	541,00 a
5 e 6 anos	28,53 a	1,16 b	8,76 a	8,73 a	2,23 a	1,46 a	537,88 a
Média	30,05	1,27	8,95	7,92	2,00	1,63	539,00
Flores + Frutos:							
3 e 4 anos	28,38 a	1,94 a	13,51 a	6,41 a	2,11 a	2,05 a	533,25 a
5 e 6 anos	24,91 b	1,68 b	13,81 a	5,41 a	1,74 b	1,55 b	537,63 a
Média	26,64	1,81	13,66	5,91	1,93	1,80	535,44
Galhos vivos:							
1 e 2 anos	5,50 a	0,45 a	3,94 a	2,68 b	0,83 a	0,29 a	569,50 a
3 e 4 anos	5,36 a	0,31 b	3,50 a	3,11 b	0,95 a	0,25 a	568,50 a
5 e 6 anos	5,63 a	0,28 b	3,01 b	4,59 a	0,93 a	0,29 a	567,75 a
Média	5,50	0,35	3,48	3,46	0,90	0,28	568,58
Galhos mortos:							
1 e 2 anos	3,60 a	0,30 a	2,85 a	3,05 a	1,55 a	0,30 a	566,00 a
3 e 4 anos	3,34 a	0,20 b	2,16 a	3,16 a	0,88 b	0,25 a	570,50 a
5 e 6 anos	3,28 a	0,14 b	2,10 a	4,26 a	0,78 b	0,21 a	572,63 a
Média	3,41	0,21	2,37	3,49	1,07	0,25	569,71
Casca:							
1 e 2 anos	10,67 a	0,43 a	5,08 a	8,22 b	1,07 a	0,28 a	560,50 a
3 e 4 anos	8,05 b	0,31 b	3,85 b	8,24 b	1,11 a	0,24 a	560,75 a
5 e 6 anos	7,96 b	0,30 b	3,20 b	11,49 a	1,04 a	0,28 a	560,50 a
Média	8,89	0,35	4,04	9,32	1,07	0,27	560,58
Madeira:							
1 e 2 anos	1,48 a	0,25 a	5,35 a	1,03 b	0,23 a	0,11 a	576,83 a
3 e 4 anos	0,99 b	0,13 b	2,36 b	0,95 b	0,24 a	0,11 a	576,50 a
5 e 6 anos	0,84 b	0,11 b	1,64 b	1,24 a	0,20 a	0,10 a	577,50 a
Média	1,10	0,16	3,12	1,07	0,22	0,11	576,94

Letras minúsculas diferentes na coluna para o mesmo compartimento diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

A concentração de nutrientes nos compartimentos da biomassa variou com a idade das árvores. O N na casca e madeira, o P em todos os compartimentos e o K nos galhos vivos, casca e madeira apresentaram as maiores concentrações ($P < 0,05$) nos povoamentos mais jovens (1 e 2 anos de idade); enquanto que o Ca teve os maiores teores ($P > 0,05$) nos plantios mais adultos (5 e 6 anos de idade) (tabela 3).

Essas variações ocorrem devido que os nutrientes associados com o metabolismo têm as maiores concentrações no período de formação dos tecidos vegetais, tornam-se mais diluídos pela expansão da parede celular e são

translocados para outros tecidos na senescência do órgão. Em contraste, o cálcio é pouco redistribuído internamente nas plantas, apresentando um incremento contínuo no desenvolvimento de tecidos foliares, e por fazer parte da estrutura das paredes celulares e de sua lignificação, apresenta maiores concentrações nos tecidos mais velhos de madeira e casca (LAMBERS; CHAPIN III; PONS, 1998; KRAMER; KOZLOWSKI, 1979).

A serapilheira da acácia-negra apresentou a seguinte ordem de concentração de nutrientes: N>Ca>K>Mg>P>S (tabela 4). Estes resultados foram semelhantes à seqüência encontrada no estudo de SCHUMACHER et al. (2003) com esta espécie. A fração folhas+miscelânea apresentou maiores teores de N e S no início do período de maior deposição de serapilheira (julho a setembro), de K no final do período de maior produção (outubro a dezembro), e de Mg no período de menor deposição (janeiro a junho) (tabela 4). A variação da natureza do material formador da serapilheira, ou seja, a proporção de flores, frutos, galhos, folhas senescentes e ativas (queda por injúrias), pode ter influenciado a concentração dos nutrientes da serapilheira nas diferentes estações do ano.

TABELA 4 - CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES EM DIFERENTES ÉPOCAS DO ANO NA SERAPILHEIRA DE PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA.

Fração	N	P	K	Ca	Mg	S	C
	g/kg						
Folhas+miscelânea:							
- Trimestre							
jan-fev-mar	19,11 b	0,39 a	2,73 b	7,27 a	1,78 a	0,89 b	547,08 a
abr-mai-jun	19,73 b	0,38 a	2,20 b	7,40 a	1,81 a	0,93 b	549,83 a
jul-ago-set	22,42 a	0,44 a	2,17 b	8,26 a	1,37 b	1,02 a	542,00 a
out-nov-dez	19,95 b	0,42 a	3,88 a	7,87 a	1,53 b	0,91 b	544,67 a
Média	20,30	0,41	2,75	7,70	1,62	0,94	545,90
Galhos grossos (diâmetro ≥5 mm):							
Média	7,68	0,35	1,10	3,50	1,18	0,33	570,10

Letras minúsculas diferentes na coluna para o mesmo fator diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

Acúmulo e Ciclagem dos Nutrientes

O acúmulo de nutrientes na parte aérea dos povoamentos de acácia-negra teve um comportamento similar ao do incremento de biomassa acima do solo. No entanto, os nutrientes estudados (N, P, K, Ca, Mg e S) apresentaram peculiaridades quanto a sua alocação nos compartimentos das árvores, absorção anual, ciclagem via serapilheira, demanda anual e idade de maior eficiência para a produção de biomassa do tronco e total.

A absorção anual de nutrientes foi calculada pela soma da quantidade incorporada na biomassa e o retorno solo via serapilheira, durante o ano de avaliação. A quantidade incorporada durante o ano foi estimada pela diferença entre o total acumulado na biomassa acima do solo na idade de avaliação e o total acumulado na idade anterior.

A demanda anual de nutrientes do solo foi obtido pela diferença entre a quantidade absorvida durante o ano e a quantidade devolvida ao solo pela serapilheira, ou seja, a quantidade incorporada à biomassa durante o ano da idade de avaliação.

Nitrogênio

O acúmulo de N na biomassa acima do solo cresceu com a idade dos povoamentos, tendo maior incremento até três anos (figura 6). Exceto para as folhas e galhos mortos, os demais compartimentos apresentaram um aumento na quantidade de N na biomassa com a idade dos povoamentos. Na biomassa das folhas, a quantidade de N cresceu até a idade de três anos, decresceu no quarto e quinto ano e estabilizou-se a partir desta idade até o final da rotação. Para os galhos

mortos, o maior acúmulo de N ocorreu no quinto ano, e decresceu no sexto e sétimo ano de idade. A redução da biomassa das folhas e galhos mortos nestas idades foi a causa da diminuição das quantidades de N destes compartimentos.

A maior quantidade de N foi alocada nos compartimentos da copa das árvores, sendo que as folhas e os galhos vivos foram os componentes com a maior proporção (figura 6). A casca foi o compartimento do tronco que apresentou o maior conteúdo de N na biomassa.

O total de N acumulado na biomassa acima do solo ao final de sete anos foi de 458,2 kg/ha (figura 6). Em *Acacia mangium* com cinco anos, a quantidade de N na biomassa acima do solo foi de 544,9 kg/ha (BALEIRO, et al., 2004) e em acácia-negra com oito anos, foi de 514,9 kg/ha (BARICHELLO, 2003), enquanto que para seis genótipos de eucalipto com 6,5 anos variou de 172 a 199 kg/ha (SANTANA; BARROS; NEVES, 1999). As leguminosas arbóreas apresentam maior acúmulo de N em sua biomassa, devido sua capacidade de fixação biológica (BINKLEY; GIARDINA, 1997).

A absorção anual¹ de N apresentou um aumento até a idade de três anos, quando alcançou 200 kg/ha/ano e estabilizou-se em torno deste valor até o final da rotação (figura 6). Segundo BINKLEY e GIARDINA (1997) a fixação biológica em leguminosas arbóreas é capaz de suprir entre 40 e 80% do N usado por estas árvores, com taxas que variam entre 50 a 150 kg/ha/ano em povoamentos vigorosos. A acácia-negra é uma ativa fixadora de N, podendo alcançar até 200 kg/ha/ano (SALAS, 1987). Desta forma, é de se esperar que a maior parte da demanda de N pelos povoamentos de acácia-negra foi suprida pela fixação biológica.

¹ Acúmulo anual + retorno via serapilheira.

O retorno de N ao solo via serapilheira foi de 20,6 kg/ha no segundo ano das plantações, aumentou até a idade de quatro anos para 140,8 kg/ha e estabilizou-se em torno de 150 kg/ha/ano até o final da rotação (figura 6). Esta quantidade representou 80,9% do N absorvido a partir de quatro anos de idade. Para um povoamento de acácia-negra com três anos de idade, SCHUMACHER et al. (2003) encontraram uma transferência anual de 106,2 kg/ha/ano de N. Segundo FASSBENDER (1993), as transferências de N pela serapilheira em ecossistemas florestais apresentam valores muito variáveis, oscilando entre 28 e 240 kg/ha/ano.

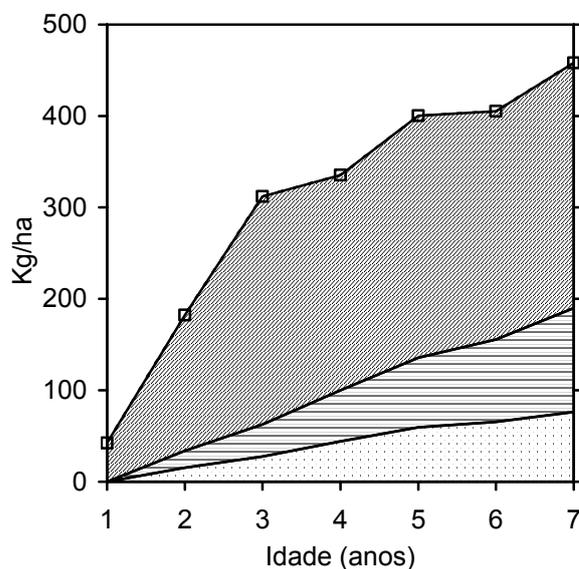
A demanda² de N do solo foi estimada considerando que a fixação biológica supriu 60% do total absorvido anualmente pelas plantações, média para leguminosas arbóreas tropicais (BINKLEY; GIARDINA, 1997). Assim sendo, somente do primeiro ao terceiro ano de cultivo houve a necessidade de utilização do estoque de N do solo para suprir as necessidades das plantas. A partir do quarto ano, a fixação biológica e a deposição da serapilheira disponibilizaram uma quantidade de N superior a absorção anual, havendo assim um aporte de N ao estoque do solo.

O índice de eficiência de N, estimado pela quantidade de biomassa produzida em kg pelos povoamentos de acácia-negra por kg de N utilizado foi maior ($P > 0,05$) para os povoamentos com seis e sete anos de idade, apresentando a média de 225 para o tronco (madeira + casca) e 288 para a biomassa acima do solo (figura 6).

² Fixação simbiótica + retorno via serapilheira – absorção anual.

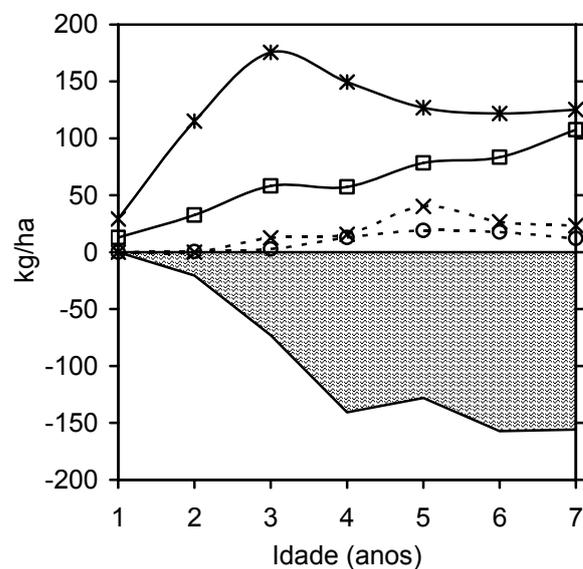
FIGURA 6 - ABSORÇÃO, DEMANDA, ACÚMULO, ALOCAÇÃO, CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE N EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.

Acúmulo total e alocação de N:



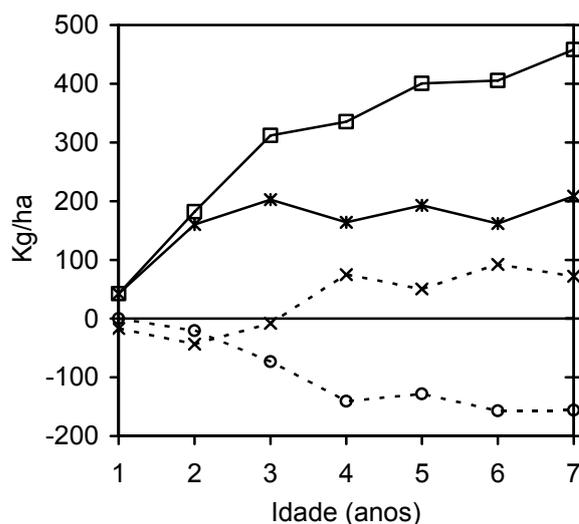
■ Compartimentos da copa
 ▨ Casca
 ▩ Madeira
 - - □ - - Total acumulado

Alocação de N nos compartimentos da copa das árvores e transferências ao solo via serrapilheira:



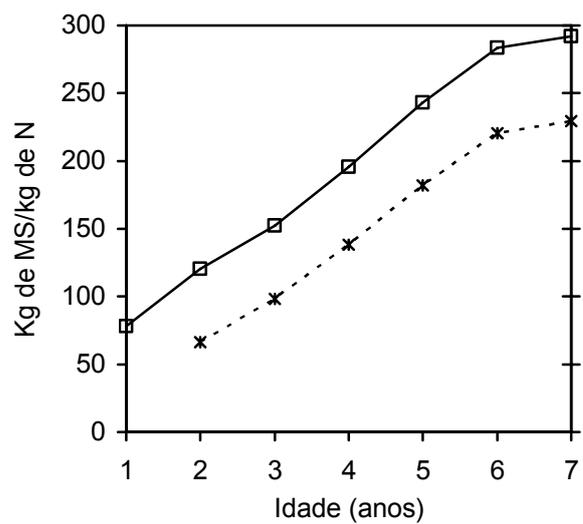
▨ Serrapilheira
 - - * - - Flores + Frutos
 - - ○ - - Galhos mortos
 - * - Folhas
 - □ - Galhos vivos

Absorção e demanda anual de N:



— □ — Acúmulo total de N
 - - ○ - - Retorno de N via serrapilheira
 — * — Absorção anual de N
 - - * - - Demanda anual de N

Índice de eficiência de N:



— □ — Eficiência produção da biomassa total
 - - * - - Eficiência produção de madeira + casca

Fósforo

O conteúdo de P na biomassa acima do solo aumentou com a idade das plantações, alcançando 27,3 kg/ha aos sete anos (figura 7). Nos compartimentos, a quantidade de P esteve relacionada com sua biomassa em cada idade de avaliação. Os componentes da copa, principalmente as folhas e galhos vivos, apresentaram maior quantidade de P até cinco anos de idade. Após esta idade, o maior conteúdo de P foi observado no tronco, com a madeira apresentando a maior proporção.

A absorção anual de P foi de 2,5 e 9,5 kg/ha no primeiro e segundo ano, respectivamente (figura 7). Do terceiro ano ao final da rotação, a absorção anual foi em torno de 6 kg/ha/ano, variando entre 4,0 e 8,2 kg/ha/ano. O segundo ano da plantação apresentou os maiores requerimentos de P do solo.

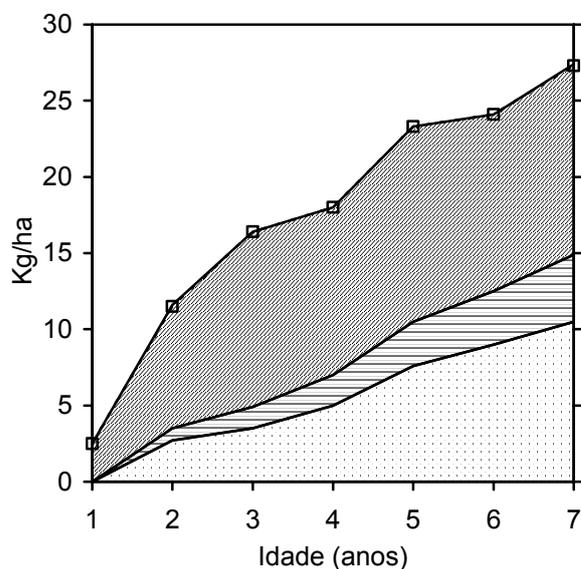
O retorno anual de P ao solo via serapilheira foi de 0,5 e 1,2 kg/ha aos dois e três anos de idade, respectivamente, e de aproximadamente 3 kg/ha/ano do quarto ao sétimo ano (figura 7), constituindo 57,3% do total de P absorvido do solo neste período. Em um povoamento de acácia-negra com três anos, SCHUMACHER et al. (2003) reportaram valores semelhantes ao encontrado neste trabalho.

A demanda anual de P do solo foi de 2,5 e 9,0 kg/ha, respectivamente para o primeiro e segundo ano da plantação. Nos anos seguintes esta demanda foi em média de 3 kg/ha/ano, com valores que oscilaram entre 0,8 e 5,3 kg/ha (figura 7).

Os maiores índices de eficiência de P foi aos seis e sete anos de idade, quando foram produzidos em média 3.784 e 4.842 kg de biomassa do tronco e total, respectivamente, para cada kg de P utilizado (figura 7).

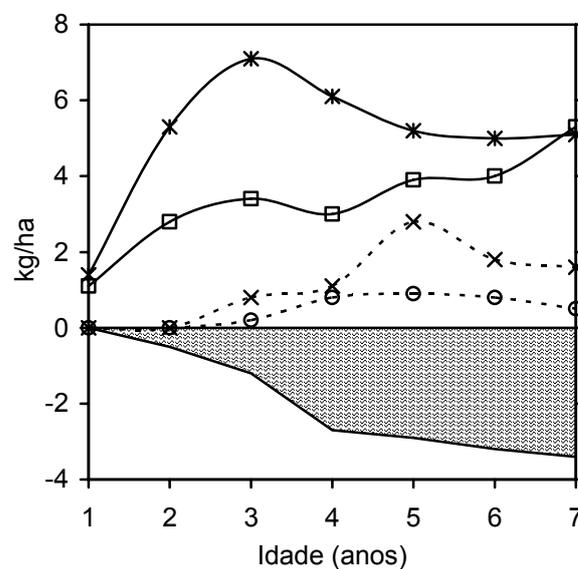
FIGURA 7 - ABSORÇÃO, DEMANDA, ACÚMULO, ALOCAÇÃO, CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE P EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.

Acúmulo total e alocação de P:



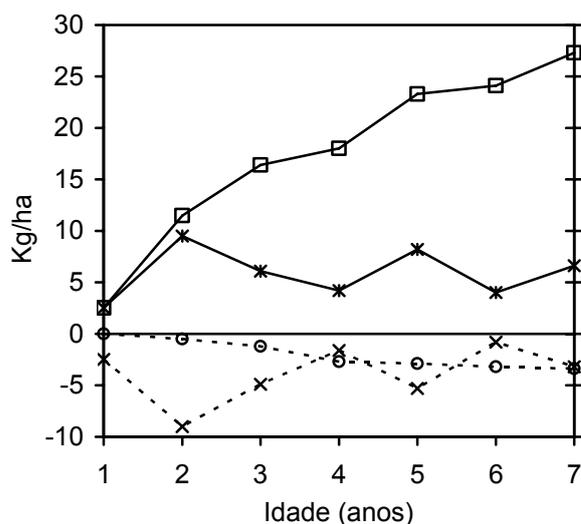
■ Compartimentos da copa
 ▨ Casca
 ▩ Madeira
 - - □ - - Total acumulado

Alocação de P nos compartimentos da copa das árvores e transferências ao solo via serrapilheira:



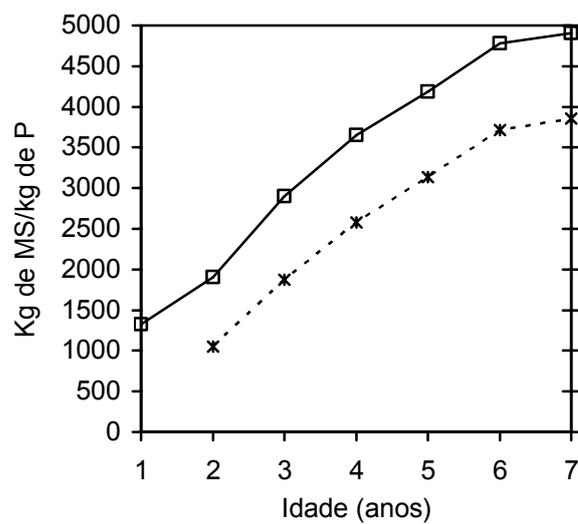
▨ Serrapilheira
 - - x - - Flores + Frutos
 - - ○ - - Galhos mortos
 — * — Folhas
 — □ — Galhos vivos

Absorção e demanda anual de P:



— □ — Acúmulo total de P
 - - ○ - - Retorno de P via serrapilheira
 — * — Absorção anual de P
 - - x - - Demanda anual de P

Índice de eficiência de P:



— □ — Eficiência produção da biomassa total
 - - * - - Eficiência produção de madeira + casca

Potássio

A quantidade de K na biomassa acima do solo aumentou com a idade dos povoamentos, tendo maior incremento até o segundo ano de idade (figura 8). O total de K na biomassa acima do solo foi de 310,8 kg/ha aos sete anos de idade. Considerando cada compartimento individualmente, a alocação de K esteve diretamente relacionada com o crescimento e/ou decréscimo da sua biomassa nas idades de avaliação. A maior quantidade do K, em todas as idades avaliadas, esteve alocada no tronco, sendo que a maior proporção estava na madeira. Na copa, a maior proporção de K foi observado nas folhas até a idade quatro anos e depois nos galhos vivos.

A maior absorção anual de K foi observada no segundo ano, com 108,7 kg/ha, a menor absorção anual foi no primeiro ano, com 19,1 kg/ha. No terceiro ano de idade, a absorção anual de K decresceu para cerca de 60 kg/ha e manteve-se neste patamar até o final da rotação (figura 8).

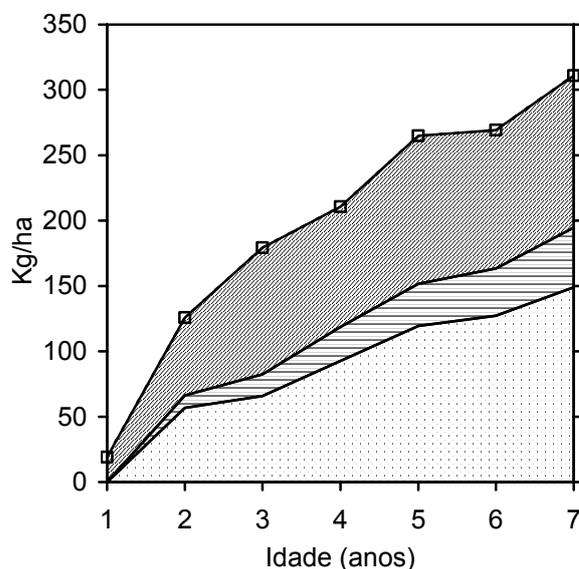
O retorno anual de K via serapilheira ao solo foi crescente com a idade dos povoamentos, apresentando um aporte de 2,0 kg/ha aos dois anos e de 30,6 kg/ha aos sete anos de idade (figura 8). Estas transferências representaram 47,5% do K absorvido do solo no período de quatro a sete anos de idade.

A demanda anual de K foi de 19,1 e 106 kg/ha a um e dois anos de idade, respectivamente (figura 8). Após o segundo ano, a alocação anual de K na biomassa acima do solo reduziu-se para cerca de 40 kg/ha/ano, oscilando entre 4,3 e 54,4 kg/ha/ano.

A eficiência de utilização de K foi maior aos seis e sete anos de idade, quando foram produzidos em média 335 e 429 kg de biomassa no tronco e total, respectivamente, para cada kg de K absorvido (figura 8).

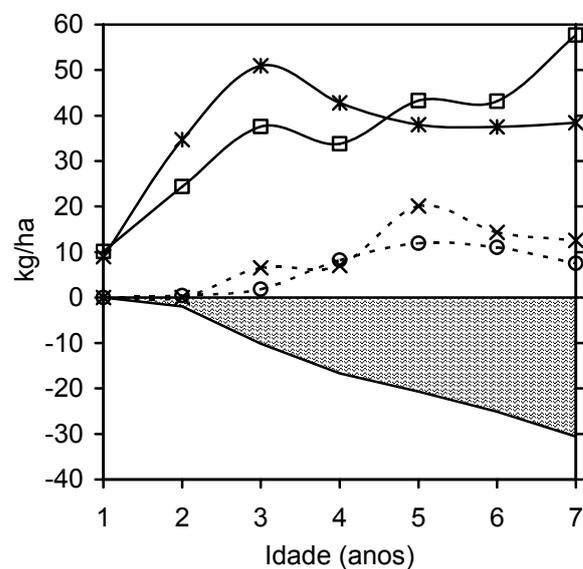
FIGURA 8 - ABSORÇÃO, DEMANDA, ACÚMULO, ALOCAÇÃO, CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE K EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.

Acúmulo total e alocação de K:



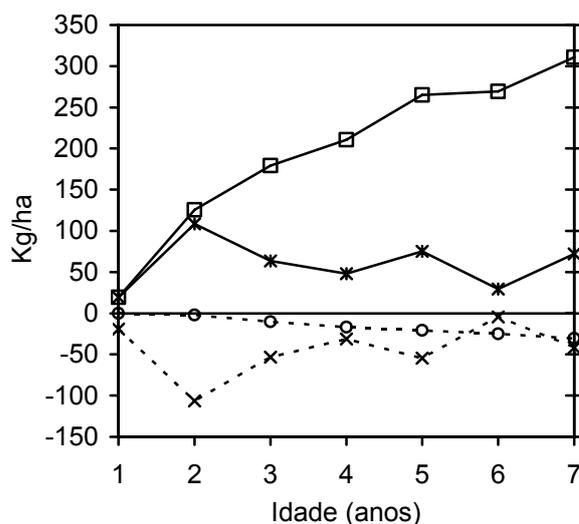
■ Compartimentos da copa
 ▨ Casca
 ▩ Madeira
 - - □ - - Total acumulado

Alocação de K nos compartimentos da copa das árvores e transferências ao solo via serapilheira:



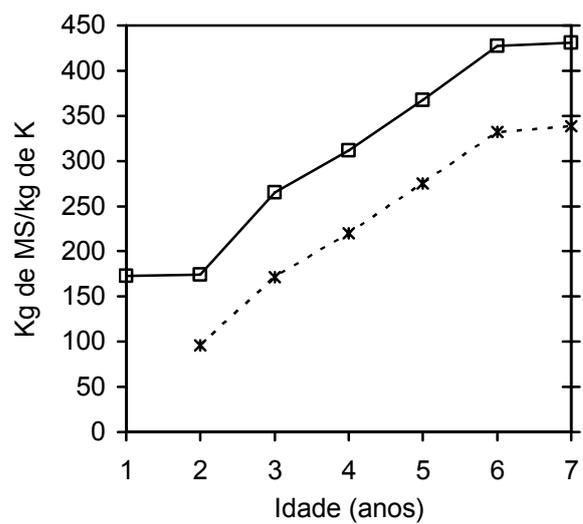
▨ Serapilheira
 - - * - - Flores + Frutos
 - - ○ - - Galhos mortos
 — * — Folhas
 — □ — Galhos vivos

Absorção e demanda anual de K:



— □ — Acúmulo total de K
 - - ○ - - Retorno de K via serrapilheira
 — * — Absorção anual de K
 - - * - - Demanda anual de K

Índice de eficiência de K:



— □ — Eficiência produção da biomassa total
 - - * - - Eficiência produção de madeira + casca

Cálcio

Ao contrário dos demais nutrientes, o acúmulo de Ca na biomassa acima do solo foi mais intenso de quatro a sete anos de idade (figura 9), devido ser um elemento formador da estrutura das paredes celulares e da lignificação dos tecidos da madeira e casca (LAMBERS; CHAPIN III; PONS, 1998). Aos sete anos a quantidade total de Ca foi de 423,9 kg/ha. A casca foi o compartimento da árvore que apresentou maior acúmulo de Ca, seguida pela madeira e galhos vivos. A quantidade de Ca nas folhas e galhos mortos variou conforme a biomassa destes compartimentos nas idades de avaliação, apresentando os maiores valores aos três e seis anos, respectivamente.

A absorção anual de Ca do solo foi de 13,3, 63,8 e 103,9 kg/ha aos 1, 2 e 3 anos de idade, respectivamente; manteve-se em torno de 100 kg/ha no quarto ano e incrementou para aproximadamente 120 kg/ha do quinto ano ao final da rotação.

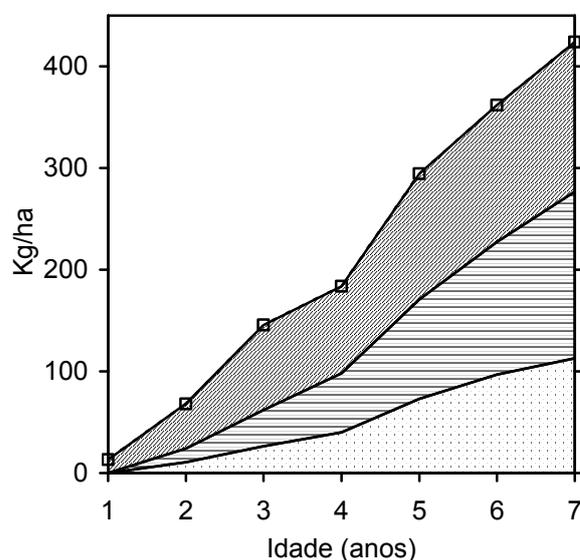
O retorno de Ca via serapilheira cresceu até quatro anos de idade, alcançando 56,7 kg/ha, decresceu para 38,0 kg/ha aos cinco anos e retornou para aproximadamente 60 kg/ha do sexto ao sétimo ano (figura 9). O menor aporte observado aos cinco anos foi em decorrência redução da concentração de Ca no material formador da serapilheira. A partir de quatro anos de idade, o fornecimento de Ca pela serapilheira representou 45,0% do total absorvido do solo.

A demanda de Ca do solo, estimado pelo seu acúmulo na biomassa acima do solo, cresceu com a idade dos povoamentos até a idade de três anos, quando estabilizou-se em torno de 70 kg/ha/ano, com oscilações anuais entre 40 a 110 kg/ha (figura 9).

A maior eficiência do Ca foi observada aos quatro anos de idade para a biomassa total, com 356 kg de biomassa por kg de Ca absorvido (figura 9). Para o tronco, o índice de eficiência cresceu até quatro anos de idade, quando estabilizou-se em 250 kg de biomassa para cada kg de Ca utilizado.

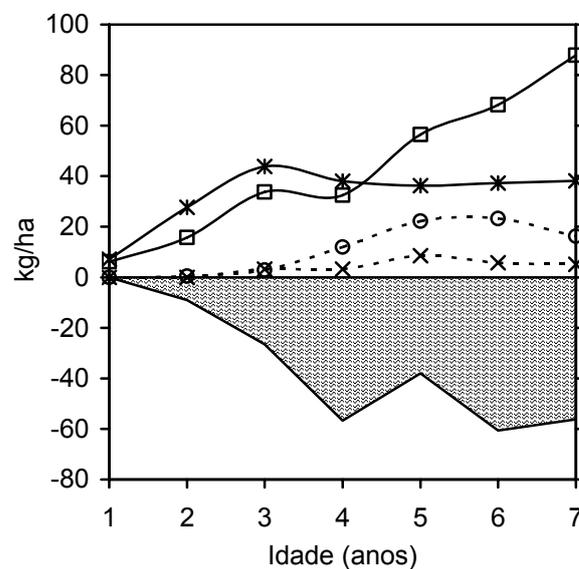
FIGURA 9 - ABSORÇÃO, DEMANDA, ACÚMULO, ALOCAÇÃO, CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE Ca EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.

Acúmulo total e alocação de Ca:



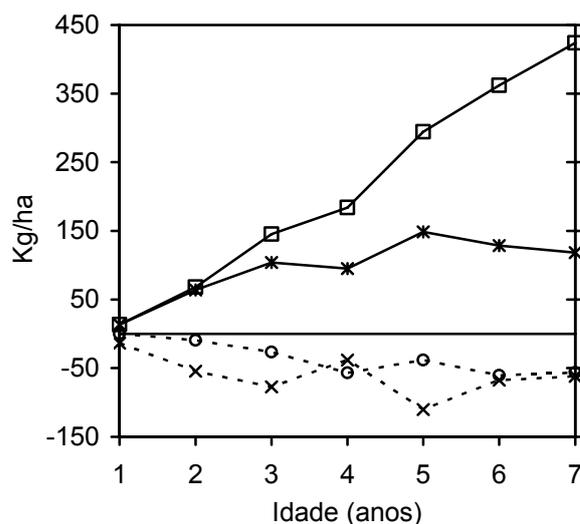
■ Compartimentos da copa
 ▨ Casca
 ▩ Madeira
 - - □ - - Total acumulado

Alocação de Ca nos compartimentos da copa das árvores e transferências ao solo via serrapilheira:



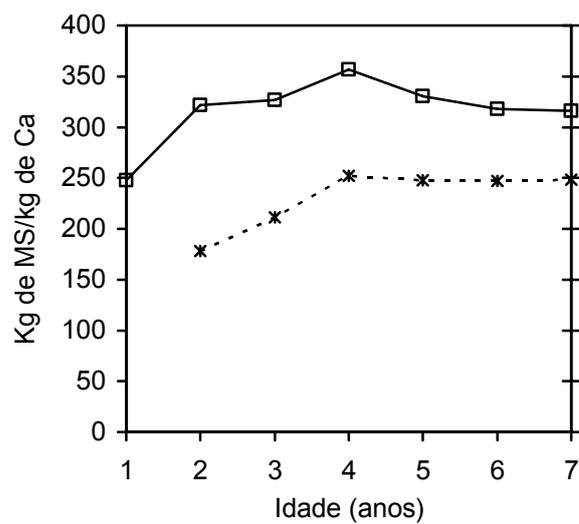
▨ Serapilheira
 - - × - - Flores + Frutos
 - - ○ - - Galhos mortos
 — * — Folhas
 — □ — Galhos vivos

Absorção e demanda anual de Ca:



— □ — Acúmulo total de Ca
 - - ○ - - Retorno de Ca via serrapilheira
 — * — Absorção anual de Ca
 - - × - - Demanda anual de Ca

Índice de eficiência de Ca:



— □ — Eficiência produção da biomassa total
 - - * - - Eficiência produção de madeira + casca

Magnésio

O conteúdo de Mg na biomassa acima do solo cresceu continuamente com a idade dos povoamentos, alcançando 65,0 kg/ha aos sete anos de idade (figura 10). A alocação de Mg nos compartimentos das árvores variou conforme a biomassa acumulada em cada compartimento. A maior quantidade de Mg ao final da rotação foi observada na biomassa da madeira do tronco e dos galhos vivos; na seqüência apareceu a casca e as folhas.

A absorção anual de Mg do solo cresceu com a idade dos povoamentos até três anos, quando se estabilizou em torno de 20 kg/ha/ano, com uma variação entre 13,4 a 24,4 kg/ha (figura 10).

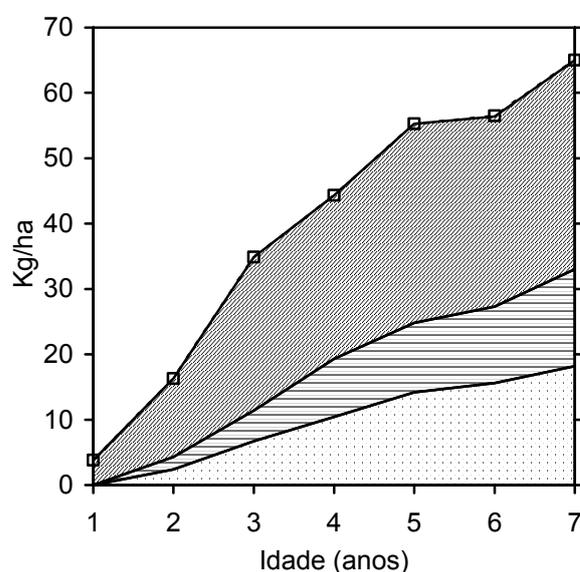
O retorno de Mg ao solo via serapilheira foi de 1,2 e 5,8 kg/ha no segundo e terceiro ano de idade, respectivamente; e de aproximadamente 11,0 kg/ha do terceiro ao sexto ano e aumentou para 15,4 kg/ha no último ano da rotação (figura 10). O Mg fornecido pela serapilheira a partir de quatro anos de idade constituiu 64,9% do total absorvido do solo.

A demanda anual de Mg do solo aumentou até três anos de idade, quando alcançou 18,6 kg/ha (figura 10). Do quarto ano ao final da rotação, esta demanda reduziu e estabilizou-se em torno de 8 kg/ha/ano, com oscilações anuais entre 1,2 a 11,0 kg/ha.

O maior índice de eficiência de utilização de Mg foi obtido aos seis e sete anos de idade dos povoamentos, quando foram produzidos em média 1.600 e 2.050 kg de biomassa do tronco e total, respectivamente, por cada kg de Mg utilizado (figura 10).

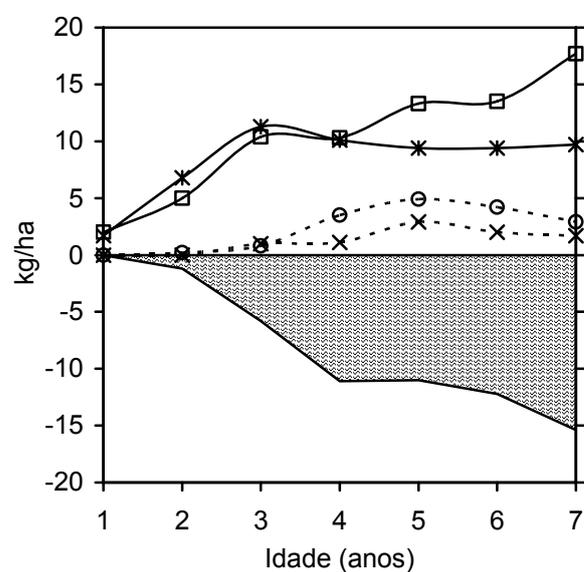
FIGURA 10 - ABSORÇÃO, DEMANDA, ACÚMULO, ALOCAÇÃO, CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE Mg EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.

Acúmulo total e alocação de Mg:



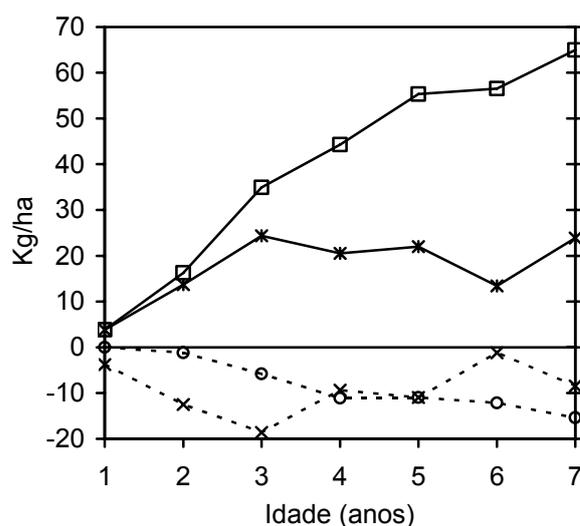
■ Compartimentos da copa
 ▨ Casca
 ▩ Madeira
 - - □ - - Total acumulado

Alocação de Mg nos compartimentos da copa das árvores e transferência ao solo via serapilheira:



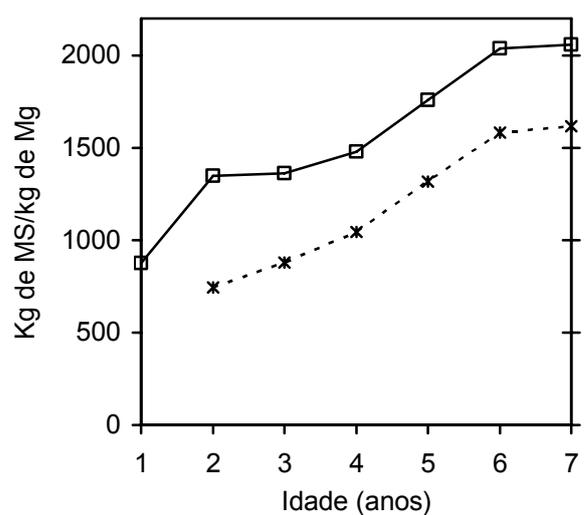
▨ Serapilheira
 - - * - - Flores + Frutos
 - - ○ - - Galhos mortos
 — * — Folhas
 — □ — Galhos vivos

Absorção e demanda anual de Mg:



— □ — Acúmulo total de Mg
 - - ○ - - Retorno de Mg via serrapilheira
 — * — Absorção anual de Mg
 - - * - - Demanda anual de Mg

Índice de eficiência de Mg:



— □ — Eficiência produção da biomassa total
 - - * - - Eficiência produção de madeira + casca

Enxofre

O acúmulo de S na biomassa acima do solo aumentou com a idade dos povoamentos, tendo maior intensidade de acúmulo até três anos de idade (figura 11). Para madeira, casca e galhos vivos, a quantidade de S acumulada cresceu continuamente com a idade dos povoamentos. Nas folhas, o acúmulo de S incrementou até três anos de idade, reduziu no quarto e quinto ano, estabilizando-se em seguida até ao final da rotação. Este comportamento foi similar ao encontrado para o N. Ao final da rotação, o acúmulo de S na biomassa acima do solo foi de 28,7 kg/ha. A copa teve a maior quantidade de S alocada em seus compartimentos, tendo as folhas a maior proporção. No tronco, a madeira foi o componente que apresentou a maior quantidade de S na biomassa.

A absorção anual de S incrementou-se com a idade dos povoamentos, alcançando 10,4 kg/ha aos três anos e estabilizou-se próximo deste valor até ao final da rotação (figura 11).

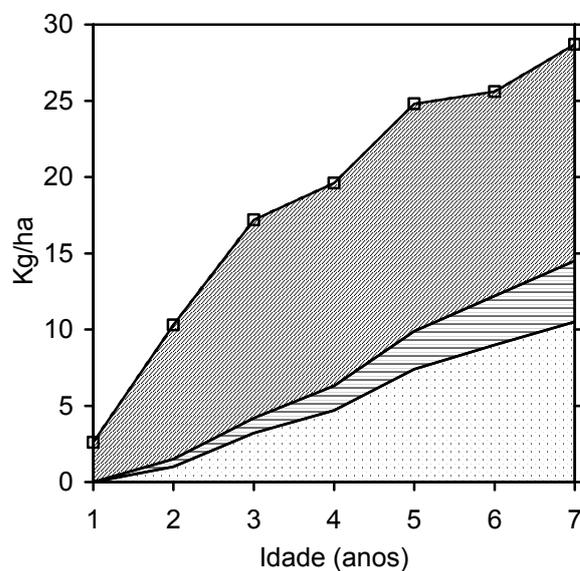
O retorno de S ao solo via serapilheira foi de 1,0 kg/ha no segundo ano dos povoamentos, cresceu para 5,8 kg/ha aos quatro e cinco anos de idade e para 7,3 kg/ha no final da rotação (figura 11). A partir de quatro anos de idade, esta transferência representou 61,1% do S absorvido do solo.

A demanda de S do solo foi maior no segundo ano dos povoamentos, com 7,7 kg/ha (figura 11). Após esta idade apresentou a tendência de redução, com valores anuais variando de 0,8 a 6,8 kg/ha/ano.

A eficiência de utilização de S foi maior aos sete anos de idade, quando produziu 3.670 e 4.670 kg de biomassa no tronco e total, respectivamente, por cada kg de S utilizado na biomassa acima do solo (figura 11).

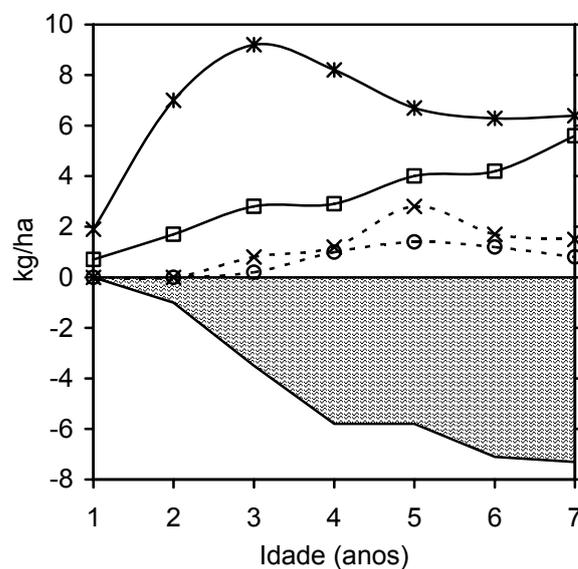
FIGURA 11 - ABSORÇÃO, DEMANDA, ACÚMULO, ALOCAÇÃO, CICLAGEM E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE S EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.

Acumulo total e alocação de S:



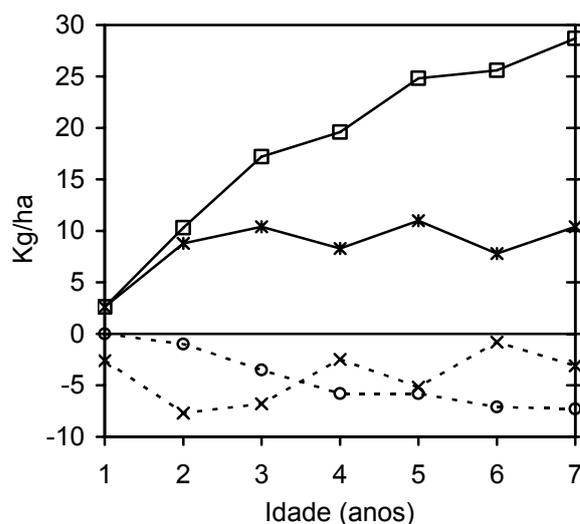
■ Compartimentos da copa
 ▨ Casca
 ▩ Madeira
 - - □ - - Total acumulado

Alocação de S nos compartimentos da copa das árvores e transferências ao solo via serrapilheira:



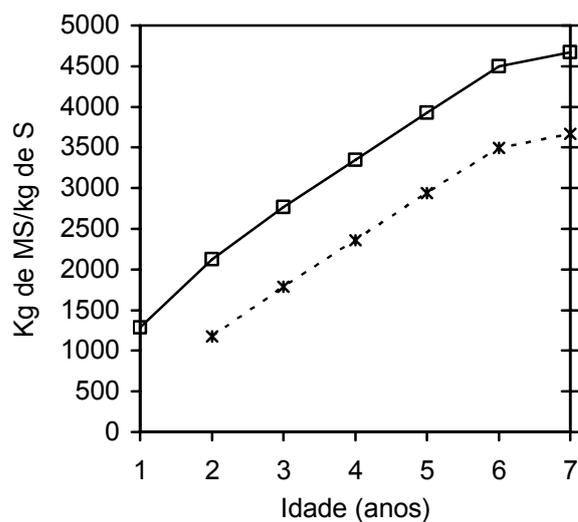
▨ Serrapilheira
 - - * - - Flores + Frutos
 - - ○ - - Galhos mortos
 — * — Folhas
 — □ — Galhos vivos

Absorção e demanda anual de S:



— □ — Acumulo total de S
 - - ○ - - Retorno de S via serrapilheira
 — * — Absorção anual de S
 - - * - - Demanda anual de S

Índice de eficiência de S:



— □ — Eficiência produção da biomassa total
 - - * - - Eficiência produção de madeira + casca

Acúmulo e Ciclagem de Nutrientes e Implicações sobre o Manejo

Os resultados indicaram diferenças entre os nutrientes avaliados quanto à quantidade acumulada, fase de maior absorção e deposição de serapilheira. Estas diferenças podem ter implicações sobre o manejo dos povoamentos, especialmente nas práticas de adubação.

O nutriente mais utilizado pela acácia-negra foi o N (tabela 5). No entanto, provavelmente a maior parte desta demanda foi atendida pela fixação biológica. Desta forma, resposta à adubação com N somente deverá ser observada na fase de mudas ou no início do estabelecimento das plantações, quando a atividade de fixação não foi totalmente estabelecida. Para obtenção de uma boa taxa de fixação biológica é necessário garantir as mesmas condições ambientais que favorecem o crescimento das árvores, como disponibilidade de água e nutrientes, especialmente P e Ca (BINKLEY; GIARDINA, 1997).

As quantidades de Mg e S utilizados pela acácia-negra foram baixas (tabela 5), tendo maior demanda na fase de maior intensidade de formação de copa (segundo e terceiro anos). Provavelmente a maioria dos solos usados pela acacicultura no Rio Grande do Sul possui estoques de Mg e S suficientes para atender a demanda destas plantações. No caso de deficiências, os sintomas deverão ser observados principalmente na fase inicial (até três anos) de crescimento das plantas.

A demanda de P e K foi maior no segundo ano de idade dos povoamentos de acácia-negra. Neste período, ocorreu um crescimento intenso dos compartimentos da copa. Também este é o período de maior crescimento das raízes das árvores, principalmente as raízes finas com função de absorção de nutrientes e água (REIS et al. 1985). Desta forma, maiores respostas à fertilização com P e K deverão ser esperadas quando esta adubação for realizada até o início do segundo ano das plantações e aplicada em local acessível ao sistema radicular em formação.

O P foi o nutriente utilizado em menor quantidade pela plantas (tabela 5); no entanto, respostas à adubação com P têm sido observadas (capítulo 3), devido sua baixa disponibilidade na maioria dos solos. A quantidade de K utilizada foi alta, indicando a necessidade de adubação para um bom desenvolvimento das plantações em solos com baixo teor deste nutriente.

O Ca foi o elemento mineral utilizado em maior quantidade pela biomassa da acácia-negra (tabela 5). A demanda de Ca foi maior após quatro anos de idade, quando a copa e sistema radicular das árvores já deverão estar estabilizados e um grande volume de solo explorado. Desta forma, deficiências de Ca, bem como as respostas à aplicação deste nutriente, deverão ser mais visíveis em povoamentos com idades mais avançadas e estabelecidos em solos com baixa disponibilidade Ca.

A eficiência de utilização dos nutrientes para produção de biomassa do tronco foi maior aos seis e sete anos de idade para todos os nutrientes avaliados. Nesta fase houve a maior produção de madeira e casca por kg de nutriente absorvido, bem como a menor exportação de nutrientes por unidade de biomassa colhida. Desta forma, o menor impacto dos povoamentos de acácia-negra sobre o estoque de nutrientes no solo deverá ser com rotações a cada seis ou sete anos de idade.

A taxa de ciclagem de nutrientes via serapilheira durante a rotação demonstrou a grande importância deste ciclo para o suprimento de nutrientes para a manutenção do crescimento das plantas (tabela 5). Pela serapilheira foram reciclados 59,6% de N, 33,6% de P, 25,3% de K, 36,8% de Ca, 46,6% de Mg e 51,6% de S do total utilizado durante a rotação. A taxa de ciclagem de cada nutriente está relacionada com o seu conteúdo nos compartimentos que sofrem senescência (principalmente folhas) e com sua capacidade de retranslocação de tecidos senescentes para tecidos em formação (CALDEIRA et al., 1999).

Captura de Carbono na Biomassa Aérea

O teor médio de C na biomassa acima do solo foi de 55,8%, variando nos compartimentos entre 53,5% (flores + frutos) a 57,6% (madeira) (tabela 3 e 4). Estas concentrações são maiores que a referenciada para acácia-negra, em que foram citados valores médios próximos de 40% (SCHUMACHER et al., 2001; BARICHELLO, 2003). Esta diferença pode ser resultado de diversas variáveis, como condições de sítio, material genético, tipo de manejo e do próprio método de quantificação do teor de carbono, e/ou de suas interações. Não se verificou uma tendência de aumento da concentração de C nos compartimentos pelo aumento da idade dos povoamentos (tabela 3).

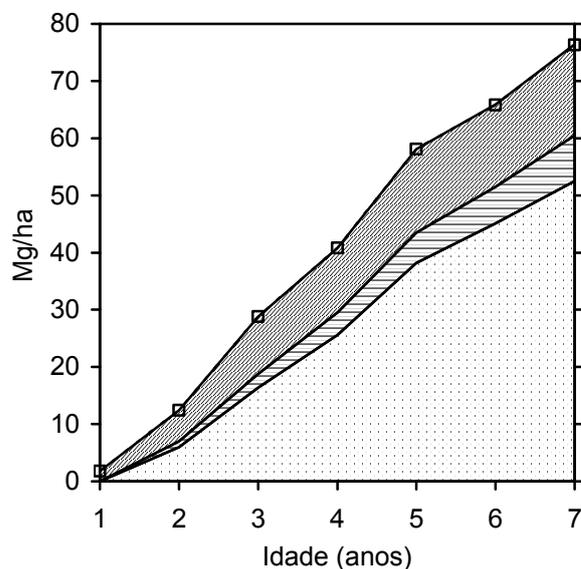
A captura de C na biomassa acima do solo, sua alocação nos compartimentos das árvores e a deposição via serapilheira tiveram um padrão idêntico ao da biomassa (figura 12). Isto ocorreu devido à pequena variação da concentração de C nos compartimentos e idades de avaliação (tabela 3). Desta forma, os resultados e discussão apresentados para o acúmulo da biomassa e deposição de serapilheira são igualmente aplicáveis para a captura e transferências de C.

Foi realizado um balanço para a captura, saída e transferência de C na biomassa acima do solo dos povoamentos de acácia-negra (tabela 5). O total de C capturado durante os sete anos da rotação, considerando o estoque final e as transferências ao solo pela serapilheira, foi de 95,0 Mg/ha. O estoque final de C foi de 76,3 Mg/ha, sendo que 79,3% alocados no tronco (madeira + casca). A deposição de serapilheira transferiu para o solo 18,7 Mg/ha durante a rotação.

As saídas de C da biomassa da plantação foram estimadas em 73,2 Mg/ha, sendo 60,5 Mg/ha pela colheita do tronco (madeira + casca) e 12,8 Mg/ha pela queima dos resíduos de colheita (tabela 5). Considerou-se a queima de somente galhos vivos e mortos e estimaram-se as perdas de C pela queima em 98% (MACKENSEN et al., 1996).

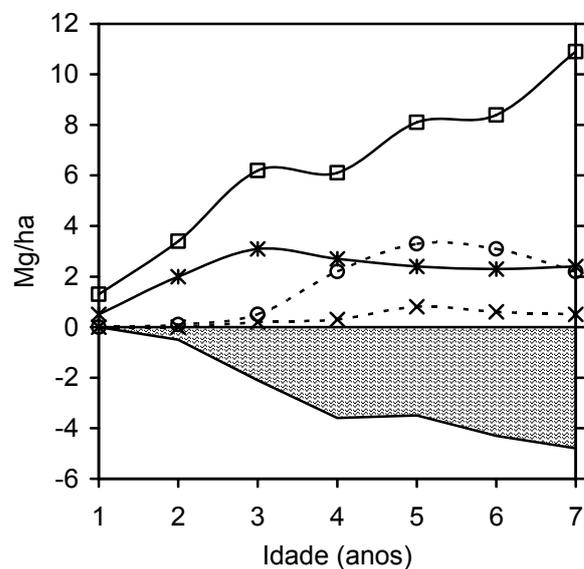
FIGURA 12 - CAPTURA, ALOCAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE C EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA DE UM A SETE ANOS DE IDADE.

Captura total e alocação de C:



■ Compartimentos da copa
 ▨ Casca
 ▩ Madeira
 - - □ - - Total acumulado

Alocação de C nos compartimentos da copa das árvores e transferências ao solo via serapilheira:



▨ Serapilheira
 - - × - - Flores + Frutos
 - - ○ - - Galhos mortos
 - * - Folhas
 - □ - Galhos vivos

O total de C transferido ao solo durante a rotação e o balanço de C da plantação (entradas – saídas) foi de 21,8 Mg/ha, sendo 18,7 Mg/ha pela serapilheira e 3,1 pelos resíduos de colheita (tabela 5). No solo, a decomposição destes componentes libera os nutrientes minerais para processo de troca do solo e o CO₂ para a atmosfera (O'CONNELL; SANKARAN, 1997). O C presente na serapilheira das florestas tropicais é liberado pela respiração num período de três anos (TUMBORE, 2000).

A decomposição da serapilheira é facilitada pelas características físicas e químicas destes materiais, formados principalmente por folhas, que apresenta uma relação C/N menor que 30. Por isto, somente uma pequena parte do C se acumula na fração orgânica estável do solo, que em condições aeróbicas representa em

média 1% do total de C ingresso ao solo (ROBERT, 2002). Entretanto, além das características químicas e físicas dos materiais em decomposição, a formação de complexos estáveis de C no solo depende, do conteúdo e tipo de argila e da disponibilidade de água e nutrientes (JANDL, 2001). No Calhoun Forest, Carolina do Norte, num período de 40 anos observou-se que 4% do C da serapilheira e raízes se fixou na fração estável do solo (RICHTER; MARKEWITZ, 2001, citado por JANDL, 2001).

A mineralização do material orgânico é necessária para manutenção da ciclagem de nutrientes, porém também seria interessante que uma maior parte de C fosse capturada pela matéria orgânica do solo, visando um fluxo positivo de C ao solo. Sistemas agrícolas e florestais com estas características poderiam ser beneficiados por incentivos que foram postulados pelo Protocolo de Kyoto (ROBERT, 2002).

Neste contexto, a substituição da queima dos resíduos de colheita por uma prática silvicultural que eliminasse as larvas do cascudo serrador e mantivesse estes resíduos na área, poderia aumentar o fluxo de C para o húmus do solo. O material queimado é composto principalmente por galhos, que apresenta características que dificultam a decomposição, como alta relação C/N (>100) e alta concentração de lignina (SALAS, 1987). Segundo ROBERT (2002), os reservatórios de C existentes no solo têm diferentes períodos de tempo de resistência, que depende da sua composição bioquímica; por exemplo, a lignina é mais estável que a celulose, com período de decomposição que pode levar décadas ou mais de 1.000 anos.

Balanço Final de Nutrientes

Na tabela 5, é apresentado um balanço de nutrientes para uma rotação de acácia-negra, com corte aos sete anos de idade. Com a colheita do tronco (madeira + casca) e queima de resíduos da colheita, foram retirados do sítio florestal 304,9 kg/ha de N, 17,5 kg/ha de P, 225,9 kg/ha de K, 313,0 kg/ha de Ca, 41,2 kg/ha de Mg e 19,3 kg/ha de S, ou seja, 66,5% de N, 64,2% de P, 72,7% de K, 73,8% de Ca, 67,3% de Mg e 95,9% de S do estoque de nutrientes contidos na biomassa acima do solo dos povoamentos.

A quantidade de nutrientes que retornam ao solo através dos resíduos de colheita foi de 153,3 kg/ha de N, 9,7 kg/ha de P, 84,9 kg/ha de K, 111,0 kg/ha de Ca, 23,7 kg/ha de Mg e 9,4 kg/ha de S (tabela 5).

Para entradas de nutrientes considerou-se a adubação inicial e a estimativa de fixação biológica de N. O total de entradas foi de 685,9 kg/ha de N, 7,3 kg/ha de P e 6,9 kg/ha de K, que representou 60,5% do N, 17,8% do P e 1,7% do K utilizado durante a rotação (tabela 5).

O N foi o único nutriente que apresentou um balanço positivo para as reservas do solo (tabela 5). Considerando as estimativas de fixação biológica, foram aportados 381,0 kg/ha de N durante a rotação. No entanto, no processo de decomposição da matéria orgânica da serapilheira e dos resíduos de colheita podem ocorrer perdas de N por desnitrificação e volatilização, que dependem das características do solo e de seu nível de manejo (FASSBENDER; BORNEMISZA, 1994). A vegetação herbácea do sub-bosque da acácia-negra pode ter sido beneficiada por este aporte de N, bem como os animais que utilizaram estas forrageiras. Este aspecto está discutido no capítulo 6 deste trabalho.

Para os demais nutrientes houve uma retirada de nutrientes das reservas do solo. A quantidade de nutrientes retirados, em uma rotação de sete anos, foi de 313,0 kg/ha de Ca, 219,0 kg/ha de K, 41,2 de kg/ha Mg, 19,3 kg/ha de S e 10,2 kg/ha de P (tabela 5). Para PEREIRA et al. (2000), a colheita da madeira e casca em um povoamento de acácia-negra de nove anos, os nutrientes mais exportados foram N, Ca e Mg. Para a mesma espécie com oito anos de idade, BARICHELLO (2003) encontrou a seguinte ordem de exportação de nutrientes: $K > N > Ca > Mg > P$ e que o nutriente mais limitante para futuras rotações seria o K. Estes autores não consideraram a fixação biológica de N, como estimada neste trabalho.

A quantidade de nutrientes removida via colheita florestal é dependente da qualidade do sítio, da frequência e do sistema de colheita e dos produtos florestais colhidos (GONÇALVES et al., 2000). No caso da acácia-negra, as exportações de nutrientes são incrementadas pela colheita da casca. Este compartimento representou apenas 13,5% da biomassa colhida, no entanto foi responsável remoção de 29,3% do P, 23,4% do K, 59,2% do Ca, 44,9% do Mg e 27,6% do S exportado pela colheita florestal. A casca da acácia-negra é utilizada para a produção de tanino, sendo utilizada para o custeio da colheita florestal nos sistemas de produção da pequena propriedade.

A continua retirada de nutrientes pelas rotações florestais reduz a capacidade produtiva do sítio em futuros ciclos de produção (REIS; BARROS, 1990). Entretanto, os trabalhos publicados, apesar da quantidade limitada, não apontam declínios na produção com as sucessivas rotações das plantações florestais nas regiões tropicais e subtropicais; porém os prováveis casos de declínio podem não ter sido publicado (NAMBIAR; BROWN, 1997). Segundo estes autores (ibidem), a maioria dos exemplos é de aumento da produção com as rotações florestais, resultado da melhoria da silvicultura e do melhoramento genético.

Neste contexto, o melhoramento genético, pela seleção de genótipos mais eficientes na absorção de nutrientes e produção de biomassa, e as práticas de manejo, como a redução da competição e a melhoria das condições físicas dos solos, podem estar impedindo a manifestação de declínios da produtividade florestal devido à redução da disponibilidade de nutrientes no solo.

TABELA 5 - BALANÇO DE NUTRIENTES PARA CADA ROTAÇÃO EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA COM COLHEITA REALIZADA AOS SETE ANOS DE IDADE.

Componente	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio		Enxofre		Carbono	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	Mg/ha	%
Estoque na biomassa aérea no final da rotação														
- Folhas	125,2	27,3	5,1	18,7	38,4	12,4	38,2	9,0	9,7	14,9	6,4	22,3	2,4	3,1
- Flores + Frutos	23,3	5,1	1,6	5,8	12,6	4,1	5,1	1,2	1,7	2,6	1,5	5,2	0,5	0,7
- Galhos vivos + mortos	119,9	26,2	5,8	21,2	65,2	21,0	104,1	24,6	20,6	31,7	6,3	22,1	13,0	17,1
- Casca	113,5	24,8	4,3	15,9	45,6	14,7	163,8	38,6	14,8	22,8	4,0	13,9	8,0	10,5
- Madeira	76,3	16,7	10,5	38,4	149,0	47,9	112,8	26,6	18,2	28,0	10,5	36,5	52,5	68,8
Total	458,2	100	27,3	100	310,8	100	423,9	100	65,0	100	28,7	100	76,3	100
Total utilizado na rotação ¹	1.134,0		41,1		416,0		671,1		121,6		59,2		95,0	
Saída														
- Colheita de madeira + casca	189,8	41,4 ^a	14,8	54,3	194,6	62,6	276,5	65,2	33,0	50,8	14,5	50,4	60,5	79,2
- Queima de resíduos ²	115,1	25,1 ^a	2,7	9,9	31,3	10,1	36,4	8,6	8,2	12,7	4,8	16,8	12,8	16,7
Total	304,9	66,5 ^a	17,5	64,2	225,9	72,7	313,0	73,8	41,2	63,5	19,3	67,3	73,2	95,9
Entrada														
- Fertilização inicial	5,5	0,5 ^b	7,3	17,8	6,9	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-
- Fixação/captura ³	680,4	60,0 ^b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95,0	100
Total	685,9	60,5 ^b	7,3	17,8	6,9	1,7	-	-	-	-	-	-	95,0	100
Transferência ao solo														
- Serapilheira	675,8	59,6 ^c	13,8	33,6	105,2	25,3	247,2	36,8	56,6	46,6	30,5	51,6	18,7	19,7
- Resíduos de colheita	153,3	13,5 ^c	9,7	23,7	84,9	20,4	111,0	16,5	23,7	19,5	9,4	15,9	3,1	3,3
Total	829,1	73,1 ^c	23,5	57,4	190,1	45,7	358,2	53,4	80,3	66,1	39,9	67,4	21,8	23,0
Balanço (entradas-saídas)	381,0	33,6 ^d	-10,2	-24,9	-219,0	-52,6	-313,0	-46,6	-41,2	-33,9	-19,3	-32,6	21,8	22,9

¹Total de nutrientes absorvidos durante a rotação (estoque final + transferências pela serapilheira).

²As perdas de nutrientes foram estimadas pela queima somente dos galhos vivos e mortos, considerando os dados obtidos por MACKENSEN et al. (1996), em que as perdas foram de 98, 96, 76, 48, 47, 40 e 35% para C, N, S, K, P, Mg e Ca, respectivamente.

³Fixação de N durante a rotação, estimada em 60% da absorção anual; captura de C calculada pelo estoque final + deposição pela serapilheira.

^aPorcentagem em relação ao estoque final da plantação.

^bPorcentagem em relação ao total utilizado durante a rotação.

^cPorcentagem de transferência ao solo durante a rotação em relação ao total utilizado.

^dPorcentagem de perda (-) ou ganho (+) de nutrientes em relação ao total utilizado.

CONCLUSÕES

O fechamento de copas das plantações de acácia-negra ocorre aos três anos de idade, enquanto que a taxa máxima de produção de biomassa e o maior índice de eficiência da folhagem para a produção de biomassa ocorre aos cinco anos de idade. A partir do segundo ano, a maior parte dos assimilados da fotossíntese são alocados na biomassa do tronco (madeira + casca), que representa ao final da rotação de sete anos cerca de 80% da biomassa acima do solo.

O acúmulo de nutrientes na parte aérea cresce com o incremento de biomassa acima do solo. A maior quantidade de N, S, P (até cinco anos) e Mg (até seis anos) são acumulados nos compartimentos da copa das árvores e de K, Ca, P (após cinco anos) e Mg (após seis anos) estão alocados no tronco.

A deposição de serapilheira cresce com a idade dos povoamentos, até cinco anos de idade pelo aumento de deposição de folhas + galhos finos e subsequentemente, pela maior produção de material reprodutivo e desrama de galhos grossos. O aporte de nutrientes ao solo via serapilheira, a partir de quatro anos de idade, representa mais que 60% dos nutrientes absorvidos pelas plantas. A taxa de ciclagem de nutrientes via serapilheira varia entre 25,3 a 59,6%, demonstrando a importância deste ciclo para o crescimento das árvores.

A maior demanda de P e K do solo ocorre no segundo ano das plantações, de N, Mg e S a partir de três anos de idade e de Ca após quatro anos. A melhor eficiência dos nutrientes para a produção de biomassa do tronco e a menor exportação de nutrientes por unidade de biomassa colhida é obtida aos seis e sete anos de idade. O Ca e K são nutrientes que poderão limitar a produção florestal em futuras rotações, devido a maior exportação pela colheita florestal. As plantações de acácia-negra apresentam um aporte N para as reservas do solo, indicando a possibilidade de sua utilização para recuperação de áreas degradadas.

3 ADUBAÇÃO DA ACÁCIA-NEGRA COM P E K EM DIFERENTES TIPOS DE SOLOS

INTRODUÇÃO

A adubação é utilizada para aumentar a disponibilidade de nutrientes, principalmente no estabelecimento da plantação florestal, corrigir deficiências existentes no solo ou na planta e repor parte dos nutrientes exportados pela colheita florestal, sendo de grande importância para as espécies de rápido crescimento. A adubação pode ser necessária para atender a demanda de nutrientes que o solo não seja capaz de suprir para um adequado crescimento das plantas (GONÇALVES et al., 1997). As características e quantidade de adubos a aplicar dependerão das necessidades nutricionais da espécie utilizada, da fertilidade do solo, da forma de reação dos adubos com o solo, da eficiência dos adubos e, de fatores de ordem econômica.

Para se definir a fertilização mineral para qualquer cultura há que se dimensionar a demanda de nutrientes da planta para atingir a produção esperada e a quantidade que pode ser suprida pelo solo. Quando, num estágio de crescimento da planta, a demanda é maior do que o solo pode ofertar, nutrientes devem ser adicionados para obter-se a produção esperada (BARROS; NEVES; NOVAIS, 2000).

Segundo estes autores (ibidem), a longevidade e o hábito de crescimento das árvores dificultam a avaliação do aporte de nutrientes pelo solo, em razão de haver ao longo da rotação, sua eventual disponibilização e, também, maior exploração do solo pelas raízes. Portanto, para a boa nutrição das árvores, é necessário balancear a demanda com a oferta de nutrientes, no tempo e no espaço, não devendo ser relacionada apenas com a concentração de nutrientes num dado momento (INGESTAD, 1989).

Espécies florestais do gênero *Eucalyptus* exploram, num primeiro momento, a camada mais superficial do solo e requerem níveis mais elevados de P e menores de K, Ca e Mg (NOVAIS; BARROS; NEVES, 1986). Com o aumento da idade há uma reversão desta demanda e camadas mais profundas do solo passam a ser exploradas. O mesmo comportamento é esperado para a acácia-negra.

Nos solos com características físicas favoráveis de regiões tropicais e subtropicais, a baixa disponibilidade de P é o principal fator limitante para a produção florestal (LAL, 1997). Ademais, a maioria destes solos possui alta capacidade de fixação de P, reduzindo sua disponibilidade para as plantas (FÖLSTER; KHANNA, 1997). A adubação tem sido eficaz para aumentar a disponibilidade de P para as árvores e proporcionar ganhos de produtividade, sendo que métodos aplicação do fertilizante podem minimizar a fixação de P no solo e incrementar a eficiência da fertilização (GONÇALVES et al., 1997). A aplicação de P tem sido recomendada por ocasião do plantio, porém quando em maiores quantidades pode ser parcelada para evitar sua imobilização no solo (GONÇALVES, 1995).

Em geral, os maiores ganhos de produtividade florestal advêm da aplicação de fertilizantes fosfatados, mas à medida que se aumenta o número de rotações, a resposta a outros nutrientes tem se intensificado (BARROS; NEVES; NOVAIS, 2000). Grandes quantidades de nutrientes são removidas do sítio pela colheita florestal, especialmente K e Ca (FÖLSTER; KHANNA, 1997), que, dependendo das condições do solo, podem tornar-se limitantes para a produtividade florestal. Em plantações de *Pinus* e *Eucalyptus*, os sintomas visuais de deficiência e as maiores respostas à adubação têm sido observadas no campo, com maior frequência, na seguinte ordem: $P > N \geq K > Ca > Mg$ (GONÇALVES, 1995).

Os estudos publicados sobre a adubação de plantações de acácia-negra são bem escassos. No Rio Grande do Sul encontrou-se somente um trabalho, no qual foram encontradas respostas a diferentes fontes e doses de P (MAESTRI et al., 1987). Na África do Sul foram desenvolvidos alguns estudos com a aplicação de N, P, K e calagem. Os resultados demonstraram que a aplicação de P e K aumentou a produção de casca em 7,0 Mg/ha e de madeira em 60 m³/ha (HERBERT, 1991).

Devido à escassez de informações, a adubação das plantações de acácia-negra é realizada de modo praticamente empírico, na qual uma única dose e formulação de NPK são utilizadas, independentemente do tipo de solo e do número da rotação. A empresa TANAGRO (s.d.), por ocasião do plantio, utiliza a mesma adubação em todas as plantações, com a aplicação de 50 g/cova de NPK (5-30-15), ou seja, 5,6, 33,5 e 16,5 kg/ha de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. No estudo desenvolvido com pequenos produtores do capítulo 1, a quantidade de adubo variou de 140 a 400 kg/ha de NPK, em duas formulações: 5-30-15 e 5-20-20. Tanto a quantidade como a formulação do fertilizante foi definida por cada produtor, tendo como base seu conhecimento empírico das condições de solo e de cultivo da acácia-negra.

Diante deste quadro, é de fundamental importância a realização de estudos envolvendo a adubação da acácia-negra em diferentes tipos de solos, visando o entendimento de relações solo-planta e possibilitando a formulação de recomendações adequadas de doses dos nutrientes para os principais solos utilizados com plantações da acácia-negra.

O objetivo deste estudo foi avaliar, no estabelecimento do plantio, o efeito da aplicação de Ca e Mg e da adubação com fósforo e potássio sobre o crescimento e produção da acácia-negra aos três anos de idade em diferentes tipos de solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área Experimental

Este trabalho foi realizado nas regiões da Encosta do Sudeste e Serra do Sudeste, nos municípios de Cristal e Piratini, respectivamente. O clima da Encosta da Serra é do tipo Cfa, com precipitações entre 1.200 a 1.400 mm e da Serra do Sudeste do tipo Cfb, com precipitações entre 1.400 a 1.600 mm; ambas com chuvas distribuídas durante todo o ano (RIO GRANDE DO SUL, 1994).

Foram instalados quatro experimentos, em fazendas pertencentes à empresa TANAGRO S.A. Na região de Cristal (Encosta do Sudeste) os ensaios foram realizados nas fazendas Ouro Verde (OV-R) e Timbaúva (TB-N) e em Piratini (Serra do Sudeste) na fazenda Santa Fé (ensaios SF-R e SF-N).

O local do ensaio da fazenda Ouro Verde apresenta declividade suave, altitude de 80 m.s.n.m. e solo classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico (PVAd/OV-R), textura média na superfície e B textural iniciando entre 40 a 60 de profundidade (tabela 1), tendo sido utilizado com plantações de acácia-negra por quatro rotações (28 anos). Na Timbaúva a área experimental tem declividade suave, altitude de 180 m.s.n.m. e o solo é um NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico (RRd/TB-N), textura média e 70 cm de profundidade (tabela 1); a vegetação anterior era a Estepe Gramíneo-Lenhosa, utilizada para pastoreio.

Na fazenda Santa Fé (Serra do Sudeste) foram conduzidos dois ensaios (SF-R e SF-N). A área do experimento SF-R apresenta relevo forte ondulado, altitude de 380 m.s.n.m., e solo classificado como NEOSSOLO LITÍLICO distrófico (RLd/SF-R), textura média e 45 cm de profundidade (tabela 1), usada anteriormente por uma rotação de acácia-negra (7 anos). O ensaio SF-N foi instalado em uma área de relevo suave e altitude de 320 m.s.n.m., num NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico (RRd/SF-N), textura média e 80 cm de profundidade; a vegetação anterior era Estepe-Arborizada, sendo utilizada como pastagem nativa.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E TEXTURAIS DOS SOLOS DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.

Ensaio	Prof. (cm)		P mg/dm ³	M.O. g/dm ³	pH CaCl ₂	H+Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	M	Argila	Silte	Areia	F ²
	Solo ¹	Amostra																	mmol_{c}/dm^{3}										g/kg
PVA _d /OV-R	>120	00-20	6	22	3,8	78	19	1,6	2	2	5	83	6	79	160	128	711	0
		00-40	4	17	3,8	75	22	1,2	1	1	4	79	5	85	187	135	678	0
		00-60	3	16	3,9	85	23	1,9	5	3	10	95	10	71	333	120	547	0
RR _d /TB-N	70	00-20	7	27	4,3	45	7	1,9	9	5	16	61	26	31	137	141	722	30
		20-40	8	20	4,2	59	11	2,4	11	5	18	77	23	41	192	123	685	40
		40-60	8	16	4,1	84	20	3,0	9	4	16	100	17	55	272	136	592	50
RL _d /SF-R	45	00-20	15	63	4,4	102	11	3,1	45	15	62	164	38	16	373	383	244	445
RR _d /SF-N	80	00-20	12	31	4,6	54	4	4,6	29	11	45	99	44	9	199	171	630	80
		20-40	5	16	4,4	73	12	3,8	20	7	30	103	33	31	230	162	607	60
		40-60	2	11	4,2	98	23	3,9	16	6	25	123	24	48	329	160	513	60

¹Profundidade efetiva do solo.

²F: fração cascalho + calhau (>2 mm);

PVA_d/OV-R: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico/Ouro Verde - Reforma;

RR_d/TB-N: NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico/Timbaúva - Área Nova;

RL_d/SF-R: NEOSSOLO LITÓLICO distrófico/Santa Fé - Reforma;

RR_d/SF-N: NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico/Santa Fé - Área Nova

Tratamentos, Preparo da Área, Plantio e Manutenção

Os quatro experimentos tiveram tratamentos iguais, formados pelo fatorial completo ($3^2 = 9$ tratamentos) de três doses de P₂O₅ (0, 33,5 e 67,0 kg/ha, correspondendo a 0, 73,8 e 145,7 kg/ha de superfosfato triplo) e três doses de K₂O (0, 16,5 e 33,0 kg/ha, correspondendo a 0, 27,5 e 55,0 kg/ha de cloreto de potássio). Os ensaios também tiveram um tratamento adicional com as maiores doses de P e K + 1 Mg de calcário dolomítico, como fonte de Ca e Mg.

Todos os tratamentos receberam uma adubação básica de N, com 12 g/planta de sulfato de amônio, correspondendo a 26,7 kg/ha, visando proporcionar um rápido crescimento inicial das mudas. O adubo foi aplicado no plantio, ao lado da muda (12 a 15 cm de distância), enterrado no solo a 5 cm de profundidade. A dose de 33,0 kg/ha de K₂O foi fracionada em duas aplicações, 50% por ocasião do plantio e 50% no início do segundo ano, também enterrado a 5 cm de profundidade. O calcário do tratamento adicional foi distribuído sobre o solo, sem incorporação, somente na linha de cultivo em uma faixa de 1,5 m de largura.

O preparo das áreas novas (TB-N e SF-N) constou de roçagem da vegetação nativa na área total e subsolagem com três hastes a 40 cm de profundidade e duas gradagens na linha de plantio (cultivo mínimo). Nas áreas de reforma (OV-R e SF-R) foram retirados da área experimental os resíduos de colheita (principalmente galhos) e aplicado herbicida (glifosato) nas linhas de cultivo, seguindo a linha de tocos da rotação anterior (plantio direto).

A implantação dos experimentos foi em agosto e setembro de 2003, utilizando-se mudas produzidas em laminados com sementes provenientes de APS de terceira geração. O plantio foi manual, realizado com um saraquá, sem abertura de covas. Nas áreas novas o plantio foi realizado ao longo da linha de subsolagem e nas áreas de reforma entre os tocos da plantação anterior.

O espaçamento de plantio foi de 3,0 m x 1,5 m (2.222 plantas/ha). O tamanho das parcelas foi de 15 m x 13,5 m (202,5 m²), equivalendo a cinco linhas de plantio e nove plantas em cada linha, totalizando 45 plantas/parcela, sendo 15 plantas para medição e 30 plantas de bordadura. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com cinco repetições.

Foi realizado controle de formigas cortadeiras antes do estabelecimento dos experimentos e sempre que necessário após o plantio. Nas áreas novas foi realizada uma capina mecânica com grade hidráulica na linha de cultivo aos três meses de idade. Nas áreas de reforma foi realizada roçagem mecânica da entrelinha, no início do segundo ano, visando o controle de plantas de acácia-negra de regeneração natural. A partir do segundo ano as áreas foram pastoreadas por novilhos, em lotação de 0,3 a 0,5 cabeças/ha. O combate de cascudo serrador foi realizado anualmente a partir do segundo ano, com o recolhimento e queima dos galhos cortados pelo inseto.

Avaliação e Análise dos Dados

Foi medida a altura total (h) das plantas úteis de cada parcela aos 6, 12, 24 e 36 meses de idade. As medições de 6, 12 e 24 meses foram realizadas com régua telescópica, graduada em cm, e avaliação de 36 meses com hipsômetro Blume-leiss. O CAP (circunferência a altura do peito) foi medido aos 24 e 36 meses com fita métrica, graduada em cm.

O volume com casca foi calculado para a avaliação de 36 meses de idade, utilizando-se a seguinte equação, ajustada com dados de cubagem de 100 árvores com três anos de idade, mensuradas em plantios comerciais da região:

$$\ln (V_{cc}) = -9,878589 + 1,036013 \ln (h) + 1,85614 \ln (DAP)$$

As médias de altura total e DAP, e o volume por hectare foram calculados considerando somente as árvores com CAP ≥ 20 cm na avaliação de três anos de idade. Este critério foi adotado em função de observações de campo, pois quase que a totalidade das árvores com CAP <20 cm estavam suprimidas ou dominadas, não sendo utilizadas comercialmente pela mortalidade destas plantas antes do final da rotação. As árvores suprimidas e dominadas (CAP <20 cm) foram analisadas como plantas mortas. Desta forma, a mortalidade de plantas neste estudo inclui as árvores que não são comercialmente aproveitáveis.

A análise de variância foi realizada em duas etapas. Na primeira etapa realizou-se a análise individual de cada ensaio e na segunda foram analisados todos os experimentos conjuntamente. Para a análise conjunta, testou-se a homogeneidade de variâncias, através da relação entre o maior e menor quadrado médio do resíduo, que não deve ser superior a três (PIMENTEL GOMES; GARCIA, 2002). As análises estatísticas foram realizadas no programa SAS (SAS INSTITUTE, 1999), conforme os modelos matemáticos 1 a 5.

$$\text{Modelo 1: } Y_{ijk} = \mu + P_i + K_j + PK_{ij} + B_k + e_{ijk}$$

$$\text{Modelo 2: } Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij}$$

$$\text{Modelo 3: } Y_{ijkl} = \mu + E_k + P_i + EP_{ik} + K_j + EK_{jk} + PK_{ij} + EPK_{ijk} + B(E)_{i(k)} + e_{ijkl}$$

$$\text{Modelo 4: } Y_{ijk} = \mu + E_k + T_i + ET_{ik} + B(E)_{j(k)} + e_{ijk}$$

$$\text{Modelo 5: } Y_i = \beta_0 + \beta_1 P + \beta_2 K + \beta_3 P^2 + \beta_4 K^2 + \beta_5 P5 + e_j$$

onde: Y = Observação de cada parcela;
 μ = média geral;
 P = dose de P (0, 33,5 e 67,0 kg/ha de P_2O_5);
 K = dose de K (0, 16,5 e 33,0 kg/ha de K_2O);
 T = tratamentos (1 a 10);
 E = ensaios (OV-R, TB-N, SF-R e SF-N);
 B = repetição (1 a 5);
 PK = interação das doses de P e K;
 EP = interação ensaio e doses de P;
 EK = interação ensaio e doses de K;
 EPK = interação ensaio e doses de P e K;
 $B(E)$ = repetição dentro de ensaio;
 β_0, \dots e β_5 = coeficientes parciais;
 e = erro experimental.

A análise das doses de adubação de P e K e da interação P x K foi realizada com os nove tratamentos formados pelo fatorial 3^2 , utilizando-se os modelos 1 e 3, para a análise individual e conjunta, respectivamente. Foram ajustadas equações de superfície de resposta de P e K para volume com casca de cada experimento e para o conjunto dos experimentos pelo modelo 5 (ZIMMERMAMM, 2004). O ajuste das equações baseou-se na significância dos efeitos linear e quadrático (teste F), significância dos coeficientes de regressão (teste t) e coeficiente de determinação (R^2).

Na avaliação da aplicação de calcário utilizaram-se os dez tratamentos nos modelos 2 e 4, para a análise individual e conjunta, respectivamente. A comparação da aplicação de calcário com os tratamentos de maiores níveis de P e K foi realizada por contrastes ortogonais pelo teste F (ZIMMERMAMM, 2004).

Os dados de mortalidade de plantas (m) foram transformados (mt) por $mt = \arcsen\sqrt{m/100}$ (STEEL; TORRIE, 1988), sendo os resultados apresentados por médias retransformadas à escala original.

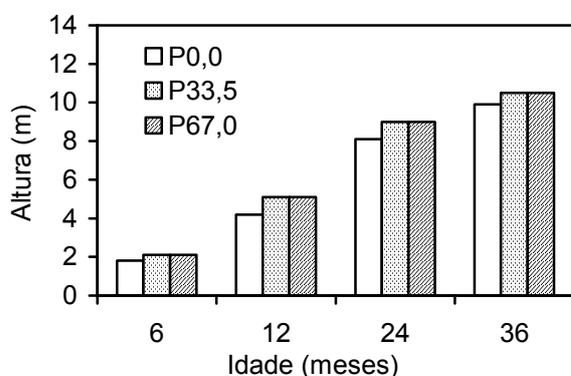
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento e Mortalidade de Plantas

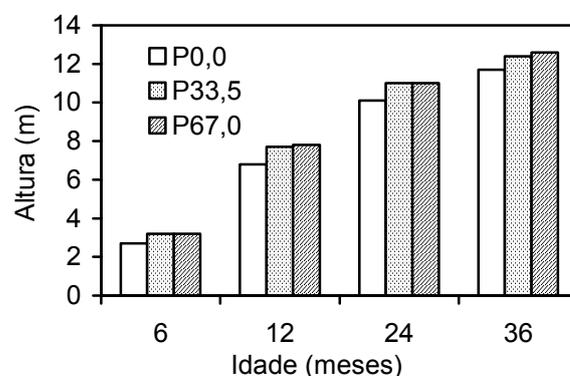
A aplicação de P promoveu um maior ($P < 0,05$) crescimento em altura da acácia-negra nas idades de 6, 12, 24 e 36 meses em três ensaios; este crescimento foi linear no RLd/SF-R e quadrático no PVAd/OV-R e RRd/TB-N (figura 1). No RRd/SF-N não se observou efeito ($P > 0,05$) da aplicação de P sobre a altura das árvores. Para o K encontrou-se efeito quadrático ($P < 0,05$) no crescimento em altura de plantas somente no RLd/SF-R (figura 2). Nos demais ensaios a adubação com K não incrementou a altura das plantas até os 36 meses de idade.

FIGURA 1 - ALTURA DE PLANTAS DE ACÁCIA-NEGRA EM FUNÇÃO DE TRÊS DOSES DE P (0, 33,5 e 67 kg/ha de P_2O_5) EM QUATRO ENSAIOS.

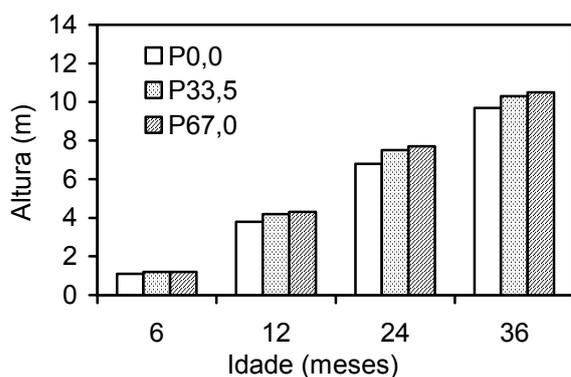
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico/
Ouro Verde – Renova (PVAd/OR-R):



NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico/
Timbaúva - Área Nova (RRd/TB-N):



NEOSSOLO LITÓLICO distrófico/
Santa Fé - Área Nova (RLd/SF-R):



NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico/
Santa Fé - Área Nova (RRd/SF-N):

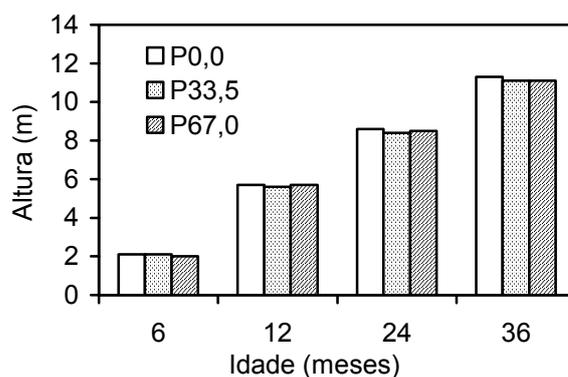
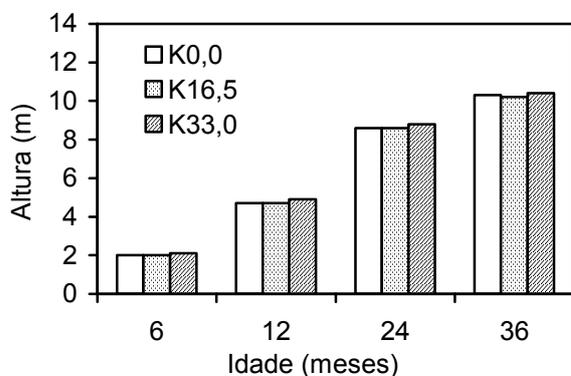
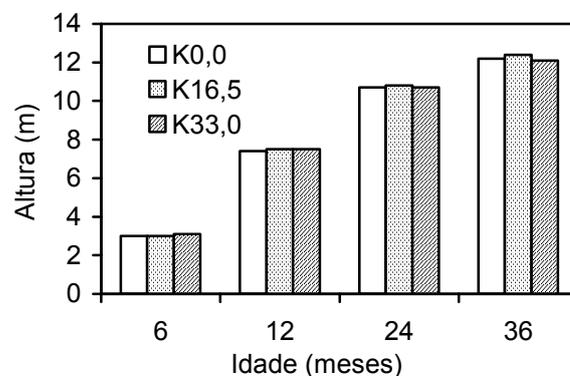


FIGURA 2 - ALTURA DE PLANTAS DE ACÁCIA-NEGRA EM FUNÇÃO DE TRÊS DOSES DE K (0, 16,5 e 33,0 kg/ha de K₂O) EM QUATRO ENSAIOS.

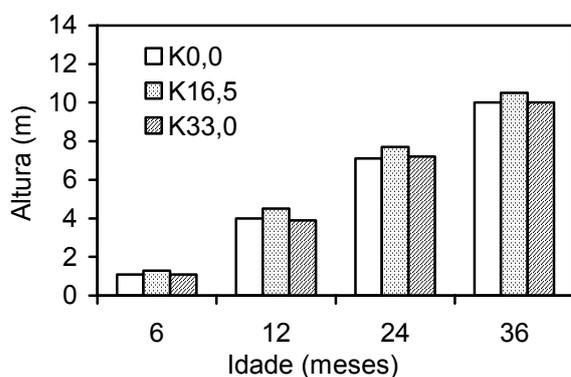
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico/
Ouro Verde – Renova (PVAd/OR-R):



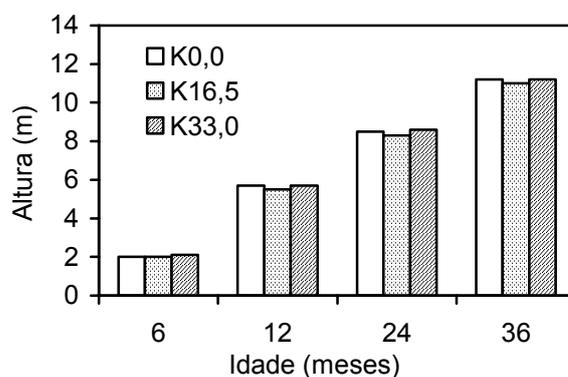
NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico/
Timbaúva - Área Nova (RRd/TB-N):



NEOSSOLO LITÓLICO distrófico/
Santa Fé - Área Nova (RLd/SF-R):



NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico/
Santa Fé - Área Nova (RRd/SF-N):



A porcentagem de plantas mortas + suprimidas (CAP <20 cm) não foi influenciada ($P > 0,05$) pelas doses de P e K nos quatro ensaios avaliados. A aplicação de 1 Mg/ha de calcário dolomítico também não afetou ($P > 0,05$) a mortalidade + plantas suprimidas em nenhum dos ensaios avaliados.

A análise conjunta mostrou a tendência de redução da mortalidade + árvores suprimidas com aumento das doses de P ($P=0,19$) e K ($P=0,08$) (tabela 2), indicando uma melhor uniformidade do povoamento nos tratamentos com as maiores doses. Esta tendência de redução da mortalidade poderá representar incrementos significativos na produção futura. Em plantações de acácia-negra a mortalidade reduz significativamente a densidade de árvores no final da rotação, que apresenta correlação negativa com a produção de madeira (capítulo 1).

Comparando-se os quatros ensaios, encontrou-se que o PVAd/OV-R teve a maior ($P < 0,05$) mortalidade + plantas suprimidas (23,3%) que os demais experimentos (17,0%) (tabela 4). A menor sobrevivência de plantas do PVAd/OV-R pode estar relacionada com a maior competição entre a vegetação herbácea e as plantas de acácia-negra. Esta área experimental foi utilizada anteriormente por quatro rotações, o que levou uma seleção de espécies herbáceas mais adaptadas às condições de sombreamento da acácia-negra; este aspecto é discutido no capítulo 6.

Estudos com adubação P, K e calagem em plantações de acácia-negra na África do Sul indicaram que o aumento de doses de P reduziu significativamente a densidade de árvores aos 10 anos de idade, devido a maior susceptibilidade de plantas mais vigorosas à gomose (HEBERT, 1991). No entanto, as interações entre P, K e calcário foram significativas e demonstraram que a melhor sobrevivência ao final da rotação ocorreu quando se aplicou doses intermediárias destes fertilizantes (243 kg/ha de superfosfato, 60,8 kg/ha de cloreto de potássio e 2,8 Mg/ha de calcário).

TABELA 2 - MÉDIA DE MORTALIDADE + PLANTAS SUPRIMIDAS E PRODUÇÃO DE MADEIRA OBTIDA PELA ANÁLISE CONJUNTA DOS QUATRO ENSAIOS EM FUNÇÃO DE TRÊS DOSES DE P (0, 33,5 e 67 kg/ha de P_2O_5) E DE K (0, 16,5 e 33,0 kg/ha de K_2O).

Mortalidade + Suprimidas (%)					Volume com casca (m^3/ha)				
K_2O (kg/ha)	P_2O_5 (kg/ha)			Média	K_2O (kg/ha)	P_2O_5 (kg/ha)			Média
	0,0	33,5	67,0			0,0	33,5	67,0	
0,0	21,3	21,0	21,3	21,2	0,0	55,8	64,1	69,4	63,1
16,5	19,3	16,7	15,3	17,1	16,5	59,8	71,8	74,3	68,6
33,0	19,3	16,7	16,7	17,5	33,0	57,2	71,0	71,8	66,7
Média	20,0	18,0	17,8		Média	57,6	69,0	71,8	

Produção de Madeira aos Três Anos de Idade

A produção de madeira da acácia-negra no ensaio PVAd/OV-R aumentou linearmente ($P < 0,001$) com as doses de P (figura 3), porém não houve efeito para as doses K (tabela 3). Quando se utilizou a maior dose de P, verificou-se um incremento de 9,0% no volume de madeira pela adubação com K, porém este aumento não foi significativo ($P = 0,12$). A adubação com a dose máxima de P (67,0 kg/ha de P_2O_5) e a intermediária de K (16,5 kg/ha de K_2O) proporcionou um incremento de 31,1% na produção de madeira da acácia-negra (71,3 m³/ha), quando comparada com a obtida na ausência de adubação (54,4 m³/ha).

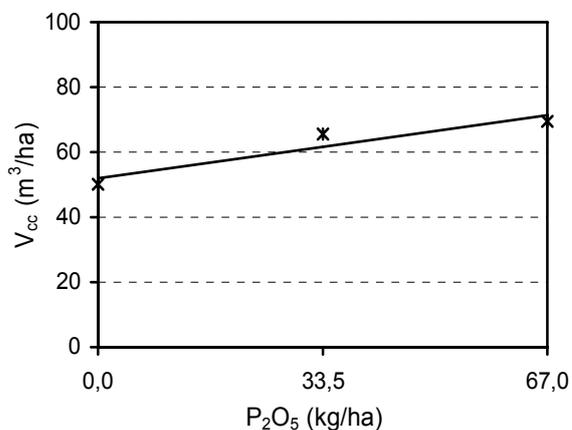
No ensaio RRd/TB-N, os efeitos das doses de P ($P < 0,01$) e K ($P < 0,05$) sobre o volume de madeira de acácia-negra foram quadráticos (figura 3). A resposta máxima (102,1 m³/ha) seria obtida nas doses de 50,7 kg/ha de P_2O_5 e 18,7 kg/ha de K_2O , representando um aumento de 60,5% sobre a produção observada sem adubação (63,6 m³/ha) (tabela 3).

Para o ensaio RLd/SF-R, houve significância dos efeitos do P ($P < 0,001$) e K ($P < 0,05$). A produção de madeira da acácia-negra cresceu linearmente com as doses de P, enquanto que K promoveu efeito quadrático (figura 3). Quando se utilizou a maior dose de P (67,0 kg/ha de P_2O_5), a dose de K para a máxima produção (63,3 m³/ha) seria de 20,6 kg/ha de K_2O . Tal produção, quando comparada com a obtida sem adubação (32,2 m³/ha) (tabela 3), demonstra que estas doses de P e K proporcionaram um incremento de 96,6% no volume de madeira, sendo esta a maior resposta encontrada entre os ensaios estudados.

As doses de P e K utilizadas neste estudo não tiveram efeito ($P = 0,3$) sobre o volume de madeira com casca no ensaio RRd/SF-N (tabela 3), indicando que o teor destes nutrientes no solo foram suficientes para atender as necessidade para o desenvolvimento da acácia-negra até aos três anos de idade.

FIGURA 3 - VOLUME DE MADEIRA COM CASCA DE ACÁCIA-NEGRA AOS TRÊS ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DE TRÊS DOSES DE P (0, 33,5 e 67 kg/ha de P_2O_5) E DE K (0, 16,5 e 33,0 kg/ha de K_2O) EM QUATRO ENSAIOS.

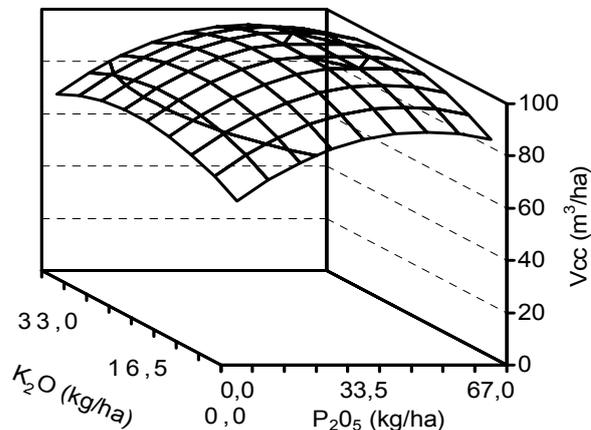
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico/
Ouro Verde – Renova (PVA/OR-R):



$$V_{cc} = 51,9844 + 0,2895 P$$

$$R^2 = 0,89$$

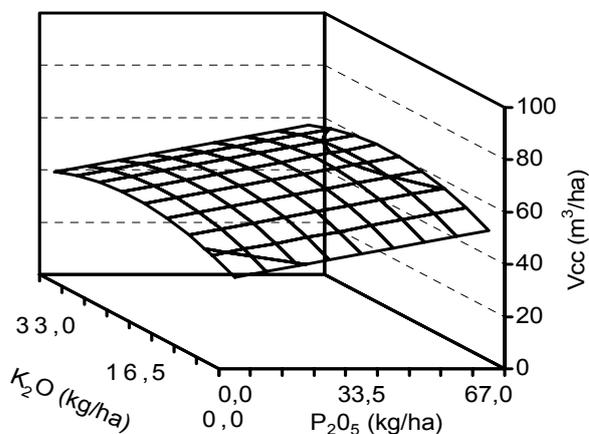
NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico/
Timbaúva - Área Nova (RRd/TB-N):



$$V_{cc} = 62,6634 + 1,0568 P - 0,0105 P^2 + 1,3730 K - 0,0371 K^2$$

$$R^2 = 0,99$$

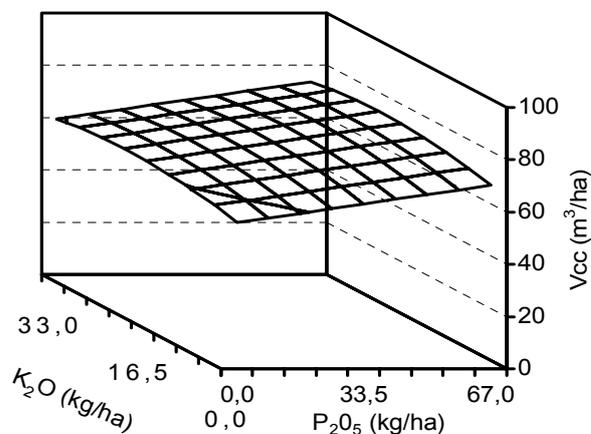
NEOSSOLO LITÓLICO distrófico/
Santa Fé - Área Nova (RLd/SF-R):



$$V_{cc} = 34,9172 + 0,2685 P + 1,1231 K - 0,0301 K^2$$

$$R^2 = 0,93$$

Análise conjunta dos quatro ensaios
(PVA/OV-R, RRd/TB-N, RLd/SF-R e RRd/SF-N):



$$V_{cc} = 55,9634 + 0,2124 P + 0,5638 K - 0,0138 K^2$$

$$R^2 = 0,85$$

Na análise conjunta dos quatro experimentos encontrou-se efeito linear para P ($P < 0,001$) e quadrático para K ($P < 0,05$) (figura 3). Entretanto, as interações entre os ensaios e doses de P foram significativas ($P < 0,001$), determinando que não se poderá utilizar uma única recomendação de adubação com P para os quatro solos estudados. A produção máxima ($76,0 \text{ m}^3/\text{ha}$) na maior dose de P ($67,0 \text{ kg/ha}$ de P_2O_5) foi alcançada com $20,6 \text{ kg/ha}$ de K_2O , representando um aumento de $36,2\%$ sobre o tratamento sem adubação ($55,8 \text{ m}^3/\text{ha}$) (tabela 2).

Os resultados deste trabalho demonstraram que o P foi o nutriente mais importante para crescimento e produção da acácia-negra. Resultados semelhantes têm sido apontados por outros estudos. Respostas lineares a aplicação de doses de 0 a $486,1 \text{ kg/ha}$ de superfosfato ($8,3\%$ de P) sobre o DAP, altura, área basal e volume de madeira foram encontradas para solos distróficos na África do Sul (HERBERT, 1991). No Rio Grande do Sul, MAESTRI et al. (1987) avaliaram diversas fontes e doses P, encontrando efeito linear para superfosfato simples (doses de 0 a 750 kg/ha), termofosfato (doses de 0 a 950 kg/ha) e hiperfosfato (doses 0 a 1.150 kg/ha), e efeito quadrático para fosfato natural de Araxá (doses de 0 a 3.000 kg/ha).

As respostas de produção da acácia-negra à adubação de K observadas nos ensaios RRd/TB-N e RLd/SF-R foram mais evidentes quando foi utilizada na dose ótima de P; e o incremento da produção pela dose ótima de K foi menor do que o aumento pelo nível ótimo de P (tabela 3). Esta mesma tendência foi observada em um estudo na África do Sul, em que o aumento de DAP e altura foram maiores para as doses de P do que para as doses de K (HEBERT, 1991).

A média de volume de madeira dos ensaios estudados foi significativamente diferente entre eles ($P < 0,05$), apresentando a seguinte ordem de produtividade: RRd/TB-N > RRd/SF-N > PVAd/OV-R > RLd/SF-R (tabela 4). Estas diferenças de

produção estão relacionadas com os atributos físicos e químicos destes solos. A menor produção foi encontrada no solo que apresentou características físicas desfavoráveis (RLd/SF-R), devido a pedregosidade e profundidade (tabela 1). Por outro lado, o solo com boa fertilidade sem grandes limitações físicas (RRd/TB-N), apresentou a maior produtividade (tabela 2).

TABELA 3 - VOLUME DE MADEIRA COM CASCA (m³/ha) EM FUNÇÃO DE TRÊS DOSES DE P (0, 33,5 e 67 kg/ha de P₂O₅) E K (0, 16,5 e 33,0 kg/ha de K₂O).EM QUATRO ENSAIOS.

ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico/ Ouro Verde - Reforma (PVAd/OV-R)					NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico/ Timbaúva - Área Nova (RRd/TB-N)				
K ₂ O (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)			Média	K ₂ O (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)			Média
	0,0	33,5	67,0			0,0	33,5	67,0	
0,0	54,4	65,2	65,4	61,7	0,0	63,6	86,1	85,9	78,5
16,5	49,0	68,5	71,3	62,9	16,5	75,2	98,2	99,7	91,1
33,0	51,7	62,9	71,7	62,1	33,0	66,6	92,1	91,4	83,4
Média	51,7	65,6	69,4		Média	68,5	92,1	92,4	

NEOSSOLO LITÓLICO distrófico/ Santa Fé - Reforma (RLd/SF-R)					NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico/ Santa Fé - Área Nova (RRd/SF-N)				
K ₂ O (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)			Média	K ₂ O (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)			Média
	0,0	33,5	67,0			0,0	33,5	67,0	
0,0	32,2	45,1	54,4	43,9	0,0	72,8	60,1	71,7	68,2
16,5	43,7	55,1	63,9	54,2	16,5	76,1	65,5	62,2	67,9
33,0	40,9	51,1	52,5	48,1	33,0	69,5	77,9	71,4	73,0
Média	38,9	50,4	56,9		Média	72,8	68,4	67,8	

TABELA 4 - DAP, ALTURA, MORTALIDADE + SUPRIMIDAS (MORT+SUPR) E VOLUME DE MADEIRA COM CASCA (V_{cc}) DA ACÁCIA-NEGRA AOS TRÊS ANOS DE IDADE NOS QUATRO ENSAIOS.

Ensaio	DAP (cm)	Altura (m)	Mort + supr (%)	V _{cc} m ³ /ha
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico/Ouro Verde - Reforma	9,1 b	10,3 c	23,3 a	61,7 c
NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico/Timbaúva - Área Nova	9,4 a	12,2 a	16,9 b	84,3 a
NEOSSOLO LITÓLICO distrófico/Santa Fé - Reforma	7,7 c	10,1 c	17,1 b	48,8 d
NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico/Santa Fé - Área Nova	8,9 b	11,1 b	17,1 b	69,7 b

Letras minúsculas diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

As repostas das doses de P e K sobre a produção de madeira da acácia-negra não tiveram relação somente com os teores destes nutrientes no solo (tabela 1 e 3; figura 3). Foram encontrados efeitos lineares a doses de P, tanto no solo com a menor disponibilidade de P (PVAd/OV-R, com 6 mg/dm³ de P) como no solo com maior teor (RLd/SF-R, com 15 mg/dm³ de P). Por outro lado, solos que possuíam teores intermediários de P não tiveram respostas à adubação deste nutriente (RRd/SF-N, com 12 mg/dm³ de P) ou estas respostas foram menores, ou seja quadrática (RRd/TB-N, com 8 mg/dm³ de P).

Resultados similares também foram encontrados para as doses de K (tabela 1 e 3; figura 3). O solo com a menor disponibilidade de K (PVAd/OV-R, 1,9 mmol_c/dm³ de K) não apresentou efeito da aplicação com este nutriente, enquanto que solos com maiores disponibilidades, as respostas foram significativas (RRd/TB-N com 3,0 mmol_c/dm³ de K e RLd/SF-R com 3,1 mmol_c/dm³ de K).

Estes resultados demonstraram que as repostas a adubação de P e K dependem de interações entre atributos físicos e químicos do solo. A acácia-negra é capaz de se desenvolver bem em solos com características físicas desfavoráveis, desde que apresentem características químicas desejáveis ou com características químicas desfavoráveis e físicas apropriadas (RACHWAL; CURCIO; DEDECEK, 1997).

Entre os solos avaliados, o RLd/SF-R apresentou a maior disponibilidade de P e um alto teor de K, porém é um solo raso (45 cm de profundidade efetiva) e pedregoso (445 g/kg de cascalho + calhau). Estas características limitaram o crescimento do sistema radicular das árvores e o volume de solo explorado pelas raízes no horizonte superficial (tabela 1). Por isto foram encontradas resposta a adubação de P e K, que em parte pode compensar as limitações físicas deste solo.

O sistema radicular da acácia-negra é predominantemente superficial, mesmo em solos com boas características físicas. Em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO observou-se que 60% das raízes desta espécie estavam na camada de 0 a 25 cm, mas que 12% e 7% estavam na profundidade entre 50 e 75 cm e 75 e 100 cm, respectivamente (PAULINO et al., 2003). Contudo, raízes que alcançam camadas mais profundas do solo podem contribuir significativamente para a absorção de nutrientes. As raízes que alcançam mais de 50 cm de profundidade, em *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*, tem potencial de absorver mais que 50% dos requerimentos de P das plantas durante curtos períodos, sendo que a eficiência destas raízes é influenciada pela disponibilidade de água no perfil do solo (COMERFORD et al., 1997).

Na África do Sul, SCHÖNAU; ALDWORTH (1991) encontraram correlações positivas entre a profundidade efetiva do solo e a altura dominante da acácia-negra. O RLd/SF-R foi o ensaio que apresentou a menor profundidade (tabela 1) e também a menor média de volume de madeira (tabela 4). Nas espécies arbóreas uma pequena redução na produção primária bruta, causada por qualquer limitação ambiental, pode provocar um grande declínio na produção de madeira (BINKLEY; O'CONNELL; SANKARAN, 1997).

Segundo WOLKOWSKI (1990), a compactação dos solos, característica física que também limita o crescimento radicular, pode reduzir a produção dos cultivos. No entanto, a adubação pode compensar parcialmente estas limitações, devido à concentração de nutrientes em partes do solo mais acessíveis as raízes das plantas.

Em contraste ao RLd/SF-R, o PVAd/OV-R apresentou características físicas favoráveis (profundo, poroso e livre de pedregosidade), porém baixos teores de P e K (tabela 1). Nesta condição, encontrou-se resposta linear a doses de P e não houve efeito da adubação de K. Neste caso, o maior volume de solo explorado pelas raízes

pode ter compensado os baixos teores de K disponíveis no PVAd/OV-R. A produção florestal em solos com características físicas favoráveis é frequentemente correlacionada com a disponibilidade de nutrientes (LAL, 1997).

A relação entre a disponibilidade de P e K no solo e respostas à adubação pode ser observada quando se compara solos com características físicas semelhantes. Este foi o caso do RRd/TB-N e RRd/SF-N. O RRd/TB-N apresentou menores teores de P e K, tendo sido encontrados efeitos quadráticos para as doses destes nutrientes. Já no RRd/SF-N não foram encontradas respostas a adubação de P e K, devido a maior disponibilidade destes nutrientes no solo (tabela 1). Estes resultados confirmam os obtidos no capítulo 1, em que foram observadas, em solos sem limitações físicas, correlações positivas entre os teores de P e K no solo e a altura dominante da acácia-negra.

Efeito da Aplicação de Ca e Mg

A aplicação 1 Mg/ha de calcário dolomítico não teve efeito ($P < 0,05$) sobre o crescimento (DAP e altura) ou produção de madeira da acácia-negra em nenhum dos experimentos (tabela 5), indicando que a disponibilidade de Ca e Mg existente nos solos experimentais foram capazes de suprir a demanda para o crescimento da acácia-negra até aos três anos de idade. Em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO do Município General Câmara-RS, MAESTRI et al. (1987) avaliaram a adubação de 75 kg/ha de P_2O_5 (superfosfato simples) com e sem a aplicação de 3 Mg/ha de calcário dolomítico. Estes autores também não encontraram diferenças significativas entre os tratamentos com e sem calagem. Em contraste, na África do Sul verificou-se um incremento da área basal de 24,5 para 27,7 m²/ha aos dez anos de idade em função da aplicação de 2,8 Mg/ha de calcário, quando combinado com a adubação de P e K (HEBERT, 1991).

No estudo do capítulo 2 deste trabalho encontrou-se que a demanda anual de Ca foi maior após quatro anos de idade, sendo que respostas à aplicação de Ca possivelmente deverão ser observadas somente em idades mais avançadas e em locais com baixa disponibilidade deste nutriente em todo o perfil do solo.

O PVA_d/OV-R foi o solo que apresentou os menores teores de Ca e Mg (tabela 1). Este solo, segundo a classificação de RAIJ et al. (1996), apresentou baixo teor de Ca no horizonte superficial ($\leq 3 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$) e médio no B textural (4 a 7 $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$), e uma baixa disponibilidade de Mg nos dois horizontes ($\leq 4 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$). Dois fatores, não excludentes, podem ter contribuído para que não houvesse resposta da acácia-negra a aplicação de Ca e Mg neste solo. O primeiro está relacionado à capacidade de adaptação desta espécie a solos com baixos teores destes nutrientes.

Na África do Sul não foram encontradas relações entre o crescimento da acácia-negra e os teores de Ca e Mg nos solos, que apresentaram valores mínimos de $4 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ (SCHÖNAU; ALDWORTH, 1991); o mesmo ocorreu no estudo do capítulo 1, em que os menores teores de Ca e Mg foram de $1 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$. O outro fator está relacionado com as boas condições físicas do solo PVA/OR-R (profundo, poroso e livre de pedregosidade), que propiciou um bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas, e conseqüentemente uma maior área de absorção de nutrientes e água.

O contrário deve ter ocorrido com o RL_d/SF-R, no qual as características físicas limitantes, em função da alta pedregosidade (445 g/ka) e da exígua profundidade (45 cm), podem ter sido compensadas pela alta disponibilidade de Ca e Mg (45 e $15 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$, respectivamente) existente neste solo (tabela 1).

Os RRd/TB-N e RRd/SF-N apresentaram altos teores de Ca ($>8 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$) e médios de Mg ($>4 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$), sem grandes limitações físicas (profundidade >70 cm, pequena pedregosidade) (tabela 1); por tanto, nestas condições também não se verificou respostas à aplicação de Ca e Mg.

BARICHELLO (2003) encontrou que o estoque de Ca e Mg em um solo com a média de 6 e 3 mmol_c/L , respectivamente, nos primeiros 60 cm de profundidade, seriam suficientes para aproximadamente nove rotações de acácia-negra. Desta forma, há necessidade de monitorar os teores de Ca e Mg nos solos das novas rotações, especialmente do PVAd/OR-R, para evitar que deficiências destes nutrientes limitem a produção da acácia-negra.

TABELA 5 - EFEITO DA APLICAÇÃO DE CALCÁREO DOLOMÍTICO SOBRE O VOLUME DE MADEIRA COM CASCA (m^3/ha) PRODUZIDA PELA ACÁCIA-NEGRA AOS TRÊS ANOS DE IDADE.

Tratamento	Solo/Ensaio				Média
	PVAd/OV-R	RRd/TB-N	RLd/SF-R	RRd/SF-N	
P_2K_2	71,7	91,4	52,5	71,4	71,8
$\text{P}_2\text{K}_2 + 1,0 \text{ Mg/ha}$ de calcáreo	62,3	96,6	62,0	68,7	72,6
Valor F	1,94 ^{ns}	0,46 ^{ns}	1,47 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,04 ^{ns}

P_2 : 67 kg/ha de P_2O_5 ;
 K_2 : 33 kg/ha de K_2O
 ns: não significativo

PVAd/OV-R: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico/Ouro Verde - Reforma;
 RRd/TB-N: NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico/Timbaúva - Área Nova;
 RLd/SF-R: NEOSSOLO LITÓLICO distrófico/Santa Fé - Reforma;
 RRd/SF-N: NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico/Santa Fé - Área Nova

CONCLUSÕES

A adubação de P e K aumenta a produtividade da acácia-negra, sendo que a aplicação de P promove os maiores incrementos no crescimento e na produção de madeira que a utilização de K. Por outro lado, as respostas à adubação de K são mais pronunciadas em presença de dose ótima de P.

Solos rasos e com alta pedregosidade, mesmo possuindo boa fertilidade, apresentam restrições à produção de madeira da acácia-negra, devido a limitações no crescimento radicular e na absorção de nutrientes e água.

A calagem, como fonte de Ca e Mg, não tem efeito sobre o crescimento, mortalidade de plantas e produção de madeira da acácia-negra até três anos de idade, mesmo em solos com baixa disponibilidade destes nutrientes.

As respostas a adubação de P e K sobre a produção da acácia-negra dependem de interações entre as características físicas e químicas dos solos. Solos com menores teores de P e K, mas com características físicas favoráveis, não apresentam respostas a doses destes nutrientes ou estas são menores do que em solos com maiores teores destes nutrientes, porém com características físicas desfavoráveis. A adubação pode compensar parcialmente as limitações físicas dos solos.

4 SUSCEPTIBILIDADE DE AMBIENTES CAMPESTRES A INVASÃO DA ACÁCIA-NEGRA

INTRODUÇÃO

Espécies invasoras são aquelas que não sendo originárias de um determinado ambiente ou ecossistema, nele se estabelecem após serem introduzidas pela ação humana ou por fatores naturais, passando a se reproduzirem e dispersarem neste novo ambiente sem a ajuda direta do homem (IBGE, 2004c). As invasoras ocupam espaço de espécies nativas, tendendo a tornarem-se dominantes após um período de tempo mais ou menos longo (ZILLER, 2000).

As espécies invasoras constituem-se numa séria ameaça à integridade e à sobrevivência de muitas comunidades e ecossistemas, devido à interrupção de processos biológicos, redução da biodiversidade, extinção de espécies e perdas econômicas, tendo implicações sobre a saúde e bem estar humano e sobre o desenvolvimento sustentável (MOONEY, 2001; IBGE, 2004c).

Algumas espécies de árvores exóticas introduzidas para fins florestais e agroflorestais podem tornar-se invasoras de ecossistemas naturais e ambientes perturbados em recomposição. A magnitude do problema de invasão tem aumentado significativamente durante as últimas décadas, pelo incremento do desmatamento e mudanças no uso do solo. As espécies que causam os problemas mais graves são geralmente aquelas que têm sido amplamente plantadas por um longo tempo (RICHARDSON, 1998).

As características biológicas da acácia-negra a capacitam como potencial invasora dos ambientes em que for introduzida (HEAR, 2005). É uma pioneira de rápido crescimento, eficiente fixadora de nitrogênio, possui capacidade de adaptação a uma grande variedade de ambientes e habilidade de colonizar áreas

alteradas e degradadas (KANNEGIESSER, 1990). Produz grande quantidade de sementes em idade jovem (STEIN; TONIETTO, 1997), que permanecem viáveis por vários anos, tendo a germinação ativada pela queima e distúrbios no solo (PIETERSE; BOUCHER, 1997). A dispersão das sementes ocorre principalmente por gravidade, estando limitada a pequenas distâncias, mas também podem ser dispersas pela água e outras formas não intencionais (HENDERSON, 1989).

A acácia-negra é classificada entre as 100 espécies exóticas com maior potencial invasor do mundo (LOWE et al., 2004). É uma invasora reconhecida no Havaí (HEAR, 2005) e na África do Sul, Suazilândia e Zimbábue (HENDERSON, 2003). Numa avaliação de riscos ambientais baseado nas características biológicas e comportamento da espécie (DAEHLER et al., 2004), verificou-se que a acácia-negra pode causar significativos danos ambientais e econômicos no Havaí e em outras Ilhas do Pacífico (HEAR, 2005).

Na África do Sul é declarada como invasora pela legislação, podendo ser cultivada somente em áreas demarcadas sob condições controladas (HENDERSON, 2003). A invasão ocorre principalmente em beira de estradas, estepe sulafricana e margens de cursos d'água (HENDERSON, 1989). Plantas invasoras, incluindo a acácia-negra, ocupam cerca de 8% da superfície daquele país, causando graves impactos ambientais aos seus ecossistemas naturais.

A vazão dos rios na África do Sul reduziu-se em 6,7%, devido ao excessivo uso de água pelas árvores invasoras, sendo que um programa efetivo de controle deverá ter um custo anual de US\$ 92 milhões nos próximos 20 anos (MAITRE et al., 2002). Modelos de predição de invasão demonstram que se nenhuma medida de controle for tomada, somente seis espécies invasoras arbóreas dos gêneros *Acacia* e *Pinus* poderão cobrir mais de 89% da Península Cape, com conseqüências irreversíveis sobre a biodiversidade local (HIGGINS et al., 1999).

No Brasil ainda não existem dados que comprovem o comportamento da acácia-negra como invasora de ambientes naturais. Entretanto, esta espécie normalmente é encontrada ocupando ambientes perturbados adjacentes aos cultivos, como margens de estradas. Estudos sobre o comportamento invasor da espécie nos ambientes naturais são de suma importância para identificar medidas de monitoramento e controle que evitem que o problema de invasão tome dimensões de difícil controle, como está ocorrendo na África do Sul e Havaí.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a frequência, a intensidade e o padrão de invasão da acácia-negra a ambientes campestres e propor medidas de monitoramento e controle.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

Este trabalho foi realizado nos municípios de Piratini e Cristal, pertencentes a regiões ecoclimáticas distintas do Rio Grande do Sul: Encosta do Sudeste (Cristal) e da Serra do Sudeste (Piratini) (FORTES, 1956). Estas regiões apresentam diferenças quanto ao solo, relevo, vegetação e clima. As áreas avaliadas na região da Encosta do Sudeste apresentam altitudes entre 50 e 100 m acima do nível do mar, relevo com inclinações suaves e moderadas, precipitações entre 1.200 a 1.400 mm (RIO GRANDE DO SUL, 1994) e cobertura vegetal pela transição entre floresta estacional semidecidual, estepe gramíneo-lenhosa e formações pioneiras (IBGE, 2004b).

As áreas da região da Serra do Sudeste apresentam altitudes entre 250 e 350 m acima do nível do mar, relevo bastante diversificado com inclinações de moderadas a fortes, precipitações entre 1.400 a 1.600 mm (RIO GRANDE DO SUL, 1994) e cobertura vegetal pela estepe arborizada, com as matas de galeria formada por remanescentes da floresta estacional semidecidual (IBGE, 2004b).

Em cada região (Cristal e Piratini) foram escolhidas duas áreas que apresentavam mais de uma rotação de cultivo de acácia-negra, uma com plantios jovens (um ano de idade em 2004) e outra com plantios adultos (cinco anos de idade em 2004). As características e uso de cada área avaliada estão apresentados na tabela 1.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS E USO DAS ÁREAS AVALIADAS NAS REGIÕES DE CRISTAL E PIRATINI.

Características	Cristal		Piratini	
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
Idade em 2004 (anos)	1	5	1	5
Número de rotações	5	4	2	2
Área total (ha)	2.032	424	704	1.243
Acácia-negra (ha)	1.196	237	325	502
Eucalipto (ha)	5	1	4	5
Floresta (ha)	379	75	247	310
APP em recuperação	64	-	22	-
Campo nativo* (ha)	10	30	12	239
Agricultura e pastagens (ha)	68	-	2	158
Estradas e serviços (ha)	58	6	18	19
Capoeira (ha)	4	4	66	-
Banhado (ha)	229	68	5	6
Outros** (ha)	19	3	3	4

FONTE: TANAGRO S.A.

*Inclui APP sem uso recente.

**Afloramento de rocha, sanga e açude.

Ambientes Avaliados

Inicialmente foi realizado um levantamento exploratório das áreas adjacentes aos cultivos da espécie, sendo verificado que somente nos ambientes campestres encontrou-se plantas invasoras de acácia-negra. Como planta pioneira, esta espécie é incapaz de se estabelecer em ambientes sombreados de floresta ou de capoeira, mesmo existindo uma grande quantidade de sementes no solo. Entretanto, faz-se necessário ressaltar que, ambientes protegidos por floresta ou capoeira, que possuam banco de sementes no solo, apresentam uma potencialidade de invasão da acácia-negra, desde que ocorra uma perturbação na cobertura vegetal nativa com exposição do solo a plena luz.

A vegetação dos ambientes campestres é formada predominantemente por gramíneas e outras espécies herbáceas, podendo possuir árvores e arbustos nativos espaçadamente ou em pequenos capões. Foram avaliados sete ambientes campestres, conforme definição e caracterização descrita a seguir:

- a) Área de Preservação Permanente (APP) em recuperação: área dentro de APP's com menor grau de hidromorfismo, utilizada com plantios de acácia-negra até há dois anos e mantida, deste então, sem intervenção para recuperação da vegetação nativa; ambiente encontrado somente em áreas adjacente aos plantios de jovens (1 ano de idade).
- Solos: em Cristal apresentam textura média na superfície e B textural ou lençol freático a mais de 60 cm de profundidade e em Piratini apresentam textura média com contato litóide entre 50 a 100 cm de profundidade, podendo possuir o lençol freático a mais de 50 cm.
 - Vegetação: gramíneas e ervas com 0,2 a 1,0 m de altura.
 - Perturbações: colheita do plantio de acácia-negra realizada em 2002, dois anos antes do início das avaliações deste trabalho.
 - Parcelas: dimensões variáveis com área entre 300 a 800 m².
- b) APP sem uso recente: faixas de no mínimo 30 m às margens dos cursos d'água e 50 m ao redor de nascentes, sem preparo de solo há pelo menos nove anos; áreas avaliadas apresentam maior grau de hidromorfismo que a APP em recuperação.
- Solos: textura arenosa a média com alto teor de matéria orgânica na superfície, gleização ou com lençol freático na profundidade maior que 30 cm.
 - Vegetação: predomínio de gramíneas e ervas com altura entre 0,1 a 1,5 m; arbustos e árvores nativas bem esparsas com 2,0 a 8,0 m de altura.
 - Perturbações: erosão na borda do canal, trânsito e pastejo de animais; resíduos de colheita em parcelas com um ano de idade; e drenagem com máquinas realizada há mais de 20 anos nas parcelas da região de Cristal.
 - Parcelas: Demarcadas sobre o curso d'água com 10 m de largura e comprimento variando entre 50 e 100 m (500 a 1.000 m² de área).

c) Beira de estrada: faixa de domínio de estradas municipais, localizada entre área de rodagem e a cerca da propriedade, estando adjacente a cultivos de acácia-negra.

- Solos: em de Cristal apresentam textura média na superfície e B textural a mais de 50 cm de profundidade e em Piratini apresentam textura média e contato litóide a até 50 cm de profundidade, podendo apresentar fase pedregosa.
- Vegetação: áreas com predomínio de gramíneas e ervas com altura entre 0,2 a 1,5 m e partes com predominância de regeneração de árvores e arbustos nativos com altura entre 1 e 6 m.
- Perturbações: trânsito de veículos, áreas com solo exposto por máquinas e equipamentos e por queima da vegetação.
- Parcelas: Comprimento de 100 m e largura de 2 a 10 m (200 a 1.000 m² de área)

d) Afloramento de rocha: área com grande presença de rochas, impossibilitando sua utilização mecanizada, sendo mantida sem uso para o plantio de acácia-negra.

Ambiente encontrado somente na região de Piratini.

- Solos: rochas na superfície ou até 50 cm de profundidade, solo de textura média com alto teor de matéria orgânica.
- Vegetação: predomínio de gramíneas e ervas com 0,1 a 1,5 m de altura; arbustos e árvores nativas esparsas ou em pequenos capões, com altura entre 3 a 8 m.
- Perturbações: sem sinais de perturbações.
- Parcelas: dimensões variáveis, apresentando áreas entre 150 a 1.000 m².

- e) Borda de floresta: faixa de transição entre a floresta e o ambiente campestre; neste trabalho, considerou-se a largura de 5 m para esta faixa, definindo o seu centro na primeira árvore com mais de 3 m de altura, ficando 2,5 m em direção ao interior da floresta e 2,5 m em direção ao campo.
- Solos: em Cristal apresentam textura média na superfície e B textural a mais de 60 cm de profundidade e em Piratini apresentam contato litóide a até 70 cm de profundidade e textura média.
 - Vegetação: predomínio de árvores nativas com altura de 4 a 15 m em metade da parcela e, na outra parte, predomínio de gramíneas e ervas de 0,1 a 1,5 m de altura, com arbustos bem esparsos.
 - Perturbações: Plantio de acácia-negra entre 2 a 5 m (plantio adulto) ou a mais de 5 m (plantio jovem) da borda, resíduos de colheita e ação de máquinas na borda.
 - Parcelas: largura de 5 m e comprimento variando entre 100 e 200 m (500 a 1.000 m² de área).
- f) Campo nativo: área com pastagem nativa, excetuando-se as APP's e os banhados.
- Solos: em Cristal apresentam textura média na superfície e B textural a mais de 60 cm de profundidade e em Piratini apresentam textura média com fase pedregosa e contato litóide a até 60 cm de profundidade.
 - Vegetação: gramíneas e ervas nativas com 0,1 a 1,5 m de altura.
 - Perturbações: pastejo por bovinos, roçagem e queima das pastagens; parcelas com preparo de solo há mais de quatro anos e outras utilizadas com acácia-negra há mais de 12 anos.
 - Parcelas: 10 x 100 m ou 20 x 50 m (1.000 m²), com a maior dimensão paralela ao plantio de acácia-negra.

- g) Banhado: Área encharcada a maior parte do ano e sujeita a inundações periódicas, com vegetação bem distinta e compostas por espécies adaptadas a estas condições.
- Solos: acúmulo de matéria orgânica na superfície, podendo apresentar gleização a mais de 60 cm de profundidade.
 - Vegetação: gramíneas e ervas nativas com 0,1 a 1,0 m de altura, podendo apresentar árvores e arbustos bem esparsos com 2 a 5 m de altura.
 - Perturbações: pastejo por bovinos; algumas parcelas da região de Cristal possuem canais de drenagem construídos há mais de 20 anos, atualmente obstruídos.
 - Parcelas: dimensões variáveis com área entre 300 e 2.000 m².

Demarcação e Avaliação das Parcelas

Foram utilizados mapas de uso de solo para a alocação das parcelas em cada fazenda. Os ambientes campestres mapeados foram localizados e numerados, sendo sorteados três locais de cada tipo de ambiente para instalação de parcelas de medição. Estas parcelas foram demarcadas e dimensionadas de maneira que representassem bem o ambiente e estivessem localizadas na área de dispersão de sementes do plantio de acácia-negra adjacente (<30 m de distância). As dimensões das parcelas estão apresentadas juntamente com a descrição de cada ambiente.

Em cada local de instalação das parcelas foi realizada a caracterização de solos, vegetação e perturbações do ambiente. As perturbações encontradas neste trabalho foram os danos provocados pela ação de maquinário e veículos, pastejo de animais introduzidos (bovinos, eqüinos e ovinos), queima da vegetação, erosão de bordas de cursos d'água e queda de árvores.

As parcelas foram avaliadas em setembro de 2004, com a contagem e medição de altura e DAP (para plantas maiores que 2 m de altura) de todos os indivíduos de acácia-negra existente em cada parcela. Procurou-se também identificar sinais de perturbações no solo e na vegetação que pudessem ter favorecido a invasão desta espécie naquele local.

Foram marcadas com etiquetas numeradas até 20 plantas invasoras de acácia-negra por parcelas. Nas parcelas com mais de 20 plantas, marcou-se 20 plantas proporcionalmente as classes de altura das plantas existentes na parcela (<2,0 m, 2,0 a 4,0 m e >4,0 m de altura). Em setembro de 2005 foi realizada uma medição de altura e DAP das plantas marcadas, sendo também verificado a quantidade de plantas mortas. As plantas marcadas não encontradas na avaliação de 2005 foram consideradas mortas.

Análise dos Dados

Como as parcelas apresentavam tamanhos diferentes, os dados de contagem do número de plantas por parcela foram transformados para a área comum de 0,1 ha (1.000 m²). O total de plantas encontradas em cada parcela nas avaliações de 2004 e 2005 foi distribuído em três classes de altura: em estabelecimento (<2,0 m de altura), estabelecidas (2,0 a 4,0 m de altura) e adultas (>4 m de altura). Com os dados das avaliações de 2004 e 2005 foi calculado o incremento corrente anual de altura (ICA-Altura) para plantas <2,0 m em 2004, incremento corrente anual de diâmetro (ICA-DAP) para plantas ≥2,0 m de altura em 2004 e a mortalidade total de plantas e dentro de quatro classes de altura (<0,5 m, 0,5 a 1,9 m, 2,0 a 4,0 m e >4,0 m). A mortalidade de plantas foi calculada por $m(\%) = (\text{plantas mortas} / \text{total de plantas em 2004}) \times 100$.

Foram realizadas análises de variância considerando os seguintes fatores: região ecoclimática (Cristal e Piratini), idade do plantio de acácia-negra adjacente (jovem e adulto), ambiente (APP em recuperação, APP sem uso recente, beira de estrada, afloramento de rocha, borda de floresta, campo nativo e banhado) e todas as interações possíveis entre estes fatores. Para análises estatísticas foi utilizado o programa SAS (SAS INSTITUTE, 1999), sendo utilizado o seguinte modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + I_j + A_k + RI_{ij} + RA_{ik} + IA_{jk} + RIA_{ijk} + e_{ijk}$$

Y_{ijk} = Observação da região i, na idade j e no ambiente k;

μ = média geral;

R_i = efeito da i-ésima região;

I_j = efeito da j-ésima idade do plantio;

A_k = efeito do k-ésimo ambiente;

RI_{ij} = efeito da interação entre região e idade;

RA_{ik} = efeito da interação entre região e ambiente;

IA_{jk} = efeito da interação entre idade e ambiente;

RIA_{ijk} = efeito da interação entre região, idade e ambiente

e_{ijk} = erro associado à observação Y_{ijk} .

Foram analisadas as seguintes variáveis: número total de plantas em 2004 e 2005; número de plantas distribuídas em três classes de altura em 2004 e 2005: < 2,0 m (em estabelecimento), 2,0 a 4,0 m (plantas estabelecidas) e > 4,0 m (plantas adultas); número de plantas adjacente a plantios jovens e adultos por classe de altura em 2004 e 2005; mortalidade de plantas por ambiente e por classe de altura; incremento corrente anual de altura para plantas <2 m; e, incremento corrente anual de DAP para plantas ≥ 2 m.

Os dados foram previamente testados quanto às pressuposições de análise de variância, sendo analisadas a homogeneidade de variância (Teste de Levene) e normalidade dos resíduos (Teste de Shapiro-Wilks) pelo programa STATGRAPHICS

(STATISTICAL GRAPHICS CORP, 1994). Quando uma destas condições não foi satisfeita, procedeu-se a transformação dos dados e a identificação e retirada de dados considerados “outliers”.

Foi necessário realizar transformação de todos os dados de contagem do número de plantas e de mortalidade de plantas por ambiente. Para os dados de contagem utilizou-se a transformação de $y_t = \ln(y + 1)$ e para mortalidade $y_t = \arcsen\sqrt{y/100}$, sendo y =dado original e y_t =dado transformado (STEEL; TORRIE, 1988). Procedeu-se as análises estatísticas com os dados transformados, sendo que as médias foram retransformados à escala original para a apresentação dos resultados. A comparação de pares de médias foi realizada pelo teste t e de grupos de médias pelo teste de Scott-Knott (ZIMMERMANN, 2004).

Para classificar os ambientes quanto a sua susceptibilidade a invasão, foi realizada uma análise de agrupamento hierárquico, tendo como medida a distância euclideana pelo método da ligação média (HAIR JR. et al., 2005). Para o agrupamento dos ambientes foram utilizados os dados de número de plantas invasoras (total, em estabelecimento, estabelecidas e adultas) das avaliações de 2004 e 2005 e de crescimento de plantas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Freqüência, Intensidade e Padrão da Invasão

Na avaliação realizada em setembro de 2004 foram encontradas 36,1 plantas/0,1 ha em Piratini e 27,2 plantas/0,1 ha em Cristal, não havendo diferenças significativas ($P < 0,05$) entre estas regiões. A distribuição das plantas por classes de altura também foi semelhante, sendo em média encontradas 24,2 plantas em estabelecimento ($< 2,0$ m de altura), 3,6 plantas estabelecidas (2,0 a 4,0 m de altura) e 4,2 plantas adultas ($> 4,0$ m de altura). Isto demonstrou uma similaridade entre as regiões ecoclimáticas estudadas quanto à susceptibilidade ambiental de invasão da espécie. A intensidade de invasão observada pode ser considerada baixa, especialmente considerando o reduzido número de plantas adultas encontradas nas parcelas.

Na África do Sul, o corte e queima de plantas invasoras de acácia-negra resultou na regeneração de novas invasoras, numa densidade entre 50 a 5.430 plantas por 0,1 ha (PEITERSE; BOUCHER, 1997). A queima dos resíduos de colheita em área anteriormente cultivada pela acácia-negra provoca a quebra de dormência das sementes existentes no solo, possibilitando o estabelecimento de uma densa regeneração natural, que pode ser manejada para o estabelecimento de uma nova plantação (DEDECEK; HIGA, 2003). Quando se deseja reduzir o banco de sementes no solo, a queima é uma prática que merece ser analisada.

A idade do plantio adjacente de acácia-negra teve influência significativa ($P < 0,05$) na quantidade total de plantas invasoras, sendo maior nas parcelas próximas dos plantios jovens (50,3 plantas/0,1 ha em 2004) que dos plantios adultos (9,6 plantas/0,1 ha em 2004). Nas parcelas próximas de plantios jovens predominaram plantas em estabelecimento ($< 2,0$ m de altura), enquanto nas áreas

adjacentes aos plantios adultos predominaram plantas adultas (>4,0 m de altura). Os plantios adultos estavam em plena produção de sementes, no entanto a quantidade de plantas em estabelecimento encontrada nos ambientes adjacentes, localizados a menos de 30 m destes plantios, foi de somente 0,8 e 0,2 plantas/0,1 ha para as avaliações de 2004 e 2005, respectivamente.

Dessa forma, a invasão da espécie a ambientes não depende unicamente da disponibilidade de sementes no solo. As parcelas de plantios jovens avaliadas neste trabalho apresentavam mais de um ciclo de cultivo da acácia-negra, possibilitando a formação de um banco de sementes no solo das áreas adjacentes; então, existindo disponibilidade de sementes, outros fatores foram preponderantes para a invasão da acácia-negra.

A invasão da acácia-negra aos ambientes esteve relacionada às operações florestais ocorridas durante o período que se inicia com colheita florestal e que se estende até a implantação da nova rotação de cultivo. A derrubada das árvores e as operações com maquinários e veículos fora das áreas de cultivo causam perturbações no solo, propiciando condições para a germinação de sementes e o estabelecimento de plântulas de acácia-negra; por isto foram encontradas maiores quantidades de plantas em estabelecimento nas áreas próximas dos plantios jovens (1 ano de idade).

Durante o período de crescimento do plantio (segundo ano até a colheita) não são realizadas operações florestais que envolvam máquinas e equipamentos, o que reduz as perturbações do solo àquelas de origem naturais, limitando a ocorrência de novas invasões. A freqüência de invasão da acácia-negra aos ambientes ocorreu ao mesmo tempo em que foram realizadas as operações de colheita e implantação da nova rotação de cultivo.

O total de plantas invasoras de acácia-negra encontradas nos ambientes em 2004 e 2005 permitiu classificá-los ($P < 0,05$), pelo teste de Scott-Knott, em três grupos de invasão (figura 1). O ambiente com o maior número de invasoras nos dois anos de avaliação foi a APP em recuperação, que apresentou 151,3 plantas/0,1 ha em 2004 e 89,8 plantas/0,1 ha em 2005; uma redução foi significativa ($P < 0,05$) devido à mortalidade de 42,3% no período e não ter havido novos recrutamentos no período analisado. O maior número de plantas invasoras encontrado neste ambiente deveu-se a existência de banco de sementes, mas principalmente a grande perturbação do solo ocasionada pela colheita realizada dois anos antes do início das avaliações. A invasão foi na forma de adensamento (reboleiras) com até 8,0 plantas/m² nos locais com solos mais expostos e dispersa nas áreas com menor perturbação.

Num segundo grupo de invasão encontrou-se o afloramento de rocha, beira de estradas e borda de floresta, que apresentaram respectivamente 50,2, 47,7 e 25,1 plantas/0,1 ha na avaliação de 2004 e 39,0, 25,8 e 18,2 plantas/0,1 ha, em 2005; uma redução significativa ($P < 0,05$) para beira de estrada e borda de floresta e não significativa para o afloramento de rocha (figura 1). A mortalidade de plantas no período foi similar para os três ambientes, com 20,0, 18,8 e 16,2% para beira de estrada, afloramento de rocha e borda de floresta, respectivamente.

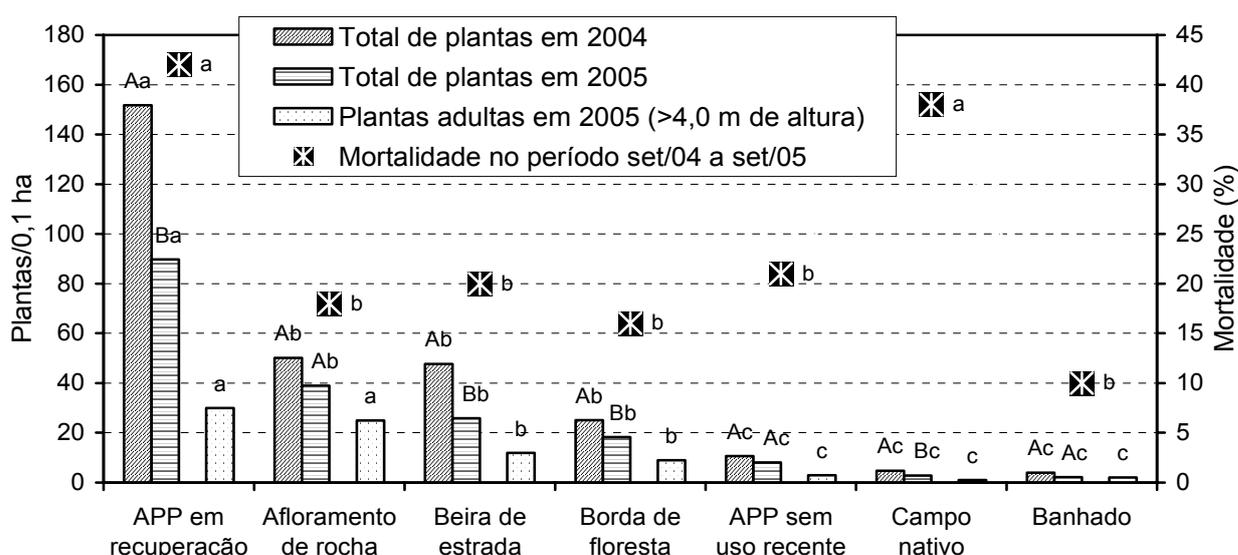
No afloramento de rocha a invasão ocorreu de forma dispersa ou em pequenos aglomerados em locais próximos de rochas expostas, favorecida pela quebra da dormência das sementes com o aquecimento das rochas pela radiação solar. A invasão na beira de estradas foi de forma espalhada, sendo beneficiada pelas constantes perturbações causadas pelo trânsito de máquinas e veículos, bem como por queimadas acidentais. Na borda de floresta a invasão foi esparsa,

somente ocorrendo na parte da parcela com vegetação herbácea e nos locais com alguma perturbação, especialmente as provocadas por máquinas durante o encoivramento dos resíduos de colheita.

O terceiro grupo de invasão foi formado pela APP sem uso recente, campo nativo e banhado, que apresentaram <11,0 plantas/0,1 ha em 2004 e <8,0 plantas/0,1 ha em 2005 (figura 1). A redução do número de plantas entre 2004 e 2005 foi significativa ($P<0,05$) somente para o campo nativo, devido a maior ($P<0,05$) mortalidade de plantas (37,6%) que a da APP sem uso recente (20,6%) e do banhado (9,5%).

A invasão na APP sem uso recente foi bem dispersa, ocasionada pela erosão de barrancos do canal de drenagem, perturbações por operações florestais e transito de animais. No campo nativo a invasão foi por plantas isoladas, sendo favorecida pela queimada das pastagens, sobrepastejo e pela presença de grande

FIGURA 1 - NÚMERO TOTAL E MORTALIDADE DE PLANTAS INVASORAS DE ACÁCIA-NEGRA EM AMBIENTES CAMPESTRES ADJACENTES A PLANTIOS DESTA ESPÉCIE.



Letras maiúsculas diferentes, para comparar o total de planta em 2004 e 2005 dentro do mesmo ambiente, diferem entre si pelo teste t ($p<0,05$).

Letras minúsculas diferentes, para comparar a mesma variável entre os ambientes, diferem entre si pelo teste de scott-knott ($p<0,05$).

quantidade de pedras em algumas parcelas (quebra de dormência pelo aquecimento). No banhado, a invasão ocorreu por plantas isoladas em áreas perturbadas e sobre “murundus” formados por formigas cortadeiras, que também se encarregaram de transportar as sementes.

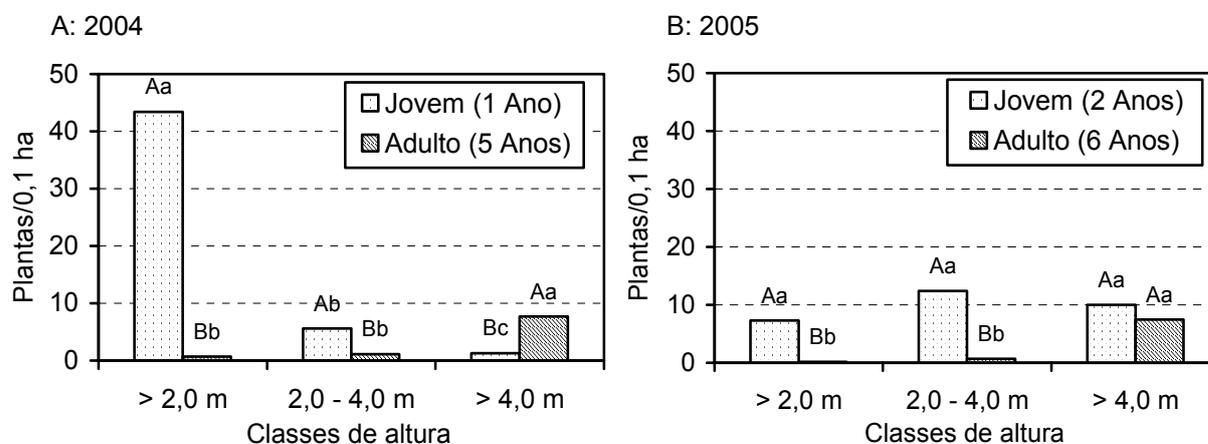
O maior número de plantas adultas (>4,0 m de altura) na avaliação de 2005 foi verificado na APP em recuperação e no afloramento de rocha, com 29,7 e 25,0 plantas/0,1 ha, respectivamente (figura 1). Em seguida encontrou-se a beira de estrada (12,1 plantas/0,1 ha) e borda de floresta (8,7 plantas/0,1 ha) e por último o grupo formado pela APP sem uso recente (3,3 plantas/0,1 ha), banhado (1,9 plantas/0,1 ha) e campo nativo (0,8 plantas/0,1 ha). Uma quantidade considerável de sementes germinou e se estabeleceu, mas somente uma pequena parte destas plântulas foi capaz de alcançar a fase adulta.

A distribuição do número de plantas por classes de altura foi similar para todos os ambientes estudados nas duas avaliações realizadas. Em 2004 verificou-se que nas parcelas adjacentes a plantios jovens (1 ano de idade) prevaleceram ($P < 0,05$) plantas em estabelecimento (<2,0 m de altura), enquanto que para as parcelas próximas de plantios adultos (5 anos de idade), a maioria das plantas encontradas foram adultas (>4,0 m de altura) (figura 2).

As parcelas próximas dos plantios adultos mantiveram em 2005 a mesma distribuição de classes de altura da avaliação de 2004. No entanto, as parcelas adjacentes aos plantios jovens apresentaram mudanças substanciais nesta distribuição na avaliação de 2005, com todas as classes apresentando um número similar de plantas ($P < 0,05$).

Houve uma diminuição do número de plantas em estabelecimento e um aumento das plantas estabelecidas e adultas, devido a maior mortalidade das plantas em estabelecimento (figura 3), ao crescimento das plantas que alcançaram as classes superiores de altura e não ter havido novas invasões no período avaliado.

FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE PLANTAS INVASORAS DE ACÁCIA-NEGRA POR CLASSES DE ALTURA E IDADE DO PLANTIO ADJACENTE NAS AVALIAÇÕES DE 2004 (A) E 2005 (B).



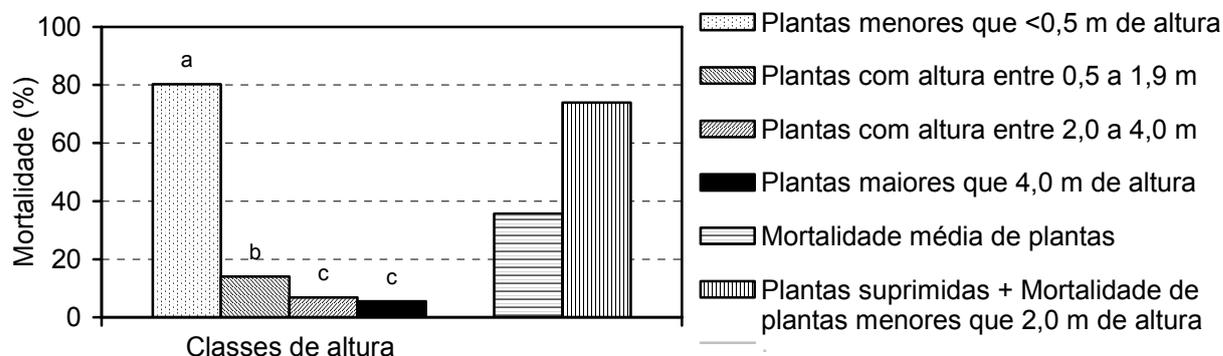
Letras maiúsculas diferentes, para comparar plantios jovens e adultos dentro da mesma classe de altura, diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$).

Letras minúsculas diferentes, para comparar a mesma idade do plantio entre as classes de altura, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Estes resultados confirmam que a freqüência de estabelecimento de plantas invasoras de acácia-negra está relacionada com as perturbações do ambiente ocorridas durante a colheita e preparo da área para o novo plantio. Não havendo perturbações do ambiente campestre praticamente não há o estabelecimento de plantas invasoras, mesmo existindo disponibilidade de semente no solo.

A mortalidade média de invasoras de acácia-negra no período de setembro/2004 a setembro/2005 foi de 35,8%, sendo maior ($P < 0,05$) nas classes de menores alturas, atingindo 80,4% nas plantas $< 0,5$ m de altura, 14,0% nas plantas entre 0,5 a 1,9 m de altura, 6,8% nas plantas entre 2,0 a 4,0 m de altura e de 5,5% nas plantas $> 4,0$ m de altura (figura 3). A mortalidade observada nas plantas < 2 m de altura foi maior devido à competição causada pela recomposição vegetação nativa e morte de plantas suprimidas nos locais que a invasão ocorreu de forma adensada.

FIGURA 3 - MORTALIDADE MÉDIA E DE QUATRO EM CLASSES DE ALTURA DE PLANTAS INVASORAS DE ACÁCIA-NEGRA NO PERÍODO DE SETEMBRO/2004 A SETEMBRO/2005.



Letras diferentes para classes de altura, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

No campo nativo a mortalidade de plantas foi provocada pelo pastejo de bovinos (plantas <2,0 m de altura); na borda de floresta e beira de estradas foi ocasionada pela competição com a vegetação arbórea nativa; e no afloramento de rocha, APP sem uso recente e banhado foi causada pela inaptidão do local invadido para a manutenção de árvores invasoras desta espécie, como solo muito raso ou lençol freático pouco profundo.

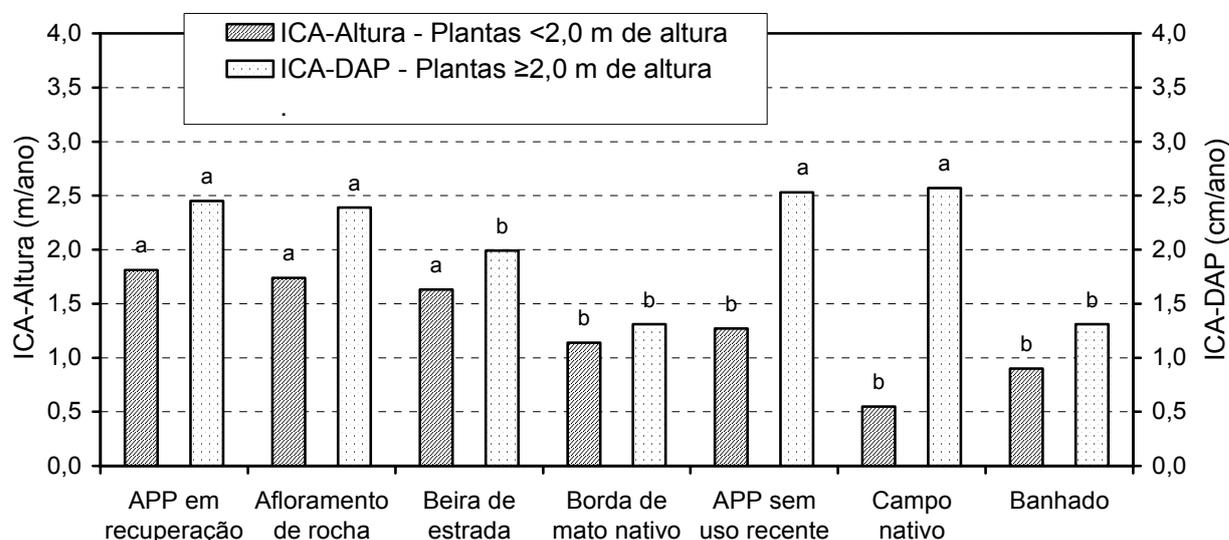
Na avaliação realizada em setembro de 2005 observou-se que grande parte das plantas em estabelecimento (<2,0 m de altura) estava suprimida pela competição com a vegetação nativa, apresentando um crescimento menor que 1,0 m de altura no período de um ano. Considerando o total de plantas mortas e plantas suprimidas, que não deverão se estabelecer, verifica-se que 74,0% das plantas em estabelecimento encontradas na avaliação de 2004 não atingirão a fase adulta (figura 3). Isto confirma que a mortalidade de plantas foi a principal causa da menor quantidade de plantas encontradas próximas dos plantios adultos.

O crescimento das plantas invasoras de acácia-negra apresentou diferenças significativas ($P < 0,05$) nas regiões estudadas. As plantas em estabelecimento ($< 2,0$ m de altura) apresentaram crescimento médio em altura de 1,7 m/ano para Piratini e de 1,2 m/ano para Cristal. Nas plantas estabelecidas e adultas ($\geq 2,0$ m de altura) o incremento de diâmetro foi de 2,4 cm/ano em Piratini e de 1,7 cm/ano em Cristal. Estas diferenças foram em função das características ambientais de cada região, especialmente as condições de solo (ver descrição dos ambientes). Em testes com as mesmas procedências, MORA (2002) encontrou uma produtividade em Piratini 58,3% superior à obtida em Cristal, tendo atribuído esta diferença as melhores condições ambientais de Piratini.

O crescimento em altura das plantas em estabelecimento foi maior ($P < 0,05$) nos ambientes de APP em recuperação, afloramento de rocha e beira de estrada (figura 4). Para as plantas estabelecidas e adultas ($\geq 2,0$ m de altura) observaram-se os maiores crescimentos em diâmetro nos ambientes de campo nativo, APP sem uso recente, APP em recuperação e afloramento de rocha. As diferenças de crescimento observadas entre os ambientes foram devido às características de solos, da competição com vegetação nativa e do consumo das plantas por animais.

O menor crescimento observado no banhado foi devido à condição de solo encharcado a maior parte do ano, na borda de floresta foi pela competição com a vegetação arbórea nativa e das plantas em estabelecimento na APP sem uso recente foi pela competição com plantas herbáceas. O baixo crescimento observado nas plantas em estabelecimento do campo nativo foi devido ao consumo das folhas por bovinos; o contrário ocorreu com plantas estabelecidas e adultas (≥ 2 m de altura), que os animais não conseguem consumir suas folhas.

FIGURA 4 - INCREMENTO CORRENTE ANUAL (ICA) EM ALTURA E DAP DE PLANTAS INVASORAS DE ACÁCIA-NEGRA NO PERÍODO DE SETEMBRO/2004 A SETEMBRO/2005.



Letras minúsculas diferentes, para comparar a mesma variável entre os ambientes, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Espécies pioneiras (ou heliófitas efêmeras), como a acácia-negra, apresentam como principais características a rápida colonização de ambientes abertos; requerimento de luz direta; produção numa idade precoce de uma grande quantidade de sementes amplamente disseminadas formando bancos de sementes no solo; germinação rápida, mas que requer indução (fotoblástica ou termoblástica); e, alta capacidade fotossintética, proporcionando um crescimento rápido (PIÑA-RODRIGUES et al. 1990; FINEGAN, 1993b). Estas características ditam o padrão de invasão da acácia-negra a ambientes campestres naturais e em recomposição.

A acácia-negra apresenta uma grande produção de sementes, podendo alcançar 0,7 kg por árvore aos dez anos de idade e um kg contém em média 65.000 sementes, com germinação entre 85 e 90% (STEIN; TONIETO, 1997). No entanto, sua dispersão parece estar limitada a áreas bem próximas dos plantios ou ao transporte por ação do homem (intencional ou não).

As sementes não possuem atrativos para vetores (aves e mamíferos) e nem adaptação para disseminação pelo vento (HEAR, 2005). No entanto, formigas cortadeiras transportam sementes até o formigueiro para utilização do arilo. Embora seja assim, somente no ambiente de banhado foram encontradas plantas invasoras sobre formigueiros. A maioria dos formigueiros é construída sob vegetação arbórea, o que inviabiliza o estabelecimento de invasoras desta espécie. Fortes chuvas em áreas com declives podem transportar as sementes para áreas mais longe dos plantios. Neste trabalho verificou-se plantas invasoras ao longo de cursos d'água (APP's) até a uma distância de 50 m da fonte de sementes.

As áreas avaliadas com o solo totalmente coberto pela vegetação herbácea não apresentavam plantas invasoras de acácia-negra, mesmo em locais bem próximos (<30 m) de plantios em plena produção de sementes. Dois fatores, não excludentes, podem estar contribuindo para que isto ocorra. O primeiro é a necessidade de indução da germinação das sementes (quebra de dormência), seja através do choque térmico (queima da vegetação) ou da qualidade da radiação (luz direta) (PIETERSE; BOUCHER, 1997).

Dessa forma, áreas mantidas com boa cobertura de solo não teriam fatores para a indução da germinação das sementes da acácia-negra. Isto explicaria a maior presença de plantas invasoras, encontrado neste trabalho, no ambiente de afloramento de rocha, pois tanto o aquecimento das pedras como a luz direta nas sementes sobre as rochas, pode induzir sua germinação e iniciar a invasão do ambiente.

Outro fator é a competição com a vegetação herbácea. Plântulas de espécies pioneiras requerem luz direta para seu crescimento, pois apresentam reservas nutricionais pequenas, não sendo capazes de sustentar seu crescimento inicial

(PIÑA-RODRIGUES et al. 1990). Neste trabalho, quase que a totalidade das plantas invasoras em estabelecimento (<2 m de altura) foi encontrada em locais com algum sinal de perturbação na vegetação herbácea, permitindo que a radiação solar atingisse o solo e as plântulas na fase inicial de estabelecimento. No Havaí também é citada a necessidade de distúrbios para o estabelecimento da invasão da acácia-negra (HEAR, 2005). Áreas ripárias da África do Sul são particularmente propensas a invasão devido a dispersão de sementes e aos distúrbios causados por inundações (MAITRE et al. 2002).

A intensidade de invasão das áreas perturbadas está relacionada com o nível de exposição do solo. Áreas com solos mais expostos (APP em recuperação) apresentaram um maior número de plantas em estabelecimento que as áreas com menor exposição (APP sem uso recente). No entanto, a competição (intra e interespecífica) reduz drasticamente a população de invasoras no ano seguinte da invasão (figura 2).

Neste trabalho, observou-se que a quantidade de plantas adultas encontradas nos plantios adultos aos seis anos de idade (avaliação de 2005) foi em média 14,9% do total de plantas no plantio jovens com um ano de idade (avaliação de 2004), resultado da alta mortalidade, que pode alcançar a 74,0% das plantas em estabelecimento nos três primeiros anos após o início da invasão (figura 3). PIETERSE; BOUCHER (1997) citam uma taxa de mortalidade de 90% aos dois anos de idade, para invasoras de acácia-negra em área queimada.

A intensidade de invasão da acácia-negra no ambiente campestre observada neste trabalho é inferior as encontradas em diversas regiões da África do Sul (HENDERSON; MUSIL, 1984; HENDERSON, 1989; DYE; POULTER, 1995). Isto provavelmente ocorreu devido ao menor tempo de cultivo da espécie no Rio Grande

do Sul e a maior diversidade da vegetação dos ambientes avaliados. A susceptibilidade dos ambientes a invasão então relacionados com o tempo de cultivo da espécie na região (RICHARDSON, 1998), diversidade da vegetação nativa, ocorrência de competidores, predadores e parasitas, e do grau de perturbação do ecossistema (ZILLER, 2001).

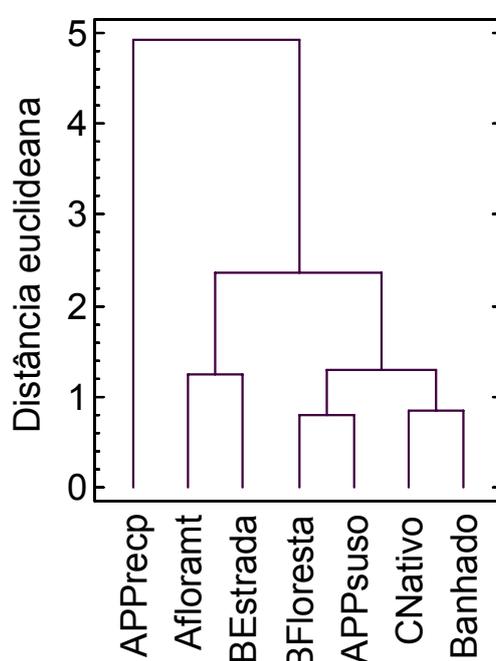
A frequência de invasão esteve relacionada com as operações de colheita e plantio, período que ocorreram maiores perturbações nos ambientes adjacentes aos plantios. Com a recomposição da vegetação nativa ocorreu grande mortalidade de plantas, praticamente não havendo novas invasões.

Os ambientes estudados foram classificados, com base nos dados do número de plantas invasoras e crescimento de plantas, pela análise de agrupamento, em cinco grupos de susceptibilidade à invasão da acácia-negra (figura 5):

- a) Alta susceptibilidade: bom crescimento de plantas e alta quantidade de invasoras em estabelecimento, que apesar da maior mortalidade registrada neste ambiente, uma grande quantidade das plantas chegou à fase adulta. Neste grupo classifica-se a APP em recuperação.
- b) Média susceptibilidade: bom crescimento das plantas, porém o número de invasoras, tanto em fase de estabelecimento como na fase adulta foi menor que o agrupamento anterior. Nesta classe agrupou-se o afloramento de rocha e beira de estrada.
- c) Baixa susceptibilidade: baixo crescimento das plantas e pequena quantidade de plantas nas fases de estabelecimento e adulta. Neste grupo classificou-se a borda de floresta e APP sem uso recente.

- d) Baixíssima susceptibilidade: baixo crescimento das plantas, especialmente das invasoras em estabelecimento, e muito baixo número de invasoras tanto na fase jovem com adulta, devido às limitações de solo ou controle da invasão por consumo animal. Neste agrupamento está o campo nativo e banhado.

FIGURA 5 - DENDROGRAMA DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO DA SUSCEPTIBILIDADE DOS AMBIENTES A INVASÃO DA ACÁCIA-NEGRA.



APPrecp: APP em recuperação; Afloramt: afloramento de rocha; BEstrada: beira de estrada; BFloresta: borda de floresta; APPsuso: APP sem uso recente; e, CNativo: campo nativo.

Os resultados obtidos neste trabalho indicaram que acácia-negra pode ser considerada para as condições ambientais e de plantios do Rio Grande do Sul uma invasora causal, por não ser capaz de se estabelecer e competir em ambientes sem a ação de perturbações no solo. Segundo RICHARDSON et al. (2000), plantas introduzidas num ambiente passam por diversas fases até tornarem-se invasoras: depois da introdução de uma espécie (estabelecimento de uma população adulta),

as plantas reproduzem novos indivíduos (colonização), dispersam-se e formam novas colônias (naturalização), para posteriormente torna-se invasora, podendo ser transformadora de ambientes. Para cada fase é necessário ultrapassar barreiras geográficas (introdução), biológicas (reprodução e dispersão) e ambientais (condições para o crescimento, dispersão, colonização e dominação da vegetação).

Tendo em vista a classificação proposta por RICHARDSON et al. (2000), a acácia-negra nos ambientes campestres do Rio Grande do Sul poderia ser considerada uma planta invasora, porém adicionou-se o adjetivo “causal” para indicar a necessidade de uma causa, os distúrbios nos solos, para o estabelecimento de plantas nos ambientes naturais, bem como para o recrutamento novos indivíduos nas áreas invadidas.

Monitoramento e Controle da Invasão

Mesmo considerando a acácia-negra uma invasora causal para as condições de ambientes campestres do Rio Grande do Sul, torna-se necessário tomar medidas de monitoramento e controle, para evitar que a seleção natural possa gerar indivíduos mais aptos para colonizar os ambientes naturais da região. Na África do Sul a introdução desta espécie ocorreu em 1864 (SHERRY, 1971), porém somente 120 anos depois foram publicados os primeiros trabalhos relatando casos de invasão da acácia-negra a ambientes naturais de estepe e áreas ripárias (HENDERSON; MUSIL, 1984; HENDERSON, 1989). Desta forma, é necessário manter as áreas não plantadas livres da presença da acácia-negra, impedindo que a expansão da invasão evolua para a fase de transformação de ecossistemas (RICHARDSON et al., 2000), situação de difícil controle, como ocorreu na África do Sul.

A redução das perturbações nas áreas não utilizadas a níveis mínimos é uma meta a ser buscada pelos produtores. A principal causa de perturbações observada neste trabalho foi o tráfego de máquinas e equipamentos. Os operadores de máquinas devem ser instruídos a evitar o trânsito nas áreas que não serão utilizadas para o cultivo da espécie, minimizando assim a possibilidade de invasão.

No quadro 1 são sugeridas medidas de monitoramento e controle para os ambientes avaliados. Para áreas com invasão em adensamentos (APP em recuperação) recomenda-se a eliminação destas no primeiro ano de crescimento, visando favorecer a recomposição da vegetação nativa. Ambientes com plantas invasoras espalhadas e dispersas (afloramento de rocha, borda floresta e APP sem uso) recomenda-se o corte de todas invasoras até o terceiro ano, antes do início da produção de sementes das plantas. Isto evitaria a seleção e reprodução de indivíduos mais aptos para estes ambientes. Para ambientes em que a invasão é rara com plantas bem isoladas (campo nativo e banhado), recomenda-se o corte das plantas adultas ao final de cada rotação de cultivo.

Para o ambiente de beira de estrada recomenda-se somente o corte das invasoras no final de cada rotação, que por sua natureza é constantemente perturbado. Este foi o único ambiente que se observaram plantas invasoras de acácia-negra fora da área de influência direta dos cultivos desta espécie. Por isto os produtores devem buscar o controle destes indivíduos invasores, para a eliminação de possíveis fontes de dispersão de sementes. Observações de campo nos ambientes invadidos deste trabalho indicaram que plantas de acácia-negra com mais de 2 m de altura cortadas a até 10 cm do solo não emitiram rebrota. Desta forma, o corte manual ou mecânico pode ser utilizado para eliminação das plantas invasoras destes ambientes.

QUADRO 1 - CAUSAS E PADRÕES DE INVASÃO DA ACÁCIA-NEGRA E MEDIDAS PARA MONITORAMENTO E CONTROLE.

Ambiente	Causa de invasão	Padrões de invasão	Monitoramento	Controle
APP em recuperação	Perturbações no solo durante a colheita da rotação anterior.	Forma adensamentos nas áreas com solo exposto. Plantas dispersas nos locais pouco perturbados.	Anualmente até a recomposição da vegetação nativa.	Corte das reboleiras até um ano de idade. Corte de plantas isoladas até o terceiro ano após o início da rotação.
Beira de estrada	Queima da vegetação. Perturbações no solo pelo trânsito de máquinas e veículos	Plantas espalhadas nos locais perturbados.	Final da rotação.	Corte das plantas invasoras na colheita.
Afloramento de rocha	Quebra da dormência das sementes pelo calor acumulado nas pedras.	Plantas dispersas ou em pequenos aglomerados, crescendo entre pedras e em solo raso.	Terceiro ano da rotação.	Corte das plantas invasoras até o terceiro ano após o início da rotação.
Borda de floresta	Perturbações no solo pelo coivaramento dos resíduos de colheita.	Plantas bem esparsas, somente na parte com vegetação herbácea.	Terceiro ano da rotação.	Corte das plantas invasoras até o terceiro ano após o início da rotação.
APP sem uso recente	Erosão nos barrancos dos cursos d'água. Trânsito de animais. Perturbação por operações florestais.	Plantas dispersas nos locais perturbados.	Terceiro ano da rotação.	Corte das plantas invasoras até o terceiro ano após o início da rotação.
Campo nativo	Sobrepastoreio. Quebra de dormência pela queima da pastagem e por presença de pedras.	Plantas isoladas em locais perturbados ou sobre pedras.	Final da rotação.	Corte das plantas estabelecidas e adultas ($\geq 2,0$ m de altura) na colheita da rotação. Animais consomem folhas das plantas jovens.
Banhado	"Murundus" formados por formigas cortadeiras. Perturbação por operações florestais.	Plantas isoladas sobre "murundus" ou em áreas perturbadas, sem formar sucessão.	Final da rotação.	Corte das plantas adultas ($> 4,0$ m de altura) na colheita da rotação.

CONCLUSÕES

A invasão da acácia-negra a ambientes campestres está condicionada a perturbações no solo, ou seja, há a necessidade de exposição do solo a plena luz para germinação e estabelecimento de plantas, por isto deve ser considerada uma invasora causal de áreas naturais e em recomposição. Desta forma, o cultivo da espécie não deve ser restringido para as condições ambientais do Rio Grande do Sul, porém devem ser adotadas medidas para evitar perturbações aos ambientes não utilizados e ações de monitoramento e controle das plantas invasoras, visando impedir sua expansão para além dos limites do cultivo da espécie.

A maior frequência de invasões ocorre durante as operações de colheita e implantação da nova rotação, devido as perturbação dos ambientes naturais que ocorrem neste período. O estabelecimento de novas invasões é insignificante durante o período de crescimento do plantio.

A intensidade de invasão está relacionada com o grau de perturbação do ambiente campestre, quanto maior for a exposição do solo, maior será a quantidade de plantas invasoras de acácia-negra.

A APP em recuperação apresenta alta susceptibilidade à invasão da acácia-negra; o afloramento de rocha e beira de estrada média susceptibilidade; borda de floresta e A APP sem uso recente baixa susceptibilidade; e campo nativo e banhado baixíssima susceptibilidade.

A regeneração natural da vegetação nas áreas perturbadas ocasiona uma alta mortalidade de plantas em estabelecimento nos anos seguintes a invasão.

5 REGENERAÇÃO DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS NO SUB-BOSQUE DE UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA

INTRODUÇÃO

Para atender a legislação vigente, plantios de acácia-negra localizados dentro de áreas de preservação permanente (APPs) estão sendo abandonados em pé ou após a realização da colheita florestal. Nos dois casos, estas áreas são mantidas sem intervenções para a recuperação da cobertura vegetal nativa. A capacidade de regeneração da vegetação nativa nestas áreas é um indicador da evolução da APP para oferecer os serviços ambientais de proteção dos mananciais e restabelecimento da biodiversidade original, bem como contribuir para alcançar a pretendida sustentabilidade.

Plantações florestais podem apresentar as mesmas funções das florestas secundárias no restabelecimento da riqueza de espécies florestais em áreas degradadas (LUGO, 1997), sendo considerada uma opção viável para acelerar o processo de recuperação e restauração da produtividade, biodiversidade e outros serviços ambientais destas áreas (PARROTTA et al., 1997a). Entretanto, algumas espécies florestais exóticas podem torna-se invasora do ambiente, mantendo uma população de plantas na área da plantação, através do recrutamento de novos indivíduos (RICHARDSON et al., 2000), e impedir ou retardar a regeneração natural das espécies nativas (REIS, ZAMBONIN; NAKAZONO, 1999).

Povoamentos florestais monoespecíficos de eucaliptos (CALEGARIO et al., 1993; SILVA JR. et al., 1995; NERI et al., 2005), pinus (LOMBARDI; MOTTA JR, 1992; ANDRAE et al., 2005) e teca (HEALEY; GARA, 2003) apresentaram uma elevada regeneração natural, com apreciável diversidade de espécies florestais nativas.

Leguminosas arbóreas podem funcionar como facilitadoras da sucessão natural em áreas degradadas, pela capacidade destas espécies em melhorar as condições dos sítios. CAMPELLO (1999) comparou a regeneração natural em plantios de leguminosas nativa (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) e exótica (*Acacia mangium* Willd.), e de não-leguminosas nativa (*Goupia glabra* Aubl.) e exóticas (*Eucalyptus citriodora* Hook. e *E. pellita* F. Muell.) em área degradada pela remoção total do horizonte A (área de empréstimo). Este autor (ibidem) encontrou que a regeneração natural das espécies nativas foi beneficiada pelo plantio de leguminosas arbóreas, independentemente de ser nativa ou exótica.

A regeneração de espécies arbóreas nativas nas plantações florestais está condicionada à oferta de propágulos e a capacidade destes em se estabelecer e se desenvolver nas condições ambientais do sítio. A oferta de propágulos está em função da distância e da qualidade da fonte e dos agentes dispersores. Em área de restauração florestal em Trombetas, PA, PARROTTA et al. (1997b) encontraram que quanto maior a distância da floresta primária menor a abundância e diversidade de espécies.

A composição e estrutura florística da regeneração de espécies nativas em um sub-bosque de *Eucalyptus saligna* Sm. dependeu das características edáficas e da proximidade de fontes de propágulos (SARTORI et al., 2002). NAPPO et al. (2000) encontraram influências significativas das variáveis edáficas sobre a densidade e diversidade da regeneração natural em plantio de *Mimosa scabrella* Benth. implantado para reabilitação de uma área minerada.

A qualidade da fonte de propágulos refere-se à riqueza de espécies da vegetação circunvizinha. A diversidade das espécies nativas encontradas na regeneração de povoamentos florestais normalmente é menor que a encontrada na

vegetação nativa próxima (HEALEY; GARA, 2003; SAPORETTI Jr. et al., 2003; NERI et al., 2005), porém estes povoamentos também podem receber propágulos de fontes mais distantes (CHADA et al., 2004). Em regiões tropicais a disseminação de sementes por animais é a forma predominante de dispersão de propágulos, tendo esta síndrome um papel fundamental na diversidade florestal de áreas recolonizadas (WUNDERLE JR., 1997).

O processo de sucessão florestal em APPs ocupadas por espécies com potencial invasor, como a acácia-negra, pode ser inibido pela capacidade destas espécies em sustentar uma população competidora através do recrutamento de novos indivíduos. A acácia-negra apresenta alta produção de sementes viáveis por longo período no solo e a capacidade de se estabelecer em áreas perturbadas, no entanto é exigente em luz direta para germinação das sementes e crescimento das plântulas, não se estabelecendo sob seu próprio sombreamento.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a regeneração natural de espécies florestais em um povoamento de acácia-negra estabelecido há 16 anos em uma área ripária e verificar a capacidade desta espécie em manter uma população de plantas na área.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi realizado na região da Encosta do Sudeste (FORTES, 1956), no município de Cristal, RS, situado entre as coordenadas geográficas de 31° 07' de latitude Sul e 52° 03' de longitude Oeste, a uma altitude em torno de 100 m acima do nível do mar. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, com precipitações anuais em torno de 1.300 mm, apresentando no ano déficit hídrico de 7 a 23 mm, temperatura média de 18 °C, mínima absoluta de -5,0 °C e 24 dias com geadas durante o ano (RIO GRANDE DO SUL, 1994). A cobertura vegetal é formada pela transição entre a Floresta Estacional Semidecidual, Estepe Gramíneo-Lenhosa e Formações Pioneiras (VELOSO et al., 1991; IBGE, 2004b).

A área em estudo é uma pendente, com cerca de 1,0 ha, localizada dentro de uma área de preservação permanente, estando, em sua maior parte, circundada por florestas secundárias. Esta área foi utilizada por plantios de acácia-negra nas décadas 70 e 80 do século passado, sendo a última intervenção realizada em 1989, com a colheita e plantio de uma nova rotação de acácia-negra, no espaçamento de 1,5 x 3,0 m (2.222 plantas/ha). O plantio foi abandonado sem ser cortado, portanto o povoamento original de acácia-negra estava com 16 anos de idade quando foi realizado este estudo. O solo da área caracteriza-se pela presença do horizonte B textural (Argissolo) a uma profundidade de 60 cm nos três quartos superiores da pendente e apresenta um aumento da umidade do solo na direção ao curso d'água.

Levantamento Florístico e Fitosociológico

Para o levantamento florístico foi utilizado o método de parcelas (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974). O estrato arbóreo foi avaliado em doze parcelas de 10 m x 10 m (100 m²), totalizando 1.200 m² ou 12% da área total. Estas parcelas foram demarcadas em quatro blocos de 10 m x 30 m, contendo três parcelas cada um, dispostos transversalmente a maior pendente e alocados de maneira a abranger o gradiente de drenagem do solo existente na área. O bloco 1 foi localizado no quarto inferior da pendente (maior umidade) e o bloco 4 no quarto superior (menor umidade) e os blocos 2 e 3 intermediários a estes. No levantamento do estrato arbóreo foi medida a altura e a circunferência a 1,30 m de altura (CAP) de todos os indivíduos com CAP ≥15 cm.

A regeneração natural foi amostrada em duas subparcelas de 3 m x 3 m, marcadas em vértices opostos de cada parcela do levantamento do estrato arbóreo. A regeneração natural foi dividida em três classes de altura: I = 0,3 a 1,0 m de altura, II = 1,0 m a 3,0 m de altura e III = 3,0 m de altura a CAP <15 cm. A classe de altura I foi avaliada em uma das subparcelas (9 m²) e as classes II e III nas duas subparcelas (18 m²). Foi anotada a altura de todos os indivíduos de espécies arbóreas.

A identificação das espécies foi realizada através de material botânico coletado, contou com o auxílio de especialistas do Departamento de Botânica da UFRGS e do Jardim Botânico de Curitiba e de comparações de exsicatas dos herbários destas duas instituições. A confirmação da grafia das espécies e nome dos respectivos autores foi feita através do site do Missouri Botanical Garden (www.mobot.org).

Análise dos Dados

Na análise dos dados do estrato arbóreo e da regeneração natural (total e nas três classes de altura) foram calculados os seguintes parâmetros fitossociológicos: porcentagem de cobertura por família; e densidade, frequência, dominância e valor de importância por espécie, conforme MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG (1974). Também foram calculados o índice de diversidade de Shannon (H') e a equabilidade de Pielou (J') (MAGURRAN, 1988). Para calcular H', utilizou-se a base logarítmica natural (nats), sendo os resultados expressos em nats/indivíduos.

Para verificar o grau de similaridade entre parcelas foi realizada uma análise de agrupamento hierárquico, tendo como medida a distância euclideana pelo método da ligação média (HAIR JR. et al., 2005). Através da análise de componentes principais buscou-se detectar padrões da regeneração natural nas parcelas e selecionar as variáveis (espécies) que mais contribuíram para a variância nos dois primeiros componentes. A análise por componentes principais foi aplicada visando reduzir o conjunto original de variáveis em poucos componentes, mas que possuem a propriedade de reter, em ordem de estimação, o máximo da informação, em termos de variação total, contida nos dados iniciais (CRUZ; REGAZZI, 2001).

As análises multivariadas foram realizadas pelo programa STATGRAPHICS (STATISTICAL GRAPHICS CORP, 1994), utilizando a matriz de dados por parcela de diversidade, densidade e dominância absoluta e relativa por espécie e total. Para minimizar os efeitos das diferentes escalas de mensuração, os dados originais foram padronizados por

$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_i}{S_{(X_i)}}$ (onde, Z_{ij} =dado padronizado; X_{ij} =dado original;

X_i =média da variável; $S_{(X_i)}$ =desvio padrão da variável), gerando média zero e variância unitária (CRUZ; REGAZZI, 2001).

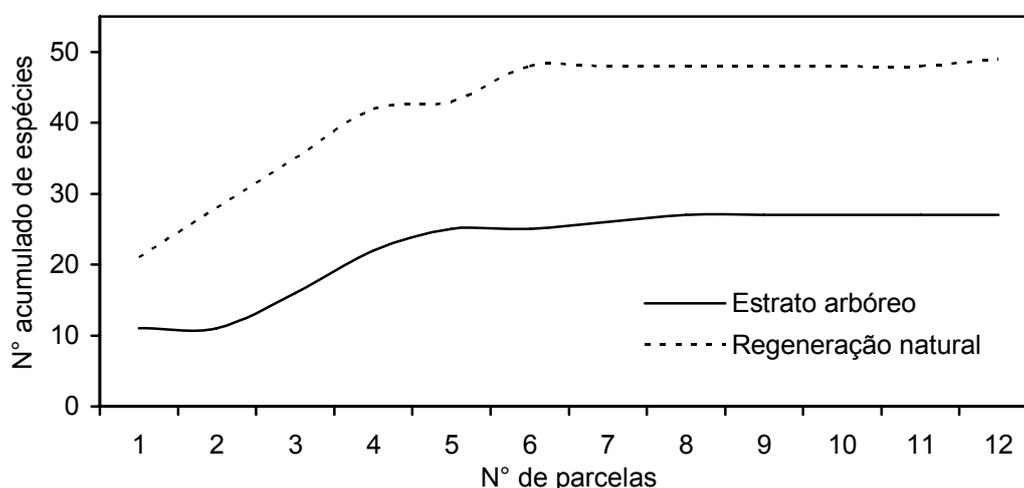
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição e Diversidade Florística

Na tabela 1 está apresentada a relação das espécies encontradas, em ordem alfabética por família e gênero, com respectivos grupos ecológicos, tipos de dispersão e número de indivíduos amostrados no estrato arbóreo e na regeneração natural. Uma síntese das informações dos parâmetros fitossociológicos é apresentada na tabela 2. Houve suficiência amostral, conforme demonstrado na figura 1, na qual verifica-se a estabilização da curva do número de espécies a partir da parcela oito, tanto do estrato arbóreo como da regeneração natural.

No estrato arbóreo (indivíduos com $CAP \geq 15$ cm) foram encontradas 26 espécies nativas pertencentes a 14 famílias botânicas (tabela 2). O valor do índice de diversidade de Shannon para espécies foi de $H' = 2,60$, considerando as parcelas como um todo, e de 1,70 para a média das parcelas, com variação entre 1,01 a 2,38. As famílias com o maior número de espécies no estrato arbóreo foram Flacourtiaceae, Myrsinaceae e Myrtaceae, que apresentaram três espécies cada.

FIGURA 1 - CURVAS DO NÚMERO DE PARCELAS PELO NÚMERO DE ESPÉCIES DO ESTRATO ARBÓREO E DA REGENERAÇÃO NATURAL EM UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.



O número de indivíduos, espécies e famílias amostradas e o índice de diversidade diminuíram a medida que aumentou a altura das plantas da regeneração natural (tabela 2). Na regeneração natural como um todo (0,30 m de altura a $CAP < 15$ cm), foram encontradas 49 espécies distribuídas em 23 famílias botânicas. O índice de diversidade de espécies, para as parcelas como um todo, foi de $H' = 3,03$ e nas parcelas variou de 1,75 a 2,81, com média de 2,33. A família Myrtaceae apresentou maior riqueza, com dez espécies na regeneração natural, seguida pelas famílias Euphorbiaceae, Flacourtiaceae, Lauraceae, Meliaceae, Myrsinaceae e Sapindaceae, com três espécies cada.

No inventário florestal contínuo do Rio Grande do Sul da região da Floresta Estacional Semidecidual, mesma região fitogeográfica deste trabalho, verificou-se que os estágios iniciais da sucessão apresentaram 41 espécies pertencentes a 25 famílias botânicas e índice de diversidade de $H' = 1,74$, tendo como critério de inclusão plantas com $CAP \geq 3,0$ cm (SEMA, 2001). Na regeneração natural (CAP entre 3 e 30 cm) de estágios sucessionais médio e avançado encontrou-se 58 espécies de 26 famílias botânicas, com índice de diversidade de $H' = 1,80$. Entre as 20 espécies mais abundantes encontradas no inventário, dez espécies aparecem entre as de maior frequência na regeneração natural do presente trabalho.

A diversidade da sucessão vegetal citada para diversas plantações florestais é de difícil comparação, devido às diferenças metodológicas, como a área amostrada, limites para a inclusão de indivíduos, tamanho e idade do povoamento, fitogeografia da região, base logarítmica utilizada, etc. No entanto, a maioria dos valores de diversidade encontrados na literatura indica que estas plantações não impedem o desenvolvimento de espécies nativas em seu sub-bosque.

TABELA 1 - LISTA DAS ESPÉCIES NATIVAS E NÚMERO DE INDIVÍDUOS AMOSTRADOS NO ESTRATO ARBÓREO E NA REGENERAÇÃO NATURAL DE UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.

Família/Espécie	Grupo ecológico	Dispersão	Estrato arbóreo				Regeneração natural				
			B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	
Anacardiaceae											
<i>Lithraea brasiliensis</i> March.	CL	Zoo		1				1			
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	P	Zoo	1					2			
Arecaceae											
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassm.	CL	Zoo						1	2		
Asteraceae											
<i>Dasyphyllum spinescens</i> (Less.) Cabrera	-	Ane						1	1		
<i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabrera	P	Ane	5	2	3	5				3	2
Bignoniaceae											
<i>Tabebuia heptaphylla</i> (Vell.) Tol.	CL	Ane							2	1	2
Boraginaceae											
<i>Cordia ecalyculata</i> Vell.	CL	Zoo			1			4		4	1
<i>Patagonula americana</i> L.	CL	Ane		1					1	3	6
Celtidaceae											
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	P	Zoo							2		
Euphorbiaceae											
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll. Arg.	CL	Zoo	1						1		
<i>Gymnanthes concolor</i> (Spreng.) Müll. Arg.	CS	Aut							1		
<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	CS	Aut							1		
Fabaceae											
<i>Inga</i> sp.	NC	Zoo							3		
Flacourtiaceae											
<i>Banara</i> sp.	NC	Zoo	3						3		1
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	CL	Zoo	4	4	3	1		10	17	11	5
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	P	Zoo	11	18	10	8		8	7	12	9
Lauraceae											
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	CS	Zoo							3	3	1
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	CL	Zoo	7					4	2	4	1
<i>Ocotea pulchella</i> (Nees) Mez	CL	Zoo	1					8	6	2	2
Melastomataceae											
<i>Miconia</i> sp.	-	Zoo							2	1	
Meliaceae											
<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	CS	Zoo	4						4		
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	CL	Ane							2	1	
<i>Trichilia clausenii</i> C. DC.	CS	Zoo		1					1	3	1
Moraceae											
<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer	CS	Zoo							2		
Myrsinaceae											
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	P	Zoo	1		1			2	5	6	11
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	CL	Zoo			1	6				7	23
<i>Myrsine lorentziana</i> (Mez) Arechav.	CL	Zoo	9	2	8	1		13	34	32	17
Myrtaceae											
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg	CL	Zoo							1	6	1
<i>Eugenia uniflora</i> L.	CL	Zoo		1					5	1	3
<i>Myrcia glabra</i> (O. Berg) D. Legrand	CS	Zoo	5			2		50	12	6	2
<i>Eugenia</i> sp.	-	Zoo						4			
<i>Myrcia</i> sp.	-	Zoo		1				4		1	
<i>Myrcianthes gigantea</i> (D. Legrand) D. Legrand	CL	Zoo						6	3		
<i>Myrcianthes pungens</i> (O. Berg) D. Legrand	CS	Zoo						1			
<i>Myrciaria tenella</i> (DC.) O. Berg	CL	Zoo								2	
<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	P	Zoo							2		
<i>Myrtaceae 1</i>	-	Zoo							3		
Rosaceae											
<i>Prunus sellowii</i> Koehne	CL	Zoo	1						2	1	1
Rubiaceae											
<i>Faramea marginata</i> Cham.	CS	Zoo							96	3	7
<i>Guettarda uruguensis</i> Cham. & Schltld.	CS	Zoo							1		
Rutaceae											
<i>Zanthoxylum hyemale</i> A. St.-Hil.	P	Zoo		5							1
<i>Zanthoxylum petiolare</i> A. St.-Hil. & Tul.	CL	Zoo	2	12	6			4	5	2	6
Sapindaceae											
<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk.	P	Zoo	2						2	3	9
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	CL	Zoo	4						5	1	
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	CL	Zoo								4	3
Symplocaceae											
<i>Symplocos uniflora</i> (Pohl) Benth.	CS	Zoo	1	2					3		3
Thymelaeaceae											
<i>Daphnopsis racemosa</i> Griseb.	CS	Zoo							22	3	2
Tiliaceae											
<i>Luehea divaricata</i> Mart.	CL	Ane		1					7	1	
Verbenaceae											
<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	CL	Zoo							1		

GE=grupo ecológico: P=pioneira, CL=clímax exigente de luz e CS=Clímax tolerantes à sombra; Disp=tipo de dispersão: Ane=anemocórica, Aut=autocórica, Zoo=Zoocórica; B1, B2, B3 e B4 são respectivamente os blocos 1, 2, 3 e 4.

Para povoamentos de *Eucalyptus* spp., SARTORI et al. (2002) citam valores de H' entre 0,76 a 3,75. No Rio Grande do Sul, ANDRAE et al. (2005) encontraram variações de H' entre 1,3 a 3,5 para plantações de *Pinus* spp. em pequenas propriedades. A regeneração natural em sub-bosque de *Mimosa scabrella* apresentou $H'=2,85$ (NAPPO et al., 2000) e em sub-bosque de três leguminosas arbóreas H' variou entre 1,90 e 2,59 (CHADA et al., 2004).

Apesar da dificuldade de comparações de índices de diversidade, os valores encontrados para parcelas individuais neste trabalho são similares aos reportados para a regeneração natural de estágios sucessionais iniciais, médio e avançado da Floresta Estacional Semidecidual do Rio Grande do Sul (SEMA, 2001) e estão acima da média aos citados para sub-bosques de diversos povoamentos florestais, considerando as parcelas como um todo.

TABELA 2 - PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS DO ESTRATO ARBÓREO E DA REGENERAÇÃO NATURAL OBTIDOS EM UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.

Parâmetros	Estrato arbóreo ¹	Regeneração natural ²			
		I	II	III	Total
Densidade das espécies nativas (ind/ha)	1.408	38.241	8.565	2.361	49.167
Densidade da acácia-negra (ind/ha) ³	225	0	0	0	0
Área basal das espécies nativas (m ² /ha)	9,66	-	-	-	-
Área basal da acácia-negra (m ² /ha) ³	9,39	-	-	-	-
Indivíduos mensurados	196	413	185	51	649
Número de famílias na sucessão natural	14	22	17	12	23
Número de espécies na sucessão natural	27	45	34	18	49
Índice de diversidade de Shannon-Weaver (H')	2,60	2,95	2,93	2,51	3,03
Índice de equabilidade de Pielou (J')	0,79	0,77	0,83	0,87	0,78

¹Árvores com CAP $\geq 15,0$ cm.

²Classes de altura: I (0,3 a 1,0 m), II (1,0 a 3,0 m) e III (3,0 m de altura e até CAP <15 cm).

³Plantas vivas + mortas em pé.

Estrutura do Estrato Arbóreo e da Regeneração Natural

No estrato arbóreo foram mensurados 169 indivíduos de espécies nativas, que representam uma densidade estimada de 1.408 ind/ha e uma área basal de 9,66 m²/ha (tabela 2). Foram encontradas somente 100 árvores vivas/ha de acácia-negra, que representam apenas 4,5% da densidade de plantio do povoamento. As plantas mortas em pé de acácia-negra totalizaram 125 ind/ha, sendo verificado uma grande quantidade de árvores mortas caídas (não avaliadas).

A acácia-negra (Fabaceae) apresentou a maior porcentagem de cobertura (33,4%) do estrato arbóreo, seguida pelas famílias Flacourtiaceae (24,5%), Myrsinaceae (11,7%) e Rutaceae (10,3%), as quais participaram com 79,9% da cobertura total (figura 2). As dez espécies que tiveram os maiores valores de importância no estrato arbóreo foram: *Casearia sylvestris* Sw. (53,6), acácia-negra – plantas vivas (43,1), acácia-negra – plantas mortas (40,3), *Myrsine lorentziana* (Mez) Arechav. (24,7), *Zanthoxylum petiolare* A. St.-Hil. & Tul. (24,6), *Gochnatia polimorpha* (Less.) Cabrera (17,4), *Casearia decandra* Jacq. (13,9), *Myrsine umbellata* Mart. (11,3), *Ocotea puberula* (Rich.) Nees (9,0) e *Myrcia glaba* (O. Berg) D. Legrand (7,9). A contribuição destas espécies resultou em 81,9% da soma total do valor de importância (tabela 3). A *Casearia sylvestris* apresentou a maior densidade e frequência, enquanto que a acácia-negra a maior dominância, pelo maior diâmetro das árvores.

As famílias com maior porcentagem de cobertura na regeneração natural foram Myrsinaceae (23,3%), Myrtaceae (17,1%), Rubiaceae (16,3%) e Flacourtiaceae (13,4%); a participação destas famílias representou 70,1% da cobertura total (figura 2). Na classe de altura I (0,3 m a 1,0 m) da regeneração natural foi estimada uma densidade total de 38.241 ind/ha (tabela 2), tendo destaque

as seguintes espécies: *Faramea marginata* Cham., *Myrsine lorentziana*, *Myrsia glabra*, *Casearia decandra*, *Daphnopsis racemosa* Griseb., *Myrsine coriacea* (Sw.) R. Br. Ex Roem. & Schult., *Allophylus edulis* (A. St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk., *Casearia sylvestris* e *Ocotea pulchella* (Nees) Mez (tabela 4). Unidas, estas espécies representam 71,7% da densidade total.

A densidade total estimada da classe de altura II (1,0 a 3,0 m) foi de 8.565 ind/ha, merecendo destacar as seguintes espécies: *Myrsine lorentziana*, *Myrcia glabra*, *Casearia sylvestris*, *Myrsine umbellata*, *Faramea marginata*, *Casearia decandra*, *Daphnopsis racemosa* e *Zanthoxylum petiolare*, que contribuíram com 68,7% da densidade total. Na classe de altura III (3,0 m de altura a CAP <15,0 cm) a densidade total foi estimada em 2.361 ind/ha. Representando 70,6% desta densidade estão as seguintes espécies: *Casearia decandra*, *Myrsine umbellata*, *Myrsine lorentziana*, *Casearia sylvestris*, *Myrcia glabra* e *Zanthoxylum petiolare*.

Considerando a regeneração natural como um todo (0,3 m de altura a CAP >15,0 cm), as dez espécies de maior densidade foram: *Faramea marginata*, *Myrsine lorentziana*, *Myrsia glabra*, *Casearia decandra*, *Daphnopsis racemosa*, *Casearia sylvestris*, *Myrsine coriacea*, *Myrsine umbellata*, *Allophylus edulis* e *Ocotea pulchella*, que representam juntas 72,8% da densidade total (tabela 4).

A densidade total de 49.167 ind/ha na regeneração natural observada neste trabalho é superior à relatada em outras plantações florestais. CHADA et al. (2004) encontraram uma densidade de 2.915 ind/ha no sub-bosque de um reflorestamento com leguminosas arbóreas, tendo como critério de inclusão indivíduos com altura a partir de 0,4 m. No sub-bosque de *Minosa scabrella* em área minerada foram encontrados 30.410 ind/ha com altura $\geq 0,3$ m (NAPPO et al., 2004). A densidade da regeneração natural de uma clareira da Floresta Estacional Semidecídua foi de 36.136 ind/ha, também com altura $\geq 0,3$ m (RONDON NETO et al., 2000).

FIGURA 2 - PORCENTAGEM DE COBERTURA POR FAMÍLIA NO ESTRATO ARBÓREO E NA REGENERAÇÃO NATURAL EM UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.

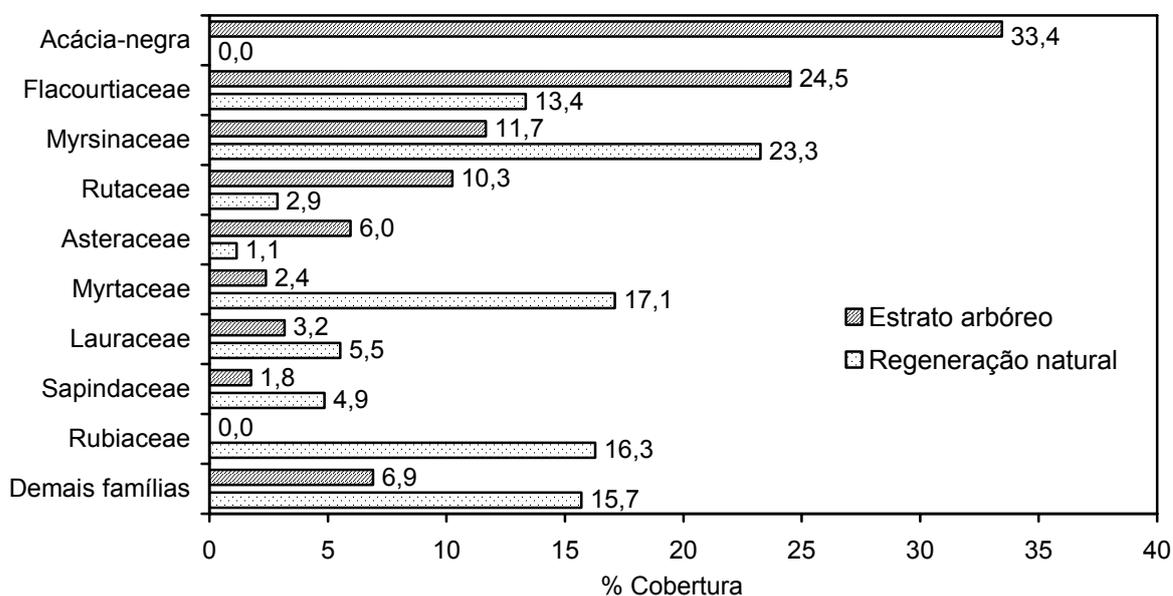


TABELA 3 - ESTRUTURA DO ESTRATO ARBÓREO EM UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.

Espécies	DAP (cm)	h (m)	FA (%)	DA (n/ha)	DoA (m ² /ha)	FR (%)	DR (%)	DoR (%)	VI
<i>Casearia sylvestris</i>	9,2	6,6	100	392	2,9	13,2	24,1	16,3	53,6
Acácia-negra - plantas vivas	25,3	19,5	58	100	5,4	7,7	8,6	26,8	43,1
Acácia-negra - plantas mortas	17,9	-	67	125	4,0	8,8	10,0	21,5	40,3
<i>Myrsine lorentziana</i>	7,8	6,8	75	167	0,9	9,9	9,9	5,0	24,7
<i>Zanthoxylum petiolare</i>	8,4	7,4	58	167	1,2	7,7	9,6	7,3	24,6
<i>Gochnatia polymorpha</i>	10,4	5,9	42	125	1,3	5,5	6,1	5,8	17,4
<i>Casearia decandra</i>	6,1	6,7	50	100	0,3	6,6	5,7	1,6	13,9
<i>Myrsine umbellata</i>	7,1	6,1	33	58	0,3	4,4	5,7	1,3	11,3
<i>Ocotea puberula</i>	10,8	9,3	25	58	0,5	3,3	2,8	2,9	9,0
<i>Myrcia glabra</i>	5,9	6,5	33	58	0,2	4,4	2,8	0,7	7,9
<i>Zanthoxylum hyemale</i>	8,3	7,6	25	42	0,2	3,3	2,2	1,4	6,9
<i>Cabralea canjerana</i>	14,6	10,3	17	33	0,6	2,2	1,3	2,9	6,5
<i>Matayba elaeagnoides</i>	7,4	8,2	25	33	0,1	3,3	1,5	0,7	5,6
<i>Symplocos uniflora</i>	10,1	6,8	17	25	0,2	2,2	1,4	0,9	4,5
<i>Myrsine coriacea</i>	5,6	6,5	17	17	0,0	2,2	1,4	0,2	3,8
<i>Banara</i> sp.	5,0	6,8	17	25	0,1	2,2	1,0	0,3	3,5
<i>Alchornea triplinervia</i>	21,2	10,0	8	8	0,3	1,1	0,5	1,4	3,0
<i>Prunus sellowii</i>	21,0	14,0	8	8	0,3	1,1	0,3	1,5	2,9
<i>Allophylus edulis</i>	5,4	5,5	8	17	0,0	1,1	1,0	0,2	2,3
<i>Cordia ecalyculata</i>	4,8	4,5	8	8	0,0	1,1	0,7	0,1	1,9
<i>Myrcia</i> sp.	7,0	7,0	8	8	0,0	1,1	0,4	0,3	1,8
<i>Ocotea pulchella</i>	6,4	4,5	8	8	0,0	1,1	0,5	0,1	1,8
<i>Trichilia clausenii</i>	7,2	9,0	8	8	0,0	1,1	0,4	0,2	1,7
<i>Eugenia uniflora</i>	6,1	6,0	8	8	0,0	1,1	0,4	0,2	1,7
<i>Lithraea brasiliensis</i>	6,0	5,0	8	8	0,0	1,1	0,4	0,2	1,7
<i>Luehea divaricata</i>	4,8	4,0	8	8	0,0	1,1	0,4	0,1	1,7
<i>Patagonula americana</i>	5,4	6,0	8	8	0,0	1,1	0,4	0,1	1,6
<i>Schinus terebinthifolius</i>	5,9	8,0	8	8	0,0	1,1	0,3	0,1	1,5

DAP=diâmetro médio a 1,30 m de altura, h=altura média, FA=freqüência absoluta, DA=densidade absoluta, DoA=dominância absoluta, VI=valor de importância.

TABELA 4 - DENSIDADE E FREQUÊNCIA ABSOLUTA DA REGENERAÇÃO NATURAL EM UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.

Espécie	Densidade absoluta (plantas/ha)				FA (%)
	I	II	III	Total	
<i>Faramea marginata</i>	8426	602	93	9120	66,7
<i>Myrsine lorentziana</i>	5000	1667	278	6944	100,0
<i>Myrcia glabra</i>	4352	926	139	5417	91,7
<i>Casearia decandra</i>	2222	417	463	3102	75,0
<i>Daphnopsis racemosa</i>	1852	417	0	2269	66,7
<i>Casearia sylvestris</i>	1204	833	231	2269	91,7
<i>Myrsine coriacea</i>	1852	139	46	2037	83,3
<i>Myrsine umbellata</i>	556	694	417	1667	41,7
<i>Allophylus edulis</i>	1389	139	46	1574	66,7
<i>Ocotea pulchella</i>	1111	185	93	1389	58,3
<i>Zanthoxylum petiolare</i>	648	324	139	1111	83,3
<i>Ocotea puberula</i>	833	93	0	926	66,7
<i>Cordia ecalyculata</i>	741	46	0	787	33,3
<i>Myrcianthes gigantea</i>	556	139	0	694	41,7
<i>Eugenia uniflora</i>	556	139	0	694	50,0
<i>Cupania vernalis</i>	556	46	0	602	33,3
<i>Patagonula americana</i>	278	231	93	602	33,3
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	463	139	0	602	33,3
<i>Nectandra lanceolata</i>	463	93	0	556	50,0
<i>Luehea divaricata</i>	278	185	46	509	33,3
<i>Tabebuia heptaphylla</i>	463	0	0	463	33,3
<i>Gochnatia polymorpha</i>	370	0	46	417	25,0
<i>Matayba elaeagnoides</i>	278	139	0	417	33,3
<i>Symplocos uniflora</i>	278	139	0	417	25,0
<i>Banara</i> sp.	278	46	0	324	16,7
<i>Prunus sellowii</i>	278	46	0	324	25,0
<i>Eugenia</i> sp.	278	46	0	324	8,3
Myrtaceae 1	278	0	0	278	16,7
<i>Cabralea canjerana</i>	185	46	46	278	16,7
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	278	0	0	278	25,0
<i>Myrcia</i> sp.	93	139	46	278	25,0
<i>Trichilia clausenii</i>	93	185	0	278	25,0
<i>Inga</i> sp.	185	46	0	231	25,0
<i>Psidium cattleianum</i>	185	0	0	185	8,3
<i>Schinus terebinthifolius</i>	185	0	0	185	8,3
<i>Cedrela fissilis</i>	93	46	46	185	16,7
<i>Sorocea bonplandii</i>	185	0	0	185	8,3
<i>Trema micrantha</i>	185	0	0	185	16,7
<i>Dasyphyllum spinescens</i>	185	0	0	185	16,7
<i>Myrciaria tenella</i>	93	0	46	139	16,7
<i>Miconia</i> sp.	0	93	46	139	25,0
<i>Zanthoxylum hyemale</i>	93	0	0	93	8,3
<i>Myrcianthes pungens</i>	93	0	0	93	8,3
<i>Gymnanthes concolor</i>	93	0	0	93	8,3
<i>Guettarda uruguensis</i>	93	0	0	93	8,3
<i>Vitex megapotamica</i>	93	0	0	93	8,3
<i>Lithraea brasiliensis</i>	0	46	0	46	8,3
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	0	46	0	46	8,3
<i>Alchornea triplinervia</i>	0	46	0	46	8,3

¹Classe I= 0,3 a 1,0 m de altura; Classe II=1,0 a 3,0 m de altura; Classe III=3,0 m de altura a <15 cm de CAP

A maior densidade da regeneração natural encontrada neste trabalho pode ser atribuída a melhoria das condições ambientais do sub-bosque proporcionadas pela deposição de grande quantidade de serapilheira rica em nutrientes, especialmente o nitrogênio (SCHUMACHER et al., 2003); abertura de clareiras pela mortalidade e queda da maioria das árvores de acácia-negra que já completaram seu ciclo de vida; bem como, boa disponibilidade de propágulos. Desta forma, a acácia-negra pode ser considerada como uma espécie facilitadora da sucessão natural, podendo ser utilizada na recuperação da cobertura florestal de áreas em que a vegetação nativa tenha dificuldade de regeneração, devido a condições desfavoráveis de solo.

Quanto à análise da estrutura vertical, foram definidas quatro posições sociológicas (figura 3). O estrato superior, com altura de 18 a 24 m, é formado exclusivamente pela acácia-negra (100 ind/ha), árvores remanescentes do plantio original. O estrato intermediário, com 12 a 15 m de altura, agrupou poucos indivíduos de *Prumus sellowii* Koehne, *Casearia sylvestris* e *Ocotea puberula*, bem dispersos na área (25 ind/ha), não sendo encontradas árvores com altura entre 15 e 18 m. O estrato inferior, com altura de 6 a 12 m, concentrou a maior parte das plantas (1.631 ind/ha) do estrato arbóreo (CAP $\geq 15,0$ cm), sendo formado exclusivamente por espécies nativas. Por último, ficou definido a regeneração natural, com 0,3 a 6,0 m de altura, que apresentou um grande número de plantas (48.919 ind/ha), também formada exclusivamente por espécies nativas.

Um resultado que merece destaque é a ausência absoluta de plantas de acácia-negra na regeneração natural e nos estratos inferior e intermediário, indicando que no período não houve regeneração da espécie e como as plantas remanescentes do plantio original estão em senescência, em pouco tempo não deverão ser encontrados indivíduos vivos de acácia-negra na área. Isto afasta a

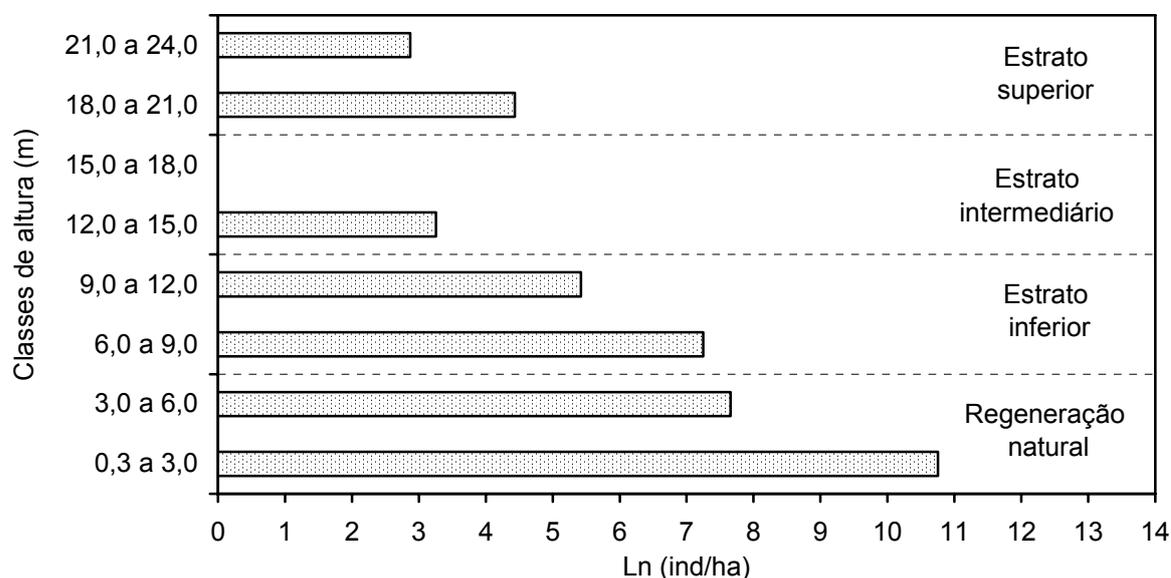
possibilidade da acácia-negra tornar-se invasora deste ambiente e vir a prejudicar o desenvolvimento da sucessão florestal, conforme sugestionado por ESPINDOLA et al. (2005) quando da utilização de espécies exóticas na recuperação ambiental. O sub-bosque de *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth., *Acacia mangium* e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. também não apresentou regeneração destas espécies (CHADA et al., 2004). O mesmo não tem ocorrido em plantios de leucena e pinus.

Plantio de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit apresentou 98% da regeneração natural composta por indivíduos desta espécie (FREIRE et al., 2000). ANDRAE et al. (2005) encontraram em média 33.000 plantas/ha de *Pinus* spp. no sub-bosque desta mesma espécie, no entanto observaram que a distribuição entre os povoamentos avaliados foi bastante irregular.

Estes resultados indicaram que a acácia-negra não é uma invasora de ambientes antrópicos de mata ripária da Floresta Estacional Semidecidual, desde que haja disponibilidade de propágulos para o estabelecimento espécies nativas. Segundo RICHARDSON et al. (2000), uma espécie deve ser considerada invasora de um determinado ambiente quando sustenta uma população durante vários ciclos de vida e que seja capaz de ocupar áreas vizinhas ao povoamento original. Neste trabalho constatou-se que a acácia-negra foi incapaz de se regenerar na área em que foi inicialmente plantada, bem como não se expandiu para os fragmentos florestais circunvizinhos. Além do mais, permitiu uma exuberante regeneração de espécies nativas em seu sub-bosque.

Entretanto, a indicação da acácia-negra para restauração de áreas degradadas apresenta a restrição da formação de um banco de sementes no solo. Estas sementes mantêm-se viáveis por vários anos (PIETERSE; BOUCHER, 1997), podendo originar a uma nova população de plantas de acácia-negra, caso haja uma perturbação do ambiente em restauração e exponha do solo a plena luz.

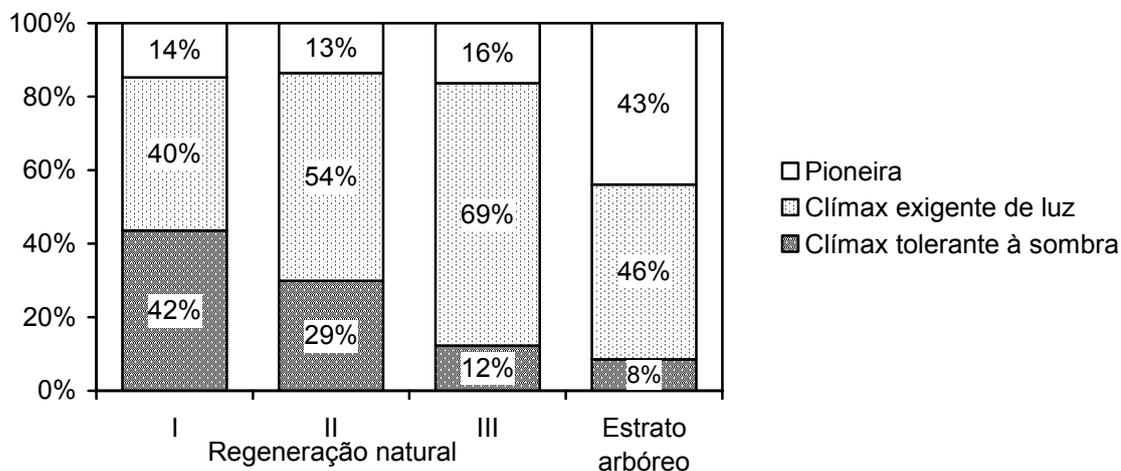
FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO EM CLASSES DE ALTURA E ESTRATIFICAÇÃO DO ESTRATO ARBÓREO E DA REGENERAÇÃO NATURAL EM UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.



Estratégia de Dispersão e de Crescimento das Espécies da Sucessão Florestal

Das espécies amostradas, 84% (41) possuem dispersão zoocórica, 12% (6) anemocórica e 4% (2) autocórica (tabela 1). A predominância de espécies zoocóricas na sucessão vegetal também foi observada no sub-bosque de *Pinus* sp. (LOMBARDI; MOTTA JÚNIOR, 1992) e *Eucalyptus* sp. (NERI et al., 2005). Considerando o número de indivíduos, verifica-se que 95,9% das plantas da sucessão florestal apresentaram dispersão zoocórica, 3,8% anemocórica e somente 0,3% a síndrome autocórica. A dispersão de sementes por aves foi facilitada pelos poleiros naturais formados pelas plantas mortas de acácia-negra existentes na área. A predominância da dispersão zoocórica contribuiu para a alta diversidade da sucessão florestal observada neste trabalho e indica que mesmo plantações localizadas mais distantes de fragmentos nativos podem apresentar uma diversificada regeneração natural em seu sub-bosque.

FIGURA 4 - PORCENTAGEM DO NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR GRUPO ECOLÓGICO NO ESTRATO ARBÓREO E NA REGENERAÇÃO NATURAL (CLASSES DE ALTURA I, II E III) NO SUB-BOSQUE DE UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.



A classificação de espécies em grupos ecológicos é dificultada pelos diferentes critérios utilizados por diversos autores, o que leva uma mesma espécie ser classificada em grupos distintos, bem como, ao fato de que uma espécie, dependendo de suas características genéticas, pode apresentar diferentes comportamentos diante de condições ambientais distintas, uma vez que estas respostas não se dão para um único fator do meio isoladamente. Na tabela 1 é apresentado o grupo ecológico de cada espécie utilizado neste trabalho. A classificação foi realizada segundo SWAINE; WHITMORE (1988), modificada por OLIVEIRA FILHO (1994).

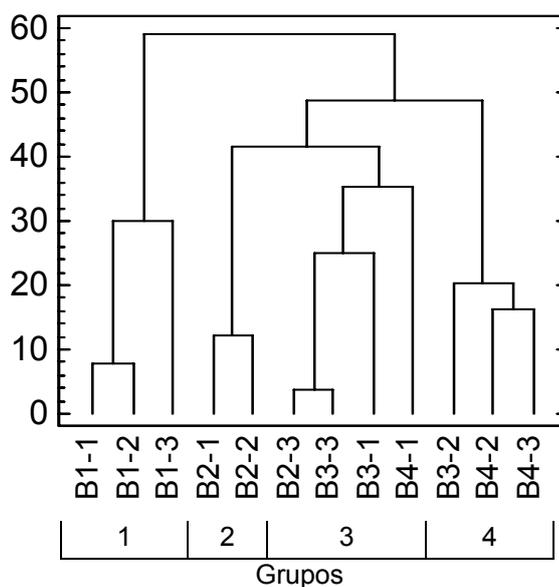
O grupo ecológico predominante no sub-bosque do povoamento de acácia-negra foi o das espécies clímax exigente de luz, que apresentou a maior densidade relativa no estrato arbóreo (46%) e nas classes II (54%) e III (69%) da regeneração natural (figura 4). A proporção de indivíduos de espécies pioneiras foi de 43% no estrato arbóreo, reduzindo-se na regeneração natural para 14%. O contrário ocorreu com as espécies clímax tolerantes a sombra, que representaram 8% dos indivíduos

do estrato arbóreo e 42% da classe I da regeneração natural. A maior proporção de plantas de espécies exigentes de luz no estrato arbóreo e na classe mais alta da regeneração natural e o ingresso de indivíduos de espécies tolerantes a sombra nas classes de menores tamanho da regeneração natural indica o avanço do processo de sucessão florestal na área do povoamento de acácia-negra.

Similaridade Florística entre Parcelas

A análise de agrupamento revelou quatro grupos de parcelas, correspondendo em grande parte aos blocos demarcados na pendente da área estudada (figura 5). Somente as parcelas B2-3, B3-2 e B4-1 não foram agrupadas dentro do grupo correspondente ao seu bloco no campo. Este resultado indicou que o gradiente de drenagem do solo teve influência significativa na estrutura e composição florística do sub-bosque da área estudada.

FIGURA 5 - DENDROGRAMA DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO DAS PARCELAS AVALIADAS EM UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.



Considerando os dois primeiros componentes principais, que contribuíram com 30 e 15% da variação total (figura 6), verifica-se que as parcelas do bloco 1 são mais homogêneas que as parcelas dos demais blocos. Nesta análise observa-se também que a localização das parcelas na pendente apresenta uma relação com sua disposição no diagrama, com parcelas da parte mais baixa da área (maior umidade no solo) ficando a esquerda do diagrama e as da parte mais alta (menor umidade no solo) à direita. A posição das variáveis de densidade das espécies no diagrama indica tendências quanto a sítios em que a espécie apresenta melhor desempenho.

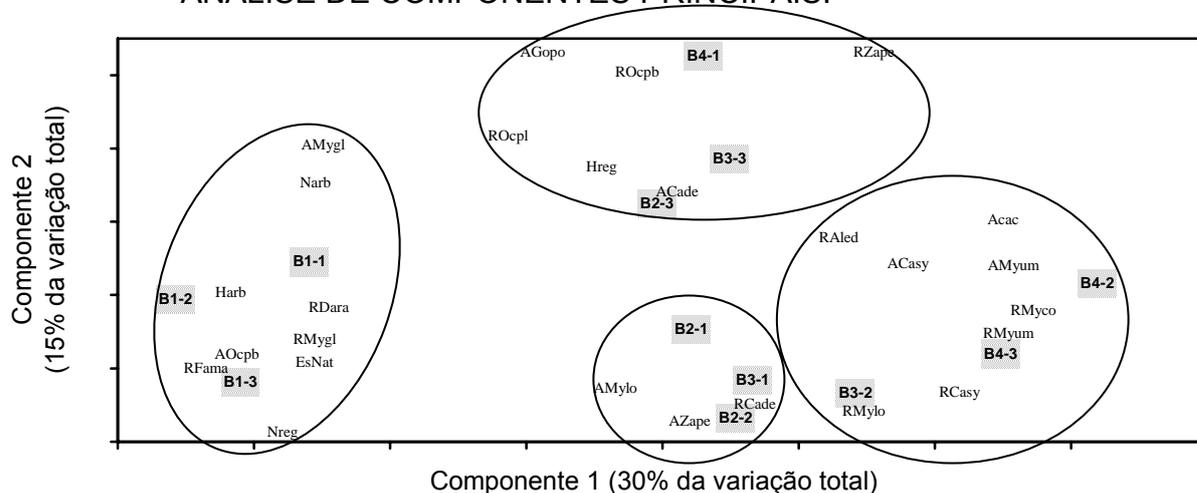
A dominância relativa da acácia-negra, considerando plantas vivas e mortas em pé, reduziu-se à medida que se aumentou o grau de umidade do solo, devido a maior mortalidade das plantas em idade mais jovem nas áreas de menor drenagem (tabela 5). O bloco 1 (pior drenagem) apresentou somente plantas mortas em pé e caídas no solo (não mensuradas); enquanto que o bloco 4 (melhor drenagem) apresentou o maior número de plantas vivas. A acácia-negra apresenta melhor desempenho em solos bem drenados e não tolera os hidromórficos, mal drenados ou muito úmidos (DEDECEK; HIGA, 2003). Ao contrário de que ocorreu com a acácia-negra, a dominância relativa das espécies nativas no estrato arbóreo incrementou-se com a redução da drenagem do solo.

Tanto para ao estrato arbóreo como para a regeneração natural, observou-se um aumento da diversidade e densidade absoluta das espécies nativas nos blocos localizados na parte inferior da pendente (tabela 5), que pode ser atribuído a um período mais longo de ocupação de clareiras abertas pela mortalidade da acácia-negra, ou seja, a sucessão florestal está estabelecida há mais tempo na parte mais úmida da área.

A densidade relativa das espécies também foi afetada pela posição dos blocos na pendente (figura 6 e tabela 5). *Casearia sylvestris*, *Myrsine umbellata*, *Myrsine coriacea* e *Allophylus edulis* tiveram maiores densidades na parte superior da pendente, onde os solos apresentam melhor drenagem e que a abertura de clareiras é mais recente. *Casearia sylvestris*, *Myrsine coriacea* e *Allophylus edulis* são espécies pioneiras e se estabeleceram rapidamente nos locais que a luz atingiu o solo, devido à queda de plantas de acácia-negra mortas. Na parte inferior da pendente, as maiores densidades da regeneração natural foram observadas com *Faramea marginata*, *Myrcia glabra* e *Daphnopsis racemosa*, espécies tolerantes a sombra e características de sub-bosques da região.

Dessa forma, ficou evidenciado que as parcelas localizadas na parte superior da pendente estão numa fase inicial de sucessão e as parcelas da parte inferior em uma etapa mais avançada de sucessão florestal. A densidade relativa das demais espécies não apresentou relação com o gradiente de drenagem da pendente, podendo estar relacionadas com outros fatores, como variações ambientais não mensuradas neste trabalho e da disponibilidade de propágulos no tempo e espaço.

FIGURA 6 - DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DAS PARCELAS OBTIDO POR ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.



As variáveis mais correlacionadas com os componentes estão indicadas com as abreviações listadas na tabela 5.

TABELA 5 - VALORES MÉDIOS PARA BLOCOS DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS FITOSSOCIOLÓGICAS DO ESTRATO ARBÓREO E DA REGENERAÇÃO NATURAL DE UM POVOAMENTO DE ACÁCIA-NEGRA.

Parâmetros	Abreviação	Blocos			
		1	2	3	4
Dominância relativa estrato arbóreo (%):					
Espécies nativas	EsNat	84	65,5	33,8	23,7
Acácia-negra	Acac	16	34,5	66,2	76,3
Diversidade (H')					
Estrato arbóreo	Harb	2,24	1,71	1,49	1,34
Regeneração natural	Hreg	2,26	2,42	2,46	2,2
Densidade absoluta (ind/ha):					
Estrato arbóreo	Narb	2.070	1.770	1.200	1.000
Regeneração natural	Nreg	88.150	38.520	38.520	31.480
Densidade relativa no estrato arbóreo (%):					
<i>Casearia sylvestris</i>	ACasy	17,2	35,0	25,3	29,6
<i>Myrsine lorentziana</i>	AMylo	14,0	3,4	26,2	1,9
<i>Zanthoxylum petiolare</i>	AZape	3,7	21,1	16,8	0,0
<i>Gochnatia polymorpha</i>	AGopo	7,1	4,8	5,3	9,3
<i>Casearia decandra</i>	ACade	5,4	8,9	5,3	5,6
<i>Myrsine umbellata</i>	AMyum	0,0	0,0	4,8	22,2
<i>Ocotea puberula</i>	AOcpb	11,9	0,0	0,0	0,0
<i>Myrcia glabra</i>	AMygl	8,0	0,0	0,0	3,7
Densidade relativa na regeneração natural (%):					
<i>Faramea marginata</i>	RFama	37,0	2,3	7,2	0,0
<i>Myrsine lorentziana</i>	RMylo	4,7	24,9	20,4	15,9
<i>Myrcia glabra</i>	RMygl	17,4	9,9	5,1	1,8
<i>Casearia decandra</i>	RCade	2,2	12,4	7,7	3,6
<i>Daphnopsis racemosa</i>	RDara	6,9	2,3	1,0	2,1
<i>Casearia sylvestris</i>	RCasy	2,8	4,9	7,3	9,5
<i>Myrsine coriacea</i>	RMyco	0,8	3,7	4,3	12,4
<i>Myrsine umbellata</i>	RMyum	0,0	0,0	5,2	16,5
<i>Allophylus edulis</i>	RAled	0,3	2,1	8,4	4,4
<i>Ocotea puberula</i>	ROcpb	1,7	1,5	4,3	1,3
<i>Zanthoxylum petiolare</i>	RZape	1,0	3,1	1,2	5,8
<i>Ocotea pulchella</i>	ROcpl	3,2	4,4	1,0	2,6

CONCLUSÕES

O povoamento abandonado de acácia-negra proporciona uma abundante e diversificada regeneração de espécies florestais nativas em seu sub-bosque, sendo capaz de restabelecer boa parte da riqueza florística original. No entanto, a indicação da espécie para a restauração de ambientes degradados apresenta a restrição de formação de banco de sementes no solo, e conseqüentemente o risco de estabelecimento de uma nova população de plantas de acácia-negra, caso ocorra uma perturbação no ambiente em recuperação.

A síndrome de dispersão zoocórica é a predominante entre as espécies presentes no sub-bosque do povoamento de acácia-negra, que pode ter sido responsável pela alta diversidade florística encontrada neste trabalho.

A sucessão florestal encontra-se em um processo de evolução, no qual ocorre uma maior densidade de espécies exigentes de luz nos estratos superiores e um ingresso de indivíduos tolerantes a sombra na classe inferior da regeneração.

Nas áreas de drenagem deficiente ocorre maior mortalidade de plantas de acácia-negra, possibilitando o estabelecimento de regeneração de espécies nativas mais densa e diversificada.

A alta mortalidade das plantas da plantação original e a ausência absoluta da acácia-negra no sub-bosque indicam que esta espécie não se constitui numa invasora da mata ripária da Floresta Estacional Semidecidual, desde que haja disponibilidade de propágulos de espécies nativas para recolonizar a área.

6 DIVERSIDADE E COMPOSIÇÃO BOTÂNICA DA VEGETAÇÃO HERBÁCEA SOB POVOAMENTOS DE ACÁCIA-NEGRA EM ÁREAS CAMPESTRES

INTRODUÇÃO

Os campos naturais ocupavam uma área em torno de 12 milhões de hectares do Rio Grande do Sul e constituíam-se na principal pastagem para sua produção animal (IBGE, 1985). Nas últimas décadas observou-se uma expansão de plantios florestais, entre estes o cultivo da acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), em áreas alteradas por ações antrópicas (agricultura, pastagens, etc) e que apresentavam, na maioria das vezes, uma regeneração da vegetação nativa.

As plantações florestais provocam alterações em habitat naturais, modificando a composição e diversidade da vegetação nativa, diminuindo a biodiversidade nos povoamentos florestais em relação a do ambiente natural original (POGGIANI; OLIVEIRA, 1998). Por conseguinte, afetam as relações tróficas entre organismos do ambiente, como os microrganismos, invertebrados e vertebrados, uma vez que modificam o primeiro componente da cadeia alimentar constituído pelos produtores.

A fauna e flora das áreas naturais preservadas constituem-se em fonte de propágulos de espécies nativas para áreas em regeneração e habitat de polinizadores, dispersores e inimigos naturais de pragas e doenças do cultivo florestal (POGGIANI; OLIVEIRA, 1998).

A manutenção de áreas naturais entre os talhões florestais, representadas por matas ciliares, banhados, área de preservação permanente e faixas de vegetação nativa, tem reflexos positivos na sustentabilidade das plantações florestais e na biodiversidade e aspectos cênicos da região (FREITAS et al., 1997). Práticas silviculturais que mantenham parte da vegetação herbácea do ambiente nativo nas

estrelinhas dos cultivos florestais, como o plantio direto e o cultivo mínimo, conservam parte da diversidade vegetal, tendo reflexos positivos sobre a biodiversidade destas plantações.

O sistema de preparo do solo utilizado nas plantações florestais em áreas de campo, preserva a vegetação original herbácea nas entrelinhas do cultivo. No entanto, o crescimento e sombreamento das árvores alteram fatores ambientais, tais como: intensidade e qualidade da luz, balanço de radiação e condições hídricas, modificando a produção, qualidade, composição e diversidade florística da vegetação herbácea mantida nas entrelinhas destes cultivos (FUCKS, 1999; PILLAR et al., 2002).

Plantios de eucalipto em campos nativos do Rio Grande do Sul modificaram a composição florística da vegetação herbácea. O sombreamento reduziu a cobertura das espécies com via fotossintética C₄ e aumentou a cobertura das espécies C₃, mais tolerantes ao sombreamento (PILLAR et al., 2002). *Desmodium incanum*, *Axonopus affinis* e *Paspalum notatum*, espécies importantes e as mais comuns nos campos naturais (BOLDRINI et al., 2005), diminuíram sua frequência nas pastagens em função do incremento do sombreamento provocado pelo aumento da densidade de plantio de *Eucalyptus saligna* (FUCKS, 1999).

A dinâmica das comunidades herbáceas sob árvores plantadas está provavelmente relacionada à composição de espécies na comunidade original, ao banco de sementes, a densidade de plantio e a velocidade de crescimento do povoamento arbóreo (PILLAR et al., 2002). Quando as árvores plantadas são leguminosas arbóreas, o crescimento da vegetação herbácea tolerante ao sombreamento é beneficiado pela fixação e ciclagem de nitrogênio (MOCHIUTTI; MEIRELLES, 2001).

As plantações de acácia-negra no Rio Grande do Sul são tradicionalmente utilizadas em sistemas silvipastoris com pastagens espontânea. Os animais, principalmente bovinos, consomem a vegetação herbácea nativa ou naturalizada que se desenvolve no sub-bosque da acácia-negra a partir do segundo ano até o final do ciclo do cultivo (SILVA et al., 2001). Esta modalidade de sistema silvipastoril tem sido utilizado em plantações florestais estabelecidas em diferentes ecossistemas campestres, tendo a finalidade de controlar a vegetação do sub-bosque, reduzir a competição e os riscos de incêndios florestais, e facilitar as práticas de controle de pragas, podas e desbastes; ademais, gera uma receita adicional pela produção animal (GARCIA; ANDRADE, 2001; POLLA, 2001).

As espécies componentes das pastagens nativas apresentam diferenças quanto à capacidade de competição, cobertura do solo, valor forrageiro e adaptação ao sombreamento florestal. Desta forma, o conhecimento da diversidade e composição botânica da vegetação herbácea nas plantações de acácia-negra é de fundamental importância para determinar práticas de manejo silviculturais que minimizem os efeitos da competição entre as árvores e a pastagem nativa, mas que também possa favorecer a diversidade florística, a cobertura de solo e a produção forrageira. Por outro lado, a recomposição da vegetação de áreas utilizadas com plantações de acácia-negra pode indicar a capacidade do ambiente retornar ao seu estado original de equilíbrio dinâmico e a extensão das perturbações sobre a resiliência ambiental.

O objetivo deste trabalho foi estudar a diversidade da vegetação herbácea sob sombreamento de acácia-negra com diferentes idades, avaliar a capacidade de recomposição da vegetação herbácea em áreas utilizadas anteriormente com plantios desta espécie e identificar padrões da composição botânica nos diferentes ambientes.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi realizado em áreas originalmente ocupadas por pastagens nativas, nos municípios de Cristal e Piratini, RS. Segundo FORTES (1956) o município de Cristal está situado na região da Encosta do Sudeste e Piratini na região da Serra do Sudeste.

A região da Encosta do Sudeste apresenta cobertura vegetal original formada pela transição entre a Floresta Estacional Semidecidual, a Estepe Gramíneo-Lenhosa e as Formações Pioneiras (VELOSO et al., 1991; IBGE, 2004b). O clima desta região é do tipo Cfa (Classificação de Köppen), com precipitações anuais em torno de 1.300 mm, temperatura média anual de 18 °C e em média 24 dias/ano com geadas (MORENO, 1961; RIO GRANDE DO SUL, 1994). As áreas avaliadas apresentam altitude média de 100 m.s.m., relevo com inclinações suaves e moderadas e os solos são ARGILOSSOS VERMELHOS-AMARELOS distróficos no topo e encostas, e hidromórficos nas áreas mais próximas dos cursos d'água.

Na Serra do Sudeste a cobertura vegetal original é a Estepe Arborizada, com remanescentes da Floresta Estacional Semidecidual nos vales (VELOSO et al., 1991; IBGE, 2004b). O clima é do tipo Cfb, com precipitações anuais em torno de 1.500 mm, temperatura média de 16 °C e em média 18 dias/ano com geadas (MORENO, 1961; RIO GRANDE DO SUL, 1994). Os solos das áreas avaliadas são NEOSSOLOS LITÓLICOS distróficos nas encostas e hidromórficos nas áreas mais próximas dos cursos d'água, apresentam altitude média de 350 m.s.n.m. e relevo com inclinações fortes.

O plantio de acácia-negra foi feito no espaçamento de 3,0 x 1,5 m (2.222 plantas/ha), utilizando o sistema de plantio direto para o preparo da área, que consistiu somente na aplicação de herbicida numa faixa de 1,0 m de largura na linha de plantio, sendo preservada a vegetação existente na entrelinha do cultivo, numa faixa de 2,0 m de largura. Os talhões plantados, bem como as áreas de preservação permanente (APP) existentes dentro destes, foram pastejados por bovinos (novilhos) a partir do início do segundo ano após o plantio, no sistema rotacional e com lotação baseada na disponibilidade de forragem, definidos visualmente por vaqueiros das fazendas.

Portanto, o pastejo dessas áreas foi interrompido por 1,5 a 2,0 anos, no período entre a colheita da rotação anterior e o estabelecimento na nova rotação, quando as plantas de acácia-negra apresentavam mais que 3 m de altura.

Os campos nativos avaliados foram pastejados por bovinos (rebanho misto) no mesmo sistema rotacional de pastejo dos talhões de acácia-negra, mas sem as interrupções anuais.

A distância entre as áreas avaliadas de cada região foi menor que 5 km. Os locais avaliados em cada ambiente (povoamento de acácia, campo nativo e APP) foram selecionados com base nas condições de solos e relevo típicos de cada região, e relativamente homogêneos. Foram avaliados os seguintes ambientes:

- a) AR - APP em recuperação: área campestre dentro da APP, utilizada anteriormente com acácia-negra com colheita realizada há três anos, e desde então mantida sem intervenções para recuperação da vegetação nativa.
- b) AU - APP sem uso: ambiente campestre com vegetação original dentro de APPs, utilizado somente como pastagem nativa. Testemunha para a APP em recuperação.

- c) CR - Campo recuperado: área utilizada 17 anos antes deste estudo com plantios de acácia-negra, mantida desde então com pastagens nativas. Ambiente avaliado somente na região de Cristal.
- d) CN - Campo nativo: estepe utilizada como pastagem nativa, podendo ser ocasionalmente roçada ou queimada. Testemunha para áreas de plantios de acácia-negra e campo recuperado.
- e) P1 - Plantio de um ano de idade: segunda (Piratini) ou quinta (Cristal) rotação de acácia-negra com um ano de idade.
- f) P2 - Plantio de dois anos de idade: segunda (Piratini) ou quinta (Cristal) rotação de acácia-negra com dois anos de idade.
- g) PA - Plantio adulto: segunda (Piratini) ou quarta (Cristal) rotação de acácia-negra com mais de quatro anos de idade.

As áreas de APP em recuperação (AR) e campo recuperado (CR) foram incluídas neste trabalho para verificar a capacidade de recomposição da vegetação herbácea após a utilização da área com o cultivo da acácia-negra, sendo respectivamente comparadas com a APP sem uso (AU) e campo nativo (CN). Os solos das APPs sem uso, localizadas mais próximas dos cursos d'água, apresentaram maior grau de hidromorfismo que os das APPs em recuperação, que estavam mais próximas das áreas de plantio.

As plantas de acácia-negra estavam com 3 a 5 m de altura no plantio com um ano (P1), 7 a 9 m de altura no plantio com dois anos (P2) e 14 a 18 m de altura no plantio adulto (PA). O grau de sombreamento foi menor no plantio de um ano, apresentando radiação direta no centro das entrelinhas da acácia-negra. O plantio com dois anos de idade apresentou um sombreamento intermediário, com menor radiação direta que o plantio de um ano, devido ao fechamento das copas das árvores. O plantio adulto apresentou o maior grau de sombreamento, sendo a radiação difusa a mais importante para a vegetação herbácea.

Levantamento dos Dados

Em cada ambiente foram marcadas 10 parcelas de 0,5 m de lado (0,25 m²), alocadas em duas transecções com cinco parcelas cada. Cada transecção foi demarcada em uma encosta, sendo as parcelas distribuídas equidistantemente ao longo da mesma. Nas áreas com plantio de acácia-negra, as parcelas foram localizadas nas entrelinhas do cultivo. O levantamento florístico foi realizado em duas épocas do ano dentro de cada parcela previamente marcada, o primeiro em setembro de 2005, final do período de floração das espécies hibernais, e o segundo, em dezembro de 2005, período de maior floração das espécies estivais.

A avaliação da vegetação herbácea constou de um inventário de todas as espécies presentes em cada parcela e da estimativa visual de abundância/cobertura de cada espécie. A identificação foi feita no campo até a categoria de espécie. Esta identificação foi confirmada através de material botânico coletado e herborizado, com o uso de bibliografia especializada e comparações com material depositado no herbário ICN da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), além de consultas a especialistas. A confirmação da grafia das espécies e nome dos respectivos autores foi feita através do site do Missouri Botanical Garden W3 Tropicos (www.mobot.org). As exsicatas do material botânico coletado foram depositadas no herbário Instituto de Ciências Naturais (ICN) do Departamento de Botânica da UFRGS e da empresa TANAC S.A, em Montenegro-RS.

A estimativa visual de abundância/cobertura de cada espécie foi realizada usando a escala de Daubenmire, conforme descrito por MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG (1974), que apresenta seis classes de cobertura: 1 (<5%), 2 (5% a 25%), 3 (25% a 50%), 4 (50% a 75%), 5 (75% a 95%) e 6 (95% a 100%). Também foi avaliada a cobertura de material morto e de solo descoberto, utilizando-se a mesma escala de Daubenmire.

Análise dos Dados

A porcentagem de cobertura de cada espécie, do material morto e do solo descoberto por parcela foi calculada atribuindo-se os valores médios de 2,5%, 15,0%, 37,5%, 62,5%, 85,0% e 97,5% de cobertura, respectivamente, às classes 1, 2, 3, 4, 5, e 6 da escala de Daubenmire. Como as estimativas visuais de cobertura foram realizadas independentemente uma das outras, a soma total dos valores de cobertura por parcela excederam os 100%.

Para cada ambiente dentro das regiões estudadas, foram estimados os parâmetros fitossociológicos de freqüência e cobertura absoluta e relativa, e a porcentagem de importância de cada espécie, tomando os dados das avaliações realizadas em setembro e dezembro como um todo, conforme as seguintes equações:

$FA_i = (N_{pi}/NT) 100$	$FA_i =$ freqüência absoluta da espécie i ,
	$N_{pi} =$ número de parcelas com a espécie i ,
$FR_i = (FA_i/\Sigma FA_i) 100$	$NT =$ número total de parcelas,
	$FR_i =$ freqüência relativa da espécie i ,
$CA_i = \Sigma C_i/NT$	$\Sigma FA_i =$ somatório da freqüência absoluta de todas as espécies,
	$CA_i =$ cobertura absoluta da espécie i ,
$CR_i = (CA_i/\Sigma CA_i) 100$	$\Sigma C_i =$ somatório da cobertura da espécie i (escala de Daubenmire)
	$CR_i =$ cobertura relativa da espécie i ,
$I\%_i = (CR_i + FR_i)/2$	$\Sigma CA_i =$ somatório da cobertura absoluta de todas as espécies,
	$I\%_i =$ Porcentagem de importância da espécie i .

Como indicadores de diversidade dos ambientes estudados foram utilizados os parâmetros de riqueza específica (S), índice de diversidade de Shannon (H'), dominância de Simpson (D) e equabilidade de Pielou (J'). Estes indicadores foram calculados com os dados de cobertura absoluta das espécies utilizando o programa PAST (HAMMER et al., 2006). Utilizou-se a base logarítmica natural (nats) para calcular H' , sendo os resultados expressos em nats/indivíduos. Os valores dos

índices de diversidade de Shannon dos ambientes avaliados foram comparados através do teste t, conforme procedimento descrito por MAGURRAN (1988). Segundo este autor (ibidem), isto é possível por que os valores de H' apresentam distribuição normal entre várias comunidades.

A análise da similaridade entre os ambientes foi realizada pelo método de classificação hierárquica e aglomerativa por UPGMA (Unweighted Pair Groups Method using Arithmetic Averages) através do programa PAST (HAMMER et al., 2006). Para esta análise, utilizaram-se matrizes de distância calculadas com o índice de similaridade de Jaccard, que considera a presença e a ausência das espécies, e com o índice de Morisita, que considera a abundância/cobertura das espécies.

A classificação por UPGMA resultou em um dendrograma, baseado na distância média dos índices de similaridade, onde se observam as hierarquias entre os grupos formados. Os resultados dos índices variam de zero a um, onde um significa ambientes totalmente similares, e zero significa que não há espécies em comum entre os ambientes comparados. Como regra geral para os índices de Jaccard e Morisita, similaridades maiores que 0,5 são consideradas altas (MAGURRAN, 1988).

Buscou-se também identificar padrões de ocorrência e cobertura das espécies nas parcelas dentro dos ambientes estudados, sendo utilizada a técnica de análise de componentes principais (PCA), no programa PAST usando a matriz de covariância (HAMMER et al., 2006). O uso de PCA visa condensar a informação contida em um grande número de variáveis originais (cobertura absoluta das espécies, do material morto e do solo descoberto) em um conjunto menor de variáveis estatísticas (componentes) com perda mínima de informação (HAIR JR., 2005).

A interpretação das combinações lineares constituídas depende do número de componentes mantidos na análise e a sua qualidade pode ser medida através da avaliação da proporção de variância total explicada nos componentes selecionados (MINGOTI, 2005). Foram construídos diagramas de dispersão com os dois primeiros componentes, e das variáveis mais correlacionadas com estes, em que parcelas com maior semelhança quanto à composição florística estarão mais próximas do que parcelas menos semelhantes, permitindo assim a visualização de padrões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diversidade Florística

Considerando as parcelas e ambientes como um todo, foram encontradas 137 espécies herbáceas e subarborescentes em Cristal e 151 em Piratini (apêndice 3). As famílias com maior diversidade de espécies foram Poaceae (59 espécies), Asteraceae (31) e Cyperaceae (17). Em povoamentos de *Eucalyptus* estabelecidos em campos nativos, foram encontradas 74 espécies em Arroio dos Ratos, RS (FUCKS, 1999), e 164 espécies em Eldorado do Sul, RS (PILLAR et al., 2002). Estes estudos foram realizados na região da Depressão Central (FORTES, 1956), que apresentam diferentes condições de precipitações, temperaturas e solos.

Na tabela 1 estão apresentados os indicadores de riqueza específica, diversidade de Shannon, dominância de Simpson e equabilidade de Pielou para os ambientes estudados nas regiões de Cristal e Piratini. No geral, os ambientes de Piratini apresentaram maior riqueza, diversidade e equabilidade, e menor dominância que os ambientes de Cristal. As maiores riquezas de espécie foram observadas nos ambientes que não sofreram distúrbios pelo estabelecimento de plantios da acácia-negra (APP sem uso e campo nativo) ou que já tiveram tempo suficiente para a recomposição da riqueza original (campo recuperado).

O índice de Shannon (H') apresentou na região de Cristal valores de 2,187 (plantio de um ano de idade) a 3,307 (campo nativo) e na região de Piratini valores de 3,232 (plantio adulto) a 3,698 (APP sem uso). Estes valores indicaram que a diversidade florística da vegetação herbácea nos ambientes avaliados foi de moderada a alta. Em povoamento de pinus observaram-se valores de H' de 2,419 a 2,639 da vegetação herbácea sob diferentes tratamentos silviculturais (NEVES, 2004). O

índice de Shannon considera igual peso às espécies raras e abundantes, sendo assim mais influenciado pela riqueza de espécies; usualmente tem valores entre 1,5 e 3,5, e raramente ultrapassam a 4,5; valores mais altos indicam maior diversidade (MAGURRAN, 1988).

O índice de Simpson (D) variou de 0,035 a 0,208, indicando um baixo grau de concentração de cobertura das primeiras espécies. Os maiores valores de D foram observados no plantio de um ano e no plantio adulto, demonstrando que entre os ambientes avaliados, nestes ocorreram uma maior dominância de poucas espécies. O índice de Simpson é mais influenciado pela abundância das espécies e expressa a probabilidade de dois indivíduos tomados ao acaso da população pertencer à mesma espécie; apresenta valores que variam de 0 a 1 e quanto maior for o valor, maior é a dominância por uma ou poucas espécies (MAGURRAN, 1988; MATOS et al., 1999).

TABELA 1 - INDICADORES DE DIVERSIDADE FLORÍSTICA PARA OS AMBIENTES AVALIADOS NAS REGIÕES DE CRISTAL E PIRATINI.

Índice	Ambientes ¹						
	AR	AU	CR	CN	P1	P2	PA
	Cristal						
Número de espécies (S)	33	58	50	57	29	37	25
Shannon (H)	2,687	3,164	3,018	3,307	2,187	3,007	2,500
Simpson (D)	0,095	0,105	0,084	0,073	0,208	0,076	0,111
Equabilidade (J)	0,768	0,779	0,772	0,818	0,649	0,833	0,777
	Piratini						
Número de espécies (S)	50	71	-	77	70	64	49
Shannon (H)	3,325	3,698	-	3,691	3,317	3,608	3,232
Simpson (D)	0,052	0,035	-	0,042	0,069	0,045	0,080
Equabilidade (J)	0,850	0,868	-	0,850	0,781	0,868	0,831

¹ APP em recuperação (AR), APP sem uso (AU), campo recuperado (CR), campo nativo (CN), plantio com um ano (P1), plantio com dois anos (P2) e plantio adulto (PA).

Na região de Cristal a equabilidade (J') teve maiores variações, sendo maior no plantio de dois anos (0,833) e menor no plantio de um ano (0,649). Em Piratini a equabilidade foi menor no plantio de um ano (0,781) e similar nos demais ambientes (média de 0,853). A equabilidade é a relação entre a diversidade observada (H') e a diversidade máxima; apresenta valores entre 0 e 1, sendo que 1 representa que todas as espécies são igualmente abundantes (MAGURRAN, 1988).

As comparações realizadas pelo teste t para o índice de Shannon (H') estão apresentadas na tabela 2. A diversidade (H') do campo recuperado (CR) não diferiu significativamente ($P < 0,05$) do campo nativo (CN), indicando que a diversidade florística na área utilizada com plantio de acácia-negra foi recomposta após 17 anos de regeneração. O mesmo não ocorreu com a APP em recuperação (AR), que apresentou diferenças significativas ($P < 0,05$) de diversidade (H') quando comparada com a APP sem uso (AU) e com o campo nativo (CN), tanto em Cristal como em Piratini. O período de apenas três anos pode ter sido insuficiente para a recomposição das espécies originais deste ambiente.

A diversidade (H') do ambiente original de campo nativo (CN) foi maior ($P < 0,05$) que do plantio de um ano (P1) e do plantio adulto (PA), e semelhante ($P < 0,05$) a do plantio de dois anos (P2). O plantio de um ano (P1) apresentou menor H' ($P < 0,05$) que o plantio de dois anos (P2). O plantio adulto (PA) apresentou maior H' ($P < 0,05$) que o plantio de um ano (P1) em Cristal, não diferindo ($P < 0,05$) em Piratini. A diversidade do plantio de dois anos (P2) foi maior ($P < 0,05$) que o plantio adulto (PA). A variação observada nos índices de diversidade (H') nos ambientes com plantações de acácia-negra deve-se à composição vegetação da cada região, as alterações da vegetação herbácea em respostas a diferentes condições de sombreamento e luminosidade, e o tempo de uso da área com acácia-negra, ou seja, o número de rotações.

TABELA 2 - VALORES DO TESTE t PARA COMPARAÇÕES DO ÍNDICE DE DIVERSIDADE DE SHANNON (H') DOS AMBIENTES NAS REGIÕES DE CRISTAL E PIRATINI.

Comparações entre ambientes	Região	
	Cristal	Piratini
Campo nativo (CN) x Plantio com um ano de idade (P1)	6,169**	2,591**
Campo nativo (CN) x Plantio com dois anos de idade (P2)	1,635ns	0,579ns
Campo nativo (CN) x Plantio adulto (PA)	4,556**	3,859**
Plantio com um ano (P1) x Plantio com dois anos (P2)	4,753**	2,057*
Plantio com um ano (P1) x Plantio adulto (PA)	1,985*	1,209ns
Plantio com dois anos (P2) x Plantio adulto (PA)	2,996**	3,330**
Campo nativo (CN) x Campo recuperado (CR)	1,419ns	-
Campo nativo (CN) x APP em recuperação (AR)	3,522**	2,557*
APP sem uso (AU) x APP em recuperação (AR)	2,482*	3,387**

ns: não significativo; *: significativo a $P < 0,05$ e **: significativo a $P < 0,01$.

A vegetação das áreas avaliadas em Piratini é do tipo Estepe Arborizada constituída por dois estratos, sendo o primeiro composto por árvores e arbustos dispersos, e o segundo pela vegetação herbácea. Na região de Cristal, as áreas avaliadas pertencem à vegetação de Estepe Gramíneo-Lenhosa, que apresenta somente o estrato herbáceo (VELOSO et al., 1991). A presença de árvores na vegetação original de Piratini, mesmo que dispersas, permitiu a seleção natural de espécies herbáceas mais tolerantes ao sombreamento. Por isto a redução de diversidade (H') da vegetação herbácea provocada pelo sombreamento dos plantios de acácia-negra foi menor em Piratini que em Cristal.

Espécies intolerantes ao sombreamento tiveram sua cobertura reduzida ou desapareceram com o aumento do sombreamento, reduzindo a diversidade (H') nas áreas com plantações de acácia-negra. Resultados semelhantes foram observados em ecossistemas dunares de Portugal invadidos por *Acacia longifolia* (Andrews). Willd., que reduziu a diversidade da vegetação herbácea e arbustiva nas áreas invadidas (MARCHANTE et al., 2006).

Por outro lado, as áreas com plantios foram colonizadas por espécies herbáceas típicas de sub-bosque de florestas da região, principalmente nas áreas que apresentam um maior número de rotações, ou seja, maior tempo sob a condição de sombreamento da acácia-negra, aumentando a diversidade destas áreas. No entanto, este aumento não foi suficiente para compensar a diminuição de H' provocada pela supressão das espécies intolerantes ao sombreamento. Isto quer dizer que o número de espécies suprimidas pelo sombreamento foi maior que o número das espécies colonizadoras do sub-bosque da acácia-negra.

A competição entre espécies do estrato herbáceo também influenciou a diversidade (H') nas áreas de plantio com um ano. A retirada dos animais e do sombreamento da acácia-negra pelo corte da rotação anterior beneficiou as gramíneas mais agressivas, devido a luminosidade total, maior disponibilidade de nutrientes e principalmente a suspensão do pastejo, provocando uma maior cobertura de poucas espécies e limitando a presença e/ou cobertura das espécies menos competitivas. Isto pode ser comprovado pela maior dominância (D) e menor equabilidade (J) do plantio de um ano nas duas regiões (tabela 1). O pastejo de bovinos a partir do início do segundo ano e o aumento do sombreamento pelo crescimento das árvores reduziu a cobertura das gramíneas mais agressivas, abrindo espaço para o recrutamento e/ou cobertura de outras espécies. Desta forma, observou-se um aumento da diversidade (H') nas áreas com plantio de dois anos de acácia-negra.

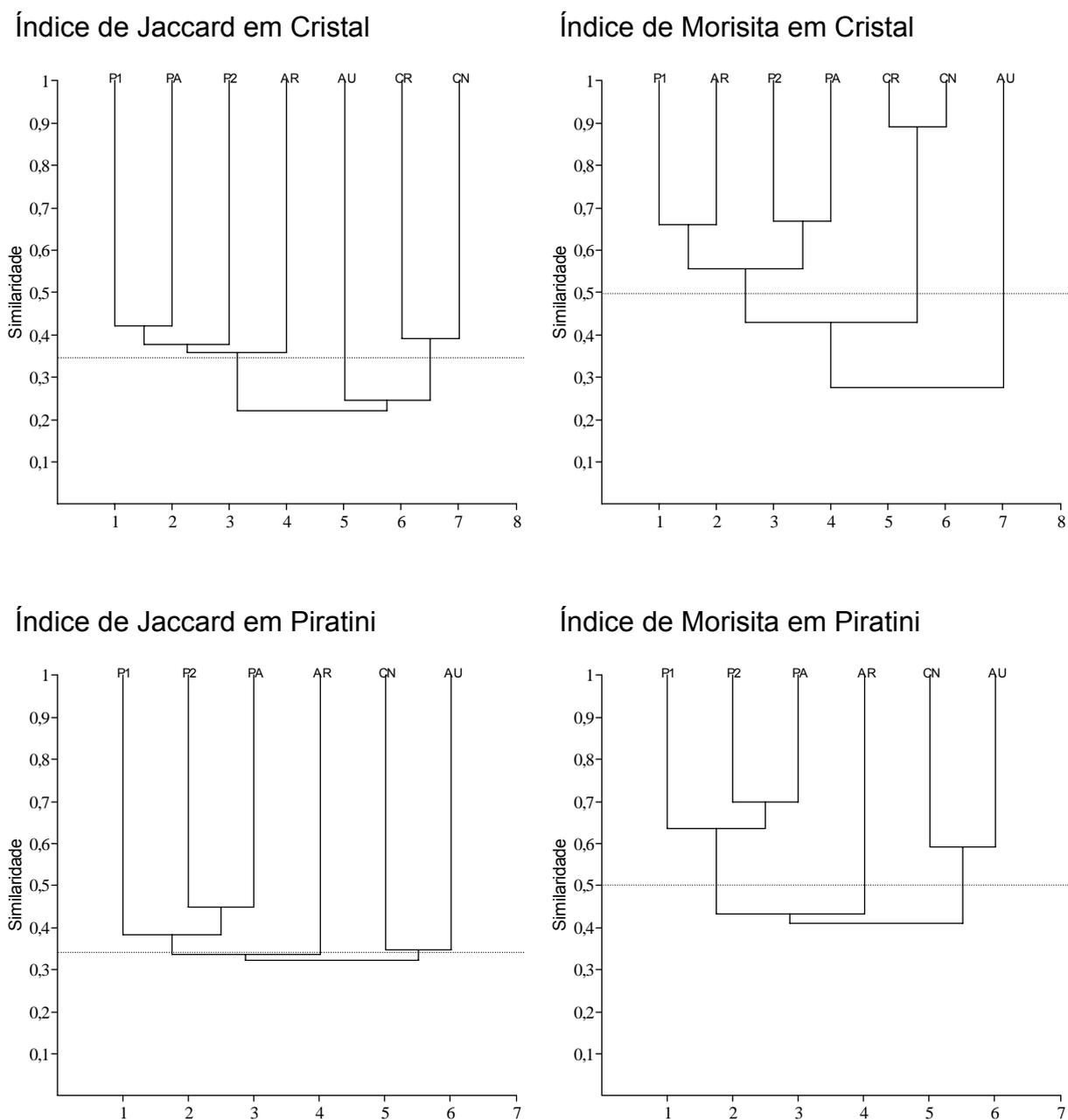
Similaridade dos Ambientes

A análise de similaridade por classificação hierárquica dos ambientes, tanto pelo índice de Jaccard como pelo de Morisita, formou três grupos com os mesmos ambientes em cada região (figura 1). No entanto, o grau de similaridade usado para a formação dos grupos foi diferente nas duas análises. No índice de Morisita, que utiliza a cobertura das espécies, o grau de similaridade dentro dos grupos foi superior a 0,50, sendo considerada uma similaridade alta entre os ambientes do mesmo grupo. Para o índice de Jaccard, que leva em conta somente a presença/ausência das espécies, a similaridade entre os ambientes do mesmo grupo foi maior que 0,35, considerada uma similaridade média dentro dos grupos.

Em Cristal os três grupos de similaridade foram formados pelos seguintes ambientes: (I) plantio de um ano (P1), plantio de dois anos (P2), plantio adulto (PA) e APP em recuperação (AR); (II) campo nativo (CN) e campo recuperado (CR); e (III) APP sem uso. Os três grupos de Piratini foram formados pelos seguintes ambientes: (I) plantio de um ano (P1), plantio de dois anos (P2) e plantio adulto (PA); (II) campo nativo (CN) e APP sem uso (AU); e (III) APP em recuperação.

A análise de similaridade demonstrou que o sombreamento da acácia-negra alterou a composição e a cobertura das espécies da vegetação herbácea original de campo nativo, sendo os ambientes com plantios mais similares entre si. Ocorreu uma adaptação da vegetação herbácea às condições ambientais de sub-bosque da acácia-negra, com a seleção e colonização de espécies ou ecótipos mais tolerantes ao sombreamento. Um fator que pode ter contribuído para a colonização de espécies foi à dispersão de sementes pelos bovinos, que foram manejados entre as plantações de diferentes idades e rotações.

FIGURA 1 - DENDROGRAMAS DE CLASSIFICAÇÃO HIERÁRQUICA DA SIMILARIDADE DOS AMBIENTES NA REGIÃO DE CRISTAL E PIRATINI, UTILIZANDO O ÍNDICE DE JACCARD PARA PRESENÇA/AUSÊNCIA DAS ESPÉCIES E O ÍNDICE DE MORISITA PARA ABUNDÂNCIA/COBERTURA DAS ESPÉCIES.



Ambientes: APP em recuperação (AR), APP sem uso (AU), campo recuperado (CR), campo nativo (CN), plantio com um ano (P1), plantio com dois anos (P2) e plantio adulto (PA).

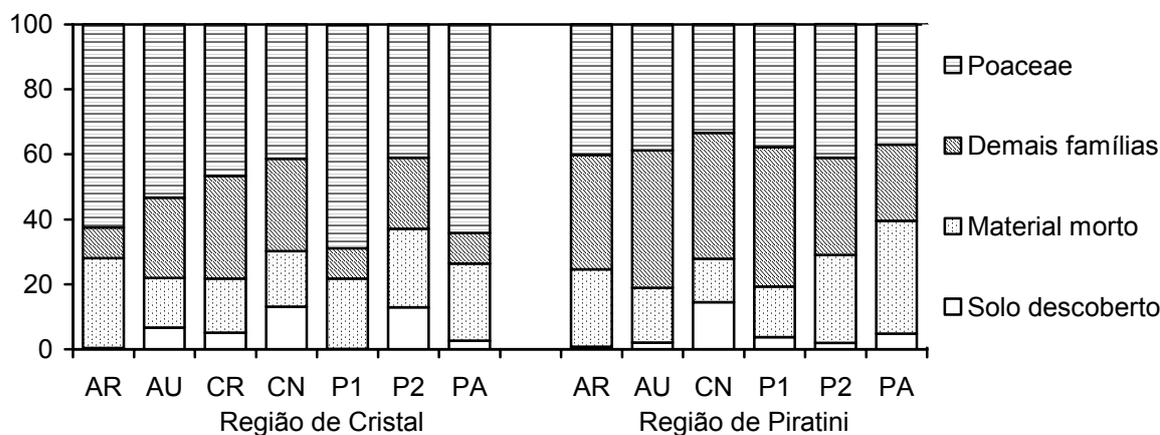
A APP em recuperação apresentou maior similaridade com as áreas com plantio de acácia-negra que com a APP sem uso ou campo nativo, indicando que a recomposição da vegetação original é relativamente lenta, necessitando de um período maior que três anos para que a composição e a cobertura sejam similares ao da vegetação original. Em um período maior de recomposição (17 anos), o campo recuperado apresentou maior similaridade com o campo nativo, demonstrando que áreas utilizadas com acácia-negra retornam a sua composição e, principalmente, cobertura original num período mais longo de recuperação. Portanto, as perturbações causadas pelas plantações de acácia-negra não afetaram a resiliência do ambiente.

Padrão de Cobertura das Espécies

Poaceae (gramíneas) foi a família dominante, apresentando cobertura de solo superior a 30% nos ambientes de Piratini e 40% nos de Cristal (figura 2). A cobertura total das demais famílias variou entre 9,5 e 42,0%. Os ambientes com plantações de acácia-negra apresentaram menor porcentagem de solo descoberto que as áreas de campos nativos (CN), o que demonstra a capacidade adaptativa da vegetação herbácea nativa ao sombreamento. A maior porcentagem de material morto foi observada no plantio adulto (PA), devido a maior deposição de serapilheira pela acácia-negra neste estágio de desenvolvimento.

A análise de componentes principais, utilizando dados de cobertura das espécies, de solo descoberto e de material morto nos ambientes estudados na região de Cristal e Piratini, revelou alguns padrões ou tendências de distribuição espacial das parcelas nos diagramas de ordenação (figura 3). Parcelas mais semelhantes quanto à cobertura florística estão mais próximas entre si que de

FIGURA 2 - COBERTURA DE SOLO PELA VEGETAÇÃO HERBÁCEA, MATERIAL MORTO E SOLO DESCOBERTO NOS AMBIENTES AVALIADOS NAS REGIÕES DE CRISTAL E PIRATINI.



Ambientes: APP em recuperação (AR), APP sem uso (AU), campo recuperado (CR), campo nativo (CN), plantio com um ano (P1), plantio com dois anos (P2) e plantio adulto (PA).

parcelas menos semelhantes. Os dois primeiros componentes utilizados no diagrama explicaram somente 34 e 29% da variação total, respectivamente para Cristal e Piratini. Isto quer dizer que a maior parte da informação das parcelas não está contida nesta análise. Mesmo assim, foi possível identificar padrões ou tendências significantes de cobertura das espécies de cada ambiente.

A área ocupada pelas parcelas nos diagramas (figura 3) demonstrou que em Cristal os ambientes mais homogêneos foram o plantio de um ano (P1), campo nativo (CN) e APP sem uso (UA), e o mais heterogêneo o campo recuperado (CR). Em Piratini o mais homogêneo foi o plantio adulto (PA) e o mais heterogêneo o plantio de dois anos (P2). As parcelas da maioria dos ambientes agrupam-se partindo do centro dos diagramas em distintas direções (superior ou inferior e esquerda ou direita), evidenciando-se as disparidades da composição florísticas entre os ambientes.

Os ambientes de maior semelhança entre si apresentam a maioria das parcelas distribuídas numa mesma área dos diagramas, enquanto os mais divergentes não apresentam sobreposição da área de distribuição das parcelas. O plantio adulto (PA) é o mais assemelhado ao plantio de dois anos (P2) e o plantio de um ano (P1) é o que apresenta maior diferença de composição florística dos demais ambientes.

As diferenças de composição florística entre os ambientes estão relacionadas à cobertura de solo das espécies de maior importância (tabela 3), solo descoberto e material morto (figura 2). As espécies mais correlacionadas com os dois primeiros componentes estão apontadas nos diagramas pela sua abreviação (figura 3) e indicaram as tendências de ambientes em que a espécie apresenta maior cobertura, sendo possível agrupar as espécies em quatro padrões de ocorrência.

No primeiro grupo, estão as espécies adaptadas a solos mais úmidos dos campos nativos de cada região, encontradas com maior cobertura nos ambientes de APP sem uso e APP em recuperação, sendo que as espécies mais representativas deste grupo foram *Paspalum pumilum*, *Ischaemum minus* e *Axonopus suffultus* na região de Cristal e *Axonopus compressus* e *Rhynchospora barrosiana* na região de Piratini (tabela 3).

Segundo SMITH et al. (1982a e 1982b) *Paspalum pumilum*, *Ischaemum minus* e *Axonopus suffultus* são espécies heliófitas e seletivas higrófitas, desenvolvendo-se preferencialmente em áreas úmidas. *Axonopus compressus* é uma espécie heliófita e de luz difusa, sem pronunciadas afinidades por condições físicas especiais de solo, encontrada desde solos muito úmidos até os litólicos e rasos (SMITH et al., 1982b).

O segundo grupo é formado por espécies muito abundantes na vegetação herbácea de campos nativos das regiões estudadas e que apresentaram baixa tolerância ao sombreamento, reduzindo sua cobertura ou desaparecendo completamente do sub-bosque dos povoamentos de acácia-negra. As espécies deste grupo apresentaram maior cobertura nos ambientes sem plantação de acácia-negra (campo nativo, campo recuperado, APP sem uso e APP em recuperação), tendo o *Paspalum notatum* e *Axonopus affinis* como as espécies que melhor representaram este grupo nas áreas estudadas (figura 4), além de *Facelis retusa*, *Centella asiática* e *Myrciaria tenella* (tabela 3).

Paspalum notatum e *Axonopus affinis* são gramíneas estivais, heliófitas, boas forrageiras (BARRETO; KAPPEL, 1967; SMITH *et al.*, 1982a) e dominantes em grande parte das pastagens nativas do Rio Grande do Sul (GONÇALVES *et al.*, 1998; DAMÉ *et al.*, 1999; FOCHT; PILLAR, 2003; GIRARDI-DEIRO *et al.*, 2003). Estas gramíneas também reduziram sua participação na vegetação herbácea com o incremento do sombreamento em sub-bosques de *Eucalyptus* spp., sendo isto atribuído ao fato de possuírem via fotossintética C₄, cuja exigência por luz é maior (FUCKS, 1999; PILLAR *et al.*, 2002).

O terceiro grupo é constituído por espécies abundantes nos campos nativos de cada região e tolerantes ao sombreamento, tendo mantido ou aumentado sua participação na cobertura da vegetação herbácea nos ambientes com acácia-negra (plantio adulto e plantio de um e dois anos), ocupando parte dos espaços deixados pelas espécies do grupo anterior.

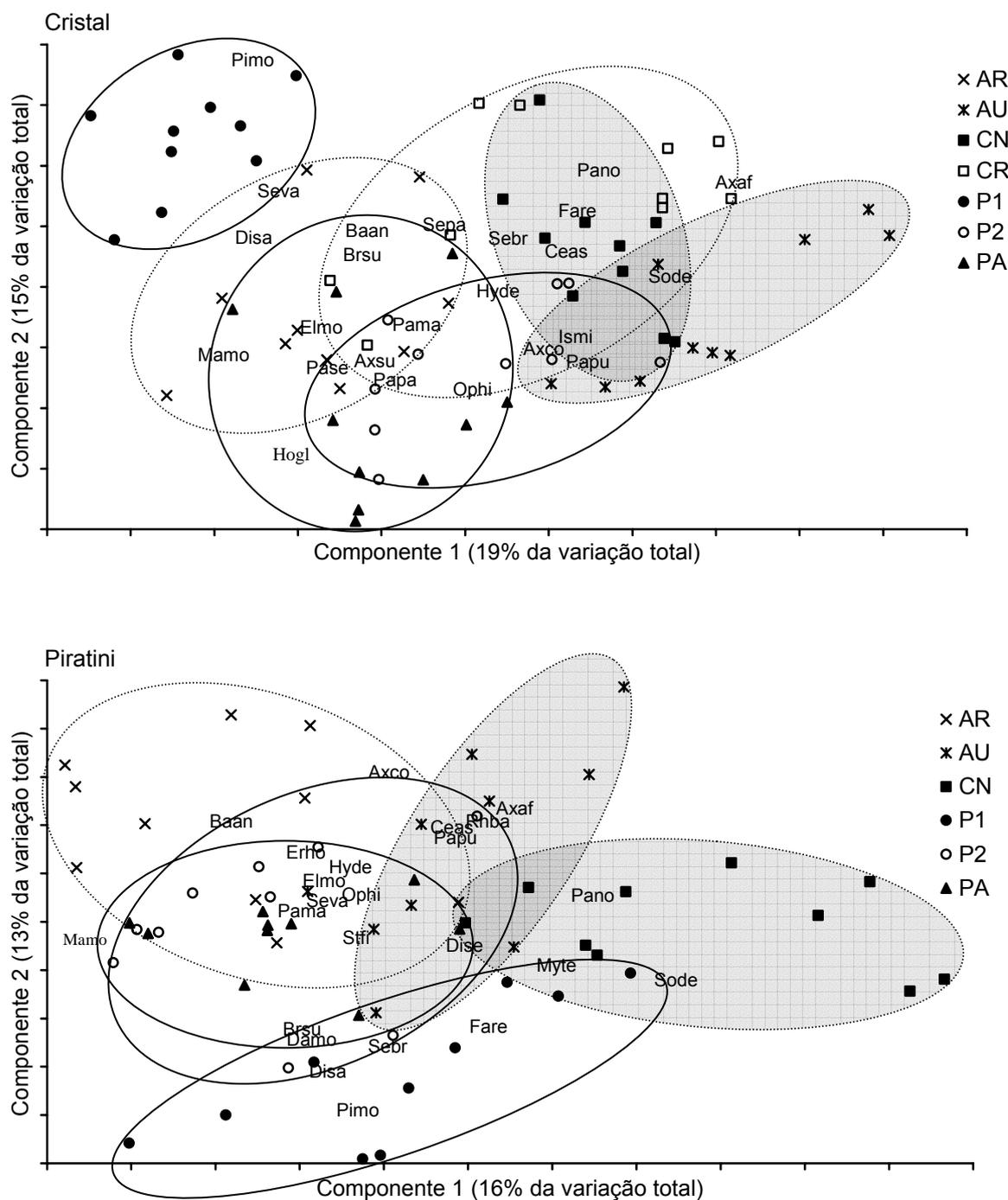
Dentre as espécies encontradas nos ambientes sombreados nas duas regiões estudadas, as mais representativas deste grupo foram *Piptochaetium montevidense* e *Dichanthelium sabulorum* (figura 4). Também podem ser listadas neste grupo

Elephantopus mollis, *Setaria parviflora*, *Hypoxis decumbens*, *Setaria vaginata*, *Senecio brasiliensis*, *Dichondra sericea*, *Baccharis anomala*, *Eryngium horridum*, *Stipa filifolia*, *Briza subaristata* e *Danthonia montana* (tabela 3). *Piptochaetium montevidense* é uma gramínea hiberna, boa forrageira, heliófita, mas que também ocorre em matas abertas, crescendo bem em áreas alteradas, sendo praticamente indiferente aos tipos e umidade do solo (BARRETO; KAPPEL, 1967; SMITH et al., 1982a; ZANIN et al., 1992; GONÇALVES et al., 1998).

No sub-bosque de *Eucalyptus* esta espécie apresentou maior cobertura nas áreas mais sombreadas (PILLAR et al., 2002). *Dichanthelium sabulorum* é uma gramínea estival, forrageira de valor regular, esciófita até heliófita, indiferente quanto às condições de solos, encontrada em áreas campestres semi-escondida na vegetação herbácea e em borda e interior de matas (BARRETO; KAPPEL, 1967; SMITH et al., 1982a; GUGLIERI; LONGHI-WAGNER, 2000).

No quarto grupo encontram-se espécies típicas de sub-bosques de florestas nativas da região, que colonizaram os plantios de acácia-negra ocupando os espaços das espécies do segundo grupo, tendo sua cobertura incrementada com o número de rotações, isto é, maior tempo com plantações florestais na área. Assim, as espécies deste grupo foram mais abundantes na região de Cristal, onde as áreas avaliadas estão sendo utilizadas com acácia-negra há pelo menos 28 anos (quatro rotações). Pertencem a este grupo *Homolepis glutinosa*, *Paspalum mandiocanum* e *Oplismenus hirtellus* (figura 4), e em Cristal também ocorrem *Panicum sellowii* e *P. pantrichum* (tabela 3). Estas espécies são gramíneas estivais, esciófitas, forrageiras de valor regular a bom, ocorrendo naturalmente em áreas sombreadas de bordas de matas e florestas semidecíduas (BARRETO; KAPPEL, 1967; GUGLIERI; LONGHI-WAGNER, 2000; MÜLLER; WAECHTER, 2001; RODRIGUES-DA-SILVA; FILGUEIRAS, 2003; OVERBECK, 2005).

FIGURA 3 - DIAGRAMAS DE ORDENAÇÃO OBTIDOS POR ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS COM OS DADOS DE COBERTURA DAS ESPÉCIES*, SOLO DESCOBERTO (SODE) E MATERIAL MORTO (MAMO) DE CADA PARCELA NOS AMBIENTES** ESTUDADOS NA REGIÃO DE CRISTAL E PIRATINI.



*Abreviações das espécies mais correlacionadas com os dois primeiros componentes estão na tabela 3.

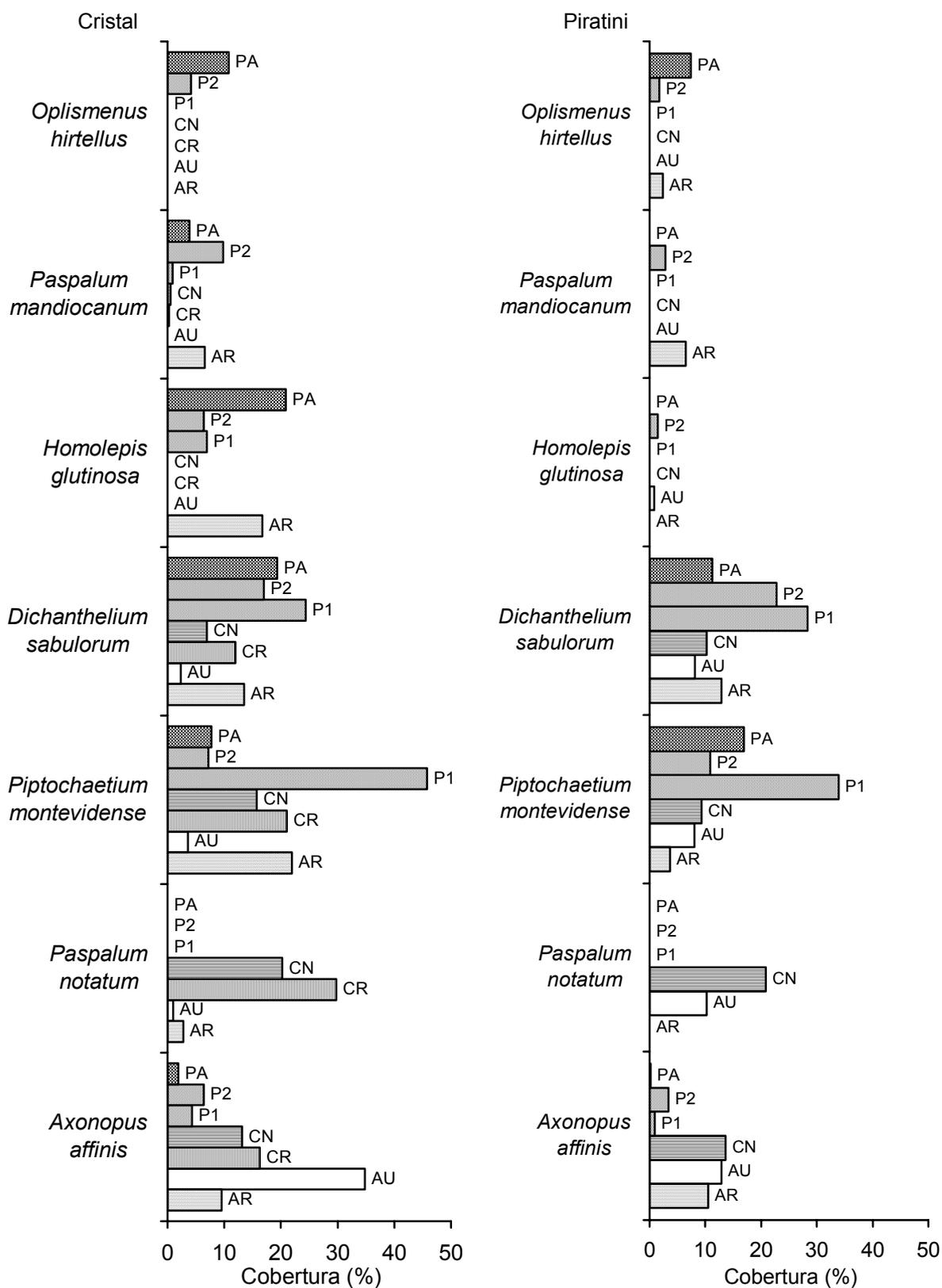
**Ambientes: APP em recuperação (AR), APP sem uso (AU), campo recuperado (CR), campo nativo (CN), plantio com um ano (P1), plantio com dois anos (P2) e plantio adulto (PA).

TABELA 3 - LISTA DAS ESPÉCIES HERBÁCEAS E SUBARBUSTIVAS DE MAIOR PORCENTAGEM DE IMPORTÂNCIA NOS AMBIENTES CAMPESTRES E POVOAMENTOS DE ACÁCIA-NEGRA EM CRISTAL E PIRATINI.

Família	Espécie	Abreviação	Cristal							Piratini					
			AR	AU	CR	CN	P1	P2	PA	AR	AU	CN	P1	P2	PA
Poaceae	<i>Piptochaetium montevidense</i> (Spreng.) Parodi	Pimo	13,6	3,2	10,4	9,4	26,1	7,3	6,5	3,0	3,1	4,6	11,4	6,4	12,0
Poaceae	<i>Dichanthelium sabulorum</i> (Lam.) Gould & C.A. Clark	Disa	9,8	2,7	7,3	5,1	14,6	14,7	14,8	6,0	4,1	5,1	9,6	10,7	8,7
Poaceae	<i>Axonopus affinis</i> Chase	Axaf	7,1	17,8	7,4	8,0	4,8	5,7	2,7	6,6	6,0	5,9	0,6	2,5	0,3
Asteraceae	<i>Elephantopus mollis</i> Kunth	Elmo	7,1	1,1	2,0	1,4	4,4	6,0	6,6	2,6	1,6	2,0	0,2	5,5	3,4
Poaceae	<i>Setaria parviflora</i> (Poir.) M. Kerguélen	Sepa	5,0	0,5	4,8	3,7	3,9	1,8	3,9	2,7	1,8	3,0	3,5	2,8	6,0
Hypoxidaceae	<i>Hypoxis decumbens</i> L.	Hyde	3,3	0,8	3,9	2,4	4,3	10,3	3,0	2,8	2,5	1,6	.	4,2	2,0
Poaceae	<i>Paspalum notatum</i> Flügge	Pano	1,9	1,1	11,9	11,1	.	.	.	.	4,4	8,3	.	.	.
Poaceae	<i>Homolepis glutinosa</i> (Sw.) Zuloaga & Soderstr.	Hogl	9,2	.	.	.	4,7	4,5	14,8	.	0,4	.	.	0,9	.
Poaceae	<i>Setaria vaginata</i> Spreng.	Seva	3,6	.	0,5	.	10,5	1,1	2,3	4,2	.	1,4	0,7	3,0	2,3
Asteraceae	<i>Senecio brasiliensis</i> (Spreng.) Less.	Sebr	.	.	0,5	2,4	.	.	.	3,8	3,7	1,6	10,2	3,1	0,6
Poaceae	<i>Axonopus compressus</i> (Sw.) P. Beauv.	Axco	.	1,8	.	0,9	0,4	.	4,0	7,0	6,6	.	.	3,5	1,4
Convolvulaceae	<i>Dichondra sericea</i> Sw.	Dise	.	2,8	1,0	1,3	.	.	.	.	2,1	5,1	1,5	2,9	8,0
Poaceae	<i>Paspalum mandiocanum</i> Trin.	Pama	5,1	.	0,5	0,8	1,0	8,3	4,0	2,6	.	.	.	1,5	.
Asteraceae	<i>Baccharis anomala</i> DC.	Baan	.	.	.	.	2,6	0,8	.	10,5	.	.	2,0	2,4	1,1
Apiaceae	<i>Eryngium horridum</i> Malme	Erho	.	.	4,2	1,5	.	2,8	.	3,9	1,8	0,5	0,2	1,6	2,0
Poaceae	<i>Oplismenus hirtellus</i> (L.) P. Beauv.	Ophi	.	.	.	.	.	3,3	8,3	1,5	.	.	.	1,1	3,8
Fabaceae	<i>Desmodium incanum</i> DC.	.	.	1,1	1,3	3,4	.	.	.	3,8	2,9	4,2	.	.	0,9
Apiaceae	<i>Centella asiatica</i> (L.) Urb.	Ceas	2,6	4,0	5,9	.	0,4	2,4	.	.	1,7	.	.	.	.
Cyperaceae	<i>Carex phalaroides</i> Kunth	.	2,2	.	1,4	.	.	0,7	.	2,7	2,6	1,4	1,0	4,0	0,9
Asteraceae	<i>Baccharis trimera</i> (Less.) DC.	.	0,3	.	1,4	3,2	.	2,1	.	.	1,2	3,0	1,7	1,7	0,9
Poaceae	<i>Panicum sellowii</i> Nees	Pase	2,7	.	.	.	4,4	4,8	2,6	.	.	.	.	.	.
Oxalidaceae	<i>Oxalis articulata</i> Savigny	.	.	.	0,5	2,5	.	1,1	0,4	1,8	2,6	1,9	2,3	0,9	.
Apiaceae	<i>Hydrocotyle exigua</i> (Urb.) Malme	.	1,3	1,6	1,5	1,8	2,2	2,6	1,6	.	.	.	0,2	0,5	0,6
Poaceae	<i>Stipa filifolia</i> Nees	Stfi	0,6	.	.	.	.	.	0,7	.	.	.	2,7	3,2	6,2
Poaceae	<i>Panicum pantrichum</i> Hack.	Papa	.	.	.	.	.	0,7	11,7	.	.	.	.	.	.
Asteraceae	<i>Facelis retusa</i> (Lam.) Sch. Bip.	Fare	.	0,3	2,8	2,6	0,4	0,7	.	.	.	1,4	3,3	.	0,6
Poaceae	<i>Axonopus suffultus</i> (Mikan ex Trin.) Parodi	Axsu	10,6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Poaceae	<i>Paspalum dilatatum</i> Poir.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,4	.	.	1,3	8,3
Oxalidaceae	<i>Oxalis bipartita</i> A. St.-Hil.	.	.	2,4	.	.	0,4	.	0,4	1,5	1,4	0,5	.	1,6	1,7
Poaceae	<i>Paspalum pumilum</i> Nees	Papu	.	8,0	0,2	.	.	.	.	0,3	1,5	.	.	.	.
Poaceae	<i>Briza rufa</i> (J. Presl) Steud.	.	0,6	.	0,7	.	0,4	.	.	2,9	.	.	.	2,6	2,0
Myrtaceae	<i>Myrciaria tenella</i> (DC.) O. Berg	Myte	.	.	.	.	.	.	.	.	0,2	4,8	2,4	1,5	.
Malvaceae	<i>Sida rhombifolia</i> L.	.	0,3	1,1	.	0,8	2,7	0,4	0,4	.	.	1,4	.	1,2	0,6
Poaceae	<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R. Br.	.	.	0,8	0,9	1,7	1,6	2,1	0,9	.	.	0,9	.	.	.
Poaceae	<i>Stipa megapotamia</i> Spreng. ex Trin.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,9	.	0,7	3,3	0,7	.
Poaceae	<i>Briza subaristata</i> Lam.	Brsu	1,3	.	0,5	.	1,7	0,7	.	0,9	.	.	3,4	.	.
Iridaceae	<i>Sisyrinchium micranthum</i> Cav.	.	.	1,1	.	0,6	.	2,1	.	.	1,0	1,6	0,2	1,5	.
Rubiaceae	<i>Diodia dasycephala</i> Cham. & Schtdl.	.	.	1,7	3,2	1,5	.	1,4	.	.	.	.	0,4	.	.
Poaceae	<i>Eleusine tristachya</i> (Lam.) Lam.	.	.	0,5	0,2	1,7	.	.	.	.	2,5	1,4	0,2	.	0,9
Oxalidaceae	<i>Oxalis brasiliensis</i> G. Lodd.	.	.	.	2,3	.	0,7	2,6	.	.	1,4	.	0,4	.	.
Plantaginaceae	<i>Plantago tomentosa</i> Lam.	.	.	0,3	.	2,7	.	.	.	1,5	.	0,7	.	.	2,0
Poaceae	<i>Coelorachis seloana</i> (Hack.) A. Camus	.	0,3	.	0,5	2,1	.	.	.	.	3,4	0,7	.	.	.
Asteraceae	<i>Baccharis rufescens</i> Spreng.	.	.	.	.	0,2	.	.	.	.	1,4	2,1	1,3	0,9	0,9
Malvaceae	<i>Krapovickasia macrodon</i> (DC.) Fryxell	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,2	1,4	1,6	0,2	3,1
Fabaceae	<i>Trifolium polymorphum</i> Poir.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,6	2,1	0,2	0,4	.
Asteraceae	<i>Gamochoeta americana</i> (Mill.) Wedd.	.	0,3	2,4	.	1,5	.	.	.	0,3	.	0,7	0,8	.	0,3
Poaceae	<i>Paspalum plicatulum</i> Michx.	.	.	1,8	1,5	.	.	.	.	2,8	.	0,2	.	.	.
Poaceae	<i>Ischaemum minus</i> J.Presl	Ismi	.	5,9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Plantaginaceae	<i>Plantago australis</i> Lam.	.	.	.	.	0,4	.	.	.	.	0,7	0,9	1,1	0,7	2,0
Cyperaceae	<i>Rhynchospora barrosiana</i> Guagl.	Rhba	.	0,9	.	.	.	.	.	.	4,7	.	.	.	.
Poaceae	<i>Danthonia montana</i> Döll	Damo	.	.	.	.	.	.	.	0,7	0,4	.	2,5	0,9	1,2
Poaceae	<i>Paspalum compressifolium</i> Swallen	.	3,6	.	.	.	.	1,4	.	.	0,6	.	.	.	.
Poaceae	<i>Paspalum ionanthum</i> Chase	.	.	.	0,4	.	.	.	.	.	2,4	2,8	.	.	.

Ambientes: APP em recuperação (AR), APP sem uso (AU), campo recuperado (CR), campo nativo (CN), plantio com um ano (P1), plantio com dois anos (P2) e plantio adulto (PA)

FIGURA 4 - COBERTURA DE SOLO (%) DAS PRINCIPAIS ESPÉCIES COMPONENTES DA VEGETAÇÃO HERBÁCEA NOS AMBIENTES AVALIADOS NAS REGIÕES DE CRISTAL E PIRATINI.



Ambientes: APP em recuperação (AR), APP sem uso (AU), campo recuperado (CR), campo nativo (CN), plantio com um ano (P1), plantio com dois anos (P2) e plantio adulto (PA).

A dispersão de sementes destas espécies pode ter sido favorecida pelo trânsito e pastejo dos bovinos nas áreas de plantio e fragmentos florestais. *Homolepis glutinosa* e *Oplismenus hirtellus* apresentam frutos epizoocóricos, facilmente transportados junto às patas destes animais (SMITH *et al.*, 1982a). Mesmo depois da retirada do sombreamento, as espécies deste grupo mantiveram certa abundância no ambiente colonizado por um período de pelo menos três anos, como foi verificado na APP em recuperação (AR) (figura 4). No entanto, estas espécies praticamente desapareceram no campo recuperado (CR), indicando que não foram capazes de competir com a vegetação herbácea de campo por um longo período (17 anos).

As espécies *Piptochaetium montevidense* e *Dichantherium sabulorum* nas duas regiões avaliadas (figura 4), *Setaria vaginata* em Cristal e *Senecio brasiliensis* em Piratini (tabela 3), dominaram a vegetação herbácea do plantio de um ano de idade (P1), com uma cobertura total de 68% em Cristal e de 42% em Piratini. Esta dominância está relacionada à capacidade destas espécies em competir com as demais espécies da vegetação herbácea, utilizando-se dos recursos liberados após o corte da plantação florestal (luz e nutrientes do solo).

As plantações de acácia-negra proporcionam um aporte significativo de nutrientes ao solo pela deposição de serapilheira durante o ciclo de cultivo e pelos resíduos da colheita florestal (capítulo 2), com reflexos positivos sobre as condições químicas, físicas e biológicas do solo. As três gramíneas (Poaceae), que são boas forrageiras, também foram beneficiadas pela interrupção do pastejo no período entre a colheita e o início do segundo ano de estabelecimento da nova rotação, época em que foram realizadas as avaliações do plantio de um ano (P1).

CONCLUSÕES

O plantio de acácia-negra em campos nativos reduz a diversidade florística da vegetação herbácea pela supressão de espécies intolerantes ao sombreamento.

As áreas cultivadas com acácia-negra por um longo tempo propiciaram maior ocorrência de gramíneas típicas de sub-bosques de fragmentos florestais da região.

O período de recuperação de três anos não é suficiente para restabelecer a diversidade, composição e abundância das espécies da vegetação original em áreas utilizadas com o plantio de acácia-negra. No entanto, num período de até 17 anos de recuperação, o ambiente recuperado é similar ao ambiente original. Estes resultados demonstram que as perturbações causadas pelo plantio da acácia-negra não afetam a resiliência ambiental do sítio.

A vegetação herbácea apresenta maior grau de similaridade, quanto à composição florística e cobertura das espécies, entre os povoamentos de acácia-negra em diferentes idades, que com o ambiente original de campo nativo, indicando uma adaptação desta vegetação pela seleção de espécimes mais tolerantes ao sombreamento.

As espécies dos campos nativos apresentam diferenças quanto à tolerância ao sombreamento: as intolerantes reduzem sua cobertura ou tendem a desaparecer sob sombreamento e as tolerantes mantêm ou aumentam sua cobertura nas áreas com acácia-negra. Gramíneas típicas de sub-bosques de fragmentos florestais colonizam os plantios de acácia-negra, sendo mais abundantes nas áreas com maior tempo de uso com plantações de acácia-negra.

SEÇÃO 3

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES GERAIS

1.1 PRODUTIVIDADE EM PLANTAÇÕES DE ACÁCIA-NEGRA

Diversos fatores estudados neste trabalho apresentam influência sobre a produtividade das plantações de acácia-negra, cabendo destacar alguns aspectos ligados à qualidade genética das sementes, atributos do solo, práticas silviculturais e a idade da plantação.

O uso de sementes melhoradas geneticamente contribui efetivamente para incrementar a produção florestal nos sistemas de produção de pequenos produtores. Entretanto, estes ganhos dependem da utilização de práticas silviculturais adequadas, apresentadas e discutidas na seqüência.

Os teores de P, K e da matéria orgânica são os atributos do solo que apresentam relação positiva com o crescimento da acácia-negra (capítulo 1). Resultados dos experimentos de adubação (capítulo 3) confirmam que o P e K são os nutrientes mais importantes para produção de madeira das plantações desta espécie. A necessidade de adubação não está somente relacionada com a disponibilidade destes nutrientes no solo, mas também com as características físicas do solo, como a profundidade efetiva e pedregosidade.

Apesar dos estudos realizados neste trabalho não terem avaliado de forma direta a utilização de diferentes práticas silviculturais, observações de campo permitem relacionar a mortalidade de plantas e produtividade das plantações com o método utilizado para a produção da muda, a densidade e qualidade do plantio, o cultivo associado e a competição com a vegetação herbácea.

A qualidade das mudas, especialmente o tamanho e uniformidade, é mais importante do que o método (torrão ou laminado) em que estas forem produzidas. Em anos com condições climáticas favoráveis, as mudas em torrão podem apresentar a mesma qualidade das produzidas em laminado. Entretanto, na maior

parte das vezes, as mudas produzidas em torrão são de qualidade inferior, devido principalmente à competição entre plantas, ocorrência de pragas e doenças e crescimento desuniforme, tendo conseqüências negativas sobre a formação da plantação.

Quando as mudas apresentam mais de uma planta por unidade, o que normalmente ocorre nas mudas em torrão, é necessário realizar o desbaste, mantendo somente uma planta. Este desbaste deve ser realizado antes do plantio ou até com um mês de idade. Muitos produtores fazem o desbaste com a plantação já estabelecida (seis meses ou mais de idade), visando selecionar plantas mais vigorosas. No entanto, o desbaste tardio causa uma desuniformidade no povoamento, reduzindo a sobrevivência de plantas e a produção da plantação.

Densidades de plantio acima de 2.000 plantas/ha não apresentam efeito sobre a densidade ao final da rotação e produção de madeira e casca. A qualidade do plantio, com o preparo apropriado do solo, mudas de qualidade, adubação adequada e controle de plantas competidoras na fase inicial do povoamento deverão ter melhores resultados sobre a densidade final da plantação e produtividade florestal, que empregar recursos no aumento da densidade de plantio.

A mortalidade de plantas nas plantações de acácia-negra é relativamente alta, atingindo normalmente entre 25% e 50% das árvores ao final da rotação (capítulos 1 e 2). Diversas são as causas identificadas para a alta mortalidade de plantas. As características biológicas de espécie pioneira da acácia-negra, que apresenta alta exigência de luz, provavelmente seja a causa mais importante. Árvores suprimidas tendem a morrer antes de completar cinco anos de idade. O menor crescimento de plantas do mesmo povoamento, causa do surgimento de árvores suprimidas, está relacionado com a variabilidade genética, desuniformidade das mudas e do preparo da área, densidade e qualidade do plantio, ocorrência de pragas e doenças, competição com a vegetação herbácea e com plantas de acácia-negra da mesma cova e da regeneração natural, em áreas de reforma da plantação.

Nas árvores dominantes e co-dominantes a mortalidade de plantas ocorre principalmente em consequência do ataque da gomose e por queda provocada por ventos fortes. O aumento da incidência e severidade da gomose está relacionado com a adubação nitrogenada utilizada para a melancia, cultivada na mesma linha de plantio da acácia-negra no estabelecimento das plantações. Árvores atacadas pela gomose apresentam menor produtividade de madeira e casca. Modificação do arranjo de plantio, com o cultivo da melancia nas entre linhas da acácia-negra, poderá reduzir o desbalanço nutricional causado pela adubação nitrogenada.

A vegetação herbácea nativa dos campos estudados neste trabalho apresenta uma boa adaptação às condições de sombreamento das plantações de acácia-negra (capítulo 6), permitindo sua utilização em sistemas silvipastoris.

Por outro lado, a vegetação herbácea também pode causar competição com a plantação de acácia-negra. Esta competição normalmente é mais forte nas áreas de reforma da plantação e nos anos com precipitações irregulares, como em 2005, e o período mais crítico ocorre entre o plantio e o início do pastejo. Nas áreas de reforma ocorre uma adaptação da vegetação herbácea ao sombreamento (capítulo 6) e o crescimento das gramíneas mais agressivas é beneficiado pela melhoria das condições de solo, proporcionada pela plantação anterior de acácia-negra, especialmente o aporte de N (capítulo 2).

O aumento da faixa de controle da vegetação herbácea por ocasião do plantio e/ou a antecipação do início do pastejo com animais de pequeno porte (ovinos) são práticas de manejo que necessitam ser avaliadas para minimizar esta competição.

O incremento anual da produção das plantações de acácia-negra é um aspecto que necessita ser analisado para a definição da idade de corte. Estudos desenvolvidos neste trabalho indicam que aos cinco anos idade ocorre à máxima produtividade biológica (capítulos 1 e 2) e a maior eficiência da folhagem para a produção de madeira e biomassa (capítulo 2).

Esses indicadores são utilizados para a definição da idade de rotação, quando se considera somente a produtividade das plantações. Portanto, por este critério, as plantações deveriam ser cortadas aos cinco anos de idade. Além da produtividade, a qualidade dos produtos, a rentabilidade econômica e os aspectos ambientais devem ser considerados para a definição da idade de corte da plantação.

A análise econômica dos sistemas em áreas de pequenos produtores indica que a idade ótima de corte ocorre aos quatro anos para os proprietários da terra e aos seis anos para os arrendatários, que arcam com todos os custos de estabelecimento das plantações (capítulo 1). As empresas compradoras de madeira e casca não valorizam a qualidade dos produtos, como a densidade da madeira e o teor de tanino na casca, que apresentam incremento com a idade da plantação. Por esta forma de valorização da produção, a determinação da idade de corte por critérios econômicos será sempre muito próxima da idade de máxima produtividade das plantações.

A melhor eficiência dos nutrientes para a produção de biomassa e a menor exportação de nutrientes por unidade de biomassa colhida ocorrem aos seis e sete anos de idade (capítulo 2). Desta forma, rotações mais curtas causam, em longo prazo, maior redução do estoque de nutrientes do solo e, devido ao incremento da frequência de colheita e de preparo de área para reforma da plantação, aumentam os riscos de compactação do solo e de perdas de nutrientes por erosão, além da maior utilização de insumos e defensivos.

A manutenção do incremento médio anual de madeira e de biomassa nas plantações de acácia-negra até sete anos de idade é uma meta a ser buscada pelos acacicultores, visando reduzir os impactos das plantações e a obtenção de produtos de maior qualidade. É pouco provável que o declínio no incremento médio anual

observado após cinco anos de idade seja ocasionado por deficiências nutricionais, já que os nutrientes limitantes (P e K) para o crescimento da acácia-negra nas regiões de plantios do Rio Grande do Sul (capítulos 1 e 3) apresentam maior demanda do solo até dois anos de idade (capítulo 2).

O declínio do incremento médio anual de volume de madeira e peso de casca ocorre devido à fase de desenvolvimento das plantações de acácia-negra. Estas plantações normalmente apresentam densidade de plantio superior a 2.000 plantas/ha e alcançam o incremento médio anual máximo em torno de cinco anos de idade para subseqüentemente declinar. Esta redução ocorre devido à mortalidade de árvores, maior produção de material reprodutivo e alocação de biomassa no crescimento de galhos para ocupar os espaços das árvores mortas. Também pode envolver o aumento da respiração e a redução da fotossíntese, conforme citado no capítulo 2.

A antecipação do corte da plantação para cinco anos de idade, visando coincidir com o ponto de máximo incremento médio anual, como realizado pela maioria dos pequenos produtores, tem como limitações os impactos ambientais e a qualidade da produção.

O plantio em menor densidade é uma prática a ser avaliada visando postergar a idade de máximo incremento médio anual para sete anos. Esta prática teria como vantagem a redução de custos de plantio e da colheita florestal, especialmente a mecanizada. Entretanto, é necessário garantir uma boa qualidade de plantio e um estabelecimento uniforme do povoamento, para não ocorrer uma diminuição da produção das plantações.

1.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DAS PLANTAÇÕES DE ACÁCIA-NEGRA

A manutenção da capacidade produtiva do sítio é uma das premissas básicas para a sustentabilidade ambiental das plantações florestais. A colheita da plantação exporta uma grande quantidade de nutrientes, que ao longo das rotações deverá reduzir seu estoque no solo e pode limitar a produção florestal. Os nutrientes exportados em maior quantidade pelas plantações de acácia-negra são o Ca e K (capítulo 2). No entanto, não se verifica resposta à adubação destes nutrientes em uma área com a quinta rotação de acácia-negra (capítulo 3), indicando que neste caso, o estoque do solo é capaz de manter o crescimento das plantas.

Respostas encontradas a adubação de P e K no estudo do capítulo 3 estão relacionadas com as características químicas e físicas de cada solo e de absorção das plantas, não sendo efeito da exportação de nutrientes pelas plantações de acácia-negra. Em todo o caso, há a necessidade do monitoramento, através de análises de solos, das reservas de nutrientes no solo a cada rotação para a determinação da necessidade de reposição de nutrientes.

A queima de resíduos de colheita, conforme estimada no estudo do capítulo 2, também é uma importante via de exportação de nutrientes do sítio florestal. A adoção de práticas de plantio do povoamento sem a queima, além de interromper estas saídas, também contribuirá para aumentar o fluxo de matéria orgânica ao solo, proporcionando uma melhor proteção do solo na fase mais crítica da plantação para perdas de nutrientes por erosão e escoamento superficial. Outro aspecto que necessita ser considerado é a possibilidade de incrementar a captura de carbono, já que o material queimado possui características bioquímicas que potencializam uma maior transferência de carbono para a fração húmica estável do solo. Isto poderá ser utilizado como crédito de carbono, conforme postulados do Protocolo de Kyoto.

A acácia-negra possui diversas características biológicas que a capacitam como invasora de áreas naturais. No entanto, os ambientes (campos e florestas), em que estão inseridas as plantações no Rio Grande do Sul, apresentam baixa susceptibilidade à invasão desta espécie ou estes não são susceptíveis, devido principalmente a capacidade de regeneração das espécies nativas.

Nas áreas campestres, a invasão da acácia-negra está condicionada a perturbações que exponham o solo a plena luz ou ocorre em áreas naturais sem cobertura vegetal, como os afloramentos de rochas. A intensidade de invasão está relacionada com o grau de perturbação do solo e a propagação da invasão depende de novos distúrbios. A alta densidade e diversidade de plantas herbáceas, conforme verificado no estudo do capítulo 6, com espécies estivais e hibernais ocupando os diversos estratos da vegetação, mantém uma boa cobertura do solo durante todo o ano, que não permite o estabelecimento de plântulas de uma pioneira muito exigente de luz, como a acácia-negra.

No caso de perturbações, estas espécies são capazes cobrir o solo com relativa rapidez e de competir com as plantas invasoras de acácia-negra, causando mortalidade da maior parte destas. É necessário controlar as plantas invasoras que não morrem pela competição, visando eliminar possíveis fontes de sementes de indivíduos mais aptos à invasão.

As áreas de florestas nativas próximas de plantações de acácia-negra não são susceptíveis à invasão; mesmo em pequenas clareiras não se observaram plantas invasoras. Esta ausência deve estar relacionada com a alta diversidade e densidade de árvores existentes nas florestas nativas da região. O estudo do capítulo 5 demonstra que uma plantação abandonada de acácia-negra em área de floresta não foi capaz de manter uma população de plantas na área e nem se expandir para áreas circunvizinhas, além de apresentar uma sucessão florestal composta apenas por espécies florestais nativas.

Os estudos realizados neste trabalho indicam que as plantações de acácia-negra não afetam a capacidade de regeneração dos ecossistemas, tanto os florestais (capítulo 5) como os campestres (capítulo 6). A sucessão florestal e as espécies herbáceas dos ambientes campestres podem ser beneficiadas pela capacidade da acácia-negra em melhorar as condições de solo pela fixação de nitrogênio, ciclagem de nutrientes e aporte de matéria orgânica (capítulo 2), além de manter um micro-ambiente favorável ao estabelecimento de muitas espécies de plantas.

Nas áreas de florestas encontrou-se uma abundante e diversificada sucessão florestal em plantações abandonadas. Estes resultados indicam que a acácia-negra pode ser considerada uma facilitadora da regeneração natural para áreas que apresentem boa disponibilidade e diversidade de propágulos. No entanto, o seu uso para este fim apresenta sérias restrições, devido à formação de um banco de sementes, que poderão germinar e manter uma população de plantas na área, caso ocorram perturbações que exponham o solo a plena luz.

As plantações de acácia-negra nas áreas campestres abrigam a maior parte da riqueza e diversidade florística do ambiente, o que permite sua utilização em sistemas silvipastoris. As áreas utilizadas com acácia-negra restabelecem a cobertura e composição florística similar ao ambiente original num período de até 17 anos após a retirada das plantações. O período mais ou menos longo para a recuperação da riqueza e diversidade florística da área utilizada pode estar relacionada com a dominância de espécies herbáceas mais agressivas, que se beneficiam da melhoria das condições de solo proporcionado pela plantação de acácia-negra.

2 REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2005. Brasília, 2006.

ANDRADE, A.G. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas**. Seropédica, 1997. 182 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

ANDRAE, F.H.; PALUMBO, R.; MARCHIORI, J.N.C.; DURLO, M.A. O sub-bosque de reflorestamentos de pinus em sítios degradados na região da Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 43-63, 2005.

AUER, C.G.; SILVA, R. Fixação de nitrogênio em espécies arbóreas. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSI, M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Universidade Estadual de São Paulo, 1992. p. 160-167.

BALEIRO, F.C.; DIAS, L.E.; FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium* Willd. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 59-65. 2004.

BANCO DO BRASIL. **Conheça as condições de financiamento que o BB Florestal preparou para você**. s.p., s.d. Disponível em <http://www.agronegocios-e.com.br /agr/down/Folder_BB_Florestal.pdf> Acesso em 14 Ago. 2006.

BARICHELLO, L.R. **Quantificação da biomassa e dos nutrientes em floresta de *Acacia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil**. Santa Maria, 2003. 49 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

BARICHELLO, L.R.; SCHUMACHER, M.V.; VOGEL, H.L.M. Quantificação da biomassa de um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 129-135. 2005.

BARRETO, I.L.; KAPPEL, A. Principais espécies de gramíneas e leguminosas das pastagens naturais do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 15., 1964, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 1967. p. 281-294.

BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Recomendações de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 269-286.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 105-133.

BERTALOT, M.J.A.; GUERRINI, I.A.; MENDOZA, E.; DUBOC, E.; BARREIROS, R.M.; CORRÊA, F.M. Retorno de nutrientes ao solo via deposição de serapilheira de quatro espécies leguminosas arbóreas na região de Botucatu – São Paulo, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 219-277, 2004.

BINKEY, D.; O'CONNELL, A.M.; SANKARAN, K.V. Stand development and productivity. In: NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.G. (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p. 419-442.

BINKLEY, D.; GIARDINA, C. Nitrogen fixation in tropical forest plantations. . In: NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.G. (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p. 297-337.

BOLAND, D.J. et al. Black Wattle. In: _____. **Forest trees of Australia**. Melbourne: Thomas Nelson/CSIRO, 1984. p. 162-163.

BOLDRINI, I.I.; LONGHI-WAGNER, H.M.; BOECHAT, S.C. **Morfologia e taxonomia de gramíneas Sul-Rio-Grandenses**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

BOYER, W.D.; MILLER, J.H. Effect of burning and brush treatments on nutrient and soil physical properties in young longleaf pine stands. **Forest Ecology and Management**, v. 70, p. 311-318, 1994.

BRASIL. Decreto n. 3.420, de 3.420 de 20 de abril de 2000. Dispõe sobre a criação do **Programa Nacional de Florestas – PNF**. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3420.htm> Acesso em 14 Jul. 2006.

BRAY, R.J.; GORHAM, E. Litter productions in forest of the world. **Advances in Ecological Research**, London, v. 2, p. 101-157, 1964.

BURKE, M.J.W.; GRIME, J.P. An experimental study of plant community invasibility. **Ecology**, v. 77, n. 3, p. 776-790, 1996.

CALDEIRA, M.V.W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)**. Santa Maria, 1998. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; PEREIRA, J.C.; DELLA-FLORA, J.B.; SANTOS, E.M. Concentração e redistribuição de nutrientes nas folhas e no folheto em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 19-24. 1999.

CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; SCHEEREN, L.W.; BARICHELLO, L.R.; WATZLAWICK, L.F. Relação hipsométrica para *Acacia mearnsii* com diferentes idades. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 45, p. 57-68, 2002.

CALEGARIO, N.; SOUZA, A.L.; MARANGON, L.C.; SILVA, A.F. Parâmetros florísticos e fitossociológicos da regeneração natural de espécies arbóreas nativas no sub-bosque de povoamentos de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 17, n. 1, p. 16-29. 1993

CAMPELLO, E.F.C. **A influência de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio na sucessão vegetal em áreas degradadas na Amazônia**. Viçosa, 1999. 121 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

CARPANEZZI, A.A. **Banco de sementes e deposição de folheto e seus nutrientes em povoamentos de bracatinga (*Minosa scabrella* Benth) na Região Metropolitana de Curitiba-PR**. Rio Claro, 1997. 177 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista.

CARPANEZZI, A. A. Espécies para recuperação ambiental. In: GALVÃO, A.P.M. (Ed.). **Espécies não tradicionais para plantios com finalidades produtivas e ambientais**. Colombo: Embrapa Florestas, 1998. p. 43-53.

CARRASCO, J.L.; HERMÁN, M.A. **Estadística multivariante em las ciencias de la vida: fundamentos, métodos y aplicación**. Madrid: Editorial Ciencia, 1993.

CHADA, S.S.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. Sucessão vegetal em uma encosta reflorestada com leguminosas arbóreas em Angra dos Reis, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 801-809, 2004.

CLUTTER, J.L.; FORSTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Wiley & Sons, 1983.

COMERFORD, N.B.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; SANTANA, R.C.; LEAL, P.G.L. Phosphorus uptake: sensitivity of the Michaelis-Menten equation and importance of deep roots of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna*. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. **Proceedings...** Colombo, Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 1997. v. 3, p. 290-295.

CONTO, A.J.; DOSSA, D.; DEDECEK, R.; CURCIO, G.R.; HIGA, A. Estrutura familiar e formação da renda entre pequenos acacicultores. In: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 35., 1997. Natal. **Anais...** Natal: SOBER, 1997. p. 856-862.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2001.

DAEHLER, C.C.; DENSLOW, J.S.; ANSARI, S.; KUO, H. A risk-assessment system for screening out invasive pest plants from Hawaii and other Pacific Islands. **Conservation Biology**, v. 18, n. 2, p. 360-368, 2004

DAMÉ, P.R.V.; ROCHA, M.G.; QUADROS, F.L.F.; PEREIRA, C.F.S. Estudo florístico de pastagem natural sob pastejo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 5, n. 1, p. 45-49, jan-abril. 1999.

DANIEL, T.W.; HELMS, J.A.; BAKER, F.S. **Príncipes of silviculture**. 2. ed. New York: Mcgraw-Hill, 1979.

DANTAS, M.; PHILLIPSON, J. Litterfall and litter nutrient content in primary and secondary amazonian "terra firme" rain forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 5, n. 1, p. 27-36, 1989.

DEDECEK, R.A.; HIGA, R.C.V. (Resp.). **Cultivo da Acácia-negra**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. Versão eletrônica. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/AcaciaNegra/CultivodaAcaciaNegra/index.htm>> Acesso em 22 Fev. 2006.

DYE, P.J.; POULTER, A.G. A field demonstration of the effect on streamflow of clearing invasive pine and wattle trees from a riparian zone. **South African Forestry Journal**, n. 173. p. 27-30. 1995.

EMBRAPA FLORESTAS. **III Plano diretor**: Embrapa Florestas 2004-2007. Colombo, 2005.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999.

ENGEL, V.L.; PARROTTA, A.J. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E. DE; MORAES, L.F.D. DE; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. (Eds.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. p. 1-26.

ESPÍNDOLA, M.B.; BECHARA, F.C.; BAZZO, M.S.; REIS, A. Recuperação ambiental e contaminação biológica: aspectos ecológicos e legais. **Biotemas**, v. 8, n. 1, p. 27-38, 2005.

FASSBENDER, H.W. **Modelos edafológicos de sistemas agroforestales**. 2. ed. Turrialba: CATIE, 1993.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos, con énfasis em suelos de América Latina**. San José: IICA, 1994.

FILGUEIRAS, O. A boiada no mato. **Globo Rural**. Rio de Janeiro, mar. 1990. p. 27-28.

FINEGAN, B. **Aspectos de la ecología del crecimiento y rendimiento de los arboles**. Turrialba, 1993a, 30 f. Apostila de Curso (Bases ecológicas para la silvicultura y agroforesteria) – Maestria en manejo de bosques tropicales, CATIE.

FINEGAN, B. **Los gremios de especies forestales**. Turrialba, 1993b, 35 f. Apostila de Curso (Bases ecológicas para la silvicultura y agroforesteria) – Maestria en manejo de bosques tropicales, CATIE.

FLEIG, F.D. **Avaliação econômica dos sistemas de produção com Acácia-negra (*Acácia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul.** Santa Maria, 1993. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

FOCHT, T.; PILLAR, V.D. Spatial patterns and relations with site factors in a campos grassland under grazing. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 63, n. 3, p. 423-436. 2003.

FÖLSTER, H.; KHANNA, P.K. Dynamics of nutrient supply in plantation soils. In: NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.G. (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests.** Canberra: ACIAR, 1997. p. 339-378.

FORTES, A. B. **Aspectos fisiográficos, demográficos e econômicos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Livraria do Globo, 1956.

FRANCO, A.A.; DÖBEREINER, J. A biologia do solo e a sustentabilidade dos solos tropicais. **Summa Phytopathologica**, v. 20, n. 1, p. 68-74, 1994.

FREIRE, J.M.; PORTELA, R.; SANTANA, C.A.A.; SANTOS, C.J.; FARIA, S.M. Regeneração natural sob plantios com predominância de *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit., *Mimosa caesalpinifolia* Benth. e plantio com maior diversidade de espécies em Madureira, RJ. In: FOREST, Porto Seguro, 2000. **Anais...Porto Seguro: Biosfera**, 2000. p. 181-183.

FREITAS, G.D.; OLIVEIRA, A.C.; BRANCO, M.A.C. Plantios de eucalipto integrados às faixas ecológicas: tecnologia ambiental para uso sustentável do cerrado. In: Encontro para conservação da natureza, 1. 1997. **Anais... Viçosa: CMCN/UFV**, 1997. p. 89-97.

FUCKS, L.F.M. **Dinâmica da pastagem nativa, desempenho de ovinos e desenvolvimento arbóreo em sistemas silvipastoril com três populações de *Eucalyptus saligna*.** Porto Alegre, 1999. 174 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GARCIA, R.; ANDRADE, C.M.S. Sistemas silvipastoris na Região Sudeste. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais.** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. p. 173-204.

GIRARDI-DEIRO, A.M.; GOMES, K.E.; SILVEIRA, V.C.P.; RODRIGUES, C.A.G.; DEBLE, L.P. **Composição florística outonal e relação com a qualidade da forragem em campos naturais na APA do Ibirapuitã, RS.** Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2003.

GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil.** Belo Horizonte: IBDF, 1978.

GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da mata atlântica. **Documentos florestais**, Piracicaba, n. 15, p. 1-23, 1995.

GONÇALVES, J.L.M.; BARROS, N.F.; NAMBIAR, E.K.S.; NOVAIS, R.F. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.G. (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p. 379-417.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEI, V.A.G.; GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 1-57.

GONÇALVES, J.O.N.; GIRARDI-DEIRO, A.M.; GONZAGA, S.S. **Campos naturais ocorrentes nos diferentes tipos de solos no Município de Bagé, RS**: Caracterização, localização e principais componentes da vegetação. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 1998.

GUGLIERI, A.; LONGHI-WAGNER, H.M. *Gramineae – Paniceae*, Gênero *Panicum* L. **Boletim do Instituto de Biociências**, Porto Alegre, n. 59, p. 1-163. 2000.

HAIR JR, J.F. et al. **Análise multivariada de dados**. Tradução: A.S. Sant'Anna e A. Chaves Neto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. **Past – Palaeontological Statistics**, ver. 1.42. 2006. Disponível em <<http://folk.uio.no/ohammer/past>> Acesso em: 15.05.2006.

HANSEN, E. A.; BAKER, J. B. Biomass and nutrient renewal in short rotation intensively cultured plantations. In: ANNUAL MEETING AMERICAM POPLARS COUNCIL, 1979, Thompsonville. **Annual...** Thompsonville: 1979. p. 130-151.

HEALEY, S.P.; GARA, R.I. The effect of a teak (*Tectona grandis*) plantation on the establishment of native species in an abandoned pasture in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 176, p. 497-507, 2003.

HEAR - Hawaiian Ecosystems at Risk Project. **Acacia mearnsii**. Disponível em <http://www.hear.org/pier/species/acacia_mearnsii.htm> Acesso em 22 fev. 2005.

HENDERSON, L.; MUSIL, K.J. Exotic woody plant invaders of the Transvaal. **Bothalia**, v. 15, n. 1/2, p. 297-313. 1984.

HENDERSON, L. Invasive alien woody plants of Natal and the north-eastern Orange Free State. **Bothalia**, v. 19, n. 2, p. 237-261, 1989.

HENDERSON, L. **Alien weeds and invasive plants**. Cape Town: Agricultural Research Council, 2001.

HENDERSON, L. The Southern African Plant Invaders Atlas (SAPIA) database and bibliography. In: MACDONALD, I.A.W. et al. (Ed.). **Invasive Alien Species in Southern Africa**: National Reports e Directory of Resources. Cape Town: Global Invasive Species Programme, 2003. p. 91-125.

HERBERT, M.A. Fertilisation of trees at planting. In: MacLENNAM, L. (Ed.). **Annual research report 1991**. Pietermaritzburg: Institute For Commercial Forestry Research, 1991. p. 81-91.

HIGGINS, S.I.; RICHARDSON, D.M.; COWLING, R.M.; TRINDER-SMITH, T.H. Predicting the Landscape-Scale Distribution of Alien Plants and Their Threat Diversity. **Conservation Biology**, v. 13, n. 2, p. 303-313, 1999.

HÖLSCHER, D., MÖLLER, M. R. F., DENICH, M. AND FÖLSTER, H. Nutrient input-output budget of shifting agriculture in Eastern Amazonia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 47, p. 49-57, 1997.

HOPMANS, P.; FLINN, D.W.; FARRELL, P.W. Nutrient dynamics of forested catchments in southeastern Australia and changes in water quality and nutrient exports following clearing. **Forest Ecology and Management**, v. 20, p. 209-231, 1987.

HOPMANS, P.; FLINN, D.W.; GEARY, P.W.; TOMKINS, I.B. Sustained growth response of *Pinus radiata* on podzolised sands to site management practices. **Australian Forestry**, v. 56, p. 27-33, 1993.

HUSAIN, A.M.M; PONNUSWAMY, P.K.; VISWANATHAN, M. Nutrition studies on black wattle: effect of different NPK fertilizer combinations upr to the 6th year. **Indian Forester**, v. 106, n. 6, p. 397-402, 1980.

IBGE. **Censo Agropecuário: Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 1985, v. 2, T. 3, pt. 1.

IBGE. **Mapa exploratório de solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 2002. 1 mapa: color. Escala 1:1.000.000. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_geo> Acesso em 14 Fev. 2006.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro, 2004a. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em 14 Fev. 2006.

IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2004b. 1 mapa: color. Escala 1:5.000.000. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_geo> Acesso em 14 Fev. 2006.

IBGE. Espécies invasoras. In: **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Dimensão ambiental: biodiversidade**. Rio de Janeiro, 2004c. p. 124-134. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/biodiversidade.pdf>> Acesso em 22 fev. 2005.

IBGE. **Censo agropecuário 1995-1996**. Rio de Janeiro. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em 14 Fev. 2006.

JANDL, R. Medición de tendencias en el tiempo del almacenamiento del carbono. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL MEDICIÓN Y MONITOREO DE LA CAPTURA DE CARBONO EM ECOSISTEMAS FORESTALES, 1., 2001. Valdivia. **Anais...** Valdivia: UACH, 2001. 12 p. Disponível em <<http://www.uach.cl/simposiocarbono/doc/jadl.PDF>> Acesso em 20.09.2006.

JUVENAL, T.L.; MATTOS, R.L.G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 16, p. 3-30, 2002.

KAGEYAMA, P.; CASTRO, C.F.A. Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de espécies arbóreas nativas. **Boletim Técnico IPEF**, Piracicaba, n. 41/42, p. 83-93, 1989.

KANNEGIESSER, U. Apuntes sobre algunas acacias australianas: 1. *Acacia mearnsii* De Willd. **Ciencia e Investigación Forestal**, v. 4, n. 2, p. 198-212, 1990.

KLAMT, E.; SCHNEIDER, P. **Características e vocação de uso agrícola do agroecossistema dos solos de profundidade média a rasos da serra do sudeste**: manual para assistência técnica. Porto Alegre: Governo do Rio Grande do Sul. 2006.

KLEIN, J.E.M.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; FLEIG, F.D. Produção de Madeira e casca de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 87-97, 1992.

KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P.J.; PALLARDY, S.G. **The physiological ecology of woody plants**. New York: Academic Press. 1991.

KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T.T. **Physiology of woody plants**. New York: Academic Press. 1979.

LAL, R. Soils of the tropics and their management for plantation forestry. In: NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.G. (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p. 97-123.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer. 1998.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro, 1990. p. 113-150.

LIMA, R.M.B. **Crescimento de *Sclerolobium paniculatum* Vogel na Amazônia, em função de fatores de clima e solo**. Curitiba, 2004. 194 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.M. Indicadores hidrológicos em áreas florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 31, p. 53-64, 1998.

LITTLE, K.M.; SMITH, C.W.; NORRIS, C.H. The influence of various methods of plantation residue management on replanted *Acacia mearnsii* growth. **Australian Forestry**, v. 63, n. 3, p. 226-234, 2000.

LOMBARDI, J.A.; MOTTA JR, J.C. Levantamento do sub-bosque de um reflorestamento monoespecífico de *Pinus elliottii* em relação as síndromes de dispersão. **Turrialba**, v. 42, n. 4, p. 438-442, 1992.

LOPES, P.R.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, p.71-75, 1987.

LOWE, S.; BROWNE, M.; BOUDJELAS, S.; De POORTE, M. **100 of the World's Worst Invasive Alien Species: A selection from the Global Invasive Species Database**. Auckland: ISSG/SSC/IUCN, 2004.

LUGO, A.E. The apparent paradoxo of reestablishing species richness on degraded lands with tree monocultures. **Forest Ecology and Management**, v. 99, n. 1,2, p. 9-19, 1997.

MACHADO, A.S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 1. ed. Curitiba, 2003.

MACKENSEN, J.; HÖLSCHER, D.; KLINGE, R.; FÖLSTER, H. Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 86, p.121-128, 1996.

MAESTRI, R.; GRAÇA, L.R.; SIMÕES, J.W.; FREITAS, A.J.P. Análise da adubação fosfatada na produção física e econômica da acácia-negra. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 14, p. 39-53, 1987.

MAGURRAN, A.E. **Ecological diversity and its measurement**. Princeton: Princeton University Press, 1988.

MAITRE, D.C. Le; WILGEN, B.W.van; GELDERBLUM, C.M.; BAILEY, C.; CHAPMAN, R.A. Invasive alien trees and water resources in South Africa: case studies of costs and benefits of management. **Forest Ecology and Management**, v. 160, p. 143-159. 2002.

MARCHANTE, H.; CAMPELO, F.; FREITAS, H. **Impacto de Acácia na biodiversidade dos sistemas dunares**. 8 p. Disponível em: <www.uc.pt/invasoras/marchante_campelo_freitas.pdf> Acesso em: 30.04.2006.

MARTINEZ, D.T. **Seleção genética de Acácia mearnsii De Wild. (acácia-negra) visando o aumento da qualidade e produtividade de madeira e tanino no Rio Grande do Sul**. Curitiba, 2006. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MARTINS, S.V.; BARROS, N.F.; SAMPAIO, O.B.; GOMES, R.T. Liberação e lixiviação de nutrientes pela queima da manta orgânica de três coberturas vegetais. **Revista Árvore**, v. 19, p. 149-156, 1995.

MARTINS-CORDER, M.P.; BORGES, R. Z.; BORGES JUNIOR, N. Fotoperiodismo e quebra de dormência em sementes de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 71-77, 1999.

MATOS, R.M.B.; SILVA, E.M.R.; BERBARA, R.L.L. **Biodiversidade e Índices**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1999.

McLEOD, K.W.; SHERROD, C.; PORCH, T.E. Response of longleaf pine plantations to litter removal. **Forest Ecology and Management**, v. 2, p. 1-12, 1979.

MDIC. **Consulta as exportações de madeira de não coníferas, em estilhas ou em partículas: período 01/2004 a 12/2005**. Disponível em <<http://alicesweb.desenvolvimento.gov.br>> Acesso em 14 Jul. 2006.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987.

MILLER, H.G. Dynamics of nutrient cycling in plantation ecosystems. In: BOWEN, G.D.; NAMBIAR, E.K.S. (Ed.). **Nutrition of plantation forests**. London: Academic Press, 1984. p. 53-78.

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**. UFMG: Belo Horizonte, 2005.

MOCHIUTTI, S.; MEIRELLES, P.R.L.M. Sistemas silvipastoris no Amapá: situação atual e perspectivas. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. p. 77-99.

MONDIN, C.A.; BAPTISTA, L.R.M. **Relações biogeográficas da tribo mutisieae Cass. (Asteraceae), *Sensu* Cabrera, no Rio Grande do Sul**. Comunicações do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 49-152.

MOONEY, H. Invasive Alien Species: the nature of the problem. In: **Assessment and management of alien species that threaten ecosystems, habitats and species**. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2001. p. 1-2.

MORA, A.L. **Aumento da produção de sementes geneticamente melhoradas de *Acacia mearnsii* De Wild. (Acácia negra) no Rio Grande do Sul**. Curitiba, 2002. 140 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974.

MÜLLER, S.C.; WAECHTER, J.L. Estrutura sinusial dos componentes herbáceo e arbustivo de uma floresta costeira subtropical. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 395-406, 2001.

NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.G. Towards sustained productivity of tropical plantations: science and practice. In: _____. (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p. 527-557.

NAPPO, M.E.; OLIVEIRA FILHO, A.T.; MARTINS, S.V. A estrutura do sub-bosque de povoamentos homogêneos de *Mimosa scabrella* Benthams, em área minerada, em Poços de Caldas, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 210, n. 2, p. 17-29, 2000.

NAPPO, M.E.; GRIFFITH, J.J.; MARTINS, S.V.; MARCO JR, P.; SOUZA, A.L.; OLIVEIRA FILHO, A.T. Dinâmica da estrutura fitossociológica da regeneração natural em sub-bosque de *Mimosa scabrella* Benthams em área minerada, em Poços de Caldas, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 811-829, 2004.

NAUTIYAL, J.C. **Forest economics: principles and applications**. Toronto: Canadian Scholars' Press, 1988.

NERI, A.V.; CAMPOS, E.P.; DUARTE, T.G.; MEIRA NETO, J.A.A.; SILVA, A.F.; VALENTE, G.E. Regeneração de espécies nativas lenhosas sob plantio de *Eucalyptus* em área de cerrado na Floresta Nacional de Paraopeba, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 19, n. 2, p. 369-376, 2005.

NEVES, D.A. Análise da biodiversidade da vegetação herbácea em reflorestamento de *Pinus* sp. No sul do Brasil, considerando diferentes tratamentos silviculturais. In: Congresso Acadêmico sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento do Rio de Janeiro (Cadm-RJ), 1., 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: RADMA, 2004. Disponível em: www.ebape.fgv.br/radma/doc/FET/FET-054.pdf Acesso em 30.04.2006.

NEWMAN, D.H. The optimal forest rotation: a discussion and annotated bibliography. **USDA Forest Service General Technical Report**, SE GTR-48, p. 1-47, 1988.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp.: níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n.1, p. 105-111, 1986.

O'CONNELL, A.M.; SANKARAN, K.V. Organic matter accretion, decomposition and mineralisation. In: NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.G. (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p. 443-480.

OLIVEIRA FILHO, A. Estudos ecológicos da vegetação como subsídio para programas de revegetação com espécies nativas: uma proposta metodológica. **Cerne**, v. 1, n. 1, p. 64-72. 1994.

OLIVEIRA, H.A. **Acácia-negra e tanino no Rio Grande do Sul**. Canoas: La Salle. 1968.

ORTEGA, A.; MONTEIRO, G. Evaluación de la calidad de las estaciones forestales. **Ecologia**, Madri, n. 2, p. 155-184, 1988.

OVERBECK, G. **Effect of fire on vegetation dynamics and plant types in subtropical grassland in southern Brazil**. München, 2005. 135 p. Tese (Doktors der Naturwissenschaften) - Department für Ökologie, Technische Universität München.

PARROTTA, J.A.; TURNBULL, J.W.; JONES, N. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. **Forest Ecology and Management**, v. 99, n. 1,2, p. 1-7, 1997a.

PARROTTA, J.A.; KNOWLES, O.H.; WUNDERLE JR, J.M. Development of floristic diversity in 10-year-old restoration forests on a bauxite mined site in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 99, n. 1,2, p. 21-42, 1997b.

PAULA, K.R. **Fatores ambientais e genéticos que afetam a produção de sementes de acácia-negra**. Curitiba, 2005. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PAULINO, A.F.; MEDINA, C.C.; NEVES, C.S.V.J.; AZEVEDO, M.C.B.; HIGA, A.R.; SIMON, A. Distribuição do sistema radicular de árvores de acácia-negra oriundas de mudas produzidas em diferentes recipientes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 605-610, 2003.

PEREIRA, J.C.; SCHUMACHER, M.V.; HOPPE, J.M.; CALDEIRA, M.V.W.; SANTOS, E. M. Produção de biomassa em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 521-526. 1997.

PEREIRA, J.C.; CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; HOPPE, J.M.; SANTOS, E. M. Estimativa do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. No Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 193-199. 2000.

PIETERSE, P.J.; BOUCHER, C. Is Burning a Standing Population of Invasive Legumes a Viable Control Method? Effects of a Wildfire on an *Acacia mearnsii* Population. **Southern African Forestry Journal**, n. 180, p. 15-21. 1997.

PILLAR, V.P.; BOLDRINI, I.I.; LANGE, O. Padrões de distribuição espacial de comunidades campestres sob plantio de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 753-761, jun. 2002.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002.

PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; COSTA, L.G.S.; REIS, A. Estratégias de estabelecimento de espécies arbóreas e o manejo de florestas tropicais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, 1990, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. v. 1, p. 676-684.

POGGIANI, F.; ZAMBERLAN, E.; MONTEIRO JR., E.; GAVA, I.C. Quantificação da deposição de folheto em talhões experimentais de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella* plantados em uma área degradada pela mineração do xisto betuminoso. **IPEF**, n.37, p. 21-29, 1987.

POGGIANI, F.; OLIVEIRA, R.E. Indicadores para conservação dos núcleos de vida silvestre. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 31, p. 45-52. 1998.

POGGIANI, F.; STAPE, J.L.; GONÇALVES, J.L.M. Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 31, p. 33-44. 1998.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 287-308.

POLLA; M.C. Sistemas silvipastoris no Uruguai. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. p. 285-301.

PONCE, R.H.; FRANÇA, F.S. Plantações florestais, produtos e benefícios. **Florestar estatístico**, São Paulo, v. 6, n. 15, p. 7-16. 2003.

PRITCHETT, W.L. **Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento**. México: John Wiley & Sons, 1990.

RACHWAL, M.F.G.; CURCIO, G.R.; DEDECEK, R.A. **Caracterização do desenvolvimento e produção de madeira da *Acacia mearnsii* aos 3 e 5 anos de idade em solos derivados de micaxistos no município de Piratini, RS**. Colombo, Embrapa Florestas, 1997.

REIS, A.; ZAMBONIN, R.M.; NAKAZONO, E.M. **Recuperação de áreas florestais degradadas utilizando a sucessão e as interações planta-animal**. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 1999.

REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de Eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: UFV, 1990. p. 265-301.

REIS, M.G.F.; KIMMINS, J.P.; REZENDE, G.C.; BARROS, N.F. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 9, n. 2, p. 149-162. 1985.

REIS, M.G.F.; BARROS, N.F.; KIMMINS, J.P. Acúmulo de nutrientes em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 11, n. 1, p. 1-15. 1987.

REISSMANN, C.B.; WISNEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 135-165.

RESENDE, M.D.V.; SOUSA, S.M.; HIGA, A.R.; STEIN, P.P. Estudos da variação genética e métodos de seleção em teste de progênies de *Acacia mearnsii* no Rio Grande do Sul. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 22/23, p. 45-59. 1991.

REZENDE, J.L.P.; OLIVEIRA, A.D. Problemas com o horizonte de planejamento na avaliação de projetos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 127-134. 2000.

REZENDE, J.L.P.; OLIVEIRA, A.D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: Editora UFV, 2001.

RICHARDSON, D.M. Forestry trees as invasive alien. **Conservation Biology**, v. 12, n. 1, p. 18-26, 1998.

RICHARDSON, D.M.; HIGGINS, S.I. Pines as invaders in the southern hemisphere. In: RICHARDSON, D.M. (Ed.). **Ecology and biogeography of Pinus**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. p. 450-473.

RICHARDSON, D.M.; PYSEK, P.; REJMÁNEK, M.; BARBOUR, M.G.; PANETTA, D.; WEST, C.J. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. **Diversity and distributions**, v. 6, p. 93-107. 2000.

RIO GRANDE DO SUL. **Macrozoneamento agroecológico e econômico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretária da Agricultura e Abastecimento, 1994.

ROBERT, M. **Captura de carbono em los suelos para um mejor manejo de la tierra**. Roma: FAO, 2002.

RODRIGUES-DA-SILVA, R.; FILGUEIRAS, T.S. Gramíneas (*Poaceae*) da área de relevante interesse ecológico (ARIE) "Santuário de vida silvestre do Riacho Fundo", Distrito Federal, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 467-486. jul./set. 2003.

RODRIGUEZ, L.C.E. Monitoramento florestal: iniciativas, definições e recomendações. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 31, p. 9-22, 1998.

RONDON NETO, R.M.; BOTELHO, S.A.; FONTES, M.A.L.; DAVIDE, A.C.; FARIA, J.M.R. Estrutura e composição florística da comunidade arbustivo-arbórea de uma clareira de origem antrópica, em uma Floresta Estacional Semidecídua Montana, Lavras-MG, Brasil. **Cerne**, v. 6, n. 2, p. 79-94. 2000.

RYAN, M.G.; BINKLEY, D.; FOWNES, J. Why does growth decline with age in healthy forest? **Advances in Ecological Research**, v. 27, p. 213-262. 1997.

SALAS, G. **Suelos y ecosistemas forestales**. San José: IICA, 1987.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 155-169. 1999.

SANTOS, A.F.; AUER, C.G. **Avaliação da gomose da acácia-negra em materiais genéticos de diferentes procedências**. Colombo: Embrapa Florestas, 1998.

SANTOS, A. F. Gomose de *Phytophthora* da acácia-negra. In: LUZ, E. D. M. N.; SANTOS, A. F.; MATSUOKA, K.; BEZERRA, J. L. (Ed.). **Doenças causadas por *Phytophthora* no Brasil**. Campinas: Rural, 2001. p. 67-90.

SANTOS, A.F.; GRIGOLETTI JUNIOR, A.; AUER, C.G.; QUEIROZ, D.L. **O complexo gomose da acácia-negra**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001.

SAPORETTI JR., A.W.; MEIRA NETO, J.A.A.; ALMADA, R. Fitossociologia de sub-bosque de cerrado em talhão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no Município de Bom Despacho-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 905-910, 2003.

SARTORI, M.S.; POGGIANI, F.; ENGEL, V.L. Regeneração da vegetação arbórea nativa no sub-bosque de um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith. localizado no estado de São Paulo. **Scientia forestalis**, n. 62, p. 86-103, 2002.

SAS INSTITUTE INC. **The SAS system for windows 8.02**. Cary, 1999-2001. CD ROM.

SCHNEIDER, P.R.; SILVA, J.A. Índice de sítio para acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild. **Brasil Florestal**, Brasília, n. 36, p. 58-82, 1980.

SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. Santa Maria: UFSM, 1998.

SCHNEIDER, P.R.; FLEIG, F.D.; FINGER, C.A.G.; KLEIN, J.E.M. Crescimento da acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild. em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 101-112, 2000.

SCHNEIDER, P.R.; FLEIG, F.D.; FINGER, C.A.G.; SPATHELF, P. Produção de madeira e casca verde por índice de sítio e espaçamento inicial de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 151-165, 2001.

SCHNEIDER, P.R.; FORTES, F.O.; SOUZA, L.H.S.; LÚCIO, A.D.; FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.R.P. Análise da mortalidade de *Acacia mearnsii* De Wild. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 137-143, 2005a.

SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; SOBRINHO, V.G.; SCHNEIDER, P.S.P. Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, 2005b.

SCHÖUNAU, A.P.G.; ALDWORTH, W.J.K. Site evaluation in Black Wattle with special reference to soil factors. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 156, p. 1-6, 1991.

SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL: O AMBIENTE DA FLORESTA, 1996, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1996. p. 65-77.

SCHUMACHER, M.V.; VOGEL, H.L.M.; BARICHELLO, L.R.; CALDEIRA, M.V.W. Quantificação do carbono orgânico em floresta de *Acacia mearnsii* De Wild. em diferentes idades. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 2. Santa Maria, 2001. **Anais...** 2001. p. 387-399.

SCHUMACHER, M.V.; BRUN, E.J.; RODRIGUES, L.M.; SANTOS, E.M. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p.791-798, 2003.

SCOLFORO, J.R.; HOSOKAWA, R.T. Avaliação da rotação econômica para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* sujeito a desbastes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 18, n. 1, p. 33-44. 1992.

SCOLFORO, J.R. **Biometria florestal: métodos para classificação de sítios florestais**. Lavras: UFLA, 1998.

SEARLE, S.D. *Acacia mearnsii* De Wild. (Black Wattle) in Australia. In: BROWN, A.G.; KO, H.C. (Ed.). **Black Wattle and its Utilisation**. Barton: RIRDC, 1997. p. 1-12.

SEMA. **Relatório final do inventário florestal contínuo do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2001. Disponível em < <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/index.php> > Acesso em 18 Fev. 2006.

SHERRY, S.P. **The Black Wattle (*Acacia mearnsii* De Wild.)**. Pietermaritzburg: University of Natal Press, 1971.

SILVA JR., M.C.; SCARANO, F.R.; CARDEL, F.S. Regeneration of na Atlantic forest formation in the understorey of a *Eucalyptus grandis* plantation in south-eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 11, p. 147-152, 1995.

SILVA, J.L.S.; SAIBRO, J.C.; CASTILHOS, Z.M.S. Situação da pesquisa e utilização de sistemas silvipastoris no Rio Grande do Sul. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. p. 257-283.

SILVA, L.L.; SCHNEIDER, P.R.; ELTZ, F.L.F. Influência dos resíduos da colheita da floresta de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) sobre as perdas de água e solo. **Ciência Florestal**, v. 8, p. 43-53, 1988.

SIMON, A.A. A cadeia produtiva da acácia-negra, aspectos econômicos, sociais e ambientais. In: STROHSCHOEN, A.G.; REMPEL, C. **Reflorestamento e recuperação ambiental**: Ambiente e tecnologia: o desenvolvimento sustentável em foco. Lajeado: Univates, 2005. p. 149-166.

SMITH, C.W.; LITTLE, K.M.; NORRIS, C.H. The effect of land preparation at re-establishment on the productivity of fast growing hardwoods in South Africa. **Australian Forestry**, v. 64, n. 3, p. 165-174, 2001.

SMITH, L.B.; WASSHAUSEN, D.C.; KLEIN, R.M. Gramíneas – gêneros: *Deschampsia* até *Pseudechinolaena*. **Flora Ilustrada Catarinense**, Itajaí, n. Gram, p. 443-906. 1982a.

SMITH, L.B.; WASSHAUSEN, D.C.; KLEIN, R.M. Gramíneas – gêneros: *Paspalum* até *Zea*. **Flora Ilustrada Catarinense**, Itajaí, n. Gram, p. 910-1407. 1982b.

SOTTA, E.D.; HIGA, A.R.; LAVORANTI, O.J.; STEIN, P.P. **Avaliação dos danos causados pela gomose em acácia-negra**. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1994. 15 p.

STATISTICAL GRAPHICS CORP. **Statgraphics Plus 5.1**. 1994-2001. CD ROM.
STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Bioestadística**: principios y procedimientos. 2. ed. México: McGraw-Hill, 1988.

STEIN, P.P.; TONIETTO, L. Black Wattle Silviculture in Brazil. In: BROWN, A.G.; KO, H.C. (Ed.). **Black Wattle and its Utilisation**. Barton: RIRDC, 1997. p. 78-82.

STEWART, H.T.L.; FLINN, D.W. Nutrient losses from broadcast burning of *Eucalyptus* debris in north-east Victoria. **Australian Forest Research**, v. 15, p. 321-332, 1985.

SWAMY, H.R.; PROCTOR, J. Litterfall and nutrient cycling in four rain forest in the Sringeri area of the Indian Western Ghats. **Global Ecology and Biogeography Letters**, v. 4, p. 155-165, 1994.

TANAGRO. Aspectos técnicos e econômicos do sistema agrossilvipastoril com acácia-negra no Rio Grande do Sul. In: Encontro Brasileiro de Economia e Planejamento Florestal, 2., 1992, Curitiba. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1992. p. 211-219. v. 1.

TANAGRO. **Manejo florestal**: resumo público. Montenegro, s.d. não paginado.

TANAGRO. **Projeto qualificar**. Montenegro, 2005. não paginado.

TOMÉ JR., J.B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1997.

TRUMBORE, S. Age of soil organic matter and soil respiration, radiocarbon constraints on belowground C dynamics. **Ecological Applications**, v. 10, n. 2, p. 399-411. 2000.

VELOSO, H.P.; RANGEL-FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

VENTURIN, R.P.; BASTOS, A.R.R.; MENDONÇA, A.V.R.; CARVALHO, J.G. Efeito da relação Ca:Mg do corretivo no desenvolvimento e nutrição mineral de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.). **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 30-39. 2000.

WESTBROOKS, R. **Invasive plants: changing the landscape of America: fact book**. Washington: Federal Interagency Committee for the Management of Noxious and Exotics Weeds, 1998.

WILDE, S.A.; IYER, J.G.; TANZER, C.H.; TRAUTMANN, W.L.; WATTERSTON, K.G. Growth of Jack pine plantations in relation to fertility of no-phreatic sandy soils. **Soil Science**, n. 98, p. 162-169. 1964.

WOLKOWSKI, R.P. Relationship between wheel-traffic-induced soil compactation, nutrient availability, and crop growth: a review. **Journal of Production Agriculture**, v. 3, n. 4, p. 460-469, 1990.

WORKING FOR WATER. **Black wattle**. Cape Town, s.d. não paginado.

WUNDERLE JR, J.M. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. **Forest Ecology and Management**, v. 99, n. 1,2, p. 223-235, 1997.

ZANIN, A.; MUJICA-SALLES, J.; LONGHI-WAGNER, H.M. *Gramineae*, Tripo *Stipeae*. **Boletim do Instituto de Biociências**, Porto Alegre, n. 51, p. 1-174. 1992.

ZILLER, S.R. **A Estepe Gramíneo-Lenhosa no segundo planalto do Paraná: diagnóstico ambiental com enfoque à contaminação biológica**. Curitiba, 2000. 268 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ZILLER, S.R. Plantas exóticas invasoras: a ameaça da contaminação biológica. **Revista Ciência Hoje**, n. 178, p. 77-79, 2001.

ZIMMERMANN, F.J.P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004.

3 APÊNDICES

APÊNCIDE 1 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DOS SOLOS DAS PARCELAS (PARC.) DOS SISTEMAS (SIST.) MELHORADO (M) E TRADICIONAL (T) DE NOVE PRODUTORES (PROD.) AVALIADOS.

Prod.	Sist.	Parc.	Horizonte superficial (A)													Horizonte diagnóstico (B)													Dens. Solo g/cm3				
			P mg/dm ³	MO g/dm ³	pH	H+Al	Al	K	Ca mmol _e /dm ³	Mg mmol _e /dm ³	SB	CTC	V %	m	Argila g/kg	Silte g/kg	Areia g/kg	P mg/dm ³	MO g/dm ³	pH	H+Al	Al	K	Ca mmol _e /dm ³	Mg mmol _e /dm ³	SB	CTC	V %		m	Argila g/kg	Silte g/kg	Areia g/kg
AE	M	1	2	10	3,6	52	16	1,2	2	1	4,2	56,2	7	79,2	107	62	831	1	5	3,8	38	13	0,9	1	2,9	40,9	7	81,8	104	84	812	1,42	
AE	M	2	3	19	3,6	109	25	1,2	3	2	6,2	115,2	5	80,1	234	68	698	2	8	3,9	109	25	1,1	7	6	14,1	123,1	11	63,9	345	73	582	1,37
AE	M	3	2	19	3,6	109	26	1,4	1	1	3,4	112,4	3	88,4	215	72	713	2	11	3,9	109	25	0,8	4	3	7,8	116,8	7	76,2	293	64	643	1,33
AE	T	1	3	13	3,5	64	18	1,2	1	1	3,2	67,2	5	84,9	103	62	835	1	4	3,8	52	16	0,7	1	1	2,7	54,7	5	85,6	100	83	817	1,43
AE	T	2	3	23	3,7	121	27	1,2	5	3	9,2	130,2	7	74,6	307	75	618	1	14	3,9	121	30	0,7	3	3	6,7	127,7	5	81,5	398	68	534	1,33
AE	T	3	3	21	3,6	121	28	1,0	3	2	6,0	127,0	5	82,4	227	65	708	1	13	3,9	98	27	0,9	2	2	4,9	102,9	5	84,6	309	63	628	1,36
DA	M	1	7	26	3,8	135	32	1,4	6	4	11,4	146,4	8	64,8	287	80	633	3	16	3,9	135	36	0,7	6	3	9,7	144,7	7	78,8	336	70	594	1,30
DA	M	2	5	18	3,7	88	22	1,2	5	3	9,2	97,2	9	70,5	141	64	795	3	8	3,8	98	25	0,8	4	2	6,8	104,8	6	78,6	186	84	730	1,45
DA	M	3	5	17	3,8	88	24	0,7	9	3	12,7	100,7	13	65,4	131	81	788	3	9	4,0	80	23	0,4	6	2	8,4	88,4	10	73,2	146	91	763	1,52
DA	T	1	3	11	3,6	64	19	1,0	2	1	4,0	68,0	6	82,6	103	80	817	2	1	3,8	47	17	0,8	1	1	2,8	49,8	6	85,9	107	93	800	1,50
DA	T	2	3	11	3,5	64	17	0,8	3	1	4,8	68,8	7	78,0	85	76	839	2	1	3,8	42	16	1,3	1	1	3,3	45,3	7	82,9	91	86	823	1,35
DA	T	3	4	9	3,6	58	17	1,1	3	1	5,1	63,1	8	76,9	90	71	839	2	5	3,9	38	14	0,6	1	1	2,6	40,6	6	84,3	81	88	831	1,47
HK	M	1	3	24	3,5	166	38	0,9	4	3	7,9	173,9	5	82,8	341	106	553	2	12	3,8	150	35	0,7	3	3	6,7	156,7	4	83,9	399	104	497	1,30
HK	M	2	3	23	3,5	135	29	0,8	8	3	11,8	146,8	8	71,1	203	112	685	1	12	3,7	150	35	0,9	4	3	7,9	157,9	5	81,6	280	103	617	1,41
HK	M	3	3	24	3,5	150	33	1,1	5	3	9,1	159,1	6	78,4	247	104	649	1	13	3,8	121	30	0,9	4	2	6,9	127,9	5	81,3	288	105	607	1,35
HK	T	1	3	18	3,7	135	28	1,1	7	4	12,1	147,1	8	69,8	323	96	581	1	15	3,9	135	31	0,9	2	2	4,9	139,9	4	86,4	377	86	537	1,25
HK	T	2	3	23	3,7	121	27	1,2	9	4	14,2	135,2	11	65,5	332	100	568	2	15	3,8	150	32	1,0	3	2	6,0	156,0	4	84,2	406	89	505	1,30
HK	T	3	3	21	3,6	135	33	1,0	2	1	4,0	139,0	3	89,2	247	93	660	1	14	3,8	121	30	1,0	2	1	4,0	125,0	3	88,2	303	96	601	1,28
JF	M	1	5	28	3,7	150	33	1,3	6	5	12,3	162,3	8	72,8	357	61	582	1	16	3,9	150	33	2,2	1	1	4,2	154,2	3	88,7	421	62	517	1,20
JF	M	2	3	17	3,9	98	29	0,7	3	3	6,7	104,7	6	81,2	242	62	696	2	13	3,9	135	30	1,1	2	2	5,1	140,1	4	85,5	349	55	596	1,27
JF	M	3	4	11	4,0	52	20	1,1	5	4	10,1	62,1	16	66,4	152	58	790	2	5	3,9	47	16	0,5	1	1	2,5	49,5	5	86,5	130	57	813	1,53
JF	T	1	4	15	3,8	72	16	1,0	12	6	19,0	91,0	21	45,7	246	81	673	1	11	3,8	121	30	1,0	2	2	5,0	126,0	4	85,7	16	67	617	1,42
JF	T	2	3	14	3,9	58	14	0,8	11	5	16,8	74,8	22	45,5	206	62	732	2	12	3,8	121	29	1,0	2	1	4,0	125,0	3	87,9	275	61	664	1,34
JF	T	3	5	6	4,0	25	6	0,7	4	3	7,7	32,7	24	43,8	73	52	875	1	1	3,9	28	9	0,3	1	1	2,3	30,3	8	79,6	68	63	869	1,52
MP	M	1	7	11	4,1	31	5	1,6	6	4	11,6	42,6	27	30,1	62	41	897	2	3	3,9	72	12	0,7	1	1	2,7	74,7	4	81,6	48	47	909	1,44
MP	M	2	5	10	4,0	25	6	0,6	7	4	11,6	36,6	32	34,1	69	44	887	1	3	4,0	22	9	0,6	1	1	2,6	24,6	11	77,6	61	52	887	1,57
MP	M	3	5	9	4,1	16	1	1,2	17	8	26,2	42,2	62	3,7	78	54	868	2	1	3,8	31	13	0,6	1	1	2,6	33,6	8	83,3	78	59	863	1,61
MP	T	1	6	15	4,1	34	5	2,4	11	5	18,4	52,4	35	21,4	58	49	893	2	2	3,9	31	13	1,1	1	1	3,1	34,1	9	80,7	50	51	899	1,44
MP	T	2	10	7	3,9	25	7	0,9	5	3	8,9	33,9	26	44,0	49	51	900	2	1	3,8	28	10	0,8	1	1	2,8	30,8	9	78,1	77	60	863	1,53
MP	T	3	5	9	3,8	34	9	0,9	7	3	10,9	44,9	24	45,2	47	81	872	2	1	3,9	38	17	0,8	1	1	2,8	40,8	7	85,9	90	44	866	1,56
NR	M	1	4	16	3,6	72	19	0,6	1	1	2,6	74,6	3	88,0	117	51	832	2	9	3,7	64	20	0,2	2	1	3,2	67,2	5	86,2	126	22	852	1,38
NR	M	2	6	10	3,8	42	11	0,7	4	3	7,7	49,7	15	58,8	103	62	835	2	5	3,8	64	21	0,3	1	1	2,3	66,3	3	90,1	172	79	749	1,45
NR	M	3	3	10	3,7	52	17	0,6	2	2	4,4	56,4	8	79,4	126	70	804	2	5	3,7	88	27	0,2	1	1	2,2	90,2	2	92,5	196	64	740	1,42
NR	T	1	10	15	3,6	88	4	0,8	2	2	4,8	92,8	5	45,5	151	53	796	1	7	3,7	88	28	0,3	1	1	2,3	90,3	3	92,4	188	65	747	1,39
NR	T	2	4	13	3,6	58	17	0,9	4	4	8,9	66,9	13	65,6	127	66	807	2	5	3,8	64	20	0,5	1	1	2,5	66,5	4	88,9	156	80	764	1,46
NR	T	3	4	10	3,7	47	13	1,1	4	4	9,1	56,1	16	58,8	115	72	813	2	5	3,8	72	22	0,8	2	1	3,8	75,8	5	85,3	155	82	763	1,50
OS	M	1	7	17	4,0	72	18	1,3	9	4	14,3	86,3	17	55,7	150	71	779	2	13	3,8	185	43	0,7	6	2	8,7	193,7	4	83,2	433	75	492	1,50
OS	M	2	6	13	4,1	64	18	1,1	7	4	12,1	76,1	16	59,8	151	89	760	1	7	3,9	150	39	0,6	6	3	9,6	159,6	6	80,2	317	103	580	1,55
OS	M	3	5	29	4,1	228	73	5,4	27	13	45,4	273,4	17	61,7	435	177	388	2	2	4,1	347	163	3,0	7	5	15,0	362,0	4	91,6	221	328	451	1,46
OS	T	1	7	22	4,1	121	35	2,1	21	12	35,1	156,1	22	49,9	298	123	579	3	13	4,0	253	76	2,2	8	5	15,2	268,2	6	83,3	389	120	491	1,41
OS	T	2	5	19	4,4	121	30	4,0	40	23	67,0	188,0	36	30,9	394	231	375	2	13	4,1	228	57	2,9	17	12	31,9	259,9	12	64,1	466	154	380	1,32
OS	T	3	6	20	4,5	52	8	2,3	45	18	73,3	125,3	58	9,8	201	147	652	1	11	4,1	121	32	1,2	16	7	24,2	145,2	17	56,9	290	120	590	1,44
RA	M	1	9	28	3,7	150	31	1,7	11	4	16,7	166,7	10	65,0	274	220	506	2	14	3,8	166	45	1,1	6	3	10,1	176,1	6	81,7	362	108	530	1,28
RA	M	2	3	22	3,6	121	27	1,1	9	2	11,8	132,8	9	79,9	195	128	677	1	19	3,9	109	27	0,6	7	3	10,6	119,6	9	71,8	293	93	614	1,41
RA	M	3	5	22	3,7	135	32	1,5	9	3	13,5	148,5	9	70,3	238	101	661	2	14	3,8	166	38	1,1	4	2	7,1	173,1	4	84,3	277	98	625	1,32
RA	T	1	6	37	3,7	205	45	1,8	13	4	18,8	223,8	8	70,5	318	103	579	2	13	3,9	228	55	1,1	4	4	9,1	237,1	4	85,8	535	67	398	1,22
RA	T	2	6	25	3,7	121	24	1,0	9	2	12,0	133,0	9	66,7	161	106	733	2	8	3,9</													

APÊNCIDE 2 - EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMAR BIOMASSA DE CADA COMPARTIMENTO ACIMA DO SOLO NAS IDADES DE UM A SETE ANOS E NAS REGIÕES DE CRISTAL E PIRATINI.

Idade	Região	Compartimento	a	b	c	R ² _{aj.}	S _{xyrec}	Idade	Região	Compartimento	a	b	c	R ² _{aj.}	S _{xyrec}
1	Cristal	Folhas	-3,813302	2,412543	-	0,98	0,15	5	Cristal	Folhas	-5,614735	2,693922	-	0,88	0,71
1	Cristal	Galhos Vivos	-3,570270	2,892285	-	0,99	0,36	5	Cristal	Galhos Vivos	-3,774652	2,373266	-	0,88	2,06
1	Cristal	Total	-3,006107	2,732795	-	0,99	0,53	5	Cristal	Galhos Mortos	-5,347174	2,532265	-	0,98	0,45
1	Piratini	Folhas	-3,104091	1,736953	-	0,87	0,05	5	Cristal	Casca	-6,907548	1,878500	1,485682	0,98	1,64
1	Piratini	Galhos Vivos	-3,478289	2,811859	-	0,93	0,16	5	Cristal	Madeira	-5,140262	1,541727	1,863346	0,99	7,19
1	Piratini	Total	-2,633262	2,396627	-	0,91	0,23	5	Cristal	Flor+Vargens	-9,583282	3,676692	-	0,95	0,17
2	Cristal	Folhas	-3,139448	1,976544	-	0,99	0,13	5	Cristal	Total	-3,370359	1,983327	0,961845	0,99	9,23
2	Cristal	Galhos Vivos	-0,450663	0,816481	-	0,74	0,46	5	Piratini	Folhas	-6,093404	2,816887	-	0,97	0,41
2	Cristal	Galhos Mortos	-18,916671	8,469214	-	0,60	0,08	5	Piratini	Galhos Vivos	-3,587846	2,339619	-	0,82	4,28
2	Cristal	Casca	-7,624814	3,932189	-	0,93	0,18	5	Piratini	Galhos Mortos	-3,926961	2,175839	-	0,92	1,11
2	Cristal	Madeira	-6,163632	4,116717	-	0,93	1,48	5	Piratini	Casca	-4,095285	2,373693	-	0,99	1,05
2	Cristal	Total	-1,782372	2,222589	-	0,98	1,18	5	Piratini	Madeira	-4,904623	1,747571	1,582879	0,99	3,97
2	Piratini	Folhas	-2,893102	1,961790	-	0,94	0,39	5	Piratini	Flor+Vargens	-7,914027	3,190334	-	0,97	0,33
2	Piratini	Galhos Vivos	-0,936836	1,146153	-	0,83	0,65	5	Piratini	Total	-3,153470	1,976510	0,899682	0,99	3,71
2	Piratini	Casca	-4,773354	2,474645	-	0,83	0,27	6	Cristal	Folhas	-6,318781	2,883561	-	0,94	0,68
2	Piratini	Madeira	-4,305393	3,140737	-	0,94	1,01	6	Cristal	Galhos Vivos	-2,416813	1,783621	-	0,89	1,98
2	Piratini	Total	-1,792876	2,266980	-	0,98	1,25	6	Cristal	Galhos Mortos	-4,659120	2,277736	-	0,90	0,53
3	Cristal	Folhas	-4,230213	2,506844	-	0,99	0,52	6	Cristal	Casca	-6,907548	1,878500	1,485682	0,98	1,64
3	Cristal	Galhos Vivos	-1,376423	1,469129	-	0,97	0,55	6	Cristal	Madeira	-5,275656	1,719859	1,740806	0,98	8,69
3	Cristal	Galhos Mortos	-5,050369	1,633274	-	0,89	0,06	6	Cristal	Flor+Vargens	-10,07063	3,54019	-	0,89	0,07
3	Cristal	Casca	-5,408124	1,540147	1,268723	0,99	0,30	6	Cristal	Total	-3,370359	1,983327	0,961845	0,99	8,57
3	Cristal	Madeira	-3,982785	2,149717	0,858510	0,99	0,98	6	Piratini	Folhas	-4,767269	2,272182	-	0,82	0,72
3	Cristal	Flor+Vargens	-3,448490	1,264868	-	0,89	0,09	6	Piratini	Galhos Vivos	-3,151411	2,188044	-	0,85	2,65
3	Cristal	Total	-1,820346	2,384913	-	0,99	3,41	6	Piratini	Galhos Mortos	-5,411723	2,651277	-	0,81	1,10
3	Piratini	Folhas	-3,471234	2,070263	-	0,97	0,88	6	Piratini	Casca	-4,043765	2,375938	-	0,98	2,14
3	Piratini	Galhos Vivos	-1,121084	1,314521	-	0,85	2,01	6	Piratini	Madeira	-4,248691	1,834027	1,269944	0,99	5,88
3	Piratini	Galhos Mortos	-5,725862	2,481588	-	0,93	0,33	6	Piratini	Flor+Vargens	-6,415849	2,526479	-	0,93	0,31
3	Piratini	Casca	-8,889768	1,932079	2,204248	0,99	0,21	6	Piratini	Total	-2,198884	2,190579	0,366859	0,99	9,86
3	Piratini	Madeira	-6,928867	1,740504	2,314519	0,99	3,64	7	Cristal	Folhas	-6,534492	2,965691	-	0,99	0,63
3	Piratini	Flor+Vargens	-16,51331	5,96333	-	0,92	0,05	7	Cristal	Galhos Vivos	-3,465585	2,339066	-	0,99	3,63
3	Piratini	Total	-2,359333	2,066428	0,467904	0,99	2,04	7	Cristal	Galhos Mortos	-7,651757	3,195003	-	0,98	0,75
4	Cristal	Folhas	-3,603902	2,020124	-	0,94	0,64	7	Cristal	Casca	-4,627865	2,669509	-	0,99	1,98
4	Cristal	Galhos Vivos	-1,367487	1,353123	-	0,93	0,82	7	Cristal	Madeira	-3,472178	2,150399	0,727173	0,99	8,43
4	Cristal	Galhos Mortos	-5,903042	2,891569	-	0,94	0,57	7	Cristal	Flor+Vargens	-8,939194	3,145952	-	0,93	0,22
4	Cristal	Casca	-6,067095	1,397295	1,551314	0,99	0,46	7	Cristal	Total	-2,373502	2,417964	0,237199	0,99	9,74
4	Cristal	Madeira	-4,573367	2,093656	1,106631	0,99	2,67	7	Piratini	Folhas	-5,283907	2,423637	-	0,99	0,88
4	Cristal	Flor+Vargens	-6,918035	2,037184	-	0,88	0,04	7	Piratini	Galhos Vivos	-3,061768	2,166553	-	0,99	3,73
4	Cristal	Total	-1,608023	2,262223	-	0,99	3,42	7	Piratini	Galhos Mortos	-6,622302	2,974388	-	0,99	1,12
4	Piratini	Folhas	-4,563924	2,355405	-	0,95	0,48	7	Piratini	Casca	-5,454728	1,964812	0,930031	0,99	1,96
4	Piratini	Galhos Vivos	-0,628420	1,048814	-	0,80	1,17	7	Piratini	Madeira	-4,774708	1,779898	1,519021	0,99	6,01
4	Piratini	Galhos Mortos	-5,042040	2,435808	-	0,91	0,82	7	Piratini	Flor+Vargens	-4,937586	1,832991	-	0,96	0,37
4	Piratini	Casca	-5,063506	2,736460	-	0,98	0,40	7	Piratini	Total	-2,970759	2,002125	0,826731	0,99	5,23
4	Piratini	Madeira	-6,392398	1,547022	2,299563	0,99	2,85								
4	Piratini	Flor+Vargens	-8,243529	3,024071	-	0,88	0,05								
4	Piratini	Total	-2,159238	2,132549	0,381007	0,98	5,20								

Modelo utilizado: $\ln(Y) = a + b \ln(DAP) + c \ln(H)$, onde Y = peso seco de cada compartimento (madeira, casca, galhos vivos, galhos mortos, folhas e flores+frutos) e total;

a, b e c = coeficientes de regressão.

R²_{aj.}: coeficiente de determinação ajustado; S_{xyrec}: erro padrão da estimativa recalculado.

APÊNCIDE 3 - FREQUÊNCIA E COBERTURA DAS ESPÉCIES HERBÁCEAS E SUBARBUSTIVAS ENCONTRADAS NOS AMBIENTES AVALIADOS EM CRISTAL E PIRATINI.

Família/Espécie	Cristal												Piratini														
	AR		AU		CR		CN		P1		P2		PA		AR		AU		CN		P1		P2		PA		
	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	
ACANTHACEAE																											
<i>Justicia rizzini</i> Wassh.
<i>Justicia</i> sp.	.	.	5	0,2	5	0,8
AMARANTHACEAE																											
<i>Alternanthera brasiliana</i> (L.) Kuntze	5	0,2	30	0,8	5	0,2	10	0,3	5	0,2	5	0,2	.	.	.	5	0,8	.	.
APIACEAE																											
<i>Apium leptophyllum</i> (Pers.) F. Muell. ex Benth.	5	0,2
<i>Centella asiatica</i> (L.) Urb.	25	3,1	60	3,4	50	12,8	.	.	5	0,2	20	2,4	.	.	.	.	25	3,2	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Eryngium elegans</i> Cham. & Schtdl.	.	.	30	2,7	.	.	20	0,5	.	.	10	0,3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>E. horridum</i> Malme	45	7,8	25	1,9	.	.	25	2,6	.	.	30	9,7	15	5,2	10	0,9	5	0,2	10	3,8	20	2,4	
<i>Hydrocotyle exigua</i> (Urb.) Malme	20	0,5	25	1,3	30	0,8	45	1,2	30	0,8	35	0,9	15	1,1	.	.	.	.	.	5	0,2	10	0,3	10	0,3	.
ASTERACEAE																											
<i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) DC.	10	1,5
<i>Aspilia montevidensis</i> (Spreng.) Kuntze	45	3,1	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	25	1,3	5	0,8	.	.	.	
<i>Baccharis anomala</i> DC.	20	3,6	10	0,3	.	.	70	28,4	.	.	.	30	3,8	30	3,9	15	1,0	.	
<i>B. megapotamica</i> Spreng.	5	1,9	.	.	.	.	.
<i>B. rufescens</i> Spreng.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	20	2,4	35	4,1	20	2,4	15	1,0	15	0,4	.	.	
<i>B. trimeria</i> (Less.) DC.	5	0,2	.	.	25	1,3	60	3,4	.	.	20	1,8	.	.	15	2,8	60	4,7	30	2,7	20	3,0	15	0,4	.	.	
<i>B. usterii</i> Heering	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Chaptalia nutans</i> (L.) Pol.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	20	0,5	20	0,6	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	10	0,9
<i>C. runcinata</i> Kunth	40	2,9	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	10	0,9	10	0,9	10	0,3	.	.	
<i>C. sinuata</i> (DC.) Baker	15	0,4	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	10	0,9	10	1,5	.	.	.	.
<i>Chevreulia acuminata</i> Less.	.	.	5	0,2	.	.	40	1,0	.	.	.	.	.	.	15	2,8	15	1,1	15	1,7	.	.	.	.	5	0,2
<i>C. sarmentosa</i> (Pers.) S.F. Blake	.	.	5	0,2	25	1,3	30	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	5	0,8	.	.	.	.
<i>Coniza bonariensis</i> (L.) Cronquist	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Elephantopus mollis</i> Kunth	70	7,9	15	1,1	30	2,7	35	0,9	45	4,3	60	4,7	60	4,7	35	4,0	25	2,6	40	2,9	5	0,2	60	10,2	30	4,5	
<i>Erechtites valerianifolius</i> (Wolf) DC.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	0,3	
<i>Eupatorium squarulosum</i> Hook & Arn.	5	0,2	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	35	4,5	.	.	.	.
<i>Facelis retusa</i> (Lam.) Sch. Bip.	.	.	5	0,2	35	4,7	45	3,0	5	0,2	10	0,3	.	.	.	.	.	.	30	2,0	45	7,3	.	.	10	0,3
<i>Gamochaeta americana</i> (Mill.) Wedd.	5	0,2	30	2,7	.	.	25	1,9	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	20	0,5	15	1,0	.	.	5	0,2
<i>G. falcata</i> (Lam.) Cabrera	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Heterothalamus alienus</i> (Spreng.) Kuntze	10	0,3	.	.	.	.	.	.
<i>H. psidioides</i> Less.	20	6,4	.	.	.	.	.
<i>Hypochaeris albiflora</i> (O.K.) C.F. Azevêdo-Gonçalves & N.I. Matzenbacher	40	6,4	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	5	0,8	.	5	0,8	5	0,2	25	2,5	.	
<i>H. chillensis</i> (Kunth) Britton	25	0,7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	30	3,3	.	.	.	.	.	.
<i>H. glabra</i> L.	.	.	10	0,9	10	0,9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	10	0,9	5	0,8	.	.	.	.
<i>Pterocaulon alopecuroides</i> (Lam.) DC.	5	0,2	.	.	.	.	.	.
<i>P. polypterum</i> (DC.) Cabrera	30	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Senecio brasiliensis</i> (Spreng.) Less.	10	0,3	40	2,9	.	.	.	.	.	.	35	8,7	35	9,9	30	2,7	95	29,7	45	4,3	10	0,3	
<i>S. juergensii</i> Mattf.	10	0,3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Soliva pterosperma</i> (Juss.) Less.	10	0,3	35	2,2	.	.	5	0,2	.	.	10	0,3	5	0,2	15	4,0	15	1,0	5	0,2	.	.	
<i>Stenachaenium riedellii</i> Baker	15	1,7	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.
<i>Trisxis stricta</i> (Spreng.) Less.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
CAMPANULACEAE																											
<i>Lobelia hederacea</i> Cham.	.	.	20	1,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	5	0,2	5	0,2
CARYOPHYLLACEAE																											
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20	1,2	.	.	.	.	.
<i>Paronychia chilensis</i> DC.	10	0,3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	35	2,2	15	1,0	.	.	
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	10	0,3	5	0,8	5	0,8	.	
CELASTRACEAE																											
<i>Maytenus ilicifolia</i> (Schrad.) Planch.	10	0,3	.	.	.	.	.	.	.	.
CONVOLVULACEAE																											
<i>Dichondra sericea</i> Sw.	.	.	30	3,8	20	0,6	25	1,3	.	.	.	.	.	.	.	.	30	3,8	85	9,7	20	3,5	40	4,2	70	10,8
<i>Evolvulus sericeus</i> Sw.	10	0,3	15	0,4	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	5	0,8	35	2,8	.	.	5	0,8	

Continua...

APÊNCIDE 3 - FREQUÊNCIA E COBERTURA DAS ESPÉCIES HERBÁCEAS E SUBARBUSTIVAS ENCONTRADAS NOS AMBIENTES AVALIADOS EM CRISTAL E PIRATINI.

Família/Espécie	Cristal												Piratini															
	AR		AU		CR		CN		P1		P2		PA		AR		AU		CN		P1		P2		PA			
	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob		
CYPERACEAE																												
<i>Bulbostylis consanguinea</i> Nees	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Bulbostylis sp1</i>	5	0,2	.	.	.	.	.	.
<i>Bulbostylis sp2</i>	15	0,4	.	.	.	.	.	.	.
<i>Carex phalaroides</i> Kunth	25	1,9	.	.	30	0,8	.	.	.	.	10	0,3	.	.	25	6,0	35	5,2	40	1,1	20	1,2	55	5,8	15	0,4		
<i>C. polystricha</i> Boeck	.	.	20	0,5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cyperus hermaphroditus</i> (Jacq.) Standl.	.	.	10	0,3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15	1,7	.	.	.	.	.	.	.
<i>Eleocharis cf. contracta</i>	.	.	10	0,3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	30	5,1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>E. montana</i> (Kunth) Roem. & Schult.	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>E. nudipes</i> (Kunth) Palla	.	.	20	1,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Kyllinga odorata</i>	.	.	15	0,4	5	0,2	25	0,7	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lipocarpa sellowiana</i>	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Kyllinga odorata</i> Vahl	.	.	5	1,9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	50	11,4	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lipocarpa sellowiana</i> Kunth	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20	3,0	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rhynchospora barrosiana</i> Guagl.	15	1,7	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rhynchospora sp.</i>	10	0,3	.	.	.	.	.	.	.
<i>Scirpus cernuus</i> Vahl	10	0,3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Scleria hirtella</i> Sw.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
EUPHORBIACEAE																												
<i>Croton montevidensis</i> Spreng.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.
<i>Euphorbia selloi</i> (Klotzsch & Gardke) Boiss.	5	0,8	.	.	.	.	.	.
FABACEAE																												
<i>Acacia mearsii</i> De Wild.	5	0,2	.	.	20	0,5	.	.	.	.	.	.	10	0,3	.	.	10	0,3	.	.
<i>Desmanthus virgatus</i> De Willd.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Desmodium adscendens</i> (Sw.) DC.	.	.	45	6,1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>D. incanum</i> DC.	.	.	15	1,0	20	1,8	70	3,1	.	.	.	.	.	.	45	6,8	40	5,4	70	7,8	.	.	.	.	10	0,9	.	.
<i>Galactia marginalis</i> Benth.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20	1,2	10	0,9	5	0,8	.	.	.	.
<i>Stylosanthes leiocarpa</i> Vogel	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Trifolium polymorphum</i> Poir.	25	10,8	35	4,0	5	0,2	5	0,8	.	.	.	.
<i>Vicia angustifolia</i> L. ex Reichard	.	.	10	0,3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>V. graminea</i> Sm.
GERANIACEAE																												
<i>Geranium cf. albicans</i>	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.
HYPOXIDACEAE																												
<i>Hypoxis decumbens</i> L.	45	1,8	10	0,9	65	4,2	40	2,9	55	2,1	85	10,2	35	0,9	35	4,7	35	4,7	30	2,7	.	.	60	5,8	30	1,4	.	.
IRIDACEAE																												
<i>Herbertia pulchella</i> Sweet	10	0,9	.	.	25	2,5	5	0,8	.	.	5	0,2	.	.
<i>Sisyrinchium cf. micranthum</i> Cav.	.	.	15	1,0	.	.	15	0,4	.	.	20	1,8	.	.	.	.	15	1,7	35	2,2	5	0,2	20	2,3	.	.	.	.
<i>S. laxum</i> Otto ex Sims	20	0,5	15	0,4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>S. scariosum</i> I.M. Johnst.	45	3,1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
JUNCACEAE																												
<i>Juncus bufonis</i> L.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>J. capillaceus</i> Lam.	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	5	0,8	.	.	.	.
<i>J. scirpoides</i> Lam.	.	.	10	1,5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
LAMIACEAE																												
<i>Cunila sp.</i>	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Scutellaria racemosa</i> Pers.	10	1,5	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
LINACEAE																												
<i>Cliococca selaginoides</i> (Lam.) C.M. Rogers & Mildner	45	1,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.
LYTHRACEAE																												
<i>Cuphea racemosa</i> (L. f.) Spreng.	5	0,2	25	3,1	15	0,4	10	0,9	.	.	5	0,2	.	.
<i>Heimia myrtifolia</i> Cham. & Schltdl.	10	2,7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Continua...

APÊNCIDE 3 - FREQUÊNCIA E COBERTURA DAS ESPÉCIES HERBÁCEAS E SUBARBUSTIVAS ENCONTRADAS NOS AMBIENTES AVALIADOS EM CRISTAL E PIRATINI.

Família/Espécie	Cristal												Piratini																	
	AR		AU		CR		CN		P1		P2		PA		AR		AU		CN		P1		P2		PA					
	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob				
MALVACEAE																														
<i>Krapovickasia macrodon</i> (DC.) Fryxell	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Krapovickasia</i> sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	0,9	.	.	5	0,2	30	2,1	30	2,1	5	0,2	40	2,9	
<i>Pavonia hastata</i> Cav.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sida rhombifolia</i> L.	5	0,2	15	1,1	.	.	20	0,6	30	2,1	5	0,2	5	0,2	30	2,0	.	.	5	0,8	20	1,2	10	0,3
MELASTOMATACEAE																														
<i>Tibouchina gracilis</i> (Bonpl.) Cogn.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
MORACEAE																														
<i>Dorstenia brasiliensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15	0,4
MYRSINACEAE																														
<i>Anagallis arvensis</i> L.	.	.	20	0,5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
MYRTACEAE																														
<i>Myrciaria tenella</i> (DC.) O. Berg	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	50	12,2	30	5,7	20	2,4	.	.	.	.	.
OXALIDACEAE																														
<i>Oxalis articulata</i> Savigny	.	.	.	.	10	0,3	30	3,9	.	.	10	0,9	5	0,2	20	3,5	20	7,7	30	3,8	35	4,7	15	1,1	.	.	.	.	.
<i>O. bipartita</i> A. St.-Hil.	.	.	35	2,2	.	.	.	.	5	0,2	.	.	5	0,2	20	2,4	20	2,4	15	0,4	.	.	30	1,4	20	1,8	.	.	.
<i>O. brasiliensis</i> G. Lodd.	.	.	.	.	35	2,8	.	.	10	0,3	15	3,4	.	.	.	.	15	3,4	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.
<i>O. eriocarpa</i> DC.	.	.	.	.	.	.	30	0,8	.	.	.	.	.	.	5	0,8	20	3,6	5	0,2	.	.	.	.	15	1,1	.	.	.
<i>O. refracta</i> A. St.-Hil.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.
PLANTAGINACEAE																														
<i>Mecardonia tenella</i> (Cham. & Schtdl.) Pennell	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Plantago australis</i> Lam.	.	.	.	.	.	.	10	0,3	.	.	.	.	.	.	.	.	15	0,4	15	1,7	15	2,3	15	0,4	25	1,9	.	.	.
<i>P. tomentosa</i> Lam.	.	.	5	0,2	.	.	60	2,2	.	.	.	.	.	.	25	1,3	.	.	15	1,1	.	.	.	.	30	1,4	.	.	.
<i>Veronica arvensis</i> L.	10	0,3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15	1,0	10	0,3	.	.	.	.	.
POACEAE																														
<i>Agrostis montevidensis</i> Spreng. ex Nees	5	0,2	.	.	10	0,9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Andropogon lateralis</i> Nees	.	.	20	1,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20	4,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Aristida condylifolia</i> Caro	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>A. laevis</i> (Nees) Kunth	20	1,8	.	.	10	0,9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20	1,8	5	0,2	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.
<i>Axonopus affinis</i> Chase	60	9,5	100	34,8	60	16,3	85	13,1	50	4,3	40	6,4	25	1,9	85	10,5	75	12,9	75	13,6	10	0,9	35	3,4	5	0,2	.	.	.	
<i>A. compressus</i> (Sw.) P. Beauv.	.	.	25	1,9	.	.	15	1,0	5	0,2	.	.	30	3,9	70	14,9	60	17,7	.	.	.	.	30	7,3	10	2,0	.	.	.
<i>Axonopus suffultus</i> (Mikan ex Trin.) Parodi	50	20,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Briza bidentata</i> Roseng., B.R. Arrill. & Izag.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>B. poaeomorpha</i> (J. Presl) Henrard	.	.	10	1,5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15	2,8	.	.	15	1,7	.	.	5	1,9	.	.	.	.	.
<i>B. rufa</i> (J. Presl) Steud.	5	0,8	.	.	10	0,9	.	.	5	0,2	.	.	.	.	30	6,2	.	.	.	.	.	.	30	4,5	25	1,9	.	.	.
<i>B. subaristata</i> Lam.	15	1,1	.	.	10	0,3	.	.	20	1,2	10	0,3	.	.	15	1,0	.	.	.	.	45	7,8	.	.	.	.	.	.	.
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	10	0,9	.	.	.	.	.	.	10	3,8	.	.	.	.	.
<i>Calamagrostis viridiflavescens</i> (Poir.) Steud.	.	.	.	.	20	1,2	.	.	.	.	5	0,8	.	.	10	2,7	.	.	.	.	5	0,8	20	2,4	.	.	.	.	.
<i>Coelorhachis seloana</i> (Hack.) A. Camus	5	0,2	.	.	10	0,3	40	2,3	.	.	.	.	.	.	.	.	45	6,8	15	1,1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Danthonia montana</i> Döll	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	0,9	10	0,3	.	.	35	5,3	10	1,5	15	1,1	.	.	.
<i>Dichanthium sabulorum</i> (Lam.) Gould & C.A. Clark	80	13,5	40	2,3	90	12,0	75	6,9	90	24,4	100	17,0	80	19,3	60	12,9	55	8,1	80	10,2	85	28,3	90	22,8	80	11,2	.	.	.	
<i>Digitaria violascens</i> Link	.	.	10	0,9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Eleusine tristachya</i> (Lam.) Lam.	.	.	10	0,3	5	0,2	30	2,0	.	.	.	.	.	.	.	.	40	4,1	35	1,6	5	0,2	.	.	15	0,4	.	.	.
<i>Eragrostis lugens</i> Nees	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15	2,8	10	1,5	15	1,7	.	.	.	.	.	.	.
<i>E. neesii</i> Trin.	.	.	.	.	10	0,3	50	2,6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Eustachys uliginosa</i> (Hack.) Herter	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Homolepis glutinosa</i> (Sw.) Zuloaga & Soderstr.	50	16,7	.	.	.	.	.	35	6,9	20	6,4	70	20,9	.	.	5	0,8	.	.	.	.	10	1,5	.	.	.	.	.	.
<i>Ischaemum minus</i> J. Presl	.	.	50	9,7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Leersia hexandra</i> Sw.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	2,0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Melica brasiliana</i> Ard.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15	1,7	10	0,9	15	0,4	5	0,2	20	2,4	.	.	.	.	.
<i>Oplismenus hirtellus</i> (L.) P. Beauv.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20	4,1	45	10,8	20	2,4	.	.	.	.	.	.	15	1,7	10	7,4	.	.	.
<i>Panicum pantrichum</i> Hack.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	60	15,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>P. sellowii</i> Nees	30	2,7	.	.	.	.	.	45	4,3	40	4,7	20	2,4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Continua...

APÊNCIDE 3 - FREQUÊNCIA E COBERTURA DAS ESPÉCIES HERBÁCEAS E SUBARBUSTIVAS ENCONTRADAS NOS AMBIENTES AVALIADOS EM CRISTAL E PIRATINI.

Família/Espécie	Cristal												Piratini														
	AR		AU		CR		CN		P1		P2		PA		AR		AU		CN		P1		P2		PA		
	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	Freq	Cob	
POACEAE (continuação...)																											
<i>Paspalum compressifolium</i> Swallen	30	5,0	.	.	.	.	.	.	.	.	10	1,5	.	.	.	10	0,9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>P. dilatatum</i> Poir.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	.	.	.	.	15	2,3	70	11,4	.	.
<i>P. ionanthum</i> Chase	.	.	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20	6,6	45	5,4	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>P. mandiocanum</i> Trin.	45	6,6	.	.	10	0,3	20	0,5	10	0,9	55	9,8	30	3,9	20	6,5	.	.	.	.	15	2,8	.	.	.	.	.
<i>P. nicorae</i> Parodi	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	3,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>P. notatum</i> Flügge	15	2,8	15	1,0	70	29,8	90	20,2	.	.	.	.	.	.	.	50	10,2	90	20,8	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>P. paniculatum</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>P. pauciciliatum</i> (Parodi) Herter	.	.	20	1,8	.	.	.	.	30	2,0	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>P. plicatum</i> Michx.	.	.	20	2,4	20	2,4	.	.	.	.	.	.	.	20	7,2	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>P. pumilum</i> Nees	.	.	55	14,4	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	20	3,0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>P. quadrifarium</i> Lam.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20	3,0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>P. urvillei</i> Steud.	.	.	30	4,4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	2,7	.	.	.	.	.	.
<i>Piptochaetium lasianthum</i> Griseb.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15	2,8	15	2,2	20	0,5	5	0,8	5	0,2	10	0,9	.
<i>P. montevidense</i> (Spreng.) Parodi	90	21,9	40	3,6	100	21,0	95	15,7	100	54,8	60	7,2	40	7,7	45	3,7	30	8,0	70	9,3	100	33,9	75	10,9	95	16,9	.
<i>P. stipoides</i> (Trin. & Rupr.) Hack. ex Arechav.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	10	0,9	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.
<i>Poa annua</i> L.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	15	2,8	.	.	20	2,4	5	0,2	.	.
<i>Saccharum angustifolium</i> (Nees) Trin.	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Schizachyrium spicatum</i> (Spreng.) Herter	.	.	35	6,9	.	.	.	.	.	.	10	0,9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Setaria parviflora</i> (Poir.) M. Kerguélen	50	5,7	5	0,8	60	7,8	60	4,7	35	4,6	20	1,2	30	3,8	30	5,1	30	2,7	55	5,2	60	5,9	35	4,6	80	5,2	.
<i>Setaria vaginata</i> Spreng.	40	3,5	.	.	10	0,3	.	.	75	15,7	10	0,9	20	1,8	45	8,3	.	.	35	1,6	10	1,5	35	5,2	30	2,1	.
<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R. Br.	.	.	15	0,4	10	1,5	30	2,0	10	2,7	20	1,8	10	0,3	.	.	.	15	1,7	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Steinchisma decipiens</i> (Nees ex Trin.) W.V. Br.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>S. hians</i> (Elliott) Nash	10	0,9	5	0,2	25	0,7	5	0,2	.	.	.	.	.	.	5	0,2	5	0,8	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.
<i>Stipa airoides</i> Ekman	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	0,9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>S. filifolia</i> Nees	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	.	.	.	.	35	6,3	20	7,8	60	7,7	.	.	.
<i>S. jurgensii</i> Hack.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	1,5	.	.	20	2,4	.	.	15	2,2	.	.	.	.	.
<i>S. megapotamia</i> Spreng. ex Trin.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	55	5,7	.	15	1,0	55	5,7	10	0,9	.	.	.	.
<i>Stipa</i> sp 1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Stipa</i> sp 2	.	.	.	.	.	.	.	.	10	0,9	.	.	.	.	.	.	10	1,5	.	.	.	.	.	.	.	.	.
POLYGALACEAE																											
<i>Monnina oblongifolia</i> Arechav.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	0,9	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Polygala pulchella</i> A. St.-Hill & Moq.	.	.	.	.	.	.	15	0,4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15	0,4	5	0,2	.	.	.	.	.	.
POLYGONACEAE																											
<i>Polygonaceae</i> 1	.	.	15	1,1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
PTERIDOPHYTA																											
<i>Pteridophyta</i> 1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	0,9	10	0,3	.	.	5	1,9	20	3,0	15	0,4	.
RUBIACEAE																											
<i>Diodia dasycephala</i> Cham. & Schldl.	.	.	30	0,8	40	5,2	30	1,4	.	.	10	1,5	.	.	.	.	.	.	10	1,5	55	6,9	10	0,9	.	.	.
<i>Galianthe fastigiata</i> Griseb.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20	1,2	.	.	15	1,0	30	1,4	.	.	.
<i>Gallium hirtum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	0,3	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>G. humiloides</i>	.	.	10	0,3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	.	.	45	3,0	.	.	15	0,4	.
<i>G. richardianum</i>	.	.	.	.	5	0,2	10	0,3	.	.	.	.	.	.	15	1,7	.	.	.	10	0,9	.	.	5	0,2	.	.
<i>Richardia humistrata</i> (Cham. & Schldl.) Steud.	10	0,3	.	.	15	2,8	20	0,5	.	.	10	1,5	.	.	.	.	.	10	0,9	.	.	5	0,2	.	.	.	.
<i>Spermacoce verticillata</i> L.	.	.	.	.	10	1,5	.	.	10	0,3	.	.	.	.	15	1,0	.	.	5	0,2	5	0,2	.	.	.	.	.
SAPINDACEAE																											
<i>Dodonea viscosa</i> (L.) Jacq.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	0,9	5	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.
SMILACACEAE																											
<i>Smilax cognata</i> Kunth	.	.	.	.	.	.	5	0,2	.	.	.	.	10	1,5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SOLANACEAE																											
<i>Solanum pseudocapsicum</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20	4,2	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>S. sisymbriifolium</i> Lam.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	0,8	.	.	5	0,8	.	.	.	.	.	.	.
URTICACEAE																											
<i>Urtica spathulata</i> Sm.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	30	0,8	.	.	5	0,2	.	.	.	.

Ambientes: APP em recuperação (AR), APP sem uso (AU), campo recuperado (CR), campo nativo (CN), plantio com um ano (P1), plantio com dois anos (P2), plantio adulto (PA).