

ELISABETH DE OLIVEIRA

**CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS, QUÍMICAS E TÉRMICAS DA
MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE MAIOR OCORRÊNCIA
NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2003

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

O48c
2003

Oliveira, Elisabeth de, 1959-

Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semi-árido nordestino / Elisabeth de Oliveira. – Viçosa : UFV, 2003. 122p. : il.

Orientador: Benedito Rocha Vital

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa

1. Madeira - Qualidade - Brasil, Nordeste. 2. Carvão vegetal - Qualidade. 3. Madeira - Anatomia. 4. Madeira - Propriedades - Avaliação. 5. Carvão vegetal - Propriedades - Avaliação. 6. Árvores - Variabilidade genética.

I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.9851

ELISABETH DE OLIVEIRA

**CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS, QUÍMICAS E TÉRMICAS DA
MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE MAIOR OCORRÊNCIA
NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Aprovada: 19 de dezembro de 2003.

Prof. Alexandre Santos Pimenta
(Conselheiro)

Prof. Ricardo Marius Della Lucia
(Conselheiro)

Pesq. Ana Márcia M. Ladeira Carvalho

Prof. Cosme Damião Cruz

Prof. Benedito Rocha Vital
(Orientador)

A Deus.

Ao meu esposo, Ednaldo.

Aos meus filhos, Ednaldo Filho e Cláudio Galeno.

Aos meus pais, Sebastião e Francisca.

Aos meus irmãos.

Aos meus amigos.

AGRADECIMENTO

A DEUS.

À minha família.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização do curso.

À Universidade Federal da Paraíba, pela liberação para realização do curso, e à Universidade Federal Campina Grande, pela continuidade desta liberação.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Ao professor Benedito Rocha Vital, pela orientação, pela dedicação, pelos ensinamentos seguros e pelos exemplos para minha vida profissional.

Aos professores Conselheiros Alexandre Santos Pimenta e Ricardo Marius Della Lucia, pelas sugestões e pelo apoio, sempre que necessário, ao desenvolvimento deste estudo.

Ao professor Rubens Chaves de Oliveira, pela disponibilidade do analisador de imagens do Laboratório de Celulose e Papel, que foi fundamental para a realização deste trabalho.

Ao professor Juarez Benigno Paes, pela minha substituição, pela amizade e pela cooperação na coleta das amostras.

À Ana Márcia Macêdo Ladeira Carvalho e ao José Tarcísio da Silva Oliveira, pela amizade, pelos incentivos e pela dedicação nas discussões do trabalho.

Aos demais professores, pelos ensinamentos.

À CENIBRA, pela concessão de madeira de eucalpto para realização de estudo comparativo com as espécies do Nordeste.

Aos estagiários do Curso de Engenharia Florestal, Rangel Gonçalves Ramos, Heli Freitas Santos e Daniel Chuquer.

Aos funcionários dos Laboratórios de Painéis e Energia da Madeira, Aristeu, Hésio e “Maninho”, pelo apoio e pelo auxílio na realização deste trabalho.

Aos funcionários dos Laboratórios de Propriedades Físicas e Mecânicas, Papel e Celulose e Silvicultura, pelo apoio.

Aos colegas, pelo companheirismo, pela consideração e pela cooperação durante o decorrer do curso. Em especial a Angélica de Cássia, Antônio Maciel, Sônia, Patrícia, Rosana, Daniel Barcelos, Cristóvão, Solange e Flávia.

Ao professor Cosme Damião Cruz, que cedeu o programa GENES, usado na análise dos dados, pelas sugestões e pelos conselhos na análise dos dados.

À Silvana Lages Ribeiro Garcia, pelos ensinamentos, pelas dicas e pelos conselhos durante as análises estatísticas.

Ao Rodrigo Barros Rocha pelo auxílio nas análises estatísticas.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, especialmente a Ritinha e Frederico, pela amizade, pelo apoio, pela dedicação e pela tolerância.

À Mariângela, Débora, Magda e Ana, pela amizade, pelo convívio e pelas palavras alentadoras nos momentos difíceis.

A todos os demais amigos e servidores da Universidade Federal de Viçosa que, direta e indiretamente, prestaram sua colaboração nas diversas fases e no desenvolvimento deste trabalho.

BIOGRAFIA

ELISABETH DE OLIVEIRA, filha de Sebastião Marques de Oliveira e Francisca Aguiar de Oliveira, nasceu em 14 de dezembro de 1959, em Alfenas, Estado de Minas Gerais.

Cursou o 1º grau na Escola Arlindo Silveira Filho, o 2º no Colégio Sagrado Coração de Jesus e o Colegial na Escola Estadual Dr. Emilio da Silveira, em Alfenas, Minas Gerais.

Em julho de 1984, graduou-se em Engenharia Florestal pela Fundação de Ensino e Tecnologia de Alfenas (UNIFENAS), em Alfenas, Minas Gerais.

Em agosto de 1985, iniciou o Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal “Área de concentração em tecnologia de madeira – Energia de Biomassa”, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

Em outubro de 1987, foi aprovada em Concurso Público para professor na Área de Tecnologia de Produtos Florestais do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal da Paraíba.

Em agosto de 1988, concluiu os requisitos necessários para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Em novembro de 1989, foi contratada pela Universidade Federal da Paraíba, sendo lotada no Departamento de Engenharia Florestal do Centro de Saúde e Tecnologia Rural – Campus VII, em Patos-PB, para ocupar o cargo de

professora. Atualmente, pelo fato de a Universidade Federal da Paraíba ter sido desmembrada em duas, passou a fazer parte do corpo docente da Universidade Federal de Campina Grande-PB.

Em fevereiro de 2000, ingressou no Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, “Área de concentração em tecnologia de madeira – Energia de Biomassa”, em nível de Doutorado, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

Em dezembro de 2003, defendeu tese, requisito indispensável para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xiv
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Densidade	10
2.2. Estrutura Anatômica e Composição Química da Madeira	10
2.3. Análises Térmicas	16
2.4. Carbonização da Madeira	18
2.4.1. Carbonização da Celulose	19
2.4.2. Carbonização das Hemiceluloses	20
2.4.3. Carbonização da Lignina.....	21
2.5. Propriedades do Carvão Vegetal	23
2.5.1. Propriedades Químicas.....	23
2.5.2. Propriedades Físicas	24
2.6. Rendimento Gravimétrico	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo.....	27
3.1.1. Microrregião de Patos - PB	27
3.1.2. Microrregião de Viçosa e Ipatinga - MG	30
3.2. Espécies Seleccionadas	30
3.3. Local da Coleta.....	31
3.4. Amostragem	31
3.5. Análises da Madeira	32
3.5.1. Densidade Básica	32

	Página
3.5.2. Análise Química.....	32
3.5.2.1. Solubilidade em Álcool/Tolueno	33
3.5.2.2. Teor de Lignina.....	33
3.5.2.3. Teor de Cinzas	33
3.5.3. Análises Termogravimétrica e Calorimetria Diferencial Exploratória.....	33
3.5.4. Poder Calorífico	34
3.5.5. Análise Anatômica	34
3.5.5.1. Coleta e Preparo das Amostras para Estudos Anatô- micos.....	34
3.6. Carbonização	36
3.7. Rendimento Gravimétrico	36
3.8. Análise do Carvão	37
3.8.1. Análise Química Imediata	38
3.8.2. Densidade do Carvão	38
3.8.3. Poder Calorífico Superior.....	38
3.8.4. Rendimento em Produto Condensado	38
3.9. Informações dendrométricas	38
3.10. Análise dos Resultados.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1. Características das Espécies Estudadas	40
4.1.1. <i>Croton sonderianus</i> , Müll. Arg. – Marmeleiro	40
4.1.2. <i>Mimosa tenuiflora</i> (Will.) Poir . – Jurema Preta	43
4.1.3. <i>Aspidosperma pyriforme</i> Mart. – Pereiro	46
4.1.4. <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden. – Eucalipto.....	48
4.2. Análises da Madeira	51
4.2.1. Análise das Características Dendrométricas	51
4.2.2. Análises das Dimensões dos Elementos Anatômicos da Madeira	59
4.2.3. Análises Química e Poder Calorífico da Madeira.....	69
4.2.4. Análise Termogravimétrica – TGA.....	78
4.2.5. Análise de Calorimetria Diferencial Exploratória - DSC.....	80
4.3. Análises do Carvão.....	83
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
APÊNDICE	106

LISTA DE QUADROS

	Página
1 Municípios que integram a microrregião de Patos-PB, superfícies, densidades demográficas e relação população urbana/total	29
2 Valores médios das características dendrométricas dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyriforme</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> .	52
3 Resumos das análises de variâncias para diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, volume, densidade básica média (DBM) e massa dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyriforme</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	53
4 Comparações entre médias de diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, volume, DBM (densidade básica média) e massa dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyriforme</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	53
5 Agrupamento dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyriforme</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> , tendo como base as características dendrométricas, utilizando a distância euclidiana média e o método de otimização de Tocher	54

6	Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) das características dendrométricas dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	55
7	Agrupamento e contribuição das características dendrométricas para formação de grupo dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> , utilizando a distância euclidiana média e o método de Tocher, e suas respectivas médias.....	57
8	Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) da análise discriminante para as características dendrométricas dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	58
9	Valores médios das dimensões de fibras e elementos de vasos das madeiras dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	61
10	Resumos das análises de variâncias para comprimento de fibra (COMPF), largura de fibra (LARGF), lúmen da fibra (LUMF), espessura da fibra (ESPF), comprimento de vaso (COMPV), diâmetro de vaso (DIAMV) e área de vaso (ÁREAV) para os 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	63
11	Comparações entre médias de comprimento, largura, espessura e lúmen de fibra; e de comprimento, diâmetro e área do vaso dos indivíduos avaliados das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	63
12	Agrupamento dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> , tendo como base as características anatômicas das madeiras, utilizando a distância euclidiana média e o método de otimização de Tocher.....	64

13	Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) das características de anatomia das madeiras das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> ..	65
14	Agrupamento e contribuição das características anatômicas das madeiras para formação de grupo dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> , utilizando a distância euclidiana média e o método de Tocher, e suas respectivas médias.....	66
15	Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) da análise discriminante para as características anatômicas das madeiras dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	68
16	Valores médios das análises químicas e poder calorífico das madeiras dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	70
17	Resumos das análises de variâncias para as características químicas da madeira, cinzas (CIZ), solubilidade em álcool/tolueno (SOL. ÁLC/TOL), lignina total (LIG TOT), holocelulose (HOL) e poder calorífico superior (PCS), dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> ..	71
18	Comparações entre médias para as características químicas da madeira e poder calorífico dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	72
19	Agrupamento dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> , tendo do como base as características químicas e poder calorífico da madeira, utilizando a distância euclidiana média e o método de otimização de Tocher, e suas respectivas médias.....	73

20	Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) das características químicas e poder calorífico da madeira, dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	73
21	Agrupamento e contribuição das características químicas da madeira e do poder calorífico da madeira para a formação de grupo dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> , utilizando a distância euclidiana média e o método de Tocher, e suas respectivas médias	76
22	Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) da análise discriminante para as características químicas e o poder calorífico da madeira dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> ..	76
23	Valores médios de características obtidos por TGA para as espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	79
24	Parâmetros cinéticos obtidos por DSC das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	81
25	Valores médios das análises do carvão dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	84
26	Resumos das análises de variâncias para as características de qualidade do carvão, rendimento gravimétrico (RG), rendimento em líquido condensado (RLC), densidade aparente (DA), densidade verdadeira (DV), materiais voláteis (MV), cinzas (CIZ), teor de carbono fixo (CF) e poder calorífico superior (PCS), dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	85

27	Comparações entre médias de rendimento gravimétrico (RG), rendimento em líquido condensado (RLC), densidade aparente (DA), densidade verdadeira (DV), materiais voláteis (MV), cinzas (CIZ), teor de carbono fixo (CF) e poder calorífico superior (PCS) dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	86
28	Agrupamento dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> , tendo como base as características de qualidade do carvão, utilizando a distância euclidiana média e o método de otimização de Tocher.....	87
29	Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) das características de qualidade do carvão dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	88
30	Agrupamento e contribuição das características de qualidade de carvão para formação de grupos dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> , utilizando a distância euclidiana média e o método de Tocher, e suas respectivas médias.....	91
31	Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) da análise discriminante para as características de qualidade do carvão dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	92

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Aspectos da caatinga substituída pela agricultura.	6
2 Madeira extraída da caatinga para construções de cercas São José do Bonfim - PB.	6
3 Aspectos da caatinga em processo de desertificação.	7
4 Caatinga em processo de desertificação. Serra da Urtiga Santa Terezinha - PB.	7
5 Aspectos da utilização da madeira para diversos fins.	8
6 Localização geográfica da área de coleta das amostras ocorrentes no semi-árido nordestino.	28
7 Localização geográfica da área de coleta das amostras de <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden. a) microrregião de Viçosa; b) microrregião de Ipatinga.	31
8 Aparelhos de análises térmicas.	35
9 Calorímetro adiabático.	35
10 a) Cadinho utilizado para carbonizar as amostras e b) mufla de laboratório.	37

	Página
11	Equipamento utilizado para carbonização, com sistema coletor de líquido pirolenhoso. 37
12	<i>Croton sonderianus</i> 41
13	<i>Croton sonderianus</i> . a) corte transversal (70X), b) corte radial e c) corte tangencial (500X). 42
14	<i>Mimosa tenuiflora</i> 43
15	<i>Mimosa tenuiflora</i> . a) corte transversal (70X), b) corte radial e c) corte tangencial (500X). 45
16	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> 46
17	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> . a) corte transversal (70X), b) corte radial e c) corte tangencial (500X). 47
18	<i>Eucalyptus grandis</i> 49
19	<i>Eucalyptus grandis</i> . a) corte transversal (70X), b) corte radial e c) corte tangencial (500X). 50
20	Dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> , em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de componentes principais, tendo como base as características dendrométricas..... 55
21	Dendrograma construído utilizando a metodologia do UPGMA a partir das distâncias euclidianas médias padronizadas para características dendrométricas dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> 58
22	Dispersão dos escores centróides dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> (1), <i>Mimosa tenuiflora</i> (2), <i>Aspidosperma pyrifolium</i> (3) e <i>Eucalyptus grandis</i> (4), em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de análise discriminante via componentes principais, tendo como base as características dendrométricas. 59

23	Elementos celulares de <i>Croton sonderianus</i> , a) (500X) e b) (1000X), e <i>Mimosa tenuiflora</i> , c) (500X) e d) (1000X). Escala com 100 μm	62
24	Elementos celulares de <i>Aspidosperma pyriformium</i> , a) (500X) e b) (1000X), e <i>Eucalyptus grandis</i> , c) (500X) e d) (1000X). Escala com 100 μm	62
25	Dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> , em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de componentes principais, tendo como base as características de anatomia da madeira..	65
26	Dendrograma construído utilizando a metodologia do UPGMA a partir das distâncias euclidianas médias padronizadas para as características anatômicas das madeiras dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> . .	67
27	Dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> (1), <i>Mimosa tenuiflora</i> (2), <i>Aspidosperma pyriformium</i> (3) e <i>Eucalyptus grandis</i> (4), em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de análise discriminante via componentes principais, tendo como base as características de anatomia da madeira.....	68
28	Dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> , em relação aos três primeiros autovalores da técnica de componentes principais, tendo como base as características químicas e o poder calorífico da madeira.....	74
29	Dendrograma construído com o uso da metodologia do UPGMA a partir das distâncias euclidianas médias padronizadas para as características químicas e o poder calorífico da madeira dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyriformium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	75

30	Dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> (1), <i>Mimosa tenuiflora</i> (2), <i>Aspidosperma pyrifolium</i> (3) e <i>Eucalyptus grandis</i> (4), em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de análise discriminante via componentes principais, tendo como bases as características químicas e o poder calorífico da madeira.....	77
31	Dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> , em relação aos três primeiros autovalores da técnica de componentes principais, tendo como base as características de qualidade do carvão...	89
32	Dendrograma construído utilizando a metodologia do UPGMA a partir das distâncias euclidianas médias padronizadas para características de qualidade do carvão dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> , <i>Mimosa tenuiflora</i> , <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> . .	91
33	Dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies <i>Croton sonderianus</i> (1), <i>Mimosa tenuiflora</i> (2), <i>Aspidosperma pyrifolium</i> (3) e <i>Eucalyptus grandis</i> (4), em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de análise discriminante via componentes principais, tendo como base as características de qualidade do carvão.....	92
1A	Corte transversal (500X). a) <i>Croton sonderianus</i> , b) <i>Mimosa tenuiflora</i> , c) <i>Aspidosperma pyrifolium</i> e d) <i>Eucalyptus grandis</i> . Escala com 100 µm.....	106
2A	Análise termogravimétrica da madeira de <i>Croton sonderianus</i> . a) amostra 1.1.1; b) amostra 1.1.2; e c) amostra 1.1.3.....	107
3A	Análise termogravimétrica da madeira de <i>Croton sonderianus</i> . d) amostra 1.2.1; e) amostra 1.2.2; e f) amostra 1.2.3.	108
4A	Análise termogravimétrica da madeira de <i>Croton sonderianus</i> . g) amostra 1.3.1; h) amostra 1.3.2; e i) amostra 1.3.3.....	109

5A	Análise termogravimétrica da madeira de <i>Mimosa tenuiflora</i> . a) amostra 2.1.1; b) amostra 2.1.2; e c) amostra 2.1.3.....	110
6A	Análise termogravimétrica da madeira de <i>Mimosa tenuiflora</i> . d) amostra 2.2.1; e) amostra 2.2.2; e f) amostra 2.2.3.....	111
7A	Análise termogravimétrica da madeira de <i>Mimosa tenuiflora</i> . g) amostra 2.3.1; h) amostra 2.3.2; e i) amostra 2.3.3.....	112
8A	Análise termogravimétrica da madeira de <i>Aspidosperma pyrifolium</i> . a) amostra 3.1.1; b) amostra 3.1.2; e c) amostra 3.1.3.....	113
9A	Análise termogravimétrica da madeira de <i>Aspidosperma pyrifolium</i> . d) amostra 3.2.1; e) amostra 3.2.2; e f) amostra 3.2.3.....	114
10A	Análise termogravimétrica da madeira de <i>Aspidosperma pyrifolium</i> . g) amostra 3.3.1) amostra 3.3.2; e i) amostra 3.3.3.....	115
11A	Análise termogravimétrica da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> . a) amostra 4.4.1; b) amostra 4.4.2; e c) amostra 4.4.3.....	116
12A	Análise termogravimétrica da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> . d) amostra 4.5.1; e) amostra 4.5.2; e f) amostra 4.5.3.....	117
13A	Análise termogravimétrica da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> . g) amostra 4. 6.1.; h) amostra 4.6.2.; e i) amostra 4.6.3.....	118
14A	Análise de calorimetria diferencial exploratória da madeira de <i>Croton sonderianus</i> . a) curva com a taxa de 20 °C/min e b) curvas referentes às três taxas de aquecimento (15, 20 e 25 °C/min).....	119
15A	Análise de calorimetria diferencial exploratória da madeira de <i>Mimosa tenuiflora</i> . a) curva com a taxa de 20 °C/min e b) curvas referentes às três taxas de aquecimento (15, 20 e 25 °C/min).....	120

16A	Análise de calorimetria diferencial exploratória da madeira de <i>Aspidosperma pyrifolium</i> . a) curva com a taxa de 20 °C/min e b) curvas referentes às três taxas de aquecimento (15, 20 e 25 °C/min).	121
17A	Análise de calorimetria diferencial exploratória da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> . a) curva com a taxa de 20 °C/min e b) curvas referentes às três taxas de aquecimento (15, 20 e 25 °C/min).....	122

RESUMO

OLIVEIRA, Elisabeth de, D.S. Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2003. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semi-árido nordestino.** Orientador: Benedito Rocha Vital. Conselheiros: Alexandre Santos Pimenta e Ricardo Marius Della Lucia.

Caatinga é o termo genérico para designar um complexo de vegetação decídua e xerófila constituída de vegetais lenhosos, rica em cactáceas e bromeliáceas rígidas. Os recursos florestais da caatinga representam uma fonte de energia artesanal e industrial tradicional, sendo utilizado como lenha das padarias às fábricas de doces, das olarias às caieiras, das indústrias de torrefação de café ao consumo doméstico (urbana e rural). Apesar da importância da vegetação da caatinga como fonte de energia, ainda é grande a carência de informações, principalmente quanto ao aspecto tecnológico, ou seja, sobre as características da qualidade da madeira e do carvão produzido pelas espécies do semi-árido. Portanto, o objetivo deste estudo foi estabelecer a variabilidade da qualidade da madeira e do carvão como determinantes da discriminação das espécies *Croton sonderianus* Müll. Arg., *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. e *Aspidosperma pyrifolium* Mart., de ocorrência no semi-árido do Nordeste do Brasil, e de

Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden, usado como referência, tendo como elementos de avaliação as características dendrométricas, anatômicas e químicas da madeira, assim como os rendimentos dos produtos da carbonização, e as propriedades químicas e físicas do carvão vegetal. Foi também avaliada a decomposição térmica da madeira por meio de análises termogravimétrica e de calorimetria diferencial exploratória. Os resultados foram interpretados com o auxílio de análises univariadas (ANOVA e teste de média - teste de Tukey) e análises multivariadas, empregando o método de otimização de Tocher, com base na distância euclidiana média, nos componentes principais e nas análises discriminantes. Foi utilizada madeira de *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora* e *Aspidosperma pyriformium*, provenientes de três localidades diferentes da microrregião de Patos – PB, e de *Eucalyptus grandis*, oriundo de três localidades diferentes, da microrregião de Viçosa – MG (área experimental de Cachoerinha e Silvicultura/UFV e em Belo Oriente – CENIBRA). A espécie *Croton sonderianus* apresenta poros predominantemente solitários, geminados e múltiplos em agrupamento radial; poros distribuídos em porosidade em anel semicircular; parênquima axial variando de paratraqueal escasso a apotraqueal difuso; raios predominantemente multisseriados e bisseriados, sendo menos freqüentes os unisseriados; fibras de paredes espessas e muito curtas. A espécie *Mimosa tenuiflora* apresenta poros predominantemente solitários, geminados e múltiplos em agrupamento radial; poros distribuídos em porosidade difusa uniforme; parênquima axial paratraqueal vasicêntrico, vasicêntrico confluyente, aliforme e aliforme confluyente; raios multisseriados, bisseriados e, menos freqüentemente, unisseriados; fibras de paredes espessas e muito curtas. A espécie *Aspidosperma pyriformium* apresenta poros predominantemente solitários, ocorrendo também geminados e múltiplos em agrupamento radial; poros distribuídos em porosidade difusa uniforme; parênquima axial apotraqueal em faixas e difuso; raios predominantemente unisseriados, muito raramente com duas células; fibras de paredes espessas e muito curtas. O *Eucalyptus grandis* apresenta poros predominantemente solitários, ocorrendo também geminados e múltiplos em agrupamento radial; poros distribuídos em porosidade difusa;

parênquima axial variável de paratraqueal escasso a paratraqueal vasicêntrico, pouco abundante; raios predominantemente unisseriados, ocorrendo também os bisseriados; fibras com paredes de espessura média e curtas. A característica que mais contribuiu para a distinção das espécies foi a porosidade. Pelas análises univariadas e multivariadas constatou-se que houve dissimilaridade entre as espécies e que as características dendrométricas e de qualidade da madeira são as principais responsáveis pela dissimilaridade entre as espécies. Dentre essas, a DBM e o volume apresentaram-se como características de maior importância na dissimilaridade. As características anatômicas mais importantes na dissimilaridade foram o comprimento e a espessura da parede da fibra, e as menos relevantes foram a largura e a área de vaso. Dentre as características químicas, a mais importante foi o teor de holocelulose. Quando foram avaliadas as características de qualidade do carvão, constatou-se que as mais importantes para a dissimilaridade entre as espécies foram densidade aparente, teor de carbono fixo e densidade verdadeira. Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que as três espécies de ocorrência no semi-árido Nordeste apresentam boas características para produção de carvão, tendo as espécies *Mimosa tenuiflora* e *Aspidosperma pyrifolium* apresentado o melhor resultado

ABSTRACT

OLIVEIRA, Elisabeth de, D.S. Universidade Federal de Viçosa, December 2003. **Chemical, anatomic and thermal characteristics of the wood of three species with great occurrence in the Northeastern (Brazilian) semi-arid.** Adviser: Benedito Rocha Vital. Committee Members: Alexandre Santos Pimenta and Ricardo Marius Della Lucia.

“Caatinga” (a stunted sparse forest) is a generic term to designate a complex of deciduous and xerophilous vegetation composed by woody plants, with many hard Cactaceae and Bromeliaceae. The forest resources of the Caatinga represent an energy source of traditional craftsmanship and industry, being used as fuelwood from bakeries to sweets factories, from earthenware factories to lime-burners, from coffee roasters industries to domestic stoves (urban and rural). Despite the importance of this vegetation as energy source there is still a great lack of information, mainly on the technologic aspect, that is, about the quality of wood and coal characteristics produced by species of the semi-arid. Therefore, the objective of this work was to establish the variability of the wood and coal quality determinants for the discrimination of the species *Croton sonderianus* Müll. Arg., *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. and *Aspidosperma pyriforme* Mart., which occur in the Northeastern Brazilian

semi-arid, using as reference the specie *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. The evaluation parameters were the dendrometric, anatomic and chemical characteristics of the wood, as well as the yields of the carbonization products and the chemical and physical properties of the charcoal. The thermal decomposition of the wood by means of thermogravimetric analyses and exploratory differential calorimetry were also evaluated. The results were interpreted with the help of univariate analyses (ANOVA and mean test – Tukey test), and multivariate analyses, using the Tocher optimization method, based on the mean Euclidean distance, on the main components and on the discriminant analyses. The woods of *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora* and *Aspidosperma pyrifolium*, from three different places of the microregion of Patos-PB, and *Eucalyptus grandis*, from three different places: microregion of Viçosa-MG (experimental area of Cachoeirinha and Silvicultura/UFV, and in Belo Oriente-CENIBRA-MG) were used. The wood of the species *Croton sonderianus* presents predominantly solitary, geminated and multiple porous in radial groups; porous distributed in a semi-ring porosity; axial parenchyma from scarce paratracheal to diffuse apotracheal; predominantly multiseriate and biseriate rays, being less frequent the uniseriate ones; very short fibers with thick walls. The wood of the species *Mimosa tenuiflora* presents predominantly solitary, geminated and multiple porous in radial groups; porous distributed in uniform diffuse porosity; axial parenchyma paratracheal vasicentric, confluent vasicentric, aliform and confluent aliform; multiseriate, biseriate rays and, less frequently, uniseriate ones; very short fibers with thick walls. The wood of the species *Aspidosperma pyrifolium* presents predominantly solitary porous, which also occur geminated and multiple in radial groups; porous distributed in uniform diffuse porosity; axial parenchyma apotracheal in strips and diffuse; predominantly uniseriate rays, very rarely with two cells; very short fibers with thick walls. The wood of the species *Eucalyptus grandis* presents predominantly solitary porous, which also occur geminated and multiple in radial groups; porous distributed in diffuse porosity; variable axial parenchyma from scarce paratracheal to vasicentric paratracheal, not abundant; predominantly uniseriate

rays, also occurring the biseriate ones; very short fibers with thick walls. The characteristic that contributed the most for the distinction of the species was the porosity. Through the univariate and multivariate analyses it was found that there were dissimilarity among the species and that the dendrometric and wood quality characteristics are the main factors responsible by the dissimilarities among species. Among these, the DBM and the volume were the characteristics with greater importance for the dissimilarity. The anatomic characteristics with the greatest importance for the dissimilarity were the length thickness of the fiber walls, and the less significant were the vase width and area. Among the chemical characteristics, the most important one was the holocellulose content. When the charcoal quality characteristics were evaluated, it was found that the most important ones for the dissimilarity among species were the apparent density, fixed carbon content and actual density. Based on the results obtained, it can be concluded that the three species occurring in the Northeastern semi-arid present good characteristics for the coal production, and that the species *Mimosa tenuiflora* and *Aspidospema pyrifolium* showed the best results.

1. INTRODUÇÃO

Os vegetais lenhosos têm sido usados para os mais diversos fins desde os primórdios da civilização e ainda são uma das fontes mais utilizadas para produção de lenha, carvão vegetal, estacas e moirões, assim como para fins medicinais, entre outros. É evidente a sua importância como fonte de energia tanto em nível regional como local, pois, por ser renovável, pode ser produzida em larga escala e por um preço mais acessível do que as outras fontes de energia convencional (gás natural, carvão mineral, gás liquefeito, óleo diesel, energia elétrica etc.).

Nos últimos anos, o crescimento populacional, o avanço tecnológico e a crise dos combustíveis fósseis aumentaram a pressão sobre a flora nativa de muitas regiões, em diferentes partes do mundo, incluindo o Brasil, nas mais variadas formas, com destaque para produção de lenha e de carvão vegetal. Como a exploração vem ocorrendo de forma irracional, sem atender a qualquer regime de manejo, cresce a preocupação com o uso indiscriminado das florestas, que poderá gerar, como consequência, o aparecimento de grandes áreas degradadas.

Embora a dimensão territorial do Estado da Paraíba não seja das mais significativas no contexto do País, sua importância torna-se evidente por sua diversidade de paisagem e vegetação, com grande riqueza de espécies vegetais

que exercem papel fundamental para a população, que reconhece nos recursos florestais fonte de sobrevivência e onde a vegetação encontra diversas categorias de uso: alimento, madeira para construção e para fins medicinais, combustível, comércio, dentre outros.

Na microrregião de Patos, Estado da Paraíba, inserida na Mesorregião do Sertão Paraibano, constata-se o crescente número de atividades consumidoras de lenha como combustível, principalmente padarias, olarias e cerâmicas, o que tem incrementado a pressão sobre os recursos da caatinga para produção de combustíveis lenhosos. Diversas espécies da caatinga são utilizadas para fins energéticos, porém existem poucos estudos sobre elas.

A carência de informações sobre a vegetação de caatinga se torna muito evidente quando se procura dados relativos a características da madeira, tais como densidade básica, características anatômicas e químicas e propriedades tecnológicas.

A descrição anatômica (BURGER e RICHITER 1991), a composição química (SJÖSTRÖM, 1993) e a densidade (VITAL, 1984) formam os parâmetros que constituem a base para quaisquer estudos tecnológicos que sejam efetuados na madeira, auxiliando a interpretação e permitindo empregá-la corretamente para determinado tipo de uso.

A densidade básica é uma característica bastante complexa, resultante da combinação de diversos fatores genéticos e ambientais. Segundo PANSWIN e De ZEEUW (1980), a densidade básica é uma característica resultante da interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira, portanto as variações na densidade são provocadas por diferenças nas dimensões celulares, das interações entre eles e pela variação nos componentes químicos da madeira.

Apesar da importância da vegetação da caatinga como fonte de energia, ainda é grande a carência de informações, principalmente quanto ao aspecto tecnológico, ou seja, sobre as características de qualidade da madeira e do carvão produzido pelas espécies do semi-árido.

Assim, a finalidade do presente estudo foi estabelecer a variabilidade da qualidade da madeira e do carvão como determinantes da discriminação das

espécies *Croton sonderianus* Müll. Arg., *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., *Aspidospema pyriforme* Mart. e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, tendo como elemento de avaliação as características dendrométricas, anatômicas e químicas da madeira, como também os rendimentos dos produtos da carbonização e as propriedades químicas e físicas do carvão vegetal, bem como análises térmicas. Análises univariadas (ANOVA e teste de média - teste de Tukey) e análises multivariadas foram utilizadas com o objetivo de verificar a dissimilaridade entre as espécies, empregando o método de otimização de Tocher, com base na distância euclidiana média, os componentes principais e as análises discriminantes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Estima-se que 43% da superfície do Planeta seja constituída de regiões áridas e semi-áridas, com grande proporção em países em desenvolvimento da África, Ásia e América Latina (CHERRY, 1985). No Brasil, 80% do Nordeste encontra sob o domínio do semi-árido, área onde vive mais de 20 milhões de pessoas, que utilizam os recursos renováveis e não-renováveis, sem uma política de exploração racional (MELO, 1998).

Na Região Nordeste, a caatinga é uma das fontes fornecedoras de combustíveis lenhosos mais utilizados pelas indústrias. Segundo levantamentos feitos nos Estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, a lenha tem participação entre 28 a 40% na energia utilizada pelo setor industrial (Projeto PNUD/FAO/IBAMA/UFPB/GOVERNO DA PARAÍBA/BRA/87/007, 1994). No Estado da Paraíba, os produtos florestais ocupam o primeiro plano na matriz energética, com participação de aproximadamente 50%, e representam 75,3% do consumo domiciliar e 24,7% do consumo industrial.

Localizada no Nordeste do Brasil, a Paraíba é considerada um dos menores e mais pobres dos Estados brasileiros; cerca de 80% de sua área é coberta por formação arbórea-arbustiva do tipo caatinga, caracterizada pela presença de espécies xerofíticas, espinhosas caducifólias, muitas vezes áfilas, como as cactáceas, e está submetidas a clima tropical ou subtropical semi-árido.

A caatinga é excessivamente heterogênea quanto à fisionomia e estrutura. Sua composição, porém, é bastante uniforme, havendo um núcleo de espécies arbóreo-arbustivas e de cactáceas dispersas por toda parte, e por isto, muito conhecidas até por seus nomes vulgares, que são, universais na área da formação. Nas comunidades locais, todos sabem o que são carnaúba, oiticica, juazeiro, icó, quixabeira, catingueira, imburana, cumaru, mofumbo, velame, umbuzeiro, maniçoba, mandacaru, marmeleiro, bom-nome, mulungu, pereiro, xique-xique, violeta, aroeira, macambira, caroá, jurema, pau-ferro (jucá), baraúna, e outras (RIZZINI, 1997).

Caatinga é o termo genérico para designar um complexo de vegetação decídua e xerófila constituída de vegetais lenhosos sendo mais ou menos rica em cactáceas e bromeliáceas rígidas. Ora dominam os primeiros, ora as segundas, exibindo misturas em proporção muito variada, conforme a natureza do substrato e a secura do clima. Nela há, portanto, várias formações entrelaçadas, compondo diversos tipos de caatinga (RIZZINI, 1997).

É costumeira a divisão da caatinga em duas faixas de vegetação, que são também dois tipos distintos de paisagem, com base nos graus de umidade: agreste, possuidor de maior umidade por estar próximo ao mar, tem solo mais profundo, com vegetação mais alta e densa e sertão, mais seco tem solo raso e, ou, pedregoso e vegetação mais baixa e pobre, ocupando enormes extensões no interior. Sertão é a caatinga no sentido habitual desta palavra; é a caatinga propriamente dita, seca e agressiva (LIMA, 1953; RIZZINI, 1963 e VASCONCELOS SOBRINHO, 1971).

A microrregião de Patos, onde viviam os índios Pegas e Panatis, que descendem dos índios Cariris, é uma porção da caatinga paraibana (sertão), o semi-árido, reconhecidamente uma das áreas mais secas do País (TIGRE, 1970).

Climaticamente, ela está incluída no domínio semi-árido subequatorial e tropical que constitui o chamado Polígono das Secas. Fitogeograficamente, trata-se de uma porção do domínio das caatingas, formações vegetais que atestam uma relativa estabilidade paleoclimática (TRICART, 1959).

Os solos são rasos, pedregosos e fortemente condicionados pelas rochas-mães. São mal protegidos contra as ações de intempéries por uma vegetação pouco densa e caducifolia, que favorece a ação mecânica do escoamento difuso e em lençol. Esses processos são primordiais na morfogênese semi-árida.

Aliada aos fatores naturais, como a ausência de chuvas e o calor, a ação antrópica, com a exploração da pecuária extensiva, da agricultura (Figura 1) e o corte de árvores para lenha, carvão, estacas e moirões (Figura 2) etc., tem contribuído para a degradação acelerada desse ecossistema, sendo o Sertão uma das áreas da caatinga em processo de desertificação, conforme pode ser observado nas Figuras 3 e 4 (AGRA et al.,1996; MELO,1998).



a) Ao fundo, cultivo irrigado. Em primeiro plano resto de culturas de milho – Mãe D'água - PB. b) Consórcio de culturas (milho e feijão) – Sítio fechado – distrito de Santa Gertrudes – PB.

FIGURA 1 – Aspectos da caatinga substituída pela agricultura.



FIGURA 2 – Madeira extraída da caatinga para construções de cercas – São José do Bonfim - PB.



a) Ao fundo, caatinga arbustiva densa, em primeiro plano caatinga devastada – Passagem-PB.



b) Caatinga substituída por uma capoeira. Antiga área de algodão – Santa Terezinha - PB.

FIGURA 3 – Aspectos da caatinga em processo de desertificação.



FIGURA 4 – Caatinga em processo de desertificação. Serra da Urtiga – Santa Terezinha - PB.

Os recursos florestais da caatinga representam uma fonte de energia artesanal e industrial tradicional, sendo utilizada das padarias às fábricas de doces, das olarias às caieiras, das indústrias de torrefação de café ao consumo doméstico (urbana e rural), conforme pode ser observado na Figura 5 (MELO,1998).

Para muitos consumidores dos produtos energéticos, o emprego dessa fonte está condicionado ao fator econômico. Por ser um combustível bastante comercial produzido localmente, diminui os custos de produção, portanto permite maior margem de lucro. Para outros, sua utilização ocorre em função de fatores naturais. As atividades podem se situar em determinada área, em razão da disponibilidade dos produtos. É o caso das caieiras e olarias, que se localizam nas

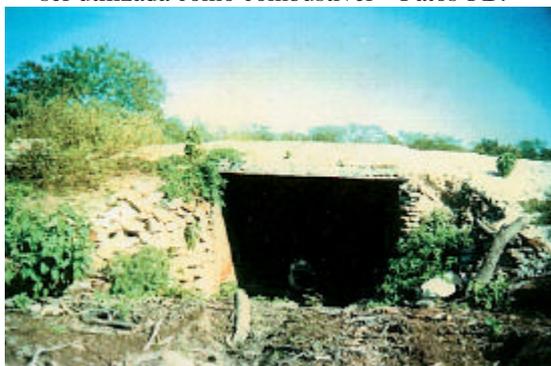
proximidades dos sítios onde são extraídos os materiais lenhosos para combustão (lenha), além do calcário e da argila, utilizadas na produção da cal e de tijolos, respectivamente.



a) Lenha estocada no pátio de uma padaria, para ser utilizada como combustível – Patos-PB.



b) Material lenhoso para ser usado por uma olaria, Quixaba-PB.



c) Forno de cal, Caieira João Lúcio. A lenha utilizada é proveniente da caatinga – Patos-PB.



d) Material lenhoso de diâmetro fino, no pátio interno de uma indústria – Patos-PB.

FIGURA 5 – Aspectos da utilização da madeira para diversos fins.

De modo geral, os fatores que determinam a utilização dos combustíveis lenhosos, tanto em atividades industriais quanto artesanais, vinculam-se a três fatores: baixo preço, produção local e disponibilidade.

Os dados do Projeto PNUD/FAO/IBAMA/BRA/007/GOVERNO DA PARAÍBA/BRA/87/007 (1994) revelaram que o consumo total de energéticos florestais na microrregião de Patos representa 67,8% para o setor domiciliar e 32,2% para o setor industrial, devendo-se ressaltar que esta microrregião se enquadra no grupo de áreas exploradoras destes produtos, cujos materiais provêm integralmente da mata nativa, especialmente dos municípios de São José de

Espinharas, Quixaba, Santa Terezinha, Mãe D'água e Catingueira (fora da microrregião) (MELO, 1998).

Em 1994, estudos realizados pelo PNUD/FAO/IBAMA/UFPB/GOV. DA PARAÍBA/BRA/87/007, indicaram que a cobertura da vegetação remanescente em relação à área territorial é de 33,25%, enquanto os antropismos representam 66,75%.

Segundo JOHNSON (1985), as espécies produtoras de carvão na caatinga são: jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Will.) Poir.), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), angico (*Anadenanthera colubrina* Vell. Brenan), jucá (*Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul.), mororó (*Bauhinia forficata* Link.), pereiro (*Aspidospema pyriforme* Mart.) e craibeira (*Tabebuia aurea* Silva Manso Benth & Hook.f. ex S. Moore).

SILVA (1988) citou a utilização da jurema-preta para lenha, e TIGRE (1970) relatou que esta espécie produz carvão com elevado poder calorífico, utilizado em forjas e fundições.

Das espécies da caatinga são citados ainda o pereiro e a catingueira como produtoras de um carvão com boas características físicas e químicas, que parece possuir grande potencial de utilização para fins energéticos (MIRANDA, 1989).

Para utilização mais racional dos recursos florestais é necessário conhecer como as características químicas e anatômicas das espécies utilizadas podem influenciar as suas características energéticas.

A madeira é um material desuniforme. As grandes variações na sua composição química podem ser atribuídas às diferenças entre espécies, embora existam variações significativas dentro de uma mesma espécie, em virtude da idade e de fatores genéticos e ambientais. Dentro de uma mesma espécie, a composição varia com a altura do tronco e com a distância a partir da medula, em direção à casca. Além disto, há diferenças significativas entre cerne e alburno, madeira de início e fim de estação de crescimento. Em escala microscópica, observam-se diferenças até mesmo entre células individuais. Todas essas considerações atestam a necessidade de analisar com cuidado os dados referentes à composição química de uma madeira qualquer (BROWNING, 1963).

A qualidade do carvão vegetal depende de algumas propriedades da madeira e de alguns parâmetros de carbonização.

2.1. Densidade

A densidade é um dos mais importantes fatores a ser considerado dentre as diversas propriedades físicas da madeira, pois, além de afetar as demais propriedades, interfere de forma significativa na qualidade de seus derivados (BRASIL e FERREIRA, 1971).

A densidade, porém, não deve ser considerada como um índice isolado de qualidade da madeira. A composição química e as características anatômicas são fatores que devem ser também levados em conta (WENZL, 1970; BRASIL et al., 1977).

A densidade da madeira, bem como as demais propriedades, varia de uma espécie para outra, dentro da mesma espécie e na direção radial e axial de uma mesma árvore. As variações da densidade são resultado das diferentes espessuras da parede celular, das dimensões das células, das inter-relações entre esses dois fatores e da quantidade dos componentes extratáveis presentes por unidade de volume (PANSHIN e De ZEEUW, 1980).

Na produção de carvão vegetal, a densidade deve ser analisada sob vários aspectos, podendo várias considerações ser feita em torno dela. A densidade da madeira afeta a capacidade de produção de carvoaria, porque para um determinado volume de forno a utilização de madeira mais densa resulta em maior produção em peso. Além disto, madeira mais densa produz carvão com densidade mais elevada, com vantagens para alguns de seus usos (OLIVEIRA et al., 1982b; BRITO, 1993).

2.2. Estrutura Anatômica e Composição Química da Madeira

O tecido lenhoso das árvores é constituído por diferentes tipos de células. As folhosas possuem estrutura mais complexa do que as coníferas, com maior número de tipos de células. Os principais componentes anatômicos das folhosas são os elementos de vasos, responsáveis pela condução de seiva; os

fibro-traqueídeos e as fibras libriformes, responsáveis pela resistência mecânica da madeira; o tecido de reserva, responsável pelo armazenamento de compostos; e os raios, responsáveis pela transferência de material no sentido radial.

Os estudos anatômicos facilitam a identificação das espécies, bem como fornecem informações sobre a estrutura do lenho, permitindo relacionar as características do lenho com as características gerais da madeira, principalmente nos aspectos referentes a resistência mecânica, permeabilidade, resistência natural, trabalhabilidade e aspectos de uso tecnológico (PANSWIN e De ZEEUW, 1980; GARCIA, 1995).

Segundo MARCATI (1992), a madeira, ou xilema secundário, é o resultado do processo de desenvolvimento celular das plantas arbóreas, que é oriundo do câmbio. Numerosos fatores, tanto internos quanto externos à árvore, conduzem a variações quanto ao tipo, número, tamanho, forma, estrutura física e composição química dos elementos.

A estrutura da madeira é caracterizada pelo arranjo e pela quantidade proporcional de diferentes tipos de células, como fibras, traqueídeos, vasos, parênquima axial e raios, influenciando significativamente as diversas propriedades da madeira. Portanto, a forma como os elementos anatômicos estão distribuídos nos planos longitudinal (tangencial e radial) e transversal influenciam as propriedades tecnológicas da madeira, tornando necessário a mensuração destes elementos (LELLIS e SILVA, 1997)

Segundo DADSWELL (1972) e KNIGGE e KOLTZENBURG (1965), o comprimento das fibras, dos traqueóides, dos vasos e das células do parênquima axial é diretamente influenciado pelas divisões das células iniciais fusiformes no câmbio; tais células originam os elementos dispostos no sentido longitudinal, e as células radiais, por sua vez, originam os elementos dispostos no sentido radial (raios). O seu processo de desenvolvimento envolve cinco etapas: a) divisão celular; b) diferenciação; c) crescimento em área; d) espessamento da parede; e) lignificação. As etapas de desenvolvimento mencionadas, segundo MOREY (1981), definem o comprimento, a largura, o diâmetro do lúmen e a espessura da parede das células. ZOBEL e BUJTENEN (1989) afirmaram que as características morfológicas das fibras variam significativamente entre e dentro

das árvores e podem ser controladas geneticamente, bem como apresentar alterações, em função de diferentes práticas silviculturais e da alteração da idade de corte.

As fibras, fibrotraqueídeos, fibras libriformes e traqueídeos vasicêntricos, constituem os tipos de células consideradas de maior importância, cujas dimensões são estudadas em função de sua relação com as características químicas e com a densidade da madeira.

O comprimento das fibras é diretamente influenciado pelas divisões longitudinais-tangenciais. A fibra madura é, no máximo, cinco vezes mais longa que a inicial fusiforme da qual se originou. MOREY (1981) assegurou que a causa do alongamento da fibra durante a fase de diferenciação se deve à interação do potencial genético da célula e à seqüência das mudanças fisiológicas, encontradas nas proximidades do câmbio, em função dos fatores ambientais.

Segundo PANSIN e De ZEEUW (1980) e TSOUMIS (1991), a variação do comprimento das células reflete duas fases: a) uma fase inicial, conhecida como período juvenil, próximo à medula, onde ocorrem mudanças fundamentais na composição da parede, associadas ao período de maturação cambial, quando ocorre um rápido aumento no comprimento da célula e b) a segunda, quando o câmbio já se encontra maduro, produzindo células cujo comprimento pode variar intensamente nos anéis de crescimento adjacentes e, conseqüentemente, resultar em maior estabilidade.

A variação nas dimensões das células é também influenciada pela idade da árvore. Segundo TOMAZELO FILHO (1987), o comprimento de fibras da madeira de eucalipto pode aumentar com a idade, como resultado do aumento do comprimento das células iniciais fusiformes, podendo estagnar, quando as células do câmbio atingirem comprimento máximo, no início da formação da madeira adulta. Em função disto, há aumento no comprimento das fibras no sentido medula-casca, com o aumento da idade. Assim, as fibras localizadas nas camadas de crescimento, mais próximas da medula e a um dado nível do tronco, apresentam menores dimensões que aquelas localizadas nas camadas finais de crescimento, mais próximas à casca.

Segundo SHIMOYAMA (1990) e MOREIRA (1999), a largura das fibras está relacionada a fatores genéticos e ambientais, além do crescimento sazonal. A largura das fibras é influenciada pela idade cambial e tende a aumentar no sentido medula-casca. A mesma autora, citando outros pesquisadores que trabalharam com diversas espécies de *Eucalyptus*, afirmou que quanto maior a largura das fibras menor a massa específica. O diâmetro do lúmen, por sua vez, está relacionado com a largura e espessura da parede das fibras. Assim, quanto maiores forem os seus valores, mais espaços vazios serão encontrados na madeira, indicando uma menor massa específica.

Segundo PANSIN e De ZEEUW (1980), a espessura da parede das fibras de folhosas tende a aumentar no sentido medula-casca, situação também observada por TOMAZELLO FILHO (1985b). PANSIN e De ZEEUW (1980) afirmaram que a fibra adulta é formada por duas paredes, a primária e a secundária. Durante o crescimento em comprimento, a fibra apresenta apenas a parede primária. Sua espessura não chega a 0,1 μm , representando apenas 2% do total da parede celular. A parede secundária, geralmente é formada após ter cessado o aumento em comprimento. Segundo os mesmos autores, a parede secundária é dividida em três camadas: a primeira, denominada S1, com espessura de 0,2 μm , representa 16% da espessura total da parede; a segunda, denominada S2 e considerada a mais importante, com espessura que varia de 2 a 5 μm , representa 74% da espessura total da parede; e a terceira, denominada S3, com espessura de 0,1 μm , representa 8% da parede celular. Segundo SHIMOYAMA (1990) e RUY (1998), os carboidratos que são depositados na parede da fibra possuem alto grau de polimerização e alto peso molecular, podendo tornar a madeira mais densa. A mesma autora citou inúmeros pesquisadores que encontraram relações positivas entre a massa específica e a espessura da parede das fibras, chegando até a concluir que a massa específica pode dar indicações da espessura da parede da fibra. HILLIS (1978) afirmou que a parede celular da fibra pode variar entre espécies, entre lenho inicial e tardio, bem como entre madeira normal e de tração. Segundo o autor, tal parâmetro está muito relacionado com a resistência da madeira e com as propriedades de usinagem.

Os vasos desempenham a função de condução de líquidos e variam quanto a frequência, diâmetro, forma e arranjo dentro da árvore. PANSHIN e De ZEEUW (1980) afirmaram que, no sentido medula-casca, ocorre aumento do diâmetro dos elementos de vasos e redução da sua frequência ao longo dos anéis sucessivos de crescimento, tendendo à estabilização dos seus valores na madeira adulta. FLORSHEIM (1992) e TOMAZELLO FILHO (1985a) também observaram aumento no diâmetro tangencial dos vasos e diminuição no número de vasos/mm² no sentido radial. Esses autores observaram uma estabilidade na frequência de vasos/mm² a partir da posição de 75% da altura do tronco, para as espécies analisadas.

O fenômeno da carbonização pode ser explicado e entendido a partir das transformações sofridas pelos principais componentes da madeira, a celulose, as hemiceluloses e a lignina. A madeira é basicamente composta de oxigênio, hidrogênio e carbono. O carbono pode representar até 50% da composição da madeira, o oxigênio, 44%, e o hidrogênio, 6%. Levando-se em conta o percentual que esses três elementos representam, torna-se fácil entender porque a carbonização pode ser compreendida quando se conhece o comportamento da lignina, das hemiceluloses e da celulose, já que esses componentes são basicamente formados de carbono, oxigênio e hidrogênio.

De acordo com LEWIN e GOLDSTEIN (1991) e TSOUMIS (1991), em termos médios, as madeiras são constituídas por:

Celulose: 40-45%.

Hemiceluloses: 15-35% (folhosas) e 20-30% (coníferas).

Lignina: 18 - 25% (Folhosas) e 25 – 35% (coníferas).

Extrativos: 3-8%.

Cinzas: 0,4%.

A celulose, principal componente da parede celular, é um polissacarídeo linear constituído de unidades de anidroglicopirranose unidas por ligações glicosídicas do tipo Beta 1-4 com alto grau de polimerização, possuindo uma estrutura cristalina e não-ramificada (LEWIN e GOLDSTEIN, 1991). O seu grau de polimerização está compreendido entre 9.000 e 10.000, podendo chegar até a

15.000 unidades de glicose. É o composto orgânico mais comum na natureza, sendo insolúvel em solventes orgânicos, em água, em ácidos e em álcalis diluídos, todos à temperatura ambiente.

As hemiceluloses também são polissacarídeos e diferem da celulose por serem polímeros ramificados, amorfos e de cadeia mais curta. Elas possuem em sua estrutura outras unidades de açúcar diferentes da glicose, como as hexoses e as pentoses, como a manose, a galactose, a xilose, a arabinose e o ácido 4-o-metilglucurônico (PETTERSEN, 1984; LEWIN e GOLDSTEIN, 1991). Geralmente possuem um peso molecular menor que o da celulose e o seu grau de polimerização varia de 100 a 200 unidades de açúcares. São os compostos da madeira responsáveis pela formação da maior parcela de ácido acético durante a decomposição térmica.

Segundo SHAFIZADEH e CHIN (1977) e OLIVEIRA et al. (1982 a), a 400 °C a celulose e as hemiceluloses têm rendimento em carvão de, aproximadamente, 10 a 13%, respectivamente.

A lignina é um dos três polímeros básicos que constituem a madeira. É um composto amorfo, tridimensional, de composição química bastante complexa, que se constitui de unidades de fenil propano, tendo uma cadeia altamente ramificada; é o componente mais hidrofóbico da madeira. Ela tem uma função adesiva entre as fibras e confere dureza e rigidez à parede celular (PETTERSEN, 1984).

As unidades de fenil propano são mantidas juntas, tanto por ligações éter (C-O-C) como por carbono-carbono (C-C). A ligação éter é predominante, sendo aproximadamente dois terços ou mais das ligações da lignina desse tipo e o restante do tipo carbono-carbono (SJÖSTRÖM, 1993).

A lignina é um dos componentes da madeira de fundamental importância na produção de carvão vegetal, uma vez que é o composto que mais contribui para produção do resíduo carbonoso e do alcatrão insolúvel. A lignina a 400 °C proporciona rendimentos de aproximadamente 55% de resíduo carbonoso (OLIVEIRA et al., 1982a).

Os extrativos são componentes que não fazem parte da constituição química da parede celular e incluem elevado número de compostos. Incluem resinas, açúcares, taninos, ácidos graxos, dentre outros compostos, os quais influem nas propriedades da madeira. Assim, a cor, o odor, as resistências ao apodrecimento e ao ataque de insetos, a permeabilidade, a densidade e a dureza são afetados pela sua presença (PETTERSEN, 1984).

O conteúdo de cinzas é geralmente pequeno, podendo incluir cálcio, potássio, magnésio e traços de outros. Quanto maior a proporção de matérias minerais na madeira, maior será a porcentagem de cinzas no carvão, fato este pouco desejável, principalmente quando alguns dos componentes são prejudiciais para fins siderúrgicos. O teor, assim como a composição química das cinzas, pode ser afetado pela disponibilidade de minerais no solo.

Melhores propriedades químicas do carvão, maiores teores de carbono fixo e menores teores em substâncias voláteis e cinzas estão associados à madeira com altos teores de lignina, para determinadas condições de carbonização. Madeiras com altos teores de extrativos e lignina produzem maior quantidade de carvão, com maior densidade e mais resistente em termos de propriedades físicas e mecânicas.

2.3. Análises Térmicas

Termogravimetria é a técnica que relaciona a variação de peso de uma amostra em função da variação da temperatura ou do tempo de aquecimento. Estudos de variação do peso em função do tempo são mais apropriados quando a análise térmica é executada em temperaturas constantes. A amostra sólida ou líquida é aquecida ou resfriada a uma taxa selecionada ou isotermicamente mantida a uma temperatura fixa. A termogravimetria é usada para medir degradação, oxidação, redução, evaporação, sublimação e outras variações de calor que ocorrem em determinadas substâncias. A análise térmica é conveniente e reproduzível, além de ser um método útil para caracterizar materiais orgânicos heterogêneos. Análises térmicas diferenciais (DTA) e calorimetria exploratória diferencial (DSC) usadas para analisar materiais biológicos provenientes

de plantas (TSUJIYAMA e MIYAMORI, 2000). São também de grande interesse em estudos para caracterização de alimentos e substâncias quioterápicas (FERNANDES et al., 1999; SILVA et al., 2001).

Segundo HOWELL (2002), a termogravimetria é um método útil e conveniente para o estudo da degradação de polímeros. Várias abordagens têm sido desenvolvidas para obtenção de parâmetros cinéticos de dados termogravimétricos. Várias técnicas de temperatura variável permitem uma estimativa rápida e menos trabalhosa da energia de ativação.

A degradação térmica da madeira procede pela sucessiva degradação de seus principais constituintes, hemiceluloses, celulose e lignina, os quais variam em comportamento térmico (DELLA ROCCA et al., 1999)

A decomposição das hemiceluloses é dominante em temperaturas baixas (< 230 °C). Porém, tanto a celulose quanto as hemiceluloses reagem na faixa de 230-260 °C. A reação de decomposição da hemiceluloses é dominante na faixa inicial, quando a decomposição da celulose passa a ser dominante. Entretanto, entre 260 e 290 °C, as hemiceluloses decompõem-se completamente e o experimento reflete somente a decomposição da celulose. Finalmente, em temperaturas altas, a curva isotérmicas de TG relata a decomposição da celulose e lignina e, posteriormente, predomina a decomposição da lignina (ÓRFÃO e FIGUEIREDO, 2001).

Alguns parâmetros cinéticos determinados por esses métodos apresentam valores desconhecidos. Cordeiro et al. (1989), citado por ÓRFÃO e FIGUEIREDO (2001), obtiveram energia de ativação para degradação da celulose de 83,5 KJ/mol, enquanto valores de 200 KJ/mol ou mais são relatados por Antal et al.(1995), Gronli et al. (1999) e Órfão et al. (1999), citados por ÓRFÃO e FIGUEIREDO (2001). Mas certamente tal fato é uma consequência de a pirolise da lignina ser ignorada à baixa temperatura, como relatado por Bilbao et al. (1989), citados por ÓRFÃO e FIGUEIREDO (2001).

A madeira é um composto complexo de mistura de substâncias, como a celulose, as hemiceluloses, a lignina, os extrativos, a água e os materiais inorgânicos. O mecanismo de degradação térmica destes componentes não é

completamente conhecido, pois o processo inclui um número de reações químicas competitivas e consecutivas (ÓRFÃO e FIGUEIREDO, 2001).

2.4. Carbonização da Madeira

O comportamento da madeira ao ser carbonizada pode ser explicado pelo comportamento de seus principais componentes. Cada um deles participa de maneira diferente, gerando diferentes produtos, devido à natureza de sua composição química. A medição da perda de peso ocorrida com a madeira e seus componentes isoladamente é uma técnica de grande importância para identificar as etapas que ocorrem durante o processo de carbonização. A degradação da celulose se processa rapidamente em um curto intervalo de temperatura, cerca de 50 °C, provocando drásticas mudanças no seu comportamento, com a perda de cerca de 77% do seu peso. As hemiceluloses começam a perder peso em temperaturas próximas a 225 °C, sendo o componente menos estável da madeira, uma vez que sua degradação é quase completa na temperatura de 325 °C, perdendo peso continuamente sob a ação do calor (SARKANEN e LUDWIG, 1971; OLIVEIRA et al., 1982 a).

Todo o processo de carbonização tem sido alvo de inúmeras pesquisas para conhecimento dos mecanismos e processos que levam à transformação da madeira em carvão. Quando se coloca uma peça de madeira sob a ação do calor, ocorre a decomposição de seus principais componentes, resultando na formação de carvão e de diversos outros compostos, dos quais mais de 213 já foram identificados (OLIVEIRA et al., 1982a). Para explicar como ocorre a formação desses componentes, e quais são os mecanismos e as reações que acontecem durante a carbonização, têm-se desenvolvido vários modelos. A carbonização é um processo que depende do tempo e da temperatura. Assim, por exemplo, a formação de “tiços” durante o processo se dá provavelmente pela exposição da peça de madeira à temperatura durante um tempo inadequado, gerando zonas não-pirolisadas (OLIVEIRA et al., 1982a; MEDEIROS e REZENDE, 1983).

Uma forma de estudar o comportamento da madeira durante a decomposição térmica é a utilização de análises termogravimétrica e de calorimetria

diferencial exploratória. A análise termogravimétrica mostra a perda de massa. É possível também verificar em que temperatura é iniciada a decomposição térmica e, ainda, em qual faixa de temperatura a decomposição térmica é mais pronunciada. A análise de calorimetria diferencial exploratória possibilita a identificação dos picos e, ou, das faixas de ocorrência das reações endotérmicas e exotérmicas do processo.

A umidade da madeira é um fator importante e deve ser muito bem observado no processo de carbonização da madeira. Por isso a madeira, antes de ser carbonizada, precisa sofrer secagem. O processo de secagem consome muita energia, que é fornecida por parte da queima da lenha dentro do forno, ou da câmara de combustão externa, a depender do modelo do forno. Quanto mais úmida a madeira maior será a energia necessária para secá-la.

A presença de água na madeira representa redução do poder calorífico, em razão da energia necessária para evaporá-la. Além disto o teor de umidade, sendo muito variável, pode tornar difícil o controle do processo de combustão, havendo necessidade de constantes reajustes no sistema (COTTA, 1996).

Segundo VALENTE (1986), a fabricação de carvão com madeira úmida origina um carvão friável e quebradiço, provocando a elevação do teor de fino durante o manuseio e transporte, e aconselha carbonizar a madeira com umidade, base seca, entre 20 e 30%.

Teores de umidade elevados, principalmente na região central da madeira, cerne, inevitavelmente provocará fendilhamento no carvão vegetal, predispondo a maior geração de finos, fato ocasionado pelo aumento da pressão de vapor por ocasião da transformação da madeira em carvão vegetal (COTTA,1996).

2.4.1. Carbonização da Celulose

A celulose é o componente da madeira mais fácil de ser isolado, sendo, portanto, o mais estudado. Ela produz, sob atmosfera de nitrogênio, 34,2% de carvão a 300 °C. Este resultado, no entanto, decresce vigorosamente com o aumento da temperatura, e a 600 °C a degradação da celulose é quase completa, deixando um resíduo de carvão de somente 5%. Como o processo de

carbonização ocorre a temperaturas superiores a 300 °C, pode-se concluir que a celulose contribui pouco para o rendimento gravimétrico do carvão (OLIVEIRA et al., 1982 a).

Alguns pesquisadores propuseram, com base nos resultados de termoanálise, que a energia de ativação do processo de decomposição da celulose é da ordem de 40 kcal/mol. A degradação térmica da celulose ocorre nos seguintes estágios:

155 e 259 °C, correspondem ao aquecimento da celulose, sem provocar quebra de ligação;

259 a 380 °C, 389 a 414 °C e 414 a 452 °C são regiões de temperatura onde ocorrem reações exotérmicas. Nestes intervalos de temperatura ocorre quebra da molécula de celulose;

452 e 500 °C, ocorre formação de substâncias estáveis; e

500 e 524 °C, ocorrem reações endotérmicas, indicando o término das reações.

De outra forma, a degradação da celulose pode ser dividida em estágios, onde se pretende mostrar a ocorrência dos principais eventos de maneira mais geral:

Primeiro estágio, ocorre vigorosa decomposição.

Segundo estágio, a decomposição continua a ocorrer havendo a volatilização dos produtos formados.

Terceiro estágio, evolução dos produtos voláteis.

2.4.2. Carbonização das Hemiceluloses

As hemiceluloses constituem o componente da madeira responsável pela formação da maior parcela de ácido acético, sendo também, o menos estável, devido à sua natureza amorfa. Segundo OLIVEIRA et al. (1982 a), a decomposição das hemiceluloses se processa em dois estágios:

Primeiro estágio, a molécula se decompõe em fragmentos menores.

Segundo estágio, neste período ocorre uma despolimerização das cadeias pequenas, formando unidades do monômero. Há grande formação de voláteis, tanto a partir do polímero como do monômero então formado.

O fornecimento de calor ao processo produzirá mudança brusca no comportamento das hemiceluloses, pelo menos no que se refere ao rendimento em carvão. Os produtos formados a 300 °C, quando submetidos a temperaturas mais altas, irão sofrer mudanças radicais, decompondo-se e volatilizando, e a maior parte dos voláteis irá se condensar, formando a maior fração a 500 °C, que é o líquido condensado. Na temperatura de 500 °C o rendimento em carvão é de aproximadamente 10%, indicando que as hemiceluloses também contribuem muito pouco para a formação de carvão no processo de carbonização em fornos de alvenaria (OLIVEIRA et al., 1982 a).

2.4.3. Carbonização da Lignina

A lignina é o componente da madeira de mais difícil isolamento, portanto os estudos relativos ao processo de decomposição são escassos. Os mecanismos de decomposição da lignina não estão bem definidos, devido à sua estrutura relativamente complexa, ocasionando rupturas e formação de inúmeros compostos. A lignina é o componente químico da madeira mais importante quando se objetiva a produção de carvão vegetal, pois o rendimento gravimétrico do processo está diretamente relacionado com o conteúdo de lignina na madeira. Esse componente começa a degradar-se em temperaturas mais baixas, a partir de 150 °C, ao contrário da celulose e das hemiceluloses, cuja degradação é mais lenta. A lignina continua perdendo peso em temperaturas superiores a 500 °C, dando como resultado o carvão. Tal perda é bem menor que a ocorrida com a celulose e as hemiceluloses (SARKANEN e LUDWIG, 1971; OLIVEIRA et al., 1982 a).

Entre 450 e 550 °C obtém-se um rendimento em carvão de 55% (SARKANEN e LUDWIG, 1971; OLIVEIRA et al., 1982 a). Esta faixa de temperatura é compatível com a temperatura de operação dos fornos de alvenaria, o que demonstra a importância da lignina na produção de carvão vegetal.

As maneiras de agrupar os fenômenos que acontecem durante a carbonização diferem de autor para autor. Por exemplo, OLIVEIRA et al. (1982a) e MEDEIROS e REZENDE, 1983) dividiram os fenômenos da carbonização da seguinte maneira:

Zona A: até 200 °C, é caracterizada pela produção de gases não-condensáveis, tais como vapor d'água, CO₂, ácido fórmico e acético;

Zona B: compreendida na região de temperatura entre 200 e 280 °C. Nesta zona são produzidos os mesmos gases da Zona A. Neste caso, há diminuição substancial no vapor d'água e aparecimento de CO. As reações que acontecem nesta região são de natureza endotérmica;

Zona C: de 280 a 500 °C. A carbonização ocorre por meio de reações exotérmicas. A temperatura a que as reações exotérmicas ocorrem não está bem identificada. Os produtos obtidos nesta etapa estão sujeitos a reações secundárias, incluindo combustíveis e alcatrão, CO e CH₄; e

Zona D: acima de 500 °C. Nesta região já existe o carvão. Aqui acontecem várias reações secundárias, catalisadas pelo leito de carbonização.

OLIVEIRA (1988), em um trabalho desenvolvido com madeira de *Eucalyptus*, fez algumas correlações entre a densidade de madeira e outros parâmetros anatômicos e químicos para produção de carvão, são eles:

O aumento de densidade da madeira é acompanhado pelo aumento da espessura da parede das fibras, pela redução do lúmen e pelo aumento no comprimento das fibras.

À medida que aumentam os teores de lignina e de extrativos aumenta-se proporcionalmente a densidade.

A densidade da madeira reduz com o aumento do teor de holocelulose.

As madeiras mais porosas produzem carvão de maior porosidade.

As madeiras mais densas produzem carvão mais denso.

Essas correlações são importantes, pois ajudam a selecionar a madeira e tomar os devidos cuidados no manejo da madeira a ser utilizada para produzir carvão.

2.5. Propriedades do Carvão Vegetal

Segundo OLIVEIRA et al., 1982a as características usualmente determinadas no carvão vegetal, para definir sua qualidade, são

Teores de umidade, de materiais voláteis, de cinzas e de carbono fixo obtidos pela análise química imediata;

Densidade.

Porosidade.

Poder calorífico superior.

Resistência mecânica.

Reatividade.

Rendimento gravimétrico de carvão.

Rendimento em líquido pirolenhoso.

2.5.1. Propriedades Químicas

O carvão vegetal é composto de três frações distintas: carbono fixo (CF), matérias voláteis (MV) e cinzas (CZ).

O carbono fixo é a quantidade de carbono presente no carvão. Está relacionado com o seu poder calorífico, e é uma das características químicas que mais exerce influência na sua utilização (OLIVEIRA et al., 1982b e BRITO, 1993).

O poder calorífico do carvão é o resultado da combinação entre o teor de carbono fixo e o teor de materiais voláteis.

O rendimento em carbono fixo apresenta uma relação diretamente proporcional aos teores de lignina, extrativos e densidade da madeira e inversamente proporcional ao teor de holocelulose. É uma função direta do rendimento gravimétrico e do teor de carbono fixo presente na madeira (OLIVEIRA, 1988).

Existe uma relação entre carbono fixo e teor de materiais voláteis e de cinzas no carvão. A associação de materiais voláteis e de cinza no carvão resulta em maiores teores de carbono fixo e vice-versa (COTTA, 1996).

Os materiais voláteis podem ser definidos como as substâncias que são desprendidas da madeira como gases durante a carbonização e, ou, queima do carvão.

Os fatores que influenciam o teor de materiais voláteis no carvão são a temperatura de carbonização, a taxa de aquecimento e a composição química da madeira (CARMO, 1988), sendo a temperatura o principal parâmetro que regula os teores de materiais voláteis e carbono fixo do carvão.

O teor de matérias voláteis pode afetar a estrutura do carvão, uma vez que a porosidade, o diâmetro médio dos poros, a densidade e outras características físicas do carvão podem ser alteradas drasticamente pela eliminação dos voláteis.

A cinza é um resíduo mineral proveniente dos componentes minerais do lenho e da casca (VITAL et al., 1986). Geralmente o carvão vegetal apresenta baixo teor de cinzas, quando comparado com o coque mineral (CARMO, 1988).

2.5.2. Propriedades Físicas

No carvão vegetal a densidade é uma propriedade bastante importante. A densidade do carvão está diretamente ligada à temperatura de carbonização, à taxa de aquecimento e à densidade básica da madeira. Como a madeira, a densidade do carvão também exerce influência em quase todas suas outras propriedades. Segundo WENZL (1970) e COUTINHO e FERRAZ (1988), a densidade verdadeira deve aumentar e a densidade aparente deve diminuir, com o aumento da temperatura de carbonização. Entretanto, outros autores demonstraram que a densidade aparente diminui até determinada temperatura e, então, passa a aumentar (BLANKHORN, 1978; MENDES et al., 1982).

Porosidade pode ser definida como a quantidade de poros que o carvão possui. Ela determina a resistência mecânica do carvão. Quanto maior for a porosidade do carvão, menor será a sua resistência mecânica e maior será a sua reatividade.

A resistência mecânica do carvão é importante porque afeta o grau de fragmentação ocasionados pelas numerosas operações de manuseio e transporte

que o produto sofre durante seu trajeto dos fornos de carbonização ao local de uso (MENDES et al., 1994).

Friabilidade é a propriedade do carvão vegetal relacionada à suscetibilidade do produto em formar finos quando submetido a abrasão e choques mecânicos. Está relacionada com a umidade, o diâmetro e o comprimento da madeira a ser carbonizada. Normalmente, teores altos de umidade estão associados a altas velocidades de expansão de gases durante a carbonização, o que provoca rupturas generalizadas na estrutura do carvão resultante, aumentando sua friabilidade. Grandes diâmetros na madeira a ser carbonizada também tendem a gerar carvão mais quebradiço.

A umidade contida no carvão vegetal exerce grande influência no rendimento dos processos em que ele é utilizado. O carvão absorve umidade da atmosfera, principalmente durante as chuvas, perdendo-a parcialmente com sua exposição ao sol (OLIVEIRA et al., 1982)

O poder calorífico é a quantidade de calor liberado na combustão completa de uma unidade de massa de carvão vegetal, expressa em Kcal/kg para combustíveis sólidos e líquidos e em Kcal/m³ para combustíveis gasosos. Os carvões com altos teores de carbono possuem maior poder calorífico. Esta propriedade é de grande importância, principalmente quando se pensa na utilização do carvão vegetal como fonte de energia em substituição aos combustíveis derivados do petróleo.

2.6. Rendimento Gravimétrico

O rendimento gravimétrico é o rendimento em carvão ao final do processo de carbonização.

Segundo OLIVEIRA (1988), o rendimento gravimétrico possui:

Correlação positiva com o teor de lignina total e teor de extrativos.

Correlação positiva com a densidade básica da madeira. Considerando que geralmente madeiras com maiores teores de lignina são mais densas, logo estes fatores são, em maior ou menor grau interdependentes.

Correlação negativa entre a largura e o diâmetro dos lúmens das fibras.

Outros fatores importantes para o aumento do rendimento gravimétrico são:

Temperatura máxima média na faixa dos 400 °C.

Taxa de aquecimento lenta.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo

3.1.1. Microrregião de Patos - PB

O Estado da Paraíba está situado na parte oriental do Nordeste brasileiro, entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45" de longitude oeste e os paralelos de 6°2'12" e 8°19'18" de latitude sul, ocupando uma área de 56.372 km².

A microrregião de Patos está situada na porção central do Estado da Paraíba, integrante da Mesorregião do Sertão Paraibano, em terras que correspondem à bacia do rio Espinharas (Figura 6). Com seus 2.544,8 km², a área em foco ocupa 4,5% da superfície total do espaço paraibano (56.372 km²) e abrange nove municípios: Areia de Baraúna, Cacimba de Areia, Mãe D'Água, Passagem, Patos, Quixaba, São José de Espinharas, São José do Bonfim e Santa Terezinha. A cidade de Patos é a mais importante da região, destacando-se como centro de comercialização e prestação de serviços (IBGE, 2000).

A microrregião de Patos tem aproximadamente 117.500 habitantes (Quadro 1), o que representa 3,4% da população da Paraíba. A densidade populacional é de 46,19 hab./km², ainda menor que a média da Paraíba. A população urbana de aproximadamente 96.700 habitantes, que corresponde a

MUNICÍPIOS INTEGRANTES DA MICRORREGIÃO DE PATOS

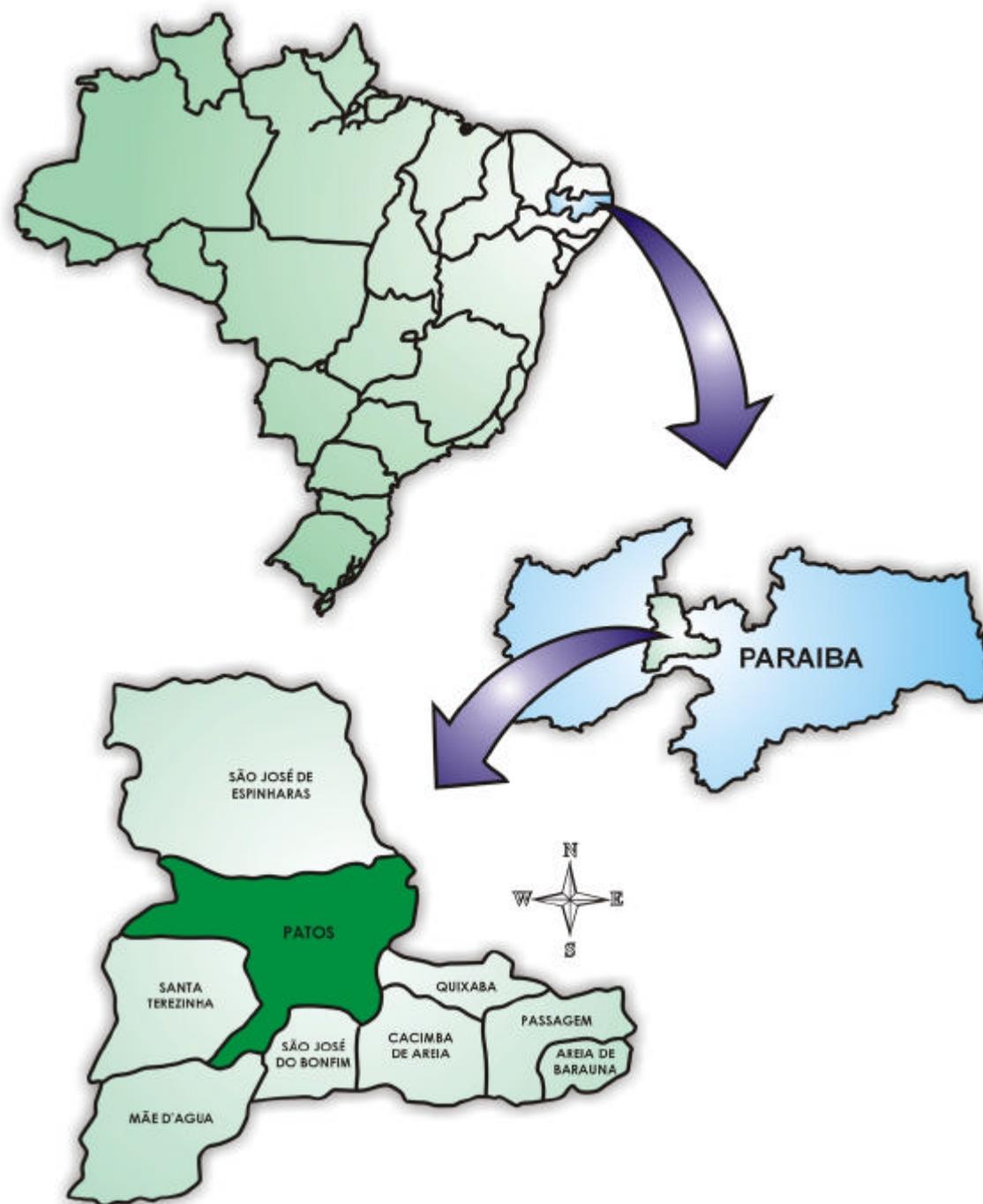


FIGURA 6 – Localização geográfica da área de coleta das amostras ocorrentes no semi-árido nordestino.

82,3%, havendo uma fraca predominância, em termos quantitativos, da população rural, com 17,7% da população total da microrregião, apesar de apenas o município de Patos apresentar uma população urbana superior a 95%. Todos os demais municípios apresentam população predominantemente rural.

QUADRO 1 – Municípios que integram a microrregião de Patos-PB, superfícies, densidades demográficas e relação população urbana/total

Município	Área km ²	Densidade Demográfica (hab/km ²)	População			Relação População Urbana/Total (%)
			Total	Rural	Urbana	
Areia de Baraúna	100,6	20,91	2.104	1.239	865	41,11
Cacimba de Areia	205,5	17,41	3.577	2.288	1.289	36,04
Mãe D'água	314,5	13,21	4.153	2.851	1.302	31,35
Passagem	139,6	14,18	1.979	1.150	829	41,89
Patos	512,7	178,98	91.761	3.812	87.949	95,85
Quixaba	114,3	11,44	1.308	803	503	38,46
São José dos Espinharas	732,8	6,97	5.109	3.634	1.475	28,87
São José do Bonfim	121,7	23,32	2.838	1.873	965	34,00
Santa Terezinha	303,1	15,60	4.728	3.121	1.607	33,99
TOTAL	2.544,8	46,19	117.557	20.771	96.784	82,33

Fonte: IBGE – Censo Demográfico (2000).

O clima da área em estudo caracteriza-se por elevadas temperaturas médias anuais, 26 °C, pequena amplitude térmica anual (5 °C) e médias totais anuais de precipitação que oscilam entre 500 e 800 mm/ano, apresentando ainda forte concentração de chuva no tempo, com marcada irregularidade na sua distribuição e longa estação de seca. Essas características são decorrentes da presença dos relevos que a isolam dos ventos úmidos do Nordeste e da circulação atmosférica que age sobre a região (SUDENE/EMBRAPA, 1972). Além da forte concentração no tempo, destaca-se o caráter irregular da distribuição das chuvas durante o ano, chegando a ocorrer em apenas uma precipitação 10% da chuva anual, devendo ser ressaltado que a concentração das chuvas ocorre em um curto período do ano (três a quatro meses, em média) e que os demais meses do ano são secos.

3.1.2. Microrregião de Viçosa e Ipatinga - MG

A microrregião de Viçosa (Figura 7a) é integrada pelas cidades de Alto Rio Doce, Amparo da Serra, Araponga, Brás Pires, Cajuri, Canaã, Cipotânea, Coimbra, Ervalia, Lamim, Paula Cândido, Pedra do Anta, Piranga, Porto Firme, Rio Espera, São Miguel do Anta, Senhora de Oliveira, Teixeiras e Viçosa.

A cidade de Viçosa está situada a 20°46'16,2''S de latitude e 42°52'41,5''O de longitude a 692,7 m de altitude. O clima Subtropical moderado úmido caracteriza-se por temperatura média anual de 19,4 °C, máxima de 26,4 °C e mínima de 14,8 °C, com uma precipitação média anual de 1.221,4 mm, sendo os meses mais chuvosos de outubro a março e os menos chuvosos de abril a setembro. Apresenta um excedente de 386 mm de novembro a março e um déficit de 51 mm nos meses abril a setembro. A vegetação característica é de floresta perenifólia estacional submontana (GOLFARI, 1978).

A microrregião de Ipatinga (Figura 7b) agrega as cidades de Açucena, Antônio Dias, Belo Oriente, Coronel. Fabriciano, Jaguarauçu, Joanésia, Marliéria, Mesquita, Santana do Paraíso, Timóteo e Ipatinga. A estação Belo Oriente da CENIBRA - Celulose Nipo-Brasileira S.A.- localiza-se a 19°17'53''S de latitude, 42°23'26''O de longitude e 233 m de altitude. O clima tropical Subtropical, subúmido úmido da área caracteriza-se por uma temperatura média anual de 23,4 °C, máxima de 33 °C e mínima de 12 °C, com precipitação média anual de 1149,5 mm, sendo novembro a março os meses mais chuvosos e o menor índice pluviométrico ocorrendo durante os meses de junho a agosto. Os meses de dezembro e janeiro apresentam um excedente de 147,3 mm e os meses de fevereiro a setembro um déficit de 190,6 mm. A vegetação é caracterizada por floresta perenifólia estacional ou semicaducifólia de baixa altitude (GOLFARI, 1978).

3.2. Espécies Seleccionadas

1. Marmeleiro (*Croton sonderianus* Müll. Arg.)
2. Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* Willd. Poir.);
3. Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.);
4. Eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden).

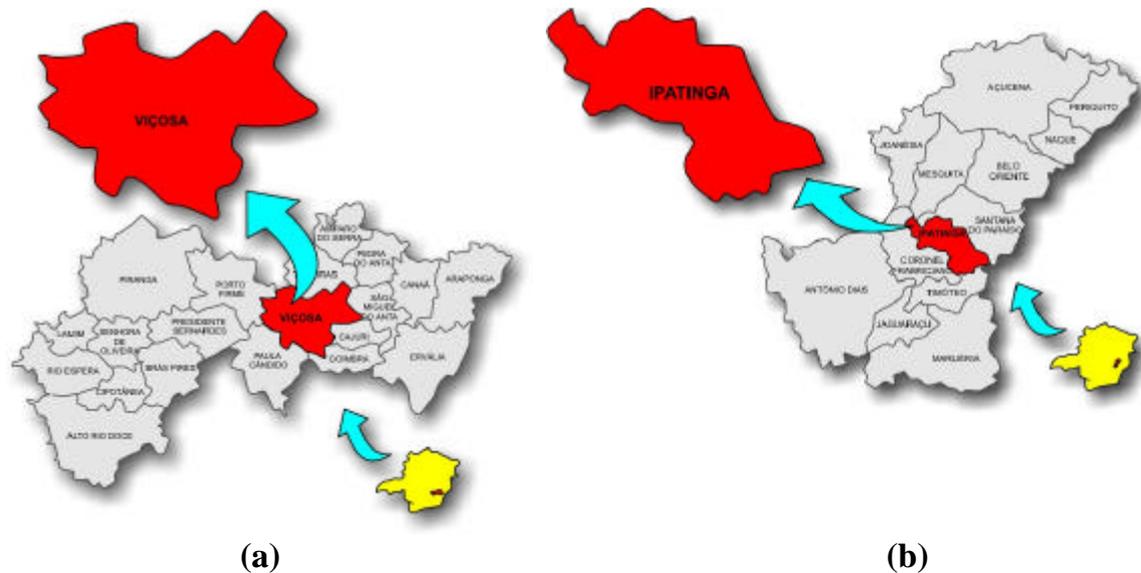


FIGURA 7 – Localização geográfica da área de coleta das amostras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. a) microrregião de Viçosa; b) microrregião de Ipatinga

3.3. Local da Coleta

1. Fazenda NUPEÁRIDO – Patos-PB.
2. Fazenda Lameirão – Santa Terezinha-PB.
3. Fazenda Caicu – São José de Espinharas-PB.
4. Área experimental da Silvicultura – UFV – Viçosa-MG.
5. Cenibra – Belo Oriente-MG.
6. Área experimental da UFV – (Cachoeirinha) Viçosa-MG.

3.4. Amostragem

Foram tomadas aleatoriamente nove árvores por espécie que apresentavam boa fitossanidade, sendo três árvores por espécie, em três localidades diferentes; as espécies de ocorrência no semi-árido nordestino foram coletadas na microrregião de Patos-PB, locais 1, 2 e 3 de povoaamentos nativos. As amostras de *Eucalyptus grandis* foram coletadas em Viçosa, na área experimental da Silvicultura – UFV, em povoaamentos com 6 anos de idade e espaçamento 2 x 2 m e na área experimental de Cachoeirinha, com aproximadamente 5 anos de idade e

espaçamento 2 x 2 m. As amostras provenientes da CENIBRA eram de clones de *Eucalyptus grandis* com 5 anos de idade, e foram plantadas em espaçamento 2 x 2 m.

De cada árvore foram retirados toretes de 30 cm de altura a 0 (base), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco, considerada até 5 cm de diâmetro, e medidos os diâmetros com e sem casca nessas posições, para o cálculo do volume de madeira e de casca. Estas amostras foram corretamente identificadas e transportadas para o Laboratório de Painéis e Energia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, onde foram realizados os estudos.

Na porção mediana de cada torete foi retido um disco de 2,5 cm de espessura, que foi subdividido em quatro partes, em forma de cunha, passando pela medula. A primeira parte foi destinada às análises químicas e anatômicas; e a segunda destinada à determinação da densidade básica; a terceira destinada à carbonização; e a quarta parte reservada para necessidades posteriores.

As árvores estudadas foram codificadas de acordo com o seguinte esquema: número referente à espécie, ao local e à repetição (exemplo: 1.1.1, espécie número 1, local 1 e árvore 1)

3.5. Análises da Madeira

3.5.1. Densidade Básica

A densidade básica foi determinada de acordo com o método de imersão em água, conforme descrito por VITAL (1984).

3.5.2. Análise Química

Após a secagem ao ar, as amostras destinadas às análises químicas foram transformadas em serragem em moinho tipo Wiley, conforme a norma TAPPI T 257 om-92 (1992). As análises foram efetuadas na fração de serragem, classificadas em peneiras de 40/60 mesh (ASTM) e condicionadas a uma umidade relativa de $65 \pm 2\%$ e temperatura de 20 °C. Em seguida, elas foram armazenadas

em frascos de vidro. A determinação do teor absolutamente seco foi realizado de acordo com a norma TAPPI 264 om-88 (1992).

A análise química da madeira foi realizada em duplicata para cada árvore. Foram feitas determinações quantitativas da solubilidade em álcool/tolueno, da lignina, e das cinzas, e o teor de holocelulose foi estimada por diferença.

3.5.2.1. Solubilidade em Álcool/Tolueno

A solubilidade da madeira em álcool/tolueno foi efetuada segundo a norma TAPPI 264 om-88 (1992), com a substituição do benzeno por tolueno.

3.5.2.2. Teor de Lignina

O teor de lignina foi determinado pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por GOMIDE e DEMUNER (1986).

Do filtrado restante da análise da lignina Klason fez-se a leitura em espectrofotômetro, para determinação da lignina solúvel em ácido, conforme GOLDSCHIMID (1971).

O teor de lignina total é a soma da lignina residual mais a lignina solúvel em ácido.

3.5.2.3. Teor de Cinzas

A determinação do teor de cinzas ou minerais da madeira foi efetuada segundo a Norma ABTCP M-11/77 (1974).

3.5.3. Análises Termogravimétrica e Calorimetria Diferencial Exploratória

Foram feitas análises da degradação térmica da madeira das espécies em estudo.

Para as análises termogravimétricas, as amostras foram transformadas em serragem, tendo sido utilizada somente a fração de granulometria de 35/60 mesh, que foi, então, seca em estufa a 103 ± 2 °C, por 24 horas.

As curvas termogravimétricas foram obtidas em uma termobalança, marca SHIMADZU TGA-50 (Figura 8a), em atmosfera de nitrogênio com vazão

constante de 30 ml/min, utilizando-se uma célula de alumínio e uma taxa de aquecimento de 20 °C/min. Foram usadas aproximadamente 10 mg de serragem, e procedeu-se à varredura de temperatura até 600 °C.

Para a análise de calorimetria diferencial exploratória, as amostras foram transformadas em serragem, tendo sido utilizada somente a fração de granulometria que passou na peneira de 200 mesh, que foi, então seca em estufa a 103 ± 2 °C, por 24 horas.

Os termogramas de DSC foram obtidos em um calorímetro exploratório diferencial, SHIMADZU DSC-50 (Figura 8b), em atmosfera de nitrogênio com vazão constante de 30 ml/min, utilizando-se uma célula de aço-inoxidável. Foi usado aproximadamente 1,5 mg de serragem, e procedeu-se à varredura da temperatura até 600 °C, tendo sido utilizadas três taxas de aquecimento: 15, 20 e 25 °C/min. A obtenção dos dados foram feitas através do modelo cinético de Ozawa, pelo programa contido no próprio aparelho. Para obtenção dos picos exotérmicos e entalpia, foi utilizada a taxa de aquecimento de 20 °C/min, e para obtenção da energia de ativação e ordem de reação foram utilizadas as curvas com as três taxas de aquecimento.

3.5.4. Poder Calorífico

O poder calorífico superior foi determinado por meio de calorímetro adiabático (Figura 9), de acordo com a Norma ABNT NBR 8633 (1983).

3.5.5. Análise Anatômica

3.5.5.1. Coleta e Preparo das Amostras para Estudos Anatômicos

Para caracterização anatômica das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, foram utilizadas lâminas contendo os cortes histológicos: transversal, tangencial e radial. As lâminas das três espécies de ocorrência no semi-árido nordestino foram cedidas por SILVA (1988). As lâminas de *Eucalyptus grandis* foram cedidas por SILVA (2002).



a) Balança termogravimétrica – SHIMADZU TGA-50.



b) Calorímetro exploratório diferencial – SHIMADZU DSC-50.

FIGURA 8 – Aparelhos de análises térmicas.



FIGURA 9 – Calorímetro adiabático.

As descrições das estruturas anatômicas foram feitas em um microscópio ótico (cortes transversais na objetiva de 70X e cortes radiais e tangenciais na objetiva de 500X) acoplado a um projetor, que gera imagem que é capturada e analisada por um programa Pro-Imagem 3.2. Para descrição anatômica adotou-se a terminologia constante na literatura (IAWA, 1989; IBAMA, 1992).

Para determinação das dimensões das fibras e dos elementos vasculares, foram confeccionados palitos do material restante dos discos, e estes foram tratados com solução macerante, de acordo com o método nítrico – acético 1:5

(RAMALHO, 1987), para individualização dos elementos anatômicos, dos quais foram montadas lâminas e mensurados estes elementos. As medições das dimensões das fibras e dos elementos vasculares foram feitas em um microscópio ótico acoplado a um projetor, que gera imagem que é capturada e analisada por um programa Pro-Imagem 3.2. Foram medidos o comprimento (objetiva 70X), a largura e o diâmetro de lúmen das fibras (objetiva 1000X), num total de 100 fibras por árvore. A espessura média das paredes das fibras foram obtidas como sendo a metade da diferença da largura da fibra.

3.6. Carbonização

As amostras destinadas à carbonização foram transformadas em cavacos, em picador industrial, e secas ao ar livre. Em seguida, elas foram homogeneizadas e levadas à estufa a 105 ± 3 °C, por 24 horas.

Os cavacos foram colocados em cadinho metálico (Figura 10a) com capacidade de aproximadamente 220 g, aquecido em forno elétrico, com controle de temperatura (Figura 10b). O controle de aquecimento foi manual, de acordo com a seguinte marcha:

150 °C	por 1 hora.
200 °C	por 1 hora.
250 °C	por 1h30
350 °C	por 1h30
450 °C	30 minutos

Foram carbonizados aproximadamente 200 g de cavacos em um tempo total de 5h30, com duas repetições por amostra, totalizando 18 carbonizações por espécie. Os gases gerados foram conduzidos para um condensador tubular, com recolhimento do líquido pirolenhoso (Figura 11).

3.7. Rendimento Gravimétrico

Após a carbonização, o rendimento gravimétrico foi determinado, dividindo-se o peso do carvão seco produzido pelo peso da madeira seca.



FIGURA 10 – a) Cadinho utilizado para carbonizar as amostras e b) mufla de laboratório.



FIGURA 11 – Equipamento utilizado para carbonização, com sistema coletor de líquido pirolenhoso.

3.8. Análise do Carvão

As análises do carvão foram realizadas em duplicatas, onde foram realizadas análises químicas imediatas, determinação do rendimento em carbono fixo, determinação da densidade verdadeira, densidade aparente e porosidade

3.8.1. Análise Química Imediata

A composição química imediata foi feita de acordo com a Norma ABNT NBR 8112 (1983), com determinações de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo, em base seca. O rendimento em carbono fixo foi obtido pelo produto entre teor de carbono fixo e rendimento gravimétrico da carbonização.

3.8.2. Densidade do Carvão

As densidades verdadeira e aparente do carvão foram calculadas de acordo com as ASTM-D-167-73, adaptadas por OLIVEIRA et al. (1982).

3.8.3. Poder Calorífico Superior

O poder calorífico superior foi determinado por meio de um calorímetro adiabático, conforme a Norma ABNT NBR 8633 (1983).

3.8.4. Rendimento em Produto Condensado

Foi determinado o rendimento em líquido pirolenhoso obtido em relação ao peso de madeira seca carbonizada.

3.9. Informações dendrométricas

A avaliação das características de crescimento foi feita por meio da obtenção do diâmetro à altura do peito (DAP), da altura total e do volume com casca e sem casca.

O volume individual de cada árvore, com casca e sem casca, foi obtido por meio da aplicação sucessiva da fórmula de Smalian.

3.10. Análise dos Resultados

A amostragem foi inteiramente casualizada. Foram coletadas três espécies da região semi-árida do Nordeste, *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora* e *Aspidosperma pyrifolium*, e o *Eucalyptus grandis*, na região de Viçosa e

Belo Oriente, no Estado de Minas Gerais, sendo nove árvores por espécie de três localidades diferentes, tendo sido analisadas as características de qualidade da madeira e do carvão oriundo destas.

As espécies foram agrupadas e avaliadas através de análises univariadas (ANOVA e teste de média - teste de Tukey) e de análises multivariadas, empregando o método de otimização de Tocher, com base na distância euclidiana média pondronizada, os componentes principais e as análises discriminantes (CRUZ e CARNEIRO, 2003).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características das Espécies Estudadas

4.1.1. *Croton sonderianus*, Müll. Arg. – Marmeleiro

O *Croton sonderianus* (Figura 12) é uma espécie da família das Euforbiáceas. A sua grande resistência à seca e a capacidade de rebrotar intensamente na época das chuvas, mesmo que tenha sido cortado pelo homem, permitiram que o marmeleiro se difundisse por quase toda a área das caatingas, com exceção apenas dos espaços extremamente secos (CORRÊA, 1984; LIMA, 1989).

O marmeleiro predomina à margem das estradas, formando comunidades secundárias quase puras, porém íntegra, igualmente, as formações naturais arbustivas ou mesmo arbóreas, onde tem porte ereto, pouco ramificado, chegando a atingir 6 a 8 m de altura. Nas comunidades à margem da estrada, pelo sucessivo corte que lhe é imposto nos serviços de conservação das rodovias, assume porte arbustivo, cespitoso, e raramente vai além de 3 metros. A casca, nos indivíduos adultos, tem cor castanho claro, e é um pouco áspera. Os ramos são castanho-claros, e acinzentados (LIMA, 1989).

É uma planta do marmeleiro de perfume agradável, devido ao óleo essencial que produz, cujas propriedades são idênticas às do óleo combustível

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características das Espécies Estudadas

4.1.1. *Croton sonderianus*, Müll. Arg. – Marmeleiro

O *Croton sonderianus* (Figura 12) é uma espécie da família das Euforbiáceas. A sua grande resistência à seca e a capacidade de rebrotar intensamente na época das chuvas, mesmo que tenha sido cortado pelo homem, permitiram que o marmeleiro se difundisse por quase toda a área das caatingas, com exceção apenas dos espaços extremamente secos (CORRÊA, 1984; LIMA, 1989).

O marmeleiro predomina à margem das estradas, formando comunidades secundárias quase puras, porém íntegra, igualmente, as formações naturais arbustivas ou mesmo arbóreas, onde tem porte ereto, pouco ramificado, chegando a atingir 6 a 8 m de altura. Nas comunidades à margem da estrada, pelo sucessivo corte que lhe é imposto nos serviços de conservação das rodovias, assume porte arbustivo, cespitoso, e raramente vai além de 3 metros. A casca, nos indivíduos adultos, tem cor castanho claro, e é um pouco áspera. Os ramos são castanho-claros, e acinzentados (LIMA, 1989).

É uma planta do marmeleiro de perfume agradável, devido ao óleo essencial que produz, cujas propriedades são idênticas às do óleo combustível

derivado do petróleo. Portanto, sua grande importância potencial está na sua disponibilidade de material energético renovável. Além disto, o marmeleiro tem sido empregado como varas para cercas (LIMA, 1989).

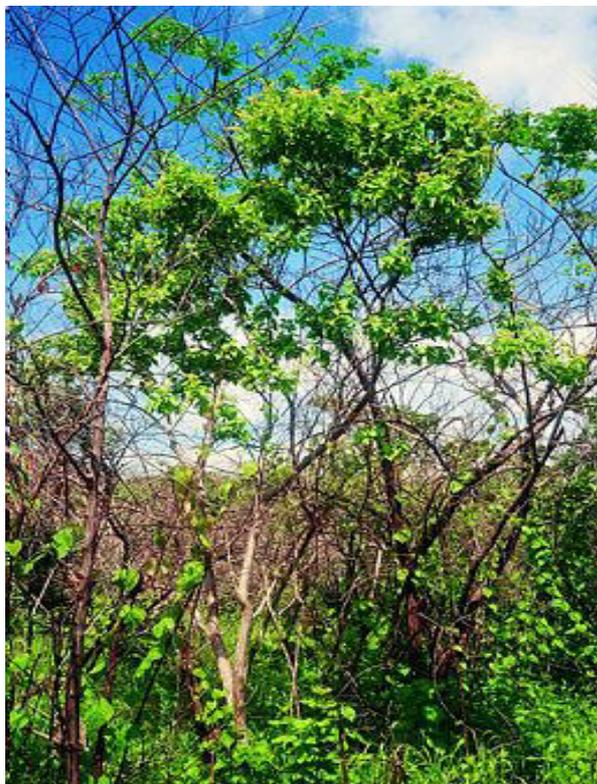
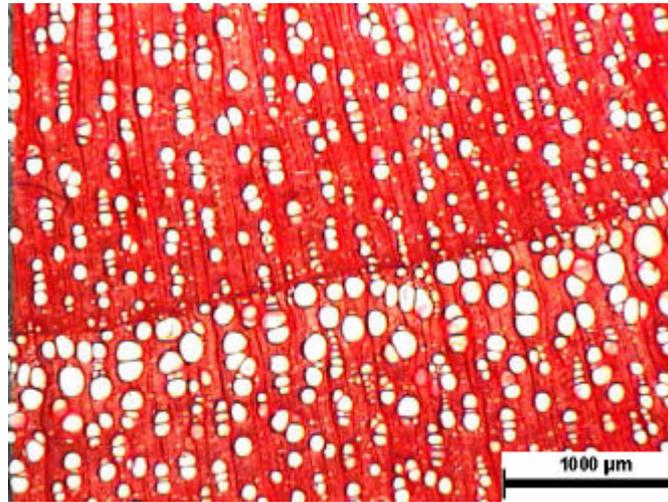


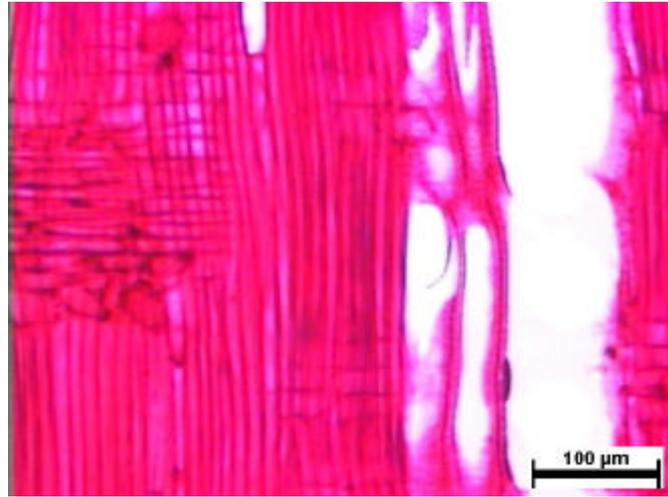
FIGURA 12 – *Croton sonderianus*.

Apresenta características anatômicas, que podem ser observadas na Figura 13:

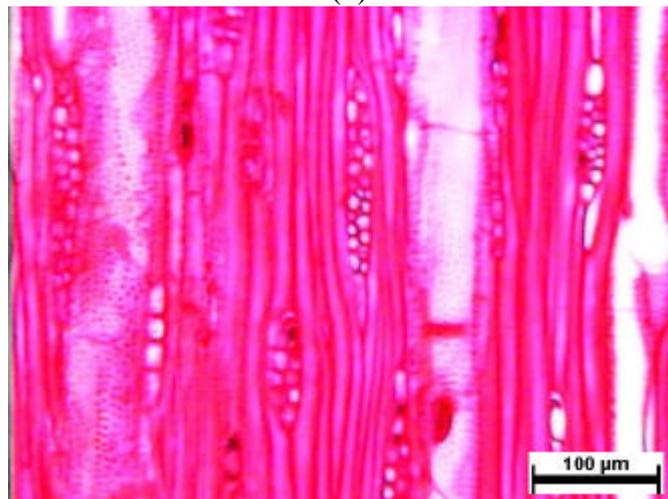
Vasos: poros predominantemente solitários, ocorrendo também geminados e múltiplos em agrupamento radial de 2 a 6 poros, diâmetro médio de 114,41 μm , variando de 23 a 165,49 μm ; em média 45,37 poros/ mm^2 , distribuídos em porosidade em anel semi-circular; seção transversal circular nos poros solitários, tilos presentes, elementos vasculares, muito curtos 300 μm de comprimento médio, variando de 248 a 374 μm , largura média de 89 μm , variando de 71 a 103 μm , com apêndice curto presente em uma ou duas extremidades, com placa de perfuração simples, pontoações intervascular, areoladas com abertura inclusa.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 13 – *Croton sonderianus*. a) corte transversal (70X), b) corte radial e c) corte tangencial (500X).

Parênquima axial: varia de paratraqueal escasso a apotraqueal difuso, com células retangulares de maior dimensão no sentido vertical. Presença de cristais de oxalato de cálcio.

Raios: predominam os multisseriados de 3 a 4 células de largura, os bisseriados e, menos freqüentemente, os unisseriados; muito finos, com 11,70 µm de largura média, variando de 4,10 a 20,14 µm, extremamente baixos, 0,10 mm de altura média, variando de 0,04 a 0,20 mm, homogêneos, formados por células procumbentes (horizontais), pouco numeroso, de 3,4 a 6,8 por mm.

Fibras: de paredes espessas, 4,04 µm de espessura média, variando de 3,71 a 4,59 µm; muito curtas, 0,63 mm de comprimento médio, variando de 0,53 a 0,72 mm; com 17,13 µm de largura média, variando de 15,84 a 18,90 µm.

4.1.2. *Mimosa tenuiflora* (Will.) Poir . – Jurema Preta

A *Mimosa tenuiflora* é uma espécie da família Leguminosae-Mimosoideae (Figura 14).

É uma planta muito espinhenta, de 4-6 m de altura, dotada de copa rala e irregular, de ramos novos, com pêlos viscosos. Tronco levemente inclinado, de até 20-30 cm de diâmetro, revestido por casca grosseira. Ocorre no Nordeste, do Ceará até a Bahia (vale do São Francisco), na caatinga (LORENZI, 1998).



FIGURA 14 – *Mimosa tenuiflora*.

Madeira de textura média, grã-direita, de alta resistência mecânica e grande durabilidade natural. Empregada apenas localmente para obras externas, como moirões, estacas e pontes, para pequenas construções, rodas, móveis rústicos, bem como para lenha e carvão. As flores são apícolas. Planta pioneira e rústica, é indicada para composição de reflorestamentos heterogêneos com fins preservacionistas (LORENZI, 1998).

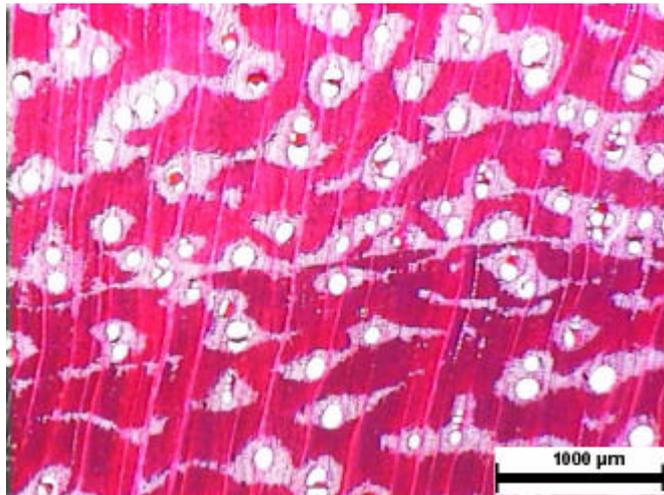
Na Figura 15, podem ser observadas as seguintes características:

Vasos: Poros predominantemente solitários, ocorrendo também geminados e múltiplos em agrupamento radial de dois a seis poros, raramente racemiforme, cujo diâmetro foi de 121,96 μm ; variando de 30 a 155 μm ; em média 8 poros/ mm^2 , distribuídos em porosidade difusa uniforme; seção transversal circular no poros solitários; tilos esclerosados presentes; elementos vasculares muitos curtos, 238 μm de comprimento médio, variando de 219 a 267 μm , cuja largura média foi de 126 μm em média, variando de 108 a 136 μm , com apêndice curto presente em uma ou duas extremidades; e com placa de perfuração simples, pontoações intervascular oposta, areoladas, com abertura inclusa.

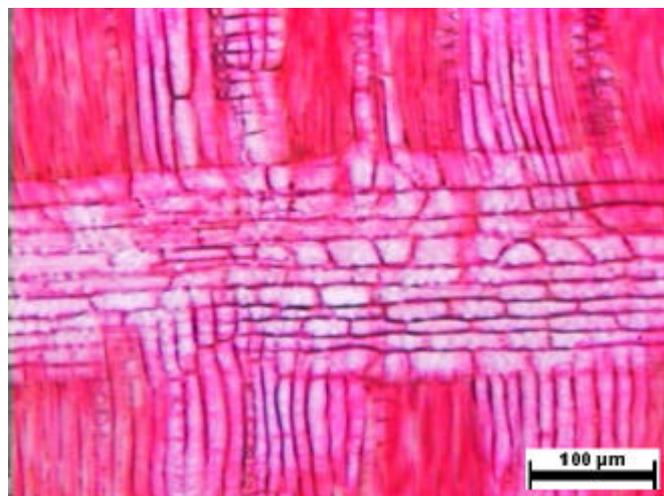
Parênquima axial: Paratraqueal vasicêntrico, vasicêntrico confluyente, aliforme e aliforme confluyente, com células retangulares de maior dimensão no sentido vertical. Presença de cristais de oxalato de cálcio.

Raios: predominam os multisseriados de três a quatro células de largura, os bisseriados e, menos freqüentemente, os unisseriados; muito finos, com 14,15 μm média, variando de 6,16 a 29 μm , extremamente baixos em média 0,10 mm de altura média, variando de 0,03 mm a 0,29 mm de altura, heterogêneos, formados por células procumbentes (horizontais) e quadradas, pouco numerosos, de 4 a 8 raios por milímetro.

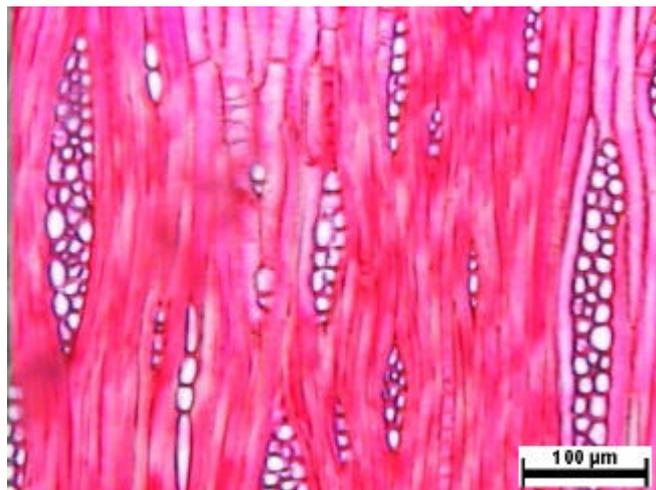
Fibras: de paredes espessas 5,32 μm de espessura média, variando de 4,74 a 5,83 μm , muito curtas, 0,75 mm de comprimento médio, variando de 0,64 a 0,79 mm; com 16,43 mm de largura média, variando de 15,38 a 17,73 μm .



(a)



(b)



(c)

FIGURA 15 – *Mimosa tenuiflora*. a) corte transversal (70X), b) corte radial e c) corte tangencial (500X).

4.1.3. *Aspidosperma pyrifolium* Mart. – Pereiro

A *Aspidosperma pyrifolium* é uma espécie da família Apocynaceae (Figura 16).

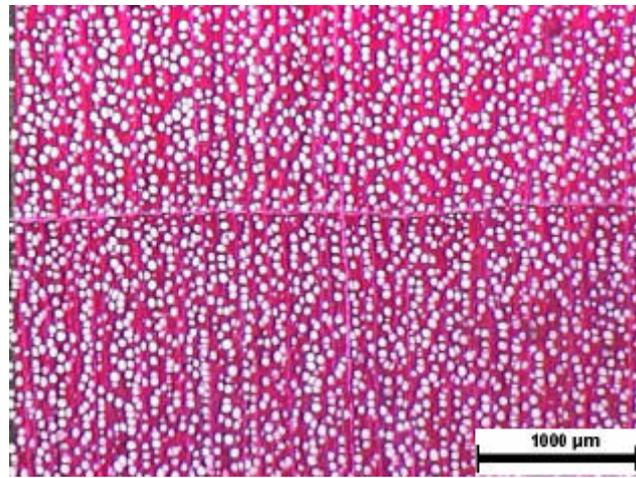
É uma planta lactecente, de altura muito variável, dependendo da região de ocorrência, podendo apresentar-se na forma arbustiva em algumas regiões da caatinga mais seca (Paraíba), até uma árvore de 7-8 m na caatinga arbórea. Em algumas áreas mais secas, como na região dos Cariris Velhos (PB), apresenta-se com a copa larga de ramos baixos quase encostando no solo. Ocorre nos Estados do Nordeste até a Bahia; no norte de Minas Gerais, na caatinga; e no Pantanal Matogrossense, nas áreas de chaco (LORENZI, 1998).

Madeira moderadamente pesada, macia e fácil de trabalhar, textura fina e uniforme, resistente e muito durável. A madeira é empregada na confecção de móveis, embora venha a lascar com facilidade. É também empregada no fabrico de tacos e lambris. A pequena dimensão limita seu uso na construção civil. A árvore, pelo pequeno porte e pela beleza de sua copa piramidal, pode ser empregada no paisagismo em geral, inclusive na arborização urbana (LORENZI, 1998).

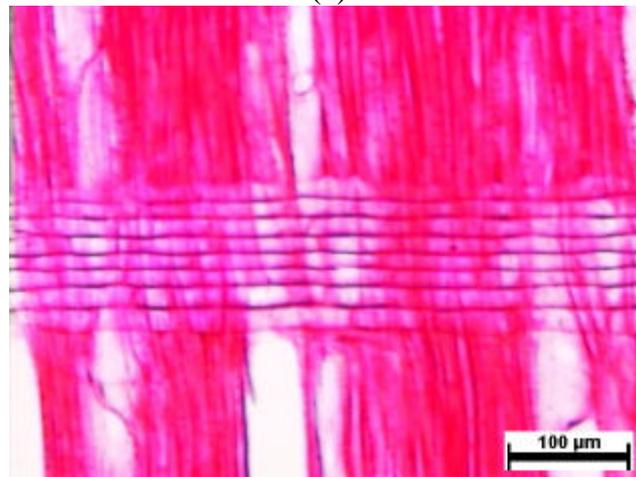


FIGURA 16 – *Aspidosperma pyrifolium*.

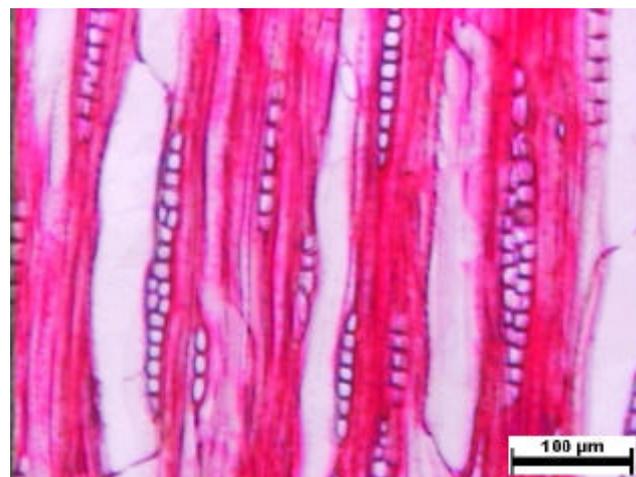
Na Figura 17, podem ser observadas as seguintes características anatômicas:



(a)



(b)



(c)

FIGURA 17 – *Aspidosperma pyrifolium*. a) corte transversal (70X), b) corte radial e c) corte tangencial (500X).

Vasos: poros predominantemente solitários, ocorrendo também geminados e múltiplos em agrupamento radial, de tamanho muito pequeno, diâmetro médio de 45,34 μm , variando de 23,58 a 75,78 μm , em média 168 poros/ mm^2 , distribuídos em porosidade difusa uniforme, seção transversal poligonal a circular, às vezes oval, tilos ausentes; elementos vasculares longos, 527 μm de comprimento médio, variando de 457 a 557 μm ; largura média de 66 μm , variando de 61 a 72 μm , com apêndice curto presente nas duas extremidades e muito raramente em apenas uma extremidade, placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas, areoladas, com abertura inclusa ovalada. Pontoações parênquimo-vascular e rádio-vascular semelhantes as intervasculares.

Parênquima: apotraqueal em faixas e difuso, com células retangulares de maior dimensão no sentido vertical

Raios: predominam os unisseriados, muito raramente com duas células, um a três pares; extremamente finos, com 11,61 μm de largura média, variando de 7,61 a 17,89 μm . Extremamente baixos, com 0,11 mm de altura média, variando de 0,03 a 0,29 mm; raios homogêneos, formados por células procumbentes, pouco numerosas em média 7 raios/mm.

Fibras: de paredes com 6,27 μm de espessura média, variando de 5,82 a 6,48 μm , muito curtas, com 0,93 mm de comprimento médio, variando de 0,92 a 1,16 mm.

4.1.4. *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. – Eucalipto

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae (RIZZINI, 1981), compreendendo 70 gêneros e 3.000 espécies de arbustos e árvores. A madeira dessas espécies é, na maioria das vezes, dura, pesada, resistente, com textura fina e baixa estabilidade dimensional. O gênero *Eucalyptus* é representado por árvores com alta taxa de crescimento, plasticidade, forma retilínea do fuste, desrama natural e madeira com variações nas propriedades tecnológicas, adaptadas às mais variadas condições de uso. É amplamente plantado no Brasil, para produção de madeira para diversas finalidades, em função do seu rápido crescimento, da boa adaptação ecológica e da boa qualidade da madeira. O *Eucalyptus saligna*, juntamente com outras como o *Eucalyptus grandis*

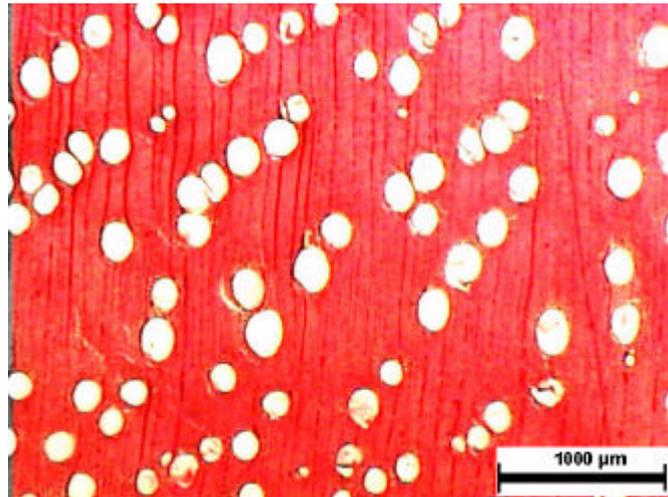
(Figura 18) e o *Eucalyptus urophylla*, é uma das espécies mais estudadas. São espécies que, de modo geral, apresentam características satisfatórias para emprego em diversos fins, principalmente para a indústria de celulose/papel, chapas de fibra e uso energético. Segundo HILLIS (2000), a madeira de eucalipto apresenta consideráveis vantagens sobre a madeira de coníferas, devido à melhor aparência, maior resistência e rigidez para usos estruturais, além de extrema plasticidade do gênero.



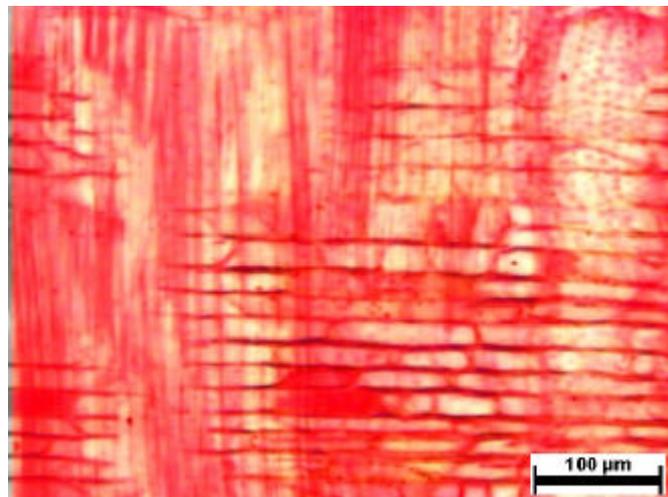
FIGURA 18 – *Eucalyptus grandis*.

Conforme pode ser observado na Figura 19, o *Eucalyptus grandis* apresenta as seguintes características:

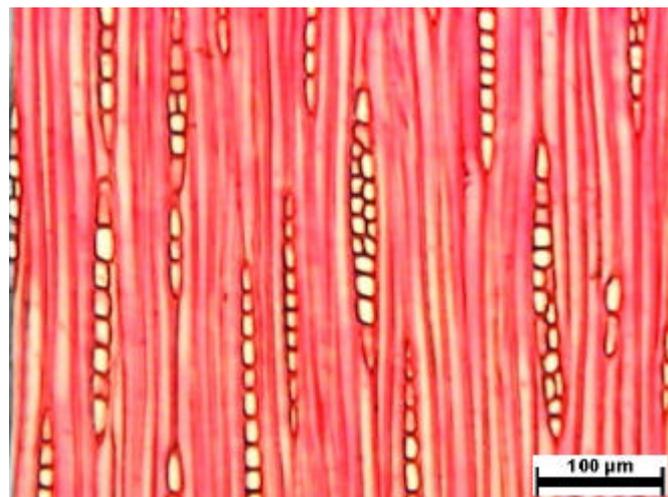
Vasos: poros predominantemente solitários, ocorrendo também geminados e múltiplos em grupamento radial de 2 a 3 poros, diâmetro médio de 178,66 μm , variando de 21,85 a 224,71 μm , em média 6 poros/ mm^2 , distribuídos em porosidade difusa, seção transversal ovalada à circular, tilos presentes, elementos vasculares curtos 392 μm de comprimento médio, variando de 355 a 475 μm , com uma largura média de 193 μm , variando de 178 a 210 μm , com placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas, areoladas, de forma oval à circular, pontoações raio-vasculares semelhantes às intervasculares e outras simples.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 19 – *Eucalyptus grandis*. a) corte transversal (70X), b) corte radial e c) corte tangencial (500X).

Parênquima axial: variável de paratraqueal escasso a paratraqueal vasicêntrico, pouco abundante, com presença de cristais.

Raios: predominam os unisseriados, ocorrendo também os bisseriados, com 12,62 μm de largura média, variando de 8,13 a 22,71 μm ; altura média de 0,16 mm, variando de 0,04 a 0,34 mm; homogêneos, formados por células procumbentes, pouco numerosos, 7 raios/mm, variando de 5 a 10 raios/mm. Presença de cristais.

Fibras: paredes com 4,27 μm de espessura média, variando de 3,87 a 4,52 μm ; curtas com 1,02 mm de comprimento médio, variando de 0,95 a 1,05 mm, e largura média de 19,48 μm , variando de 17,83 a 20,42 μm .

Na Figura 1A, podem ser observados detalhes dos cortes transversais na objetiva de 500X para as espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e o *Eucalyptus grandis*.

4.2. Análises da Madeira

4.2.1. Análise das Características Dendrométricas

Os valores médios para as características dendrométricas: diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, volume, densidade básica média (DBM) e massa, dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, encontram-se no Quadro 2, e os resultados das análises de variâncias individuais e do teste de F, para as características dendrométricas, no Quadro 3. Constatou-se que houve diferença significativa ($P < 0,01$) para todas as características, indicando dissimilaridade entre as espécies. Os coeficientes de variação relativos ao DAP, à altura total e à DBM apresentaram valores baixos (19,23; 15,34; e 4,20%, respectivamente), de acordo com GOMES (1990), que classifica com baixos valores inferiores a 30%, enquanto o volume e a massa apresentaram valor médio de 41,21 e 37,02% respectivamente.

QUADRO 2 – Valores médios das características dendrométricas dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

Espécie	Amostra Nº	Indivíduo	DAP	Altura Total	Volume	DBM	Massa
<i>Croton sonderianus</i>	1.1.1	1	5,10	5,20	0,0066	687,60	4,51
	1.1.2	2	6,85	4,90	0,0085	684,96	5,84
	1.1.3	3	5,89	4,60	0,0056	715,81	4,03
	1.2.1	4	9,71	7,50	0,0180	672,57	12,13
	1.2.2	5	6,53	7,40	0,0125	685,81	8,57
	1.2.3	6	7,48	6,90	0,0149	684,62	10,17
	1.3.1	7	7,17	6,50	0,0159	677,93	10,77
	1.3.2	8	6,53	6,70	0,0102	670,02	6,82
	1.3.3	9	5,89	6,10	0,0091	674,97	6,15
<i>Mimosa tenuiflora</i>	2.1.1	10	6,53	6,30	0,0092	940,77	8,67
	2.1.2	11	7,80	5,97	0,0132	906,37	11,99
	2.1.3	12	6,53	6,30	0,0092	957,18	8,82
	2.2.1	13	11,78	8,40	0,0287	916,64	26,31
	2.2.2	14	8,28	6,50	0,0127	910,38	11,54
	2.2.3	15	7,80	6,60	0,0157	895,13	14,08
	2.3.1	16	9,08	6,50	0,0227	996,38	22,65
	2.3.2	17	11,47	6,80	0,0211	933,88	19,68
	2.3.3	18	12,74	7,00	0,0236	908,49	21,40
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	3.1.1	19	9,08	4,60	0,0161	790,82	12,75
	3.1.2	20	6,05	4,70	0,0074	810,65	5,99
	3.1.3	21	5,89	5,00	0,0116	870,78	9,41
	3.2.1	22	11,94	5,90	0,0394	830,41	32,71
	3.2.2	23	6,05	5,70	0,0104	821,84	8,51
	3.2.3	24	8,12	5,90	0,0222	786,87	17,46
	3.3.1	25	8,54	5,80	0,0190	835,70	15,88
	3.3.2	26	11,31	6,50	0,0318	796,16	25,33
	3.3.3	27	11,62	5,70	0,0284	775,75	22,02
<i>Eucalyptus grandis</i>	4.4.1	28	15,92	24,00	0,2087	566,42	118,22
	4.4.2	29	15,92	25,64	0,2552	521,11	132,96
	4.4.3	30	15,92	23,25	0,2150	502,69	108,06
	4.5.1	31	13,54	22,16	0,1375	512,72	70,52
	4.5.2	32	13,69	20,10	0,1160	599,71	69,55
	4.5.3	33	13,38	22,40	0,1543	518,10	79,96
	4.6.1	34	14,97	17,00	0,1429	574,31	82,06
	4.6.2	35	16,24	19,90	0,1878	617,42	115,98
	4.6.3	36	14,97	19,00	0,1701	591,50	100,59

DAP = diâmetro à altura do peito (cm), altura total (m), volume (m³), DB = densidade básica (kg/m³) e massa (kg).

As comparações entre as médias das características dendrométricas para as espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, empregando o teste de Tukey (P < 0,05), estão apresentadas no Quadro 4.

QUADRO 3 – Resumos das análises de variâncias para diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, volume, densidade básica média (DBM) e massa dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

FV	GL	Quadrados Médios				
		DAP	Altura	Volume	DBM	Massa
Tratamento	3	111,3924**	532,0532**	0,0577**	234441,7114**	16050,1763**
Resíduo	32	3,6212	2,3453	0,0005	980,9211	163,1099
Máximo		16,24	25,64	0,255	996,38	132,96
Mínimo		5,09	4,60	0,006	502,69	4,03
CV(%)		19,23	15,34	41,21	4,20	37,02

** F significativo a de 1% de probabilidade.

QUADRO 4 – Comparações entre médias de diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, volume, DBM (densidade básica média) e massa dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

Espécies	DAP (cm)	Altura Total (m)	Volume (cm ³)	DBM (g/cm ³)	Massa (g)
<i>Croton sonderianus</i>	6,79 b	6,20 b	0,011 b	683,81 c	7,67 b
<i>Mimosa tenuiflora</i>	9,11 b	6,71 b	0,017 b	929,47 a	16,13 b
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	8,73 b	5,53 b	0,021 b	813,22 b	16,67 b
<i>Eucalyptus grandis</i>	14,95 a	21,49 a	0,176 a	556,00 d	97,54 a

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P < 0,05).

O agrupamento dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis* pelo método de otimização de Tocher, utilizando-se a distância euclidiana como medida de dissimilaridade, está no Quadro 5, no qual foi constatada a formação de cinco grupos. Pode-se observar que pelo método de agrupamento utilizado que alguns indivíduos como o 34, 29, 4 e 16 separou-se dos demais, constituindo os grupos IX, X, XI e XII. O grupo I apresentou mistura de indivíduos da espécie *Mimosa tenuiflora* e *Aspidosperma pyrifolium*, ficando os indivíduos da espécie *Croton sonderianus* no grupo II e o indivíduo 4 no grupo XI e os indivíduos da espécie

Mimosa tenuiflora, constituíram os grupos I, V e XII, e os da espécie *Aspidosperma pyrifolium*, os grupos I, III e VI e a espécie *Eucalyptus grandis* nos grupos IV e VII, VIII, IX e X. Portanto com base nas características dendrométricas, constatou-se a dissimilaridade entre as espécies em estudo e entre indivíduos de mesma espécie, devido à formação de m grande número de grupos.

QUADRO 5 – Agrupamento dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, tendo como base as características dendrométricas, utilizando a distância euclidiana média e o método de otimização de Tocher

Grupo	Indivíduos
I	10 12 14 11 15 21 25 23 20
II	6 7 5 8 2 9 3 1
III	26 27 22
IV	31 33 32
V	13 17 18
VI	19 24
VII	28 30
VIII	35 36
IX	34
X	29
XI	4
XII	16

Os resultados referentes à análise de componentes principais, para as características dendrométricas, estão apresentados no Quadro 6. Segundo CRUZ e CARNEIRO (2003), o estudo da dissimilaridade por meio da dispersão gráfica dos escores gerados pelos componentes principais, em espaço bidimensional, é aceitável quando a variância total está acima de 80%. Observou-se que o primeiro componente principal (CP1) apresentou variância de 86,17%. Portanto, pela dispersão gráfica dos escores (Figura 20), utilizando os dois primeiros componentes principais, que apresentam variância acumulada de 96,65% da variação total, observa-se concordância com o agrupamento realizado pelo método de Tocher, o que confirma a dissimilaridade entre as espécies estudadas,

tendo o *Eucalyptus grandis* apresentado a maior dissimilaridade em relação às outras espécies. Pode-se, também, verificar que há maior dispersão entre os indivíduos desta espécie.

QUADRO 6 – Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) das características dendrométricas dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

Componente principal	Variância (autovalor)	Variância (%)	Variância acumulada (%)	Coeficiente de ponderação (autovetores)				
				DAP	Altura total	Volume	DBM	Massa
CP1	4,3086	86,17	86,17	0,4312	0,4714	0,4760	-0,3755	0,4735
CP2	0,5240	10,48	96,65	0,4983	-0,0238	0,0660	0,8463	0,1747
CP3	0,1246	2,49	99,14	0,7391	-0,3747	-0,3403	-0,3677	-0,2496
CP4	0,0394	0,79	99,93	0,1165	0,7930	-0,3601	0,0790	-0,4709
CP5	0,0033	0,07	100,00	-0,0764	0,0896	-0,7236	-0,0362	0,6792

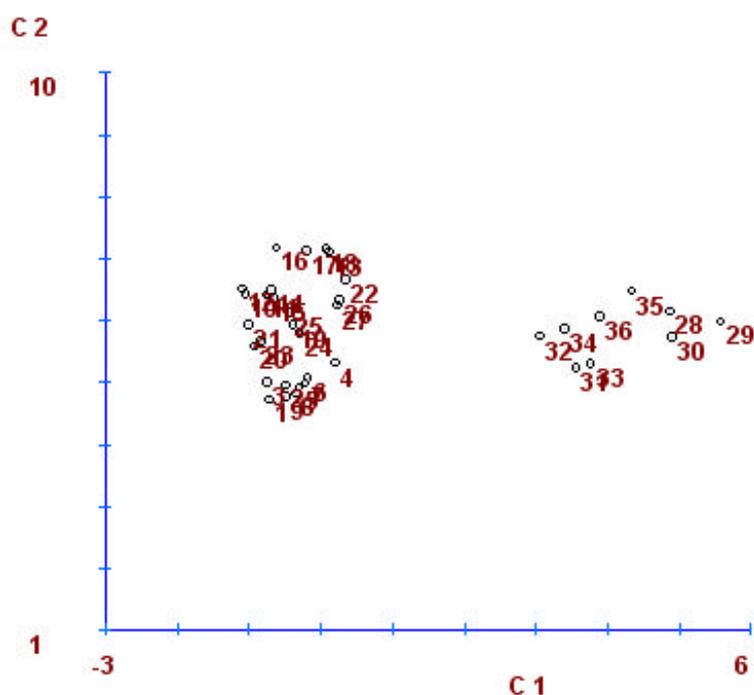


FIGURA 20 – Dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de componentes principais, tendo como base as características dendrométricas.

As espécies do semi-árido nordestino apresentaram maior similaridade entre os indivíduos de mesma espécie e dissimilaridade entre si, apresentando maior dissimilaridade em relação ao *Eucalyptus grandis*.

As características de maiores valores associados aos últimos vetores dos componentes principais são as que menos contribuem para a dissimilaridade entre as espécies, portanto o volume e a altura são as variáveis de menor relevância. São consideradas de maior importância, as variáveis de maiores pesos nos primeiros autovetores, quando estas variáveis concentram uma variância acumulada de no mínimo 80% (CRUZ e CARNEIRO, 2003). O volume e a DBM foram, então as características que mais contribuíram para a dissimilaridade entre as espécies, com uma variância acumulada de 96,65%, questionando-se a validade do descarte da variável volume.

No Quadro 7 encontram-se os resultados dos agrupamentos e as médias das características dendrométricas dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, onde se nota que o isolamento do indivíduo 34, 29, 4 e 16, se deve ao fato destes apresentarem valores médios para as características analisadas discrepantes dos demais indivíduos de mesma espécie.

Observa-se no Quadro 7 que a retirada da variável massa, que é de menor relevância, mudou o agrupamento, portanto esta característica deve ser considerada e mantêm-se os grupos formados pelo primeiro agrupamento. Para uma melhor visualização da formação dos grupos, optou-se pela análise de dendrograma pelo método de UPGMA (Figura 21).

A análise do dendrograma (Figura 21) permite verificar o grau de similaridade entre as espécies e entre os indivíduos de mesma espécie. Pelo dendrograma da Figura 21 observa-se que existe dissimilaridade entre as espécies, onde se verifica a formação de vários grupos, confirmando a dissimilaridade entre as espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*. A maior dissimilaridade ocorreu entre o *Eucalyptus grandis* e as demais espécies. Pode-se observar também que ocorre maior similaridade entre indivíduos das espécies do semi-árido nordestino.

QUADRO 7 – Agrupamento e contribuição das características dendrométricas para formação de grupo dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, utilizando a distância euclidiana média e o método de Tocher, e suas respectivas médias

Agrupamento	Grupo	Indivíduo	Média				
			DAP (cm)	Altura Total (m)	Volume (m ³)	DBM (kg/cm ³)	Massa (kg)
1 ^o	< I >	10 12 14 11 15 21 25 23 20	7,05	5,87	0,0120	883,20	10,54
	< II >	6 7 5 8 2 9 3 1	5,72	5,37	0,0092	609,08	6,32
	< III >	26 27 22	11,62	6,03	0,0332	800,77	26,69
	< I V >	31 33	13,46	22,28	0,1459	515,41	75,24
	< V >	13 17 18	12,00	7,40	0,0245	919,67	22,46
	< VI >	19 24	8,60	5,25	0,0192	788,85	15,11
	< VII >	28 30	15,92	23,63	0,2119	534,56	113,14
	< VIII >	35 36	15,59	19,45	0,1790	604,46	108,29
	< IX >	34	14,97	17,00	0,1429	574,31	82,06
	< X >	29	15,92	25,64	0,2552	521,11	132,96
	< XI >	4	9,71	7,50	0,0180	672,57	12,13
	< XII >	16	9,08	6,50	0,0227	996,38	22,65
2 ^o	< I >	10 12 11 15 14 21	7,14	6,11	-	913,44	10,75
	< II >	6 7 8 5 2 9 3 1	6,51	6,24	-	680,84	7,55
	< III >	20 23 24 25 19	7,57	5,34	-	809,18	12,12
	< I V >	26 27 22	11,62	6,03	-	800,77	26,69
	< V >	31 33 32	13,54	21,55	-	543,51	73,34
	< VI >	13 17 18	12,00	7,40	-	919,67	22,46
	< VII >	28 30 29	15,92	24,30	-	530,07	119,75
	< VIII >	34 36	14,97	18,00	-	582,91	91,33
	< IX >	35	16,24	19,90	-	617,42	115,98
	< X >	4	9,71	7,50	-	672,57	12,13
	< XI >	16	9,08	6,50	-	996,38	22,65

Para avaliar a consistência do padrão de agrupamento obtido pelo método de otimização de Tocher realizou-se a análise discriminante, baseada na metodologia proposta por ANDERSON (1958) por componentes principais. Pela análise discriminante (Quadro 8), pode-se observar que o primeiro componente principal apresenta variância de 90,39%, e analisando a dispersão gráfica dos escores dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, para os dois primeiros componentes principais, pode-se constatar que o agrupamento manteve o mesmo padrão, indicando que a metodologia utilizada apresenta boa consistência.

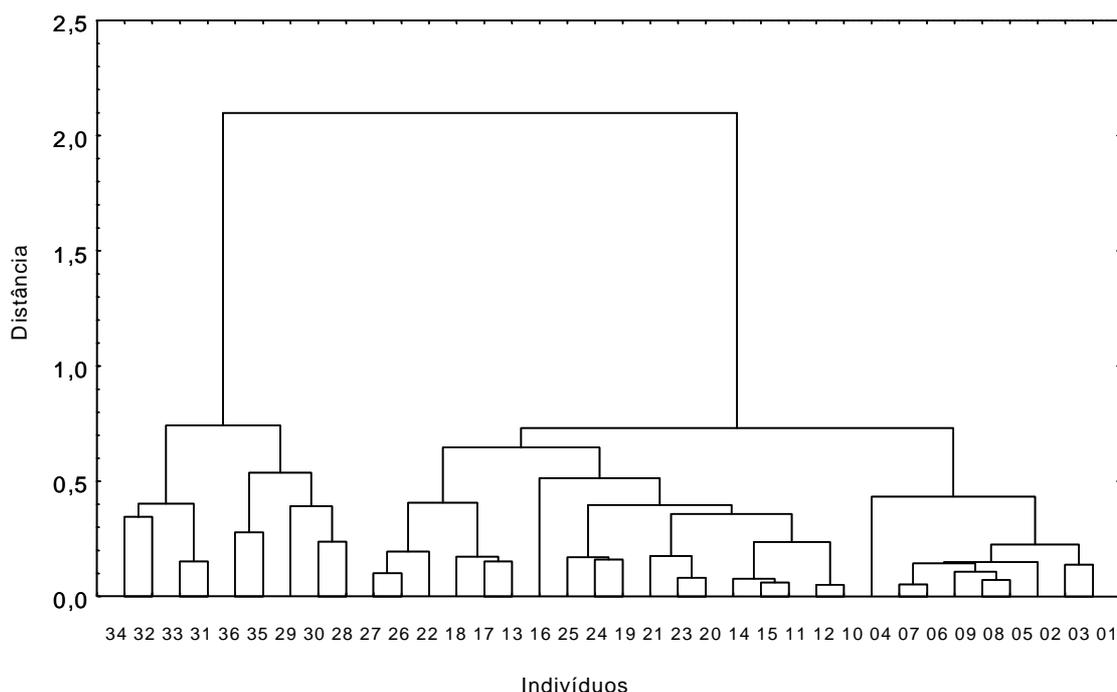


FIGURA 21 – Dendrograma construído utilizando a metodologia do UPGMA a partir das distâncias euclidianas médias padronizadas para características dendrométricas dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*.

QUADRO 8 – Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) da análise discriminante para as características dendrométricas dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

Componente principal	Variância (autovalor)	Variância (%)	Variância acumulada (%)	Coeficiente de ponderação (autovetores)				
				DAP	Altura total	Volume	DBM	Massa
CP1	4,5195	90,39	90,39	0,4486	0,4682	0,4697	-0,3744	0,4677
CP2	0,4696	9,39	99,78	0,4326	0,0585	0,0785	0,8829	0,1544
CP3	0,0108	0,22	100,00	-0,4748	0,8380	-0,0572	0,2099	-0,1581

O gráfico de dispersão dos escores centróides dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de

análise discriminante via componentes principais, encontra-se na Figura 22, onde se confirma o padrão de comportamento originado pelo método utilizado.

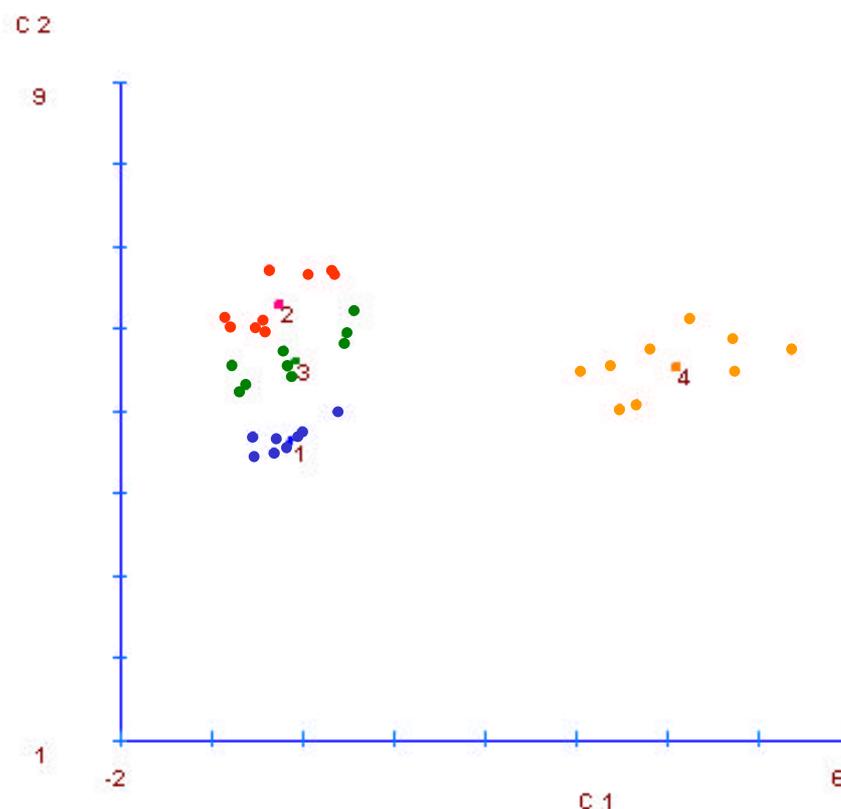


FIGURA 22 – Dispersão dos escores centróides dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus* (1), *Mimosa tenuiflora* (2), *Aspidosperma pyriformium* (3) e *Eucalyptus grandis* (4), em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de análise discriminante via componentes principais, tendo como base as características dendrométricas.

4.2.2. Análises das Dimensões dos Elementos Anatômicos da Madeira

Os valores médios para as características anatômicas da madeira: comprimento de fibra (COMPF), largura de fibra (LARGF), lúmen da fibra (LUMF), espessura da fibra (ESPF), comprimento de vaso (COMPV), diâmetro de vaso (DIAMV) e área de vaso (ÁREAV), dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriformium* e *Eucalyptus grandis* encontram-se no Quadro 9. As Figuras 23 e 24 mostram detalhes de

elementos celulares das espécies em estudo. Os resultados das análises de variâncias individuais e do teste de F, para as características anatômicas são apresentadas no Quadro 10. Observou-se que houve diferença significativa ($P < 0,01$) para todas as características, indicando dissimilaridade entre as espécies. Os coeficientes de variação relativos ao comprimento de fibra, à largura de fibra, ao lúmen da fibra, à espessura da fibra, ao comprimento de vaso, ao diâmetro de vaso e à área de vaso apresentaram valores baixos, variando na faixa de 4,53 a 11,93%.

As Comparações entre médias, empregando-se o teste de Tukey ($P < 0,05$), estão no Quadro 11, onde se observa que houve diferença significativa entre as espécies em estudo. A espécie *Aspidosperma pyrifolium* apresentou comprimento de fibra semelhante as do *Eucalyptus grandis* e superior aos dos demais, e espessura de parede da fibra e comprimento de vaso com valores médios superiores ao *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Eucalyptus grandis*, um diâmetro e área de vasos menores. O *Croton sonderianus* apresentou os menores valores médios para comprimento de fibra, comprimento de vaso e área de vaso.

A *Aspidosperma pyrifolium* foi a espécie que apresentou o maior valor médio de largura de fibra (21,02 μm), seguida pelas espécies *Eucalyptus grandis*, *Croton sonderianus* e *Mimosa tenuiflora*, com valores médios de 19,48, 17,13 e 16,43 μm , respectivamente. O *Eucalyptus grandis* apresentou valor médio para lúmen da fibra de 10,94 μm , superior ao dos demais, tendo o *Croton sonderianus* apresentado valor semelhante ao da *Aspidosperma pyrifolium* (9,05 e 8,48 μm , respectivamente) e a *Mimosa tenuiflora* (5,79 μm), o menor.

O diâmetro de vaso foi diferente para as quatro espécies. O *Eucalyptus grandis* apresentou o maior valor médio (0,19 μm), seguido pela *Mimosa tenuiflora*, *Croton sonderianus* e *Aspidosperma pyrifolium*, com valores médios de 0,13, 0,09 e 0,07 μm , respectivamente.

Após evidenciada a variabilidade entre as espécies, efetuou-se o estudo de dissimilaridade empregando o método de Tocher, com base na distância euclidiana média, os componentes principais e as análises discriminantes.

QUADRO 9 – Valores médios das dimensões de fibras e elementos de vasos das madeiras dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriforme* e *Eucalyptus grandis*

Espécie	Amostra Nº	Indivíduo	*COMPF	*LARGF	*LUMF	*ESPF	*COMPV	*DIAMV	*ÁREAV
<i>Croton sonderianus</i>	1.1.1	1	0,67	17,79	8,60	4,59	0,27	0,08	0,02
	1.1.2	2	0,62	17,21	8,70	4,25	0,25	0,08	0,02
	1.1.3	3	0,53	17,22	8,66	4,28	0,25	0,07	0,02
	1.2.1	4	0,59	17,57	9,71	3,93	0,27	0,10	0,03
	1.2.2	5	0,60	18,90	10,47	4,22	0,29	0,09	0,03
	1.2.3	6	0,72	16,40	8,97	3,71	0,37	0,09	0,03
	1.3.1	7	0,60	16,22	9,27	3,48	0,33	0,10	0,03
	1.3.2	8	0,67	15,84	8,42	3,71	0,33	0,10	0,03
	1.3.3	9	0,68	17,04	8,68	4,18	0,34	0,10	0,03
<i>Mimosa tenuiflora</i>	2.1.1	10	0,71	15,38	5,90	4,74	0,25	0,11	0,03
	2.1.2	11	0,64	15,58	5,59	4,99	0,22	0,12	0,03
	2.1.3	12	0,78	15,67	6,04	4,81	0,25	0,13	0,03
	2.2.1	13	0,75	17,26	6,68	5,29	0,23	0,14	0,03
	2.2.2	14	0,72	17,25	5,84	5,71	0,25	0,13	0,03
	2.2.3	15	0,84	17,73	6,08	5,83	0,27	0,13	0,04
	2.3.1	16	0,76	16,65	6,02	5,31	0,22	0,12	0,03
	2.3.2	17	0,74	16,26	5,23	5,52	0,24	0,13	0,03
	2.3.3	18	0,79	16,09	4,71	5,69	0,23	0,13	0,03
<i>Aspidosperma pyriforme</i>	3.1.1	19	1,04	20,81	8,42	6,19	0,46	0,07	0,03
	3.1.2	20	0,92	21,35	8,92	6,21	0,51	0,07	0,04
	3.1.3	21	0,99	20,15	8,01	6,07	0,53	0,07	0,04
	3.2.1	22	1,16	22,24	8,98	6,63	0,56	0,07	0,04
	3.2.2	23	1,03	19,96	6,89	6,54	0,55	0,06	0,03
	3.2.3	24	1,16	21,08	8,29	6,39	0,55	0,07	0,04
	3.3.1	25	1,11	21,61	8,64	6,48	0,55	0,07	0,04
	3.3.2	26	1,02	21,43	9,20	6,12	0,51	0,07	0,03
	3.3.3	27	1,08	20,57	8,93	5,82	0,54	0,06	0,03
<i>Eucalyptus grandis</i>	4.4.1	28	1,10	18,83	10,04	4,40	0,48	0,20	0,09
	4.4.2	29	1,03	20,36	11,32	4,52	0,38	0,21	0,08
	4.4.3	30	1,04	20,39	11,69	4,35	0,37	0,18	0,07
	4.5.1	31	1,02	20,42	11,72	4,35	0,37	0,19	0,07
	4.5.2	32	1,00	19,58	10,78	4,40	0,39	0,20	0,08
	4.5.3	33	1,05	19,29	11,06	4,12	0,39	0,18	0,07
	4.6.1	34	1,05	19,55	11,14	4,21	0,39	0,18	0,07
	4.6.2	35	0,97	19,09	10,62	4,23	0,355	0,21	0,07
	4.6.3	36	0,95	17,83	10,09	3,87	0,394	0,20	0,08

* Valores médios de 100 medições, COMPF = comprimento de fibra (mm), LARGF = largura de fibra (μm), ESPF = espessura de fibra (μm), LUMF = lúmen da fibra (μm), COMPV = comprimento de vaso (mm), DIAMV = diâmetro de vaso (mm) e ÁREAV = área do vaso (mm^2).

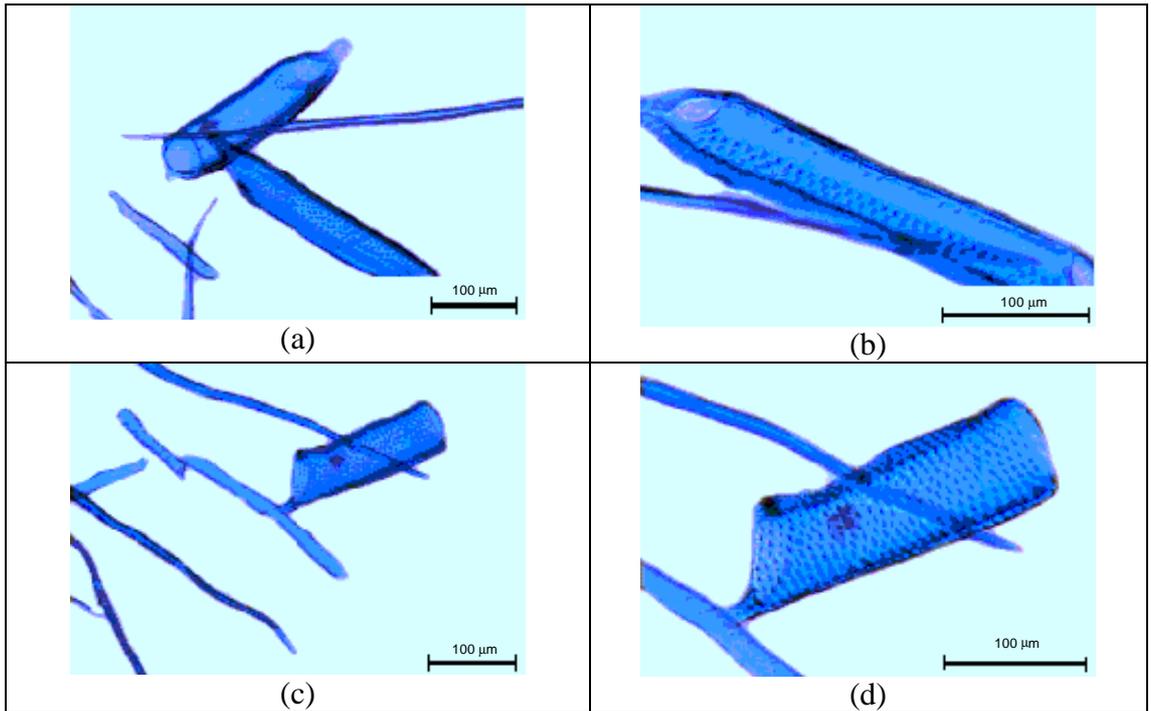


FIGURA 23 – Elementos celulares de *Croton sonderianus*, a) (500X) e b) (1000X), e *Mimosa tenuiflora*, c) (500X) e d) (1000X). Escala com 100 µm.

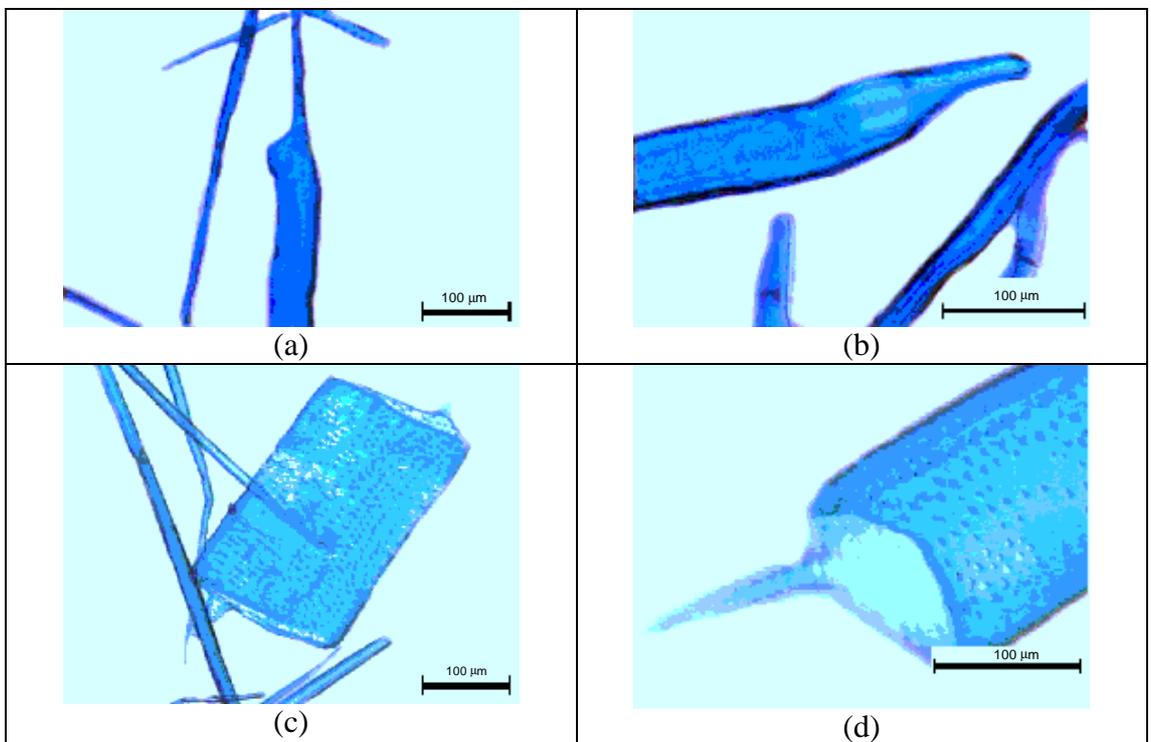


FIGURA 24 – Elementos celulares de *Aspidosperma pyrifolium*, a) (500X) e b) (1000X), e *Eucalyptus grandis*, c) (500X) e d) (1000X). Escala com 100 µm.

QUADRO 10 – Resumos das análises de variâncias para comprimento de fibra (COMPF), largura de fibra (LARGF), lúmen da fibra (LUMF), espessura da fibra (ESPF), comprimento de vaso (COMPV), diâmetro de vaso (DIAMV) e área de vaso (ÁREAV) para os 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

FV	GL	Quadrados Médios						
		COMPF	LARGF	LUMF	ESPF	COMPV	DIAMV	ÁREAV
Tratamento	3	0,3908**	40,4429**	40,8002**	9,5183**	0,1422**	0,0276**	0,0048**
Resíduo	32	0,0037	0,7042	0,4079	0,0977	0,0011	0,0001	0,00005
Máximo		1,16	22,24	11,72	6,63	0,56	0,21	0,09
Mínimo		0,53	15,38	4,71	3,48	0,22	0,06	0,02
CV(%)		7,05	4,53	7,46	6,28	9,09	7,01	11,93

** F significativo a 1% de probabilidade.

QUADRO 11 – Comparações entre médias de comprimento, largura, espessura e lúmen de fibra; e de comprimento, diâmetro e área do vaso dos indivíduos avaliados das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

Espécie	COMPF (mm)	LARGF (µm)	LUMF (µm)	ESPF (µm)	COMPV (mm)	DIAMV (mm)	ÁREAV (mm ²)
<i>Croton sonderianus</i>	0,63 c	17,13 c	9,05 b	4,04 c	0,30 c	0,09 c	0,03 c
<i>Mimosa tenuiflora</i>	0,78 b	16,43 c	5,79 c	5,32 b	0,24 d	0,13 b	0,03 bc
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	1,06 a	21,02 a	8,48 b	6,27 a	0,53 a	0,07 d	0,03 b
<i>Eucalyptus grandis</i>	1,02 a	19,48 b	10,94 a	4,27 c	0,39 b	0,19 a	0,08 a

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P<0,05).

O agrupamento dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, por meio do método de otimização de Tocher, utilizando a distância euclidiana média como medida de dissimilaridade, está apresentado no Quadro 12, no qual se observa a formação de seis grupos. Pode-se notar no Quadro 12 que o indivíduo 28, pertencente à espécie *Eucalyptus grandis*, ficou isolado dos demais, e o restante dos indivíduos desta espécie ficou nos grupos I e VI, a *Aspidosperma pyrifolium* no grupo II, a *Mimosa tenuiflora* no grupo III e o *Croton sonderianus* nos grupos IV e V, o que confirma a dissimilaridade entre as espécies. Observa-se também dissimilaridade entre os indivíduos da mesma espécie devido à formação de subgrupos dentro da mesma espécie.

QUADRO 12 – Agrupamento dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, tendo como base as características anatômicas das madeiras, utilizando a distância euclidiana média e o método de otimização de Tocher

Grupo	Subgrupo	Indivíduos
I	1	33 34 32 35 31 30 29
	2	36
II	1	24 25 22
	2	26 27 19 20 21
	3	23
III	1	17 18 16
	2	11 10
	3	14 13
	4	15
	5	12
IV		2 3 1 4 9 5
V		6 8 7
VI		28

Os resultados referentes à análise de componentes principais, para as características anatômicas da madeira, estão no Quadro 13. Observou-se que 84,96% da variância acumulada se concentra nos dois primeiros componentes principais. Assim, pode-se observar dissimilaridade entre as espécies na dispersão gráfica dos escores, utilizando os dois primeiros componentes principais (Figura 25), assim como a coerência com os grupos estabelecidos pelo método de Tocher. Constatou-se ainda que a característica menos relevante para a dissimilaridade entre as espécies, a largura da fibra de acordo com a importância relativa (Quadro 13), quando retirada da análise, mudou o agrupamento, portanto esta variável deve ser mantida e considera-se o agrupamento anterior.

Através da análise da dispersão dos escores (Figura 25), utilizando os dois primeiros componentes principais, observou-se o mesmo padrão de comportamento que o do agrupamento realizado pelo método de otimização de Tocher, o que confirma a existência de dissimilaridade entre as espécies. O *Eucalyptus grandis* e a *Aspidosperma pyrifolium* formaram grupos bem distintos das espécies *Croton sonderianus* e a *Mimosa tenuiflora*, que formaram grupos bem próximos, com pouca dispersão entre seus indivíduos.

QUADRO 13 – Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) das características de anatomia das madeiras das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

Componente principal	Variância (autovalor)	Variância (%)	Variância acumulada (%)	Coeficiente de ponderação (autovetores)							
				COMPF	LARGF	LUMF	ESPF	COMPV	DIAMV	ÁREAV	
CP1	3,4430	49,19	49,19	0,5011	0,4836	0,3600	0,1433	0,4505	0,1405	0,3771	
CP2	2,5044	35,78	84,96	-0,1020	-0,2029	0,3225	-0,5491	-0,2715	0,542	0,4188	
CP3	0,7952	11,36	96,32	-0,3085	0,1693	0,5914	-0,4314	0,196	-0,483	-0,2619	
CP4	0,1089	3,01	99,34	0,1853	-0,5685	-0,2646	-0,3321	0,6153	-0,2056	0,2031	
CP5	0,0435	0,62	99,96	0,7782	-0,1355	0,1091	-0,2605	-0,3637	-0,1155	-0,3881	
CP6	0,0030	0,04	100,00	0,0573	0,0245	-0,0396	0,0364	-0,4171	-0,6304	0,6495	
CP7	0,000005	0,00	100,00	0,0023	-0,5951	0,5772	0,559	-0,0078	-0,0112	0,0103	

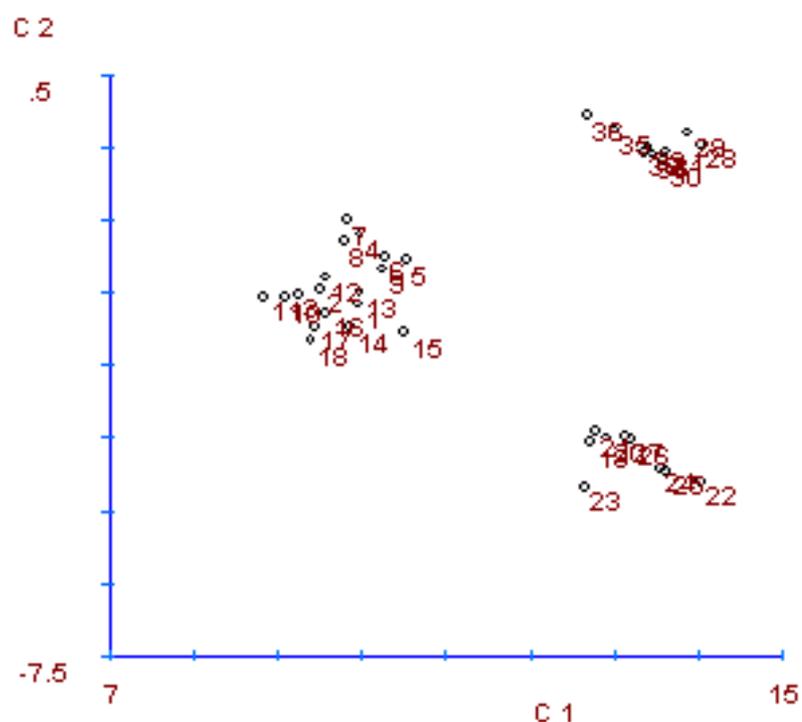


FIGURA 25 – Dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de componentes principais, tendo como base as características de anatomia da madeira.

No Quadro 14 encontram-se os resultados dos agrupamentos e médias das características anatômicas das madeiras dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriforme* e *Eucalyptus grandis*, onde constata-se que o indivíduo pertencente ao *Eucalyptus grandis* forma grupo isolado e que a retirada da variável menos relevante, ou seja, a largura da fibra, mudou o agrupamento, portanto ela deve ser mantida e considera-se o agrupamento anterior.

QUADRO 14 – Agrupamento e contribuição das características anatômicas das madeiras para formação de grupo dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriforme* e *Eucalyptus grandis*, utilizando a distância euclidiana média e o método de Tocher, e suas respectivas médias

Agrupamento	Grupo	Indivíduos	Médias						
			COMPF (mm)	LARGF (µm)	LUMF (µm)	ESPF (µm)	COMPV (mm)	DIAMV (mm)	ÁREAV (mm ²)
1 ^a	< I >	33 34 32 35 31 30 29 36	1,01	19,59	11,05	4,26	0,38	0,19	0,07
	< II >	24 25 22 26 27 19 20 21 23	1,06	21,02	8,48	6,27	0,53	0,07	0,04
	< II >	17 18 16 11 10 14 13 15 12	0,75	16,43	5,79	5,32	0,24	0,13	0,03
	< IV >	2 3 1 4 9 5	0,62	17,62	9,14	4,24	0,28	0,09	0,02
	< V >	6 8 7	0,66	16,15	8,89	3,63	0,35	0,09	0,03
	< VI >	28	1,10	18,82	10,04	4,40	0,48	0,20	0,09
2 ^a	< I >	33 34 30 31 32 35 29 36	1,01	-	11,05	4,26	0,38	0,20	0,07
	< II >	24 25 22 27 26 21 19 20 23	1,06	-	8,48	6,27	0,53	0,07	0,04
	< III >	17 18 14 16 13 15 12 11 10	0,75	-	5,79	5,32	0,24	0,13	0,03
	< IV >	2 3 1 4 5 9 8 7 6	0,63	-	9,05	4,04	0,30	0,09	0,03
	< V >	28	1,10	-	10,04	4,40	0,48	0,20	0,09

O *Eucalyptus grandis* apresentou o maior valor médio para comprimento de fibra e a *Aspidosperma pyriforme* apresentou o segundo maior valor, onde constata-se pelo Quadro 11 que não houve diferença entre as médias para comprimento de fibra destas duas espécies. Nota-se que a espécie *Aspidosperma pyriforme* apresentou o maior valor médio para espessura de parede da fibra (6,27µm), *Mimosa tenuiflora* valor de 5,32 µm e *Croton sonderianus* apresentou dois valores médios, 4,24 µm para o grupo IV e 3,63 µm para grupo V; o mesmo aconteceu com o *Eucalyptus grandis*, com valores de 4,40 µm para o grupo VI e 4,26 µm para o grupo I.

Para melhor visualização da dissimilaridade entre as espécies estabelecida com base nos elementos anatômicos da madeira, pode-se observar, na Figura 26, o dendrograma construído com a metodologia do UPGMA.

Pode-se observar, na Figura 26, a formação de quatro grupos com indivíduos de cada espécie em grupos diferentes.

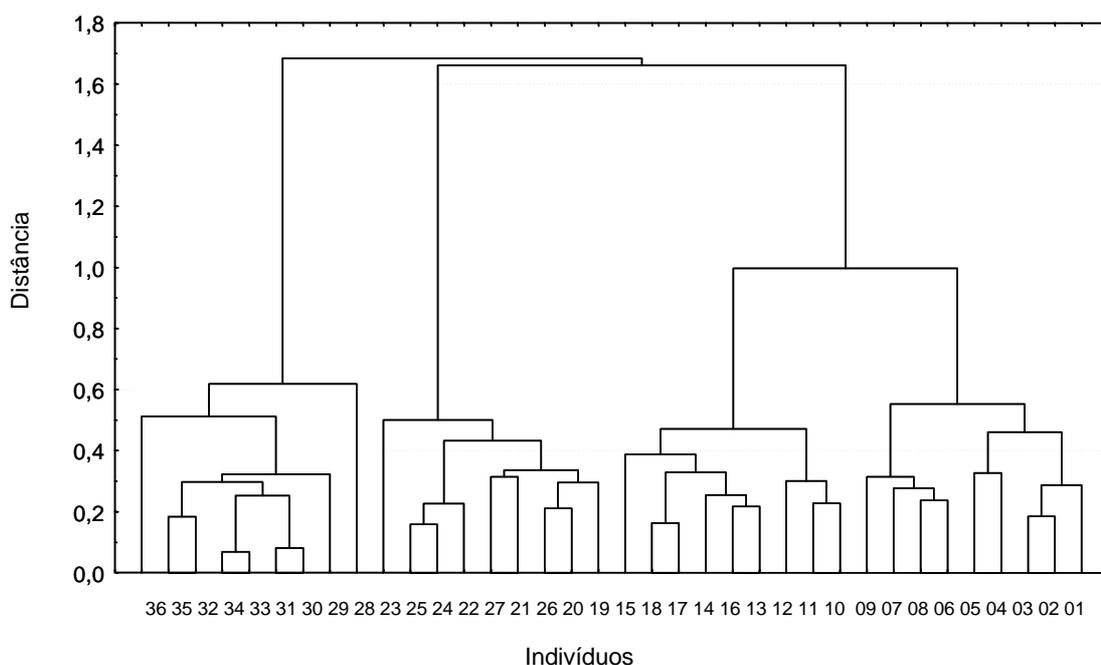


FIGURA 26 – Dendrograma construído utilizando a metodologia do UPGMA a partir das distâncias euclidianas médias padronizadas para as características anatômicas das madeiras dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriforme* e *Eucalyptus grandis*.

Pela análise discriminante (Quadro 15), que permite avaliar a consistência do agrupamento obtido pelo método de otimização de Tocher, constata-se que é necessário utilizar os dois primeiros componentes principais para explicar a variação original em 88,98%.

O gráfico de dispersão dos escores para os 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriforme* e *Eucalyptus grandis*, em relação aos dois primeiros componentes da técnica de análise discriminante via componentes principais, encontra-se na Figura 27, onde constata-se que o agrupamento manteve o mesmo padrão, indicando que a metodologia

utilizada apresenta boa consistência e que as espécies estudadas são bem discriminadas considerando os elementos anatômicos da madeira.

QUADRO 15 – Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) da análise discriminante para as características anatômicas das madeiras dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

Componente principal	Variância (autovalor)	Variância (%)	Variância acumulada (%)	Coeficiente de ponderação (autovetores)						
				COMPF	LARGF	LUMF	ESPF	COMPV	DIAMV	ÁREAV
CP1	3,6212	51,73	51,73	0,4992	0,4965	0,3555	0,1439	0,4588	0,1218	0,3632
CP2	2,6072	37,25	88,98	-0,0851	-0,1894	0,3368	-0,5434	-0,2740	0,5395	0,4266
CP3	0,7717	11,02	100,00	-0,3195	0,1332	0,5654	-0,4484	0,2338	-0,4929	-0,2487

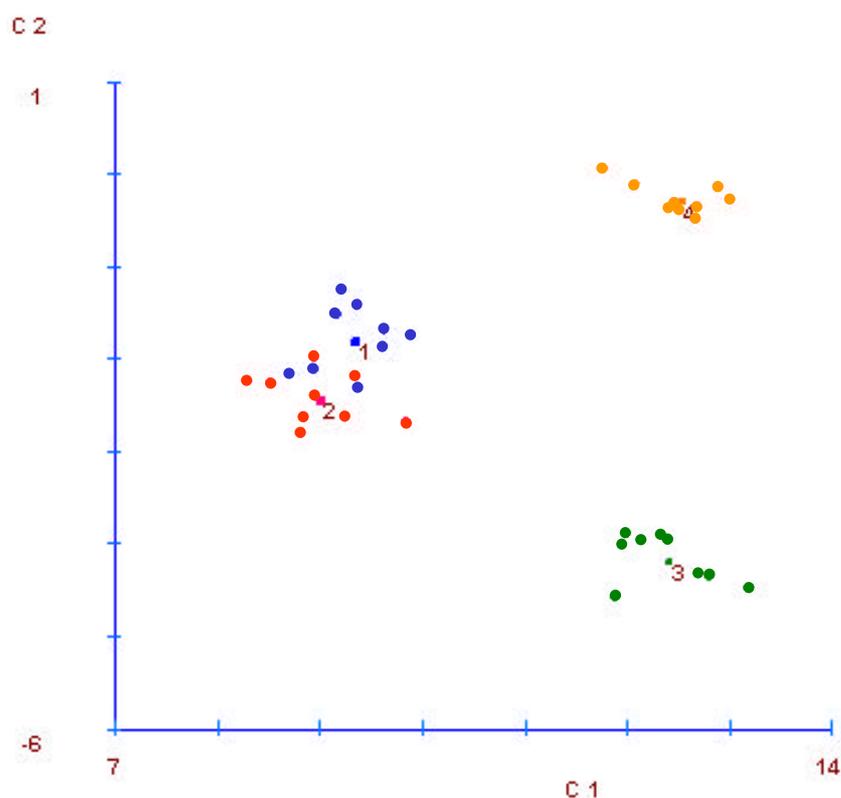


FIGURA 27 – Dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus* (1), *Mimosa tenuiflora* (2), *Aspidosperma pyrifolium* (3) e *Eucalyptus grandis* (4), em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de análise discriminante via componentes principais, tendo como base as características de anatomia da madeira.

4.2.3. Análises Química e Poder Calorífico da Madeira

As características químicas da madeira determinadas foram: teores de cinzas (CIZ), solubilidade em álcool/tolueno (SOL. ÁLC/TOL), lignina total (LIG TOT) e holocelulose (HOL). Foi determinado também o poder calorífico superior (PCS), dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*. Os resultados dos valores médios para estas características encontram-se no Quadro 16.

Os resultados das análises de variâncias individuais e do teste de F, para as características químicas e do poder calorífico da madeira, encontram-se no Quadro 17. Nota-se que houve efeito significativo ($P < 0,01$) para todas as características, o que indica dissimilaridade entre as espécies.

Os teores de cinzas, a solubilidade em álcool/tolueno, o teor de lignina total, o teor de holocelulose e o poder calorífico superior apresentaram coeficientes de variação relativamente baixos, com valores médios de variando 1,32 a 16,94%.

As comparações entre médias, empregando-se o teste de Tukey ($P < 0,05$) para as características químicas e o poder calorífico da madeira, podem ser observadas no Quadro 18. Observa-se que as espécies de ocorrência no semi-árido nordestino apresentaram valor médio para teor de cinzas, solubilidade em álcool/tolueno e lignina total maior que os obtidos pelo *Eucalyptus grandis*, espécie que apresentou maior valor médio para teor de holocelulose. As madeiras possuem considerável conteúdo de cinzas, que difere significativamente, o que indica diferente composição mineral entre as espécies.

QUADRO 16 – Valores médios das análises químicas e poder calorífico das madeiras dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

Espécie	Amostra Nº	Indivíduo	CIZ	SOL. ÁLC/TOL	LIG TOT	HOL	PCS
<i>Croton sonderianus</i>	1.1.1	1	0,77	6,11	24,5	68,55	4.498
	1.1.2	2	0,76	6,17	27,2	65,88	4.477
	1.1.3	3	0,76	6,49	24,9	67,87	4.478
	1.2.1	4	0,55	6,18	27,2	66,10	4.329
	1.2.2	5	0,43	5,51	27,9	66,26	4.375
	1.2.3	6	0,64	5,19	26,2	67,77	4.322
	1.3.1	7	0,66	4,36	28,1	66,92	4.326
	1.3.2	8	0,73	5,38	26,6	67,00	4.356
	1.3.3	9	0,78	5,68	25,6	67,95	4.319
<i>Mimosa tenuiflora</i>	2.1.1	10	0,48	9,91	27,9	61,76	4.479
	2.1.2	11	0,69	10,09	26,9	62,37	4.499
	2.1.3	12	0,61	9,60	34,3	55,59	4.560
	2.2.1	13	0,76	10,12	28,2	61,01	4.486
	2.2.2	14	0,56	10,08	28,4	60,95	4.484
	2.2.3	15	0,54	9,53	26,2	63,70	4.496
	2.3.1	16	0,47	12,64	27,9	58,96	4.408
	2.3.2	17	0,54	10,29	27,9	61,28	4.421
	2.3.3	18	0,41	13,91	28,8	56,95	4.507
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	3.1.1	19	0,58	4,22	31,0	64,14	4.505
	3.1.2	20	0,58	4,66	31,6	63,15	4.495
	3.1.3	21	0,61	4,84	31,0	63,59	4.427
	3.2.1	22	0,66	4,78	34,0	60,57	4.404
	3.2.2	23	0,65	4,86	31,1	63,36	4.401
	3.2.3	24	0,41	4,62	32,3	62,66	4.493
	3.3.1	25	0,57	4,38	31,1	64,08	4.328
	3.3.2	26	0,48	4,76	31,5	63,29	4.391
	3.3.3	27	0,46	4,94	30,6	63,92	4.431
<i>Eucalyptus grandis</i>	4.4.1	28	0,45	2,70	26,8	70,12	4.423
	4.4.2	29	0,38	2,76	27,4	69,51	4.427
	4.4.3	30	0,55	2,69	27,8	69,01	4.492
	4.5.1	31	0,43	2,66	27,0	69,96	4.414
	4.5.2	32	0,42	2,60	26,5	70,47	4.423
	4.5.3	33	0,45	2,73	26,75	70,07	4.385
	4.6.1	34	0,44	2,78	28,3	68,50	4.328
	4.6.2	35	0,46	2,54	27,2	69,87	4.337
	4.6.3	36	0,45	2,54	27,4	69,61	4.429

CIZ = cinzas (%), SOL. ÁLC/TOL = solubilidade em álcool/tolueno (%), LIG = lignina solúvel (%), LIG TOT = lignina total (%), HOL = holocelulose (%) e PCS = poder calorífico superior (cal/g).

QUADRO 17 – Resumos das análises de variâncias para as características químicas da madeira, cinzas (CIZ), solubilidade em álcool/tolueno (SOL. ÁLC/TOL), lignina total (LIG TOT), holocelulose (HOL) e poder calorífico superior (PCS), dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

FV	GL	Quadrados Médios				
		CIZ	SOL. ÁLC/TOL	LIG TOT	HOL	PCS
Tratamento	3	0,0779**	104,7272**	45,5173**	155,8791**	15.097,8600**
Resíduo	32	0,0090	0,7023	2,0837	2,3338	3.420,1410
Máximo		0,78	13,91	34,30	70,47	4.560
Mínimo		0,38	2,54	24,50	55,59	4.319
CV (%)		16,94	14,14	5,07	2,35	1,32

** F significativo a 1% de probabilidade.

A espécie *Mimosa tenuiflora* foi a que apresentou maior poder calorífico superior, não diferindo significativamente da espécie *Aspidosperma pyrifolium*, que apresentou valor médio de poder calorífico superior bem próximo. Isto poderia ser explicado pelo fato de, apesar de a *Mimosa tenuiflora* apresentar teor de lignina total de 28,50%, o seu teor de substâncias solúveis em álcool/tolueno ter sido de 10,69% e a espécie *Aspidosperma pyrifolium* apresentou valor médio de lignina total de 31,58% e solubilidade em álcool/tolueno de 4,67%.

A espécie *Mimosa tenuiflora* apresentou o maior poder calorífico, com valor médio de 4.482 cal/g, seguida pelas espécies *Aspidosperma pyrifolium* (4.431 cal/g) e *Eucalyptus grandis* (4.406 cal/g), e pela espécie *Croton sonderianus* com valor médio de 4.388 cal/g.

Nas análises de variância e teste de média (Quadro 18), para as características químicas e poder calorífico da madeira, constatou-se ser também possível caracterizar a dissimilaridade entre as espécies a partir das características avaliadas. Assim, efetuou-se o estudo de dissimilaridade empregando o método de Tocher, com base na distância euclidiana média, os componentes principais e as análises discriminantes.

QUADRO 18 – Comparações entre médias para as características químicas da madeira e poder calorífico dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

Espécie	CIZ (%)	SOL. ÁLC/TOL (%)	LIG TOT (%)	HOL (%)	PCS (cal/g)
<i>Cróton sonderianus</i>	0,68 a	5,67 b	26,47 c	67,14 b	4.388 b
<i>Mimosa tenuiflora</i>	0,56 ab	10,69 a	28,50 b	60,29 d	4.482 a
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	0,56 ab	4,67 b	31,58 a	63,20 c	4.431 ab
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,45 b	2,67 c	27,24 bc	69,68 a	4.406 b

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P<0,05).

Os agrupamentos dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, para as características químicas e o poder calorífico da madeira, por meio do método de otimização de Tocher, utilizando a distância euclidiana média como medida de dissimilaridade, encontram-se no Quadro 19. Observa-se a formação de seis grupos, devendo ser ressaltado que nos grupos I e II houve a formação de subgrupos, uma vez que no grupo I havia a presença de indivíduos das espécies *Croton sonderianus* e *Eucalyptus grandis* e no grupo II de *Aspidosperma pyrifolium* e *Mimosa tenuiflora*. No grupo III estão presentes indivíduos da espécie *Mimosa tenuiflora* e *Croton sonderianus*, portanto, por meio deste método para análises das características químicas da madeira, não foi possível inferir sobre os grupos precisos para cada espécie.

Os resultados referentes à análise de componentes principais, para as características químicas da madeira, estão apresentados no Quadro 20. Observou-se que foi preciso utilizar os três primeiros componentes principais para obter a variância acumulada de 87,14%. Assim, podem ser observadas na dispersão gráfica dos escores, utilizando os três primeiros componentes principais (Figura 28), a dissimilaridade entre as espécies, e a coerência entre o gráfico de dispersão e os grupos estabelecidos pelo método de Tocher, e que a característica menos relevante para a dissimilaridade entre as espécies, foi o teor de holocelulose, de acordo com a coeficiente de ponderação (Quadro 20), quando retirada da análise, mudou o agrupamento, e portanto esta variável deve ser mantida e considera-se o agrupamento anterior.

QUADRO 19 – Agrupamento dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, tendo do como base as características químicas e poder calorífico da madeira, utilizando a distância euclidiana média e o método de otimização de Tocher, e suas respectivas médias

Grupo	Subgrupo	Indivíduos								
		28	31	36	33	35	34	29	5	
I	1									
	2				6	8	7			
	3						4			
	4							32		
	5								30	
II	1			21	23	20	19	26	27	
	2						10	14	17	
	3								24	
	4									25
	5									22
III				11	13	15	2	3	1	
IV							16	18		
V								12		
VI									9	

QUADRO 20 – Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) das características químicas e poder calorífico da madeira, dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

Componente principal	Variância (autovalor)	Variância (%)	Variância acumulada (%)	Coeficiente de ponderação (autovetores)				
				CIZ	SOL. ÁLC/TOL	LIG TOT	HOL	PCS
CP1	2,3433	46,87	46,87	0,1096	0,5305	0,3412	-0,6286	0,4416
CP2	1,2172	24,34	71,21	-0,6762	-0,3368	0,6433	-0,1025	-0,0703
CP3	0,7965	15,93	87,14	0,6964	-0,2919	0,5192	-0,1129	-0,3840
CP4	0,6429	12,86	100,00	0,2123	-0,4572	0,1170	0,2822	0,8078
CP5	0,0002	0,003	100,00	-0,0259	-0,5575	-0,4319	-0,7085	0,0013

Para melhor visualização da dissimilaridade entre as espécies, pode-se observar, na Figura 29, o dendrograma construído a partir da metodologia do UPGMA.

Através da análise da dispersão dos escores (Figura 28) e do agrupamento realizado pelo método de otimização de Tocher, constata-se a existência de dissimilaridade entre os indivíduos.

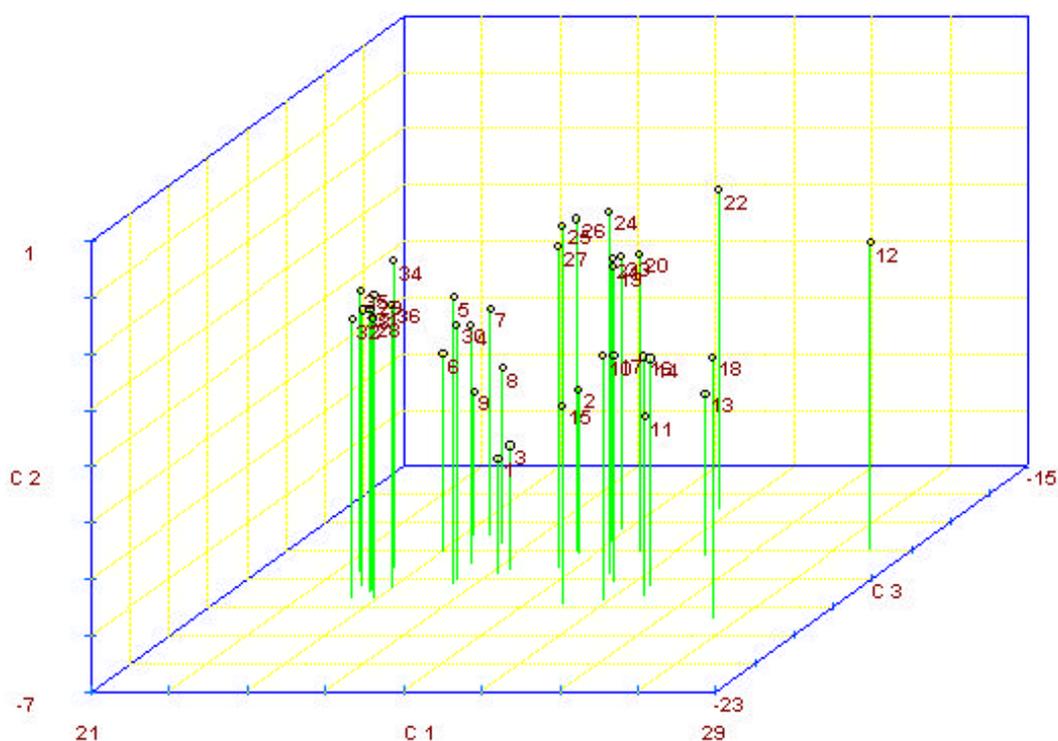


FIGURA 28 – Dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, em relação aos três primeiros autovalores da técnica de componentes principais, tendo como base as características químicas e o poder calorífico da madeira.

Na Figura 29 pode-se constatar a formação de quatro grupos, ficando um indivíduo 12 pertencente a espécie *Mimosa tenuiflora* distante dos demais de sua espécie por apresentar maior valores médios de teor de cinzas, lignina total e poder calorífico superior (Quadro 21).

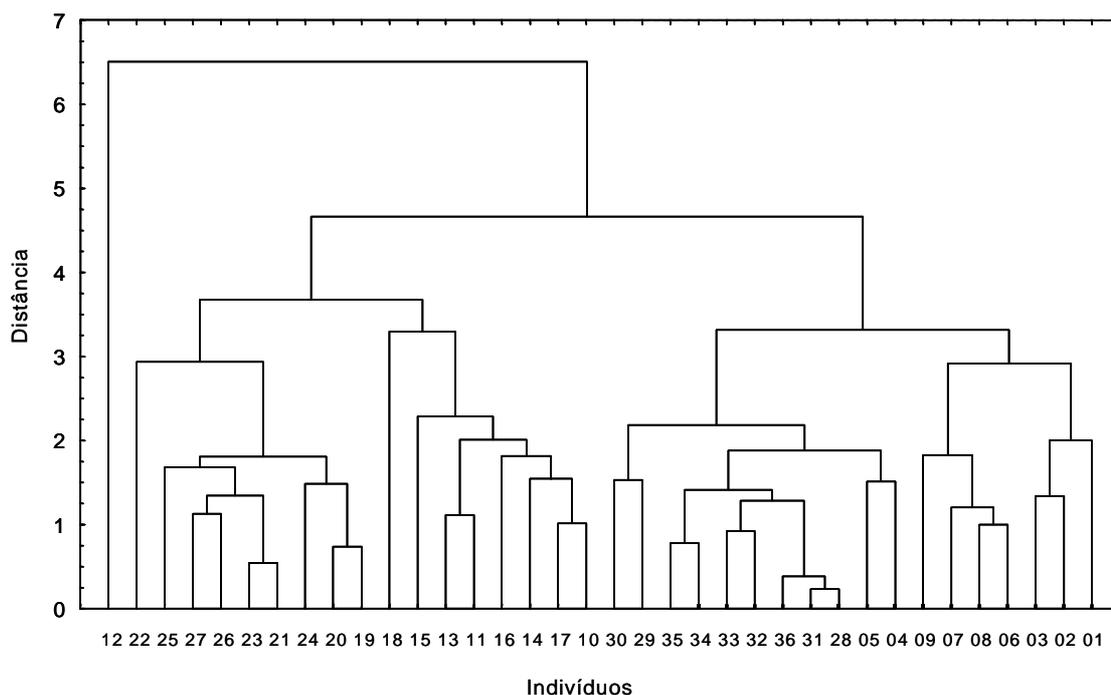


FIGURA 29 – Dendrograma construído com o uso da metodologia do UPGMA a partir das distâncias euclidianas médias padronizadas para as características químicas e o poder calorífico da madeira dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*.

Comparando os dendrogramas para as características dendrométricas, anatômicas e químicas (Figuras 21, 26 e 29, respectivamente), verifica-se que para as características dendrométricas houve uma dissimilaridade entre indivíduos de mesma espécie e as anatômicas mantiveram padrão de comportamento homogêneo, ou seja, com formação de grupos distintos, podendo ser visualizada a seqüência *Eucalyptus grandis*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Mimosa tenuiflora* e *Croton sonderianus*. Já para as características químicas a disposição no gráfico segue a seguinte seqüência, *Aspidosperma pyrifolium*, *Mimosa tenuiflora*, *Eucalyptus grandis* e *Croton sonderianus*.

Através da análise discriminante (Quadro 22), que permite avaliar a consistência do agrupamento obtido pelo método de otimização de Tocher, pode-se constatar que os dois primeiros componentes principais apresentam variância acumulada de 84,78%.

QUADRO 21 – Agrupamento e contribuição das características químicas da madeira e do poder calorífico da madeira para a formação de grupo dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriforme* e *Eucalyptus grandis*, utilizando a distância euclidiana média e o método de Tocher, e suas respectivas médias

Agrupamento	Grupo	Indivíduos	Média				
			CIZ (%)	SOL. ÁLC/TOL (%)	LIG TOT (%)	HOL (%)	PCS (g/cm ³)
1°	<I>	28 31 36 33 35 34 29 5 6 8 7 4 32 30	0,55	3,62	27,2	68,66	4383
	<II>	21 23 20 19 26 27 10 14 17 24 25 22	0,55	6,03	30,7	62,73	4438
	<III>	11 13 15 2 3 1	0,71	8,09	26,3	64,90	4489
	<IV>	16 18	0,44	13,28	28,4	58,0	4457
	<V>	12	0,61	9,60	34,3	55,59	4560
	<VI>	9	0,78	5,68	25,6	67,95	4319
2°	<I>	28 31 36 33 35 34 5 29 32 4 30 7 6 8	0,50	3,62	27,2	-	4383
	<II>	21 23 20 19 26 27 24 22 25 14 10 17 11 13	0,57	6,61	30,3	-	4445
	<III>	1 3 2 15	0,71	7,08	25,7	-	4487
	<IV>	16 18	0,44	13,28	28,4	-	4560
	<V>	12	0,61	9,60	34,3	-	4560
	<VI>	9	0,78	5,68	25,6	-	4319

QUADRO 22 – Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) da análise discriminante para as características químicas e o poder calorífico da madeira dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriforme* e *Eucalyptus grandis*

Componente principal	Variância (autovalor)	Variância (%)	Variância acumulada (%)	Coeficiente de ponderação (autovetores)				
				CIZ	SOL. ÁLC/TOL	LIG TOT	HOL	PCS
CP1	2,8886	57,7724	57,77	-0,0950	-0,5156	-0,2957	0,5833	-0,5454
CP2	1,3502	27,0044	84,78	0,7462	0,3490	-0,5329	-0,0199	-0,1922
CP3	0,7612	15,2232	100,00	0,5402	-0,2980	0,6914	-0,148	-0,3456

O gráfico de dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriformium* e *Eucalyptus grandis*, em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de análise discriminante via componentes principais, encontra-se na Figura 30, onde constata-se que o agrupamento manteve o mesmo padrão, indicando que a metodologia utilizada apresenta boa consistência. Torna-se evidente que, com base nestas características, é difícil uma boa caracterização das espécies.

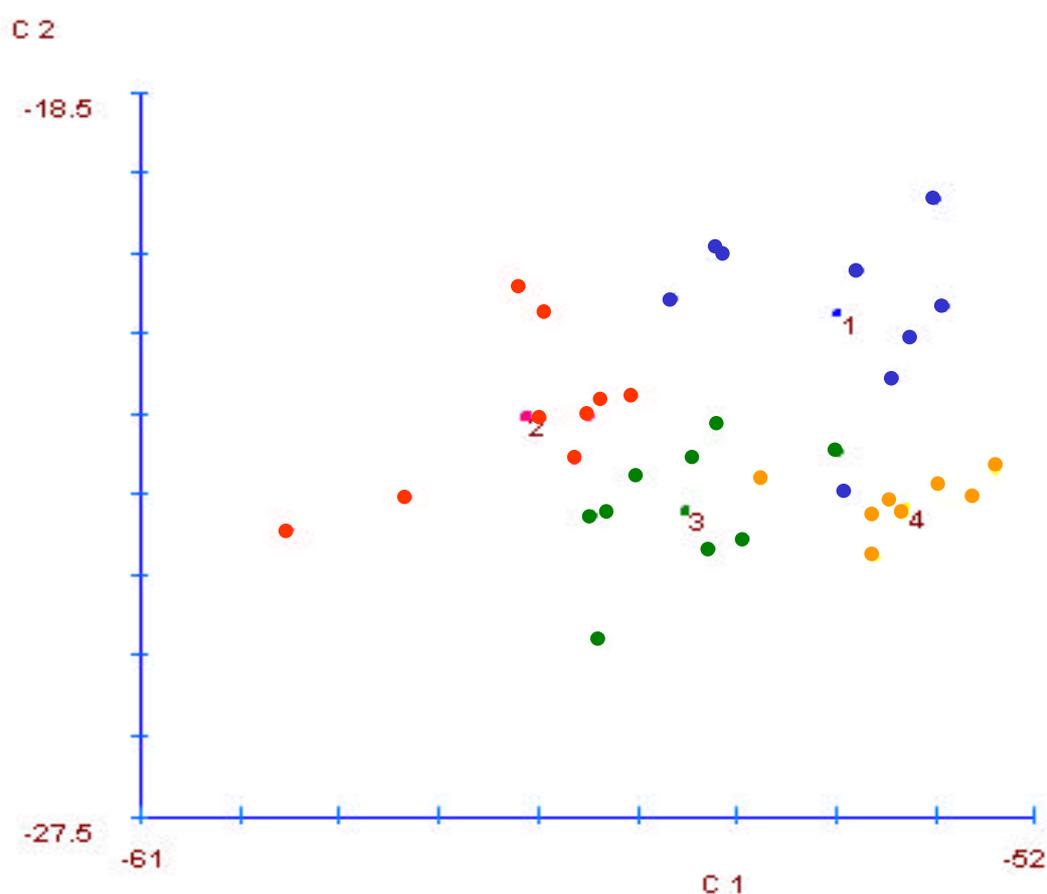


FIGURA 30 – Dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus* (1), *Mimosa tenuiflora* (2), *Aspidosperma pyriformium* (3) e *Eucalyptus grandis* (4), em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de análise discriminante via componentes principais, tendo como bases as características químicas e o poder calorífico da madeira.

4.2.4. Análise Termogravimétrica – TGA

A termogravimetria é um método útil e conveniente para estudo da degradação de polímeros. A maioria dos polímeros se decompõe por processos que são muito mais complexos e podem envolver vários processos de degradação ocorrendo simultaneamente (HOWELL, 2002).

A análise termogravimétrica tem sido frequentemente usada nos estudos de decomposição térmica da madeira. Por meio dela é mostrado como a madeira se comporta quando aquecida, sendo possível verificar em que temperatura é iniciada a decomposição térmica e, ainda, em qual faixa de temperatura ela é mais pronunciada.

As curvas termogravimétricas (Figuras de 2A a 13A, Quadro 23) mostram que a perda de peso ou degradação térmica das madeiras dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis* ocorre de forma similar. A degradação térmica tem início a 150 °C. A partir de 200 °C, observam-se incrementos maiores na perda de peso, que se intensifica na faixa de 250 a 450 °C. Nesta faixa de temperatura ocorre a carbonização propriamente dita. A degradação térmica decresce com o aumento de temperatura até 600 °C, quando a decomposição dos componentes químicos da madeira é quase completa. Estes resultados estão de acordo com os resultados encontrados por ANDERSON e TILLAMAN (1977) e OLIVEIRA et al. (1982).

TRUGILHO (1995), estudando nove espécies de *Eucalyptus* em diversas idades, afirmou que não ocorreu nenhuma variação significativa nas análises termogravimétricas, independentemente da espécie e da idade, evidenciando, assim, que a decomposição térmica não depende das características físico-químicas e anatômicas dos materiais avaliados, o que é esperado, uma vez que as madeiras são formadas sempre pelos mesmos constituintes básicos, que sofrem a decomposição térmica. A diferença básica está na forma, mais ou menos sinuosa, da curva dentro e entre as espécies.

Observa-se no Quadro 23 que a temperatura de pico, ou seja, a temperatura na qual a variação instantânea de massa é maior, foi de aproximadamente 360 °C e que não houve variação significativa entre as espécies em estudo.

QUADRO 23 – Valores médios de características obtidos por TGA para as espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifuluim* e *Eucalyptus grandis*

Espécie	Temp. de Pico (°C)	Perda de Peso (%)		RG (%)
		250 – 450 °C	Até 600 °C	Até 450 °C
<i>Cróton sonderianus</i>	369,84	67,64	78,96	25,78
<i>Mimosa tenuiflora</i>	369,44	60,52	73,66	33,98
<i>Aspidosperma pyrifuluim</i>	358,99	62,01	76,55	31,15
<i>Eucalyptus grandis</i>	369,42	68,52	80,24	25,10

Temp. Pico= temperatura de pico e RG= rendimento gravimétrico

Os constituintes químicos presentes na madeira, principalmente a celulose, as hemiceluloses e a lignina, sofrem uma série de reações de decomposição durante a carbonização, sob a ação do calor, originando como produtos gases voláteis e carvão vegetal. Os diversos componentes da madeira reagem em diferentes temperaturas, produzindo uma mistura de produtos (EBERHARD e DAVIS, 1991).

Pelas análises das Figuras de 2A a 13A, pode-se constatar que todos os indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifulium* e *Eucalyptus grandis* apresentaram perda de peso acentuada entre 250 e 450 °C, com redução de 67,64, 60,52, 62,01 e 68,52%, respectivamente. A partir desta faixa a decomposição é menos acentuada com o aumento da temperatura até 600 °C, cujas perdas pelas espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifulium* e *Eucalyptus grandis* do início até 600 °C chegam a 78,96, 73,66, 76,55 e 79,64%, respectivamente.

Observa-se que as espécies *Mimosa tenuiflora* e *Aspidosperma pyrifulium* apresentaram valor de rendimento gravimétrico superior ao do *Croton sonderianus* e *Eucalyptus grandis*.

Os rendimentos gravimétricos obtidos através das curvas de termogravimetria (Figuras de 2A a 13A) das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifulium* e *Eucalyptus grandis* são 25,78 33,98, 31,15 e 25,06%, respectivamente, até uma temperatura final de 450 °C. Em termos

numéricos, estes são menores que aqueles obtidos nas carbonizações realizadas na mufla de laboratório (Quadro 25), o que ocorreu porque a taxa de aquecimento no aparelho de termogravimetria igual a 20 °C/min é maior que a taxa utilizada nas carbonizações realizadas na mufla, onde foi igual a 1,25 °C/min, pois segundo OLIVEIRA et al. (1982) quanto mais lenta for conduzida a carbonização, maior será o seu rendimento em carvão.

4.2.5. Análise de Calorimetria Diferencial Exploratória - DSC

As curvas de DSC das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis* estão representadas nas Figuras 14A a 17A. Conforme pode ser observado nestas figuras e no Quadro 24, não houve variação significativa entre as espécies, mostrando um certo padrão de comportamento.

Inicialmente, a madeira tende a absorver energia necessária à secagem e ruptura das ligações químicas de seus componentes estruturais. Esta energia corresponde à energia de ativação, passando então a liberar energia assim que os produtos de degradação térmica vão sendo formados. Esta energia liberada recebe o nome de entalpia de formação (TRUGILHO, 1995).

As análises de DSC mostram que todas as espécies em estudo apresentaram picos endotérmicos, representados pelos picos na parte inferior das curvas. As quatro espécies apresentaram três picos endotérmicos a 130, 260 e 500 °C. Tais picos representam a energia de ativação necessária para iniciar a decomposição térmica dos constituintes químicos da madeira. Constata-se pelo Quadro 24 que as quatro espécies em estudo apresentaram energia de ativação diferente e que para iniciar a decomposição térmica de seus constituintes químicos a espécie *Mimosa tenuiflora* apresentou o menor valor que foi de 2,10 kJ/mol, seguida das espécies *Eucalyptus grandis*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Croton sonderianus*, cujos valores são 30,89, 49,79 e 76,41 kJ/mol, respectivamente. Provavelmente o baixo valor de energia de ativação apresentado pela espécie *Mimosa tenuiflora* foi ocasionado pelo alto teor de substâncias solúveis em álcool/tolueno.

QUADRO 24 – Parâmetros cinéticos obtidos por DSC das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

Espécie	Temperatura de Picos Endotérmicos (°C)	Temperatura de Picos Exotérmicos (°C)	ΔH (cal/g)	Ea (Kj/mol)	N
<i>Cróton sonderianus</i>	130	219,09	56,61	76,41	0,3
	260	302,23	44,21		
	500	573,49	17,63		
<i>Mimosa tenuiflora</i>	130	224,33	31,57	2,10	0,1
	260	322,61	65,60		
	500	579,68	5,85		
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	130	223,11	41,01	49,79	0,4
	260	318,01	55,29		
	500	578,25	7,61		
<i>Eucalyptus grandis</i>		83,92	10,78	30,89	0,4
	130	217,99	35,30		
	260	314,16	65,71		
	500	568,97	9,24		

ΔH : entalpia, Ea: energia de ativação e N: ordem de reação.

A ordem de reação (N), representa o número de moléculas envolvidas nas reações que ocorrem no sistema em estudo. Nota-se também no Quadro 24 que a espécie *Mimosa tenuiflora* apresentou o menor valor, 0,1 seguida da espécie *Croton sonderianus* com valor de 0,3, e que as espécies *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis* apresentaram valor de 0,4.

Os valores de energia de ativação e ordem de reação são resultados que dependem dos constituintes químicos envolvidos no processo, ou seja, quais os tipos de ligações que estão sendo quebradas e quais os tipos de compostos estão sendo formados, sendo portanto necessário juntamente com o estudo de decomposição térmica da madeira outro método para identificação de produtos gasosos produzidos, como espectrometria de massa, cromatografia gasosa e espectroscopia de infra-vermelho (HOWELL, 2002).

A espécie *Croton sonderianus* apresentou três picos exotérmicos ou de liberação de energia a 219,09, 302,23 e 573,49 °C, a *Mimosa tenuiflora* a 224,33, 322,61 e 579,68 °C e a *Aspidosperma pyrifolium* a 223,11, 318,01 e 578,25 °C; já o *Eucalyptus grandis* apresentou quatros picos, a 83,92, 217,99, 314,16 e

568,97 °C. Estas fases representam o calor de formação ou entalpia de formação dos produtos gasosos liberados pelo processo de pirólise (SARKANEN e LUDWIG, 1971; TRUGILHO, 1995).

O processo de decomposição térmica da madeira tem o primeiro pico próximo a 200 °C, e a partir deste ponto começa uma pronunciada degradação dos constituintes da madeira, gerando gases combustíveis, que aumentam até passar por um máximo em torno de 300 °C, o que está em conformidade com o relatado por TRUGILHO (1995), e posteriormente por um pico mais suave a 500 °C. Quanto maior a liberação de gases voláteis tanto maior será a energia liberada. Os picos exotérmicos representam o calor de formação ou entalpia de formação dos produtos liberados pelo processo de pirólise.

Segundo TSUJIYAMA e MIYAMORI (2000), a holocelulose apresenta dois picos exotérmicos, a 340 e 428 °C. A celulose pura apresenta um pico aguçado a 351 °C e um menos elevado a aproximadamente 508 °C, isto devido a duas regiões diferentes: a região amorfa e a cristalina. A diferença entre a madeira e a celulose pura é devido à associação de celulose e hemicelulose. Outros polissacarídeos amorfos apresentam picos a 300-370 °C, como o CMC (carboximetil-celulose), que apresenta picos a 307 °C e um pico menos pronunciado a 366 °C, já a xilana apresenta um pico 313 °C e outro menos pronunciado a 368 °C. Portanto, o principal pico exotérmico em polissacarídeos amorfos ocorre entre 300 e 370 °C. Em alguns trabalhos tem sido proposto que as hemiceluloses têm picos de transições a 300-350 e 450-500 °C. Porém, picos exotérmicos observados entre 450 e 500 °C em hemiceluloses são devido à lignina residual.

O primeiro componente químico da madeira a iniciar a decomposição é a lignina, seguida pelas hemiceluloses e, posteriormente, pela celulose, que sofre degradação diferenciada nas regiões amorfa e cristalina (MATTILA e ALLAN, 1971; ANDERSON e TILLMAN, 1977; TSUJIYAMA e MIYAMORI, 2000).

Nas paredes das células da madeira, as microfibrilas de celulose estão envolvidas com as hemiceluloses, formando um complexo celulose-hemicelulose. Se a interação entre os componentes não é negligenciável na análise térmica, o complexo celulose-hemicelulose poderia ter duas exotérmicas a temperaturas

diferentes da celulose pura. Na formação de tecido secundário, a deposição da lignina na matriz de holocelulose durante a lignificação resulta na produção de misturas complicadas de lignina e polissacarídeos. Conclui-se que as exotermas de temperatura superior na análise de DSC da madeira se deve à presença de misturas de lignina e polissacarídeos, e não à lignina pura (TSUJIYAMA e MIYAMORI, 2000).

TSUJIYAMA e MIYAMORI (2000) relataram que os picos exotérmicos encontrados para a lignina variam de acordo com a sua preparação, ou seja, os complexos ligno-celulósicos ou holocelulose (LCC) apresentam picos a 485 °C, e quando o complexo ligno-celulósico é tratado com álcali apresenta duas exotérmicas, uma a 354 °C e uma mais pronunciada a 538 °C; a lignina tratada com celulase apresenta pico a 515 °C e a lignina (MWL) a 533 °C. Portanto, picos em torno de 350 e 490 °C são devido às hemiceluloses. Assim, pode-se concluir que os picos exotérmicos observados em análises de DSC da madeira a 300 e 500 °C são indicados para polissacarídeos amorfos e para mistura de lignina e polissacarídeos, respectivamente.

4.3. Análises do Carvão

As características de qualidade do carvão vegetal avaliadas foram: rendimento gravimétrico (RG), rendimento em líquido condensado (RLC), densidade aparente (DA), densidade verdadeira (DV), materiais voláteis (MV), cinzas (CIZ), carbono fixo (CF) e poder calorífico superior (PCS), e os resultados dos valores médios dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis* encontram-se no Quadro 25.

No Quadro 26 estão o resumo das análises de variâncias individuais e o teste de F, para as características do carvão, onde se nota efeito significativo ($P < 0,01$), realçando a dissimilaridade entre as espécies. Os coeficientes de variação (Quadro 26) para as características RG, RLC, DA, DV, MV, CF e PCS apresentaram valores baixos, 2,19, 4,27, 8,30, 3,86, 1,50 e 3,02%, respectivamente, e o teor de CIZ apresentou valor médio de 22,15%.

QUADRO 26 – Resumos das análises de variâncias para as características de qualidade do carvão, rendimento gravimétrico (RG), rendimento em líquido condensado (RLC), densidade aparente (DA), densidade verdadeira (DV), materiais voláteis (MV), cinzas (CIZ), teor de carbono fixo (CF) e poder calorífico superior (PCS), dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

FV	GL	Quadrados Médios							
		RG	RLC	DA	DV	MV	CIZ	CF	PCS
Tratamento	3	60,7512**	214,4788**	0,0744**	0,0020**	5,6022**	2,3224**	7,5867**	67038,7500**
Resíduo	32	0,6242	2,6842	0,0012	0,0015	1,0676	0,1175	1,1502	44545,4400
Máximo		41,06	45,29	0,610	1,490	29,66	2,76	74,11	7.209
Mínimo		32,50	30,56	0,250	1,280	24,96	0,61	68,61	5.814
CV(%)		2,19	4,27	8,30	2,87	3,86	22,15	1,50	3,02

** F significativo a 1% de probabilidade.

As comparações entre as médias (Tukey, $P < 0,05$) estão apresentadas no Quadro 27, onde se observa que as espécies de ocorrência no semi-árido nordestino apresentaram RG maior que do *Eucalyptus grandis*. A *Mimosa tenuiflora* foi a espécie que apresentou maior RG, com valor médio de 39,70%, seguida das espécies *Croton sonderianus*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, com valores médios de 35,68, 34,96 e 33,68%, respectivamente. Foram constatadas, também, diferenças significativas entre as espécies, para o RLC. O *Croton sonderianus* e o *Eucalyptus grandis* produziram valores altos e rendimento em líquido condensado médio de aproximadamente 40%, enquanto a *Mimosa tenuiflora* apresentou baixo valor de aproximadamente 32%.

Os resultados revelam diferença significativa para DA dos carvões das espécies em estudo; o menor valor médio encontrado foi para o *Eucalyptus grandis* e o maior valor foi para a *Mimosa tenuiflora*. Tal fato não aconteceu com a DV, que não apresentou nenhuma diferença significativa entre as quatro espécies.

QUADRO 27 – Comparações entre médias de rendimento gravimétrico (RG), rendimento em líquido condensado (RLC), densidade aparente (DA), densidade verdadeira (DV), materiais voláteis (MV), cinzas (CIZ), teor de carbono fixo (CF) e poder calorífico superior (PCS) dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

Espécie	RG (%)	RLC (%)	DA (g/cm ³)	DV (g/cm ³)	MV (%)	CIZ (%)	CF (%)	PCS (cal/g)
<i>Croton sonderianus</i>	35,68 b	41,59 a	0,400 b	1,392 a	27,83 a	1,74 ab	70,43 b	6.983 a
<i>Mimosa tenuiflora</i>	39,70 a	32,63 c	0,512 a	1,389 a	26,72 ab	1,32 bc	71,96a	6.866 a
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	34,96 b	36,01 b	0,440 b	1,400 a	25,98 b	2,15 a	71,87 a	7.009 a
<i>Eucalyptus grandis</i>	33,68 c	43,12 a	0,294 c	1,366 a	26,42 b	0,98 c	72,61 a	7.072 a

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P<0,05).

Considerável teor de MV é apresentado pelo carvão produzido pelas quatro espécies; o *Croton sonderianus* apresentou o maior valor médio, enquanto o menor foi apresentado pela espécie *Aspidosperm payrifolium*.

CONNOR e DARIA (1995) relataram que quando a madeira é pirolisada lentamente, como acontece durante a carbonização, o rendimento em carvão obtido parece estar relacionado com os compostos voláteis formados durante a decomposição primária da madeira, que sofrem reações secundárias na formação do carvão quando estes materiais voláteis se movimentam do interior para a superfície das partículas.

Segundo OLIVEIRA et al. (1982), uma carbonização de 300 a 500 °C produz carvão com maior porosidade em função da maior extração de voláteis, portanto madeiras com elevados teores de materiais voláteis produzem carvão com maior porosidade.

O teor de carbono fixo das espécies *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis* não apresentou diferença significativa entre si, porém a espécie *Croton sonderianus* diferiu das demais, apresentando o menor valor .

Não houve diferença significativa no poder calorífico proveniente das quatro espécies. Segundo OLIVEIRA et al. (1982), carvão com alto teor de carbono fixo possui maior poder calorífico, portanto era esperado que a espécie *Croton sonderianus* apresentasse valor de poder calorífico inferior ao das demais. Contudo, pode-se notar que esta espécie apresenta maior teor de materiais voláteis, o que provavelmente afetou o seu poder calorífico.

A análise de variância e o teste de Tukey ($P < 0,05$), indicaram, para as características de qualidade do carvão, dissimilaridade entre as espécies. Assim, efetuou-se o estudo desta dissimilaridade, empregando o método de Tocher, com base na distância euclidiana média, os componentes principais e as análises discriminantes.

O método de otimização de Tocher reuniu os 36 indivíduos em dois grupos, tendo ocorrido maior concentração de indivíduos no grupo I, ficando o grupo II com apenas um indivíduo. Assim, o grupo I ficou constituído por 35 indivíduos, que foram distribuídos em cinco subgrupos.

O indivíduo 12, pertencente à espécie *Mimosa tenuiflora*, ficou isolado no grupo II, por apresentar menor PCS, não sendo considerado com boas características para produção de carvão, uma vez que esta característica é tida relevante para carvão de boa qualidade. O contrário aconteceu com o indivíduo 28, pertencente à espécie *Eucalyptus grandis*, que ficou isolado no subgrupo 5 do grupo I por apresentar o maior PCS (Quadro 28).

QUADRO 28 – Agrupamento dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, tendo como base as características de qualidade do carvão, utilizando a distância euclidiana média e o método de otimização de Tocher

Grupo	Subgrupo	Indivíduos
I	1	23 25 27 1 24 26 20 22 19 21 7 4 5 31 2 33 30 13
	2	3 9 6 8
	3	29 32 34 36 35 11
	4	17 18 15 11 10 14 16
	5	28
II		12

As variáveis de maiores pesos nos primeiros autovetores são consideradas de maior importância para o estudo da dissimilaridade entre as espécies. Neste trabalho, as variáveis de maior importância para a dissimilaridade entre as espécies foram DA, CF e DV, e como pode ser observado no Quadro 29 os dois primeiros componentes principais explicam cerca de 60,44% da variação total (36,24% para a primeira e 24,20% para a segunda). Ao incluir o terceiro componente principal, obteve-se uma variação acumulada de 76,21% da variação total.

QUADRO 29 – Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) das características de qualidade do carvão dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

Componente principal	Variância (autovalor)	Variância (%)	Variância acumulada (%)	Coeficiente de ponderação (autovetores)							
				RG	RLC	DA	DV	MV	CIZ	CF	PCS
CP1	2,8988	36,24	36,24	-0,4923	0,4705	-0,5431	-0,2420	-0,1738	-0,2285	0,2564	0,1862
CP2	1,9362	24,20	60,44	-0,1444	0,3069	-0,1675	0,1574	0,6156	0,1451	-0,6319	0,1813
CP3	1,2616	15,77	76,21	-0,2356	-0,0092	0,0127	0,6033	-0,3468	0,5295	0,0984	0,4123
CP4	1,0461	13,08	89,29	-0,2904	0,1346	0,0015	-0,2536	-0,1438	0,6033	-0,1222	-0,6585
CP5	0,5366	6,71	95,99	-0,0327	-0,3016	0,0741	-0,6858	-0,0250	0,3357	-0,1184	0,5521
CP6	0,1942	2,43	98,42	0,5821	0,7222	0,2010	-0,1261	-0,1539	0,1912	0,0662	0,1364
CP7	0,1263	1,58	99,99	0,5070	-0,2317	-0,7943	0,0455	-0,0611	0,2135	-0,0382	-0,0742
CP8	6,32E-05	0,0008	100,00	0,0006	0,0024	0,0037	-0,0001	-0,6495	-0,2958	-0,7004	0,0010

A partir dos coeficientes de ponderação associados as componentes principais resultantes da padronização das variáveis originais (Quadro 29), as características CF e DA são apontadas como as de maiores coeficientes associados no último e no penúltimo componente principal, respectivamente, sendo, portanto, passíveis de serem descartadas. No entanto, essas duas características apresentam-se de considerável importância nos dois primeiros componentes principais, devendo-se, segundo CRUZ e CARNEIRO (2003), questionar a validade de descarte dessas características.

De acordo com a dispersão gráfica dos escores utilizando os três primeiros componentes principais (Figura 31), observa-se certa concordância com o agrupamento realizado pelo método de Tocher, ao apontar o indivíduo 12 como diferente, uma vez que ele apresenta uma relativa equidistância dos demais indivíduos.

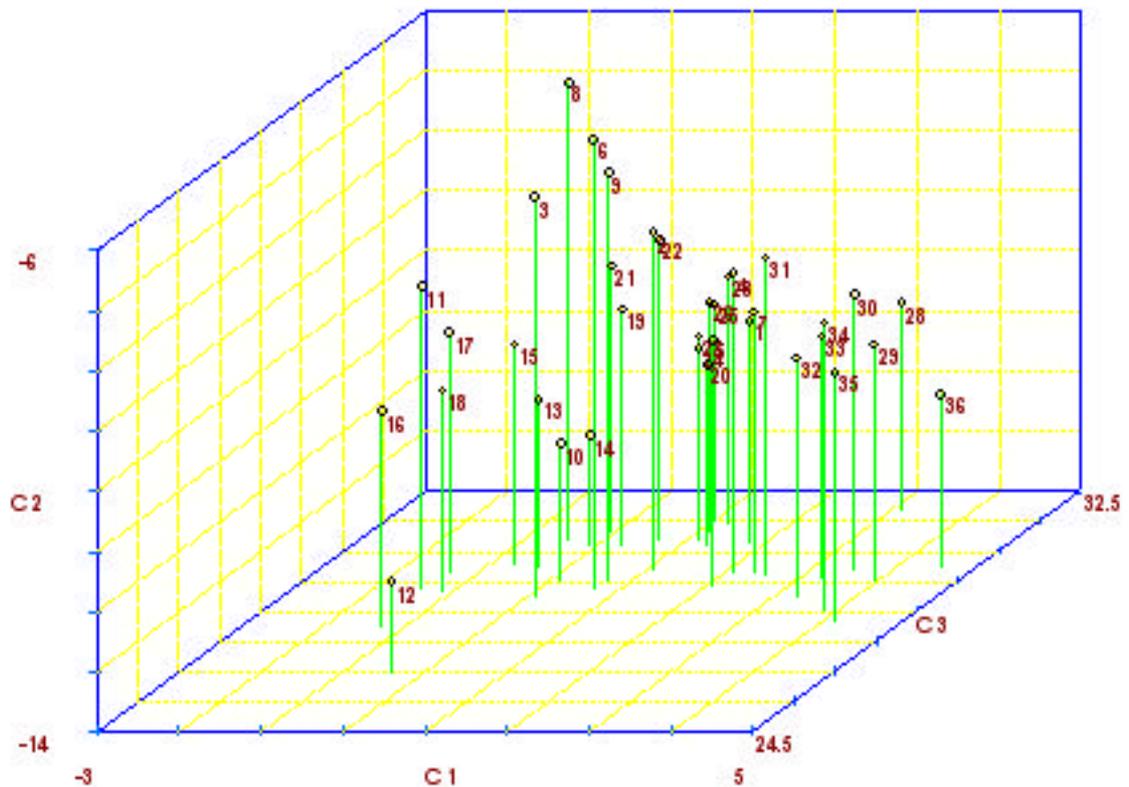


FIGURA 31 – Dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, em relação aos três primeiros autovalores da técnica de componentes principais, tendo como base as características de qualidade do carvão.

Pela dispersão gráfica nota-se que os indivíduos 28 a 36, pertencentes à espécie *Eucalyptus grandis*, apresentaram maior distância. A distribuição dos indivíduos 19 a 27 da espécie *Aspidosperma pyrifolium* ficou próxima à do *Eucalyptus grandis*, e os indivíduos 1, 5 e 7 da espécie *Croton sonderianus*

ficaram distantes dos demais de sua espécie e próximos aos das espécies *Aspidosperma pyriformium* e *Eucalyptus grandis*, mostrando certa similaridade com estas espécies.

A espécie *Mimosa tenuiflora* apresentou boa similaridade entre seus indivíduos e maior distância das demais espécies, revelando maior dissimilaridade com as outras espécies.

No Quadro 30 encontram-se os agrupamentos e a contribuição das características avaliadas e suas respectivas médias. Observa-se, neste quadro, a formação de dois grupos e que a retirada da variável menos relevante, ou seja o CF, muda o agrupamento. Logo, esta variável deve ser mantida e considera-se o primeiro agrupamento. Observa-se, ainda, heterogeneidade dentro dos subgrupos. Portanto, através da análise do dendrograma construído pelo método UPGMA (Figura 32), são observadas maior similaridade entre os indivíduos da mesma espécie e dissimilaridade entre as espécies, confirmando os resultados obtidos pelo método de otimização de Tocher. Porém, para a espécie *Croton sonderianus*, não foi possível observar comportamento homogêneo, o que dificulta a sua distinção em relação às outras espécies, com base nas características de qualidade do carvão.

Através da análise discriminante (Quadro 31), pode-se observar que os dois primeiros componentes principais apresentam variância acumulada de 80,92%.

O gráfico de dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriformium*, *Eucalyptus grandis*, em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de análise discriminante via componentes principais, encontra-se na Figura 33, onde constata-se que o agrupamento manteve o mesmo padrão, indicando que a metodologia utilizada apresenta boa consistência. Contudo, os parâmetros de qualidade avaliados do carvão não permitiram boa distinção entre as espécies, devido à proximidade de alguns indivíduos de espécies diferentes.

QUADRO 30 – Agrupamento e contribuição das características de qualidade de carvão para formação de grupos dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriformium* e *Eucalyptus grandis*, utilizando a distância euclidiana média e o método de Tocher, e suas respectivas médias

Agrupamento	Grupo	Subgrupo	Indivíduos	RG (%)	RLC (%)	DA (g/cm ³)	DV (g/cm ³)	MV (%)	CIZ (%)	CF (%)	PCS (cal/g)	
1º	I	1	23 25 27 1 24 26 20 22 19 21 7 4 5 31 2 33 30 13	35,25	38,64	0,40	1,384	26,30	1,87	71,83	7015	
		2	3 9 6 8	35,89	41,14	0,420	1,416	29,22	1,82	68,96	6957	
		3	29 32 34 36 35 11	34,59	40,80	0,310	1,358	26,82	0,80	72,36	7062	
		4	17 18 15 11 10 14 16	39,98	32,31	0,516	1,403	26,93	1,22	71,84	7008	
		5	28	33,22	45,29	0,350	1,476	25,12	1,21	73,67	7009	
	II	-	12	37,91	34,31	0,506	1,308	26,04	1,40	72,57	5814	
	2º	I	1	23 25 27 22 1 24 26 20 21 19 7 2 4 5 31 9 33 30 3	35,11	39,18	0,402	1,385	26,61	1,86	-	7013
			2	17 18 15 10 14 13 11 16	39,92	32,42	0,512	1,400	26,80	1,31	-	6997
			3	29 32 34 36 35	33,41	42,85	0,282	1,343	26,49	0,71	-	7077
		II	4	6 8	35,76	41,23	0,408	1,444	29,45	1,85	-	6969
5			28	33,22	45,29	0,350	1,476	25,12	1,21	-	7009	
-			12	37,91	34,31	0,506	1,308	26,04	1,40	-	5814	

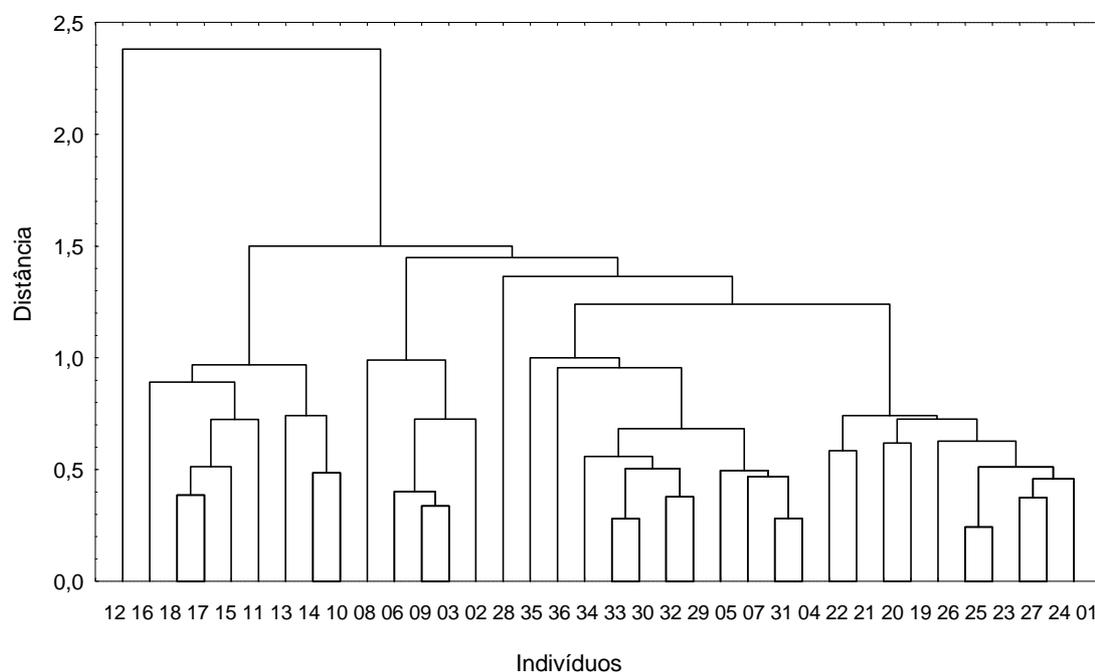


FIGURA 32 – Dendrograma construído utilizando a metodologia do UPGMA a partir das distâncias euclidianas médias padronizadas para características de qualidade do carvão dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriformium* e *Eucalyptus grandis*.

QUADRO 31 – Estimativas das variâncias (autovalores) associadas aos componentes principais e respectivos coeficientes de ponderação (autovetores) da análise discriminante para as características de qualidade do carvão dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*

Componente principal	Variância (autovalor)	Variância (%)	Variância acumulada (%)	Coeficiente de ponderação (autovetores)							
				RG	RLC	DA	DV	MV	CIZ	CF	PCS
CP1	4,3555	54,44	54,44	0,4078	-0,4160	0,4743	0,3979	0,0628	0,2306	-0,1803	-0,4333
CP2	2,1181	26,48	80,92	-0,2004	0,3246	-0,0961	0,2439	0,5125	0,3353	-0,6270	0,1322
CP3	1,5264	19,08	100,00	-0,3535	-0,1231	0,0191	0,3474	-0,5286	0,5895	0,1297	0,3084

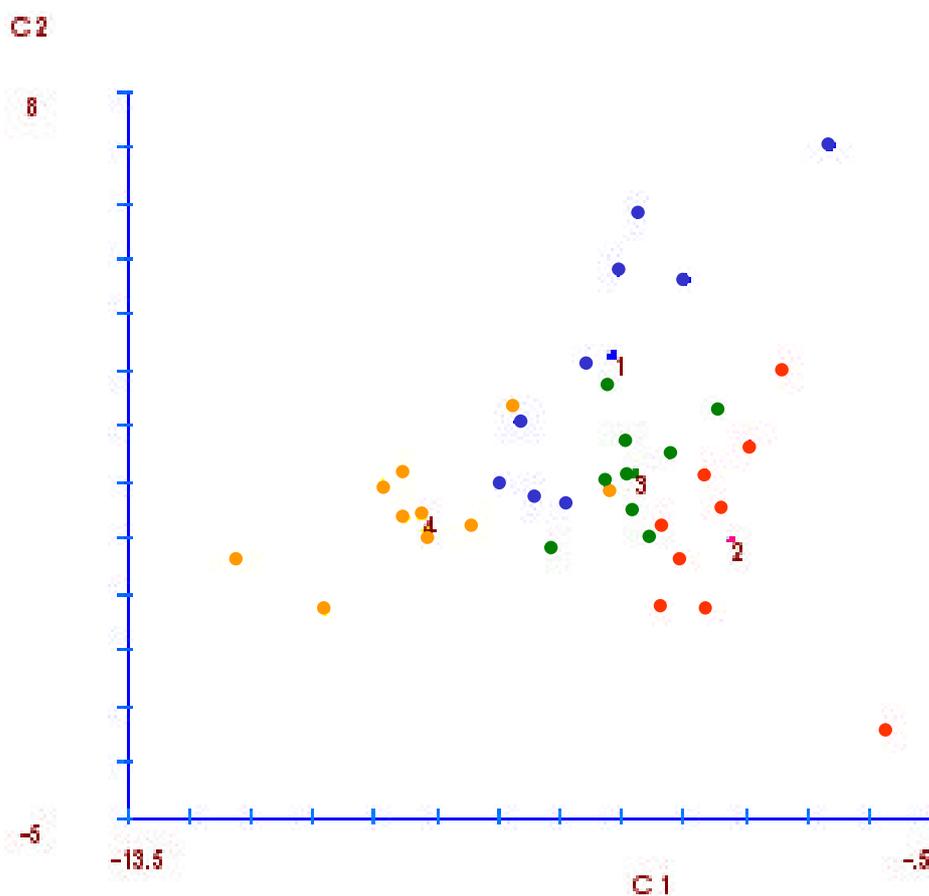


FIGURA 33 – Dispersão dos escores dos 36 indivíduos das espécies *Croton sonderianus* (1), *Mimosa tenuiflora* (2), *Aspidosperma pyrifolium* (3) e *Eucalyptus grandis* (4), em relação aos dois primeiros autovalores da técnica de análise discriminante via componentes principais, tendo como base as características de qualidade do carvão.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

A finalidade do presente estudo foi avaliar a potencialidade energética e estabelecer a variabilidade da qualidade da madeira e do carvão como determinantes da discriminação das espécies *Croton sonderianus* Müll. Arg., *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., *Aspidospema pyrifolium* Mart., de ocorrência no semi-árido nordestino, e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden., através de estudos da importância das características dendrométricas, qualidade da madeira e do carvão. Para tanto, foram tomadas amostras inteiramente ao acaso, colhendo-se nove árvores por espécies, sendo três árvores em três localidades diferentes. As espécies de ocorrência no semi-árido nordestino são oriundas da fazenda NUPEÁRIDO – Patos-PB, fazenda Lameirão – Santa Terezinha-PB e fazenda Caicú – São José de Espinharas-PB; o *Eucalyptus grandis* foi coletado na área experimental da Silvicultura (UFV) – Viçosa-MG, CENIBRA – Belo Oriente-MG e na área experimental da UFV – (Cachoerinha) Viçosa-MG.

As madeiras foram devidamente identificadas e transportadas para o Laboratório de Painéis e Energia da Madeira, onde foram realizadas as análises. Para avaliação das características dendrométricas foram obtidos o diâmetro à altura do peito (DAP), a altura total e o volume com casca e sem casca.

Foram realizadas análises da madeira, como descrição das estruturas anatómicas nas três seções: transversal, longitudinal radial e tangencial, mensurações

das dimensões de fibras e elementos de vasos através de macerados, determinação da densidade básica, análises químicas, como teor de substâncias solúveis em álcool/tolueno, lignina, holocelulose e cinza, poder calorífico, análise termogravimétrica (TGA) e calorimetria diferencial exploratória (DSC). Para avaliação das características do carvão, foram feitas as carbonizações, das quais foram avaliadas: rendimento gravimétrico, rendimento em líquido condensado, análise química imediata, densidades aparente e verdadeira e poder calorífico.

Os resultados foram interpretados com o auxílio de análises univariadas (ANOVA e teste de Tukey) e análises multivariadas, empregando o método de otimização de Tocher, com base na distância euclidiana média, os componentes principais e as análises discriminantes, com base nas características dendrométricas, anatômicas e químicas da madeira, e os rendimentos dos produtos da carbonização e propriedades químicas e físicas do carvão vegetal.

A espécie *Croton sonderianus* apresenta poros predominantemente solitários, geminados e múltiplos em agrupamento radial; poros distribuídos em porosidade em anel semi-circular; parênquima axial variando de paratraqueal escasso e apotraqueal difuso; raios predominantemente os multisseriados, bisseriados e, menos freqüentemente unisseriados; fibras de paredes espessas e muito curtas. A *Mimosa tenuiflora* apresenta poros predominantemente solitários, geminados e múltiplos em agrupamento radial; poros distribuídos em porosidade difusa uniforme; parênquima axial paratraqueal vasicêntrico, vasicêntrico confluyente, aliforme e aliforme confluyente; raios multisseriados, bisseriados e, menos freqüentemente unisseriados; fibras de paredes espessas e muito curtas. A espécie *Aspidosperma pyriformium* apresenta poros predominantemente solitários, ocorrendo também geminados e múltiplos em agrupamento radial; poros distribuídos em porosidade difusa uniforme; parênquima axial apotraqueal em faixas e difuso; raios predominantemente unisseriados, muito raramente com duas células; fibras de paredes espessas e muito curtas. O *Eucalyptus grandis* apresenta poros predominantemente solitários, ocorrendo também geminados e múltiplos em agrupamento radial; poros distribuídos em porosidade difusa; parênquima axial variável de paratraqueal escasso a paratraqueal vasicêntrico, pouco

abundante; raios predominantemente os unisseriados, ocorrendo também os bisseriados; fibras com paredes de espessura média e curtas.

Pela análise univariada referente às características dendrométricas, qualidade da madeira e do carvão, evidenciou-se a existência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre as espécies em estudo, pelo teste de F, para todas as características avaliadas.

Comparações entre médias, empregando-se o teste de Tukey ($P < 0,05$) para as características dendrométricas: diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, volume e massa, as espécies de ocorrência no semi-árido nordestino não apresentaram diferença significativa entre si, diferindo-se contudo entre si somente para a densidade básica média (DBM). O *Eucalyptus grandis* apresentou diferença significativa em relação às espécies do semi-árido em todas as características avaliadas.

As medidas de dissimilaridade dada pelos componentes principais para as características dendrométricas mostram que as espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* apresentaram maior similaridade entre os indivíduos de mesma espécie e dissimilaridade entre si, apresentando maior dissimilaridade em relação ao *Eucalyptus grandis*. As características que mais contribuíram para a dissimilaridade entre as espécies foram a densidade básica média (DBM) e o volume.

Pelo método de otimização de Tocher, evidenciou-se a formação de cinco grupos, que foi confirmada pelas análises de dispersão dos escores dos componentes principais e pelo dendrograma para as características dendrométricas.

Observou-se diferença significativa entre as médias das características anatômicas da madeira: dimensões de fibras e elementos de vaso, entre as quatro espécies em estudo.

Pelos componentes principais e pelo método de agrupamento de Tocher, para as características anatômicas da madeira, verificou-se a formação de cinco grupos e que houve a formação de subgrupos, mostrando dissimilaridade entre as espécies. As características de maior relevância na contribuição para a

dissimilaridade foram comprimento de fibra e espessura de parede da fibra, e as características de menor relevância foram largura e área de vaso.

As análises da dispersão gráfica dos escores e do dendrograma referente às características anatômicas mostram-se coerentes com as análises de agrupamento de Tocher.

As quatro espécies em estudo apresentaram diferenças significativas entre as médias para as características químicas da madeira, mostrando dissimilaridade entre as espécies.

Através dos componentes principais e do agrupamento de Tocher, observou a formação de seis grupos, com formação de subgrupos, e que houve similaridade entre alguns indivíduos de espécies diferentes, portanto não foi possível inferir sobre a formação de grupos homogêneos com base nas características químicas da madeira pela metodologia utilizada. A característica que apresentou menor relevância para a dissimilaridade entre as quatro espécies foi o teor de holocelulose.

Pela análise do dendrograma com base nas características químicas, evidenciou-se dissimilaridade entre as espécies e que um indivíduo da espécie *Mimosa tenuiflora* formou um grupo isolado, formado por apenas um indivíduo, o nº 12, por apresentar baixo teor de holocelulose, alto teor de lignina e alto poder calorífico.

As quatro espécies em estudo apresentaram diferenças significativas entre as médias de todas as características de qualidade do carvão, exceto para a densidade verdadeira, que não apresentou nenhuma diferença significativa entre as quatro espécies em estudo.

Pela análise dos componentes principais e do agrupamento de Tocher, para as características de qualidade do carvão, verificou-se a formação de dois grupos, devendo ser ressaltado que no grupo I houve a formação de subgrupos. O grupo II foi formado por um único indivíduo, por este apresentar um valor de poder calorífico inferior aos demais. As características que mais contribuíram para a dissimilaridade entre as espécies foram DA, CF e DV.

Através da análise do dendrograma com base nas características de qualidade do carvão, evidenciou-se a formação de três grupos referentes às espécies *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*. A espécie *Croton sonderianus* apresentou comportamento heterogêneo, dificultando a distinção em grupo homogêneo em relação às demais.

As análises discriminantes realizadas para as características dendrométricas, de qualidade da madeira e do carvão confirmam a boa consistência das metodologias, empregando o método de Tocher, com base na distância euclidiana média e os componentes principais utilizados para verificar a dissimilaridade entre as espécies.

A análise termogravimétrica e a calorimetria diferencial exploratória mostraram que não existem diferenças significativas entre as espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*.

As curvas termogravimétricas mostram que ocorre degradação de forma similar para as quatro espécies, iniciando a 150 °C, com degradação mais acentuada de 250 a 450 °C, período em que ocorre a carbonização, decrescendo com o aumento da temperatura, onde acima de 400 °C a degradação dos componentes químicos da madeira é quase completa, deixando como resíduo o carvão.

As análises de calorimetria diferencial exploratória mostraram que todas as espécies em estudo apresentam picos endotérmicos que representam a energia de ativação necessária para iniciar a decomposição térmica dos constituintes químicos da madeira a 130, 260 e 500 °C.

A espécie *Croton sonderianus* apresentou três picos exotérmicos, a 219,09, 302,23 e 573,49 °C, a *Mimosa tenuiflora* a 224,33, 322,61 e 579,68 °C, e *Aspidosperma pyrifolium* a 223,11, 318,01 e 578,25 °C, e o *Eucalyptus grandis* apresentou quatro picos, a 83,92, 217,99, 314,16 e 568,97 °C.

O primeiro componente químico da madeira a iniciar a decomposição é a lignina, seguida pelas hemiceluloses e posteriormente, pela celulose, que sofre degradação diferentemente nas regiões amorfa e cristalina (MATTILA e ALLAN, 1971; ANDERSON e TILLMAN, 1977) e, finalmente, pico acima de 500 °C, que é devido à mistura de lignina e polissacarídeos (TSUJIYAMA e MIYAMORI, 2000).

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que as três espécies, *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium*, de ocorrência no semi-árido nordestino, apresentam bom potencial para produção de carvão, com melhores resultados apresentados para as espécies *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium*. A característica anatômica da madeira que mais contribui para a distinção das espécies em estudo foi a porosidade. As características dendrométricas e de qualidade da madeira são as principais responsáveis pela dissimilaridade entre as espécies. As características dendrométricas, anatômicas, químicas e de qualidade do carvão que mais contribuíram para a dissimilaridade entre as espécies foram: DBM, volume, comprimento e espessura de fibra, teor de holocelulose, densidade aparente, teor de carbono fixo e densidade verdadeira, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRA, M. F; ROCHA, E. A; FORMIGA, S. C.; LOCATELLI, E. Plantas medicinais dos Cariris velhos, Paraíba, Parte II: Subclasses Magnoliidae, Caryophyllidae, Dilliniidae e Rosidae. Rev. Bras. Farm., v. 77, n. 3, p. 97-102, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTINT AND MATERIALS (ASTM). **Standard method for chemical analyses of wood charcol.** Phyladelphia: 1977. 1042 p.

ANDERSON, T. W. **An introduction to multivariate statistic analysis.** New York, John Wiley & Sons, 1958. 374 p.

ANDERSON, L. L.; TILLMAN, D. A. **Fuels from waste.** New York, Academic Press, 1977. 230 p.

ASSIS, P. S.; ALMEIDA, L. Z.; PORTO, F. M. **Utilização do carvão vegetal na siderurgia.** Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais-CETEC. 1982. p. 281-318.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **Normas técnicas NBR 8633.** Brasília, 1983. n.p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL **NORMAS ABCP.** Normas técnicas ABTCP. São Paulo, ABTCP, 1974. n.p.

BLANKHORN, F.A. Porosity and pore size distribution of blach cherry carbonized in an inert atmosphere. **Wood Science**, v. 11, n. 1, p. 23-29, 1978.

BRASIL, M. A. A.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *E. Saligna* Smith e *Eucalyptus grandis*, Hill ex-Maiden aos cinco anos de idade, função do local e do espaçamento. **IPEF**, n.2/3, p. 129-149, 1971.

BRASIL, M. A. A.; VEIGA, R. A.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica nas seções transversais do caule da base do tronco para a copa de eucalipto. **IPEF**, n. 15, p. 73-82, 1977.

BRITO, J. O. Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. IPEF, Piracicaba, 1993. 6 p. (Circular técnica, 181).

BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: John Wiley & Sons, 1963. 689 p.

BURGER, L. L.; RICHITER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CARMO, J. S. **Propriedades físicas e químicas do carvão vegetal destinado à siderurgia e metalurgia**. Viçosa - Minas Gerais, Brasil. 1988. (Monografia)

CARVALHO, A. M. M. L. **Efeito da impregnação da madeira de *Eucalyptus grandis* com sais ignífugos na produção e na qualidade do carvão**. 1997. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

CHERRY, M. **The needs of the people**. In: WICKENS, G. E.; GOODIN, J. R.; FIELD, D. V. (Eds.). **Plants for arid lands**. Kew UK: Royal Botanic Gardens. 1985. p.1-8.

CORRÊA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1984. v. 5.

COTTA, A. M. G. **Qualidade do carvão vegetal para siderurgia**. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 1996 (Monografia).

COUTINHO, A. R.; FERRAZ, E. S. B. Determinação da friabilidade do carvão vegetal em função do diâmetro das árvores e temperatura de carbonização. **IPEF**, v. 38, p. 33-37, 1988.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV. v.2. 2003. 585 p.

DADSWELL, H. E. The anatomy of eucalypt wood. **Forest Products Laboratory, CSIRO**, n. 66, p. 1-28, 1972.

DELLA ROCCA, P. A.; CERRELLA, E. G.; BONELLI, P. R.; CUKIERMAN, A. L. Pyrolysis of hardwoods residues: on Kinetics and chars characterization. **Biomass and Bioenergy**, v. 16, p. 79-88, 1999.

EBERHARD, A. A. e DAVIS, M. Combustion characteristic of fuelwood. **South African Forestry Journal**, n. 158, p. 17-22, 1991.

FERNANDES, N. S.; CARVALHO FILHO, M. A. S.; MENDES, R. A. E.; IONASHIRO, M. Thermal decomposition of some chemotherapeutic substances. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 10, n. 6, p. 459-462, 1999.

FLORSHEIM, S. M. B. **Variações da estrutura anatômica e densidade básica da madeira de árvore de aroeira *Myracrodruon urundeuva* F.F. & M.F. Allemão (ANACARDIACEAE)**. Piracicaba-SP: ESALQ-USP. 1992. 252 p.

GARCIA, C. B. **Anatomia, composição e propriedades de cinco madeiras paraguaias**. 1995. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. (Eds.) **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971. p. 241-66.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil. Belo Horizonte: PNUD/FAO/IBDF/BRA-45, 1978. 66 p. (Série Técnica, 11)

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O PAPEL**, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

HILLIS, W. E.; BROWN, A.G. *Eucalyptus* for wood production. Melbourne. **CSIRO**, 1978. 434 p.

HILLIS, W. E. Wood quality and growing to meet market requirements. In: THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, p. 256-264.

HOWELL, B. A. The utility of variable temperature techniques in the determination of kinetic parameters. **Termochimica Acta.**, v. 388, p. 275-281, 2002.

IAWA INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA** bulletin, v. 10, n. 3, p. 220-332, 1989.

IBAMA INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE. Normas e procedimentos em estudos de anatomia de Madeira: 1-angiosperma. **LPF**, n.15, p.1-19, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA – IBGE. **Censo Demográfico: Paraíba**. Rio de Janeiro: v.7. 2000 (Recenseamento Geral do Brasil. 2000).

JOHNSON, D. V. **Relatório sobre o manejo da caatinga, semi-árido do Nordeste Brasileiro**. In: PROJETO PNUD/FAO/BRA/85/007. Natal: 1985. (Circular Técnica, 3).

KNIGGE, W.; KOLTZENBURG, C. The influence of timber qualities and ecological conditions on the cell sizes and the proportions of types of cell in hardwoods in the temperate zones. **Proceedings....CSIRO**, n. 2, p. 1-24, 1965.

LELLIS, J. G.; SILVA, J. C. Problemas e soluções sobre rachaduras de topo de madeiras de *Eucalyptus* sp. nas fases de desdobro e de secagem. In: **Informe Agropecuário**, v.18, n. 186, p. 62-69, 1997.

LEWIN, M.; GOLDSTEIN, I. S. **Wood structure and composition**. New York: Marcel Dekker, 1991. 488 p.

LIMA, D. A. **Notas sobre a dispersão de algumas espécies vegetais no Brasil**. ANAIS, **Soc. Biol.**, v. 11, n. 1, p. 25-49, 1953.

LIMA, D. A. **Plantas das Caatingas**. Academia Brasileira de ciências. Rio de Janeiro: 1989. 243 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v. 2. 2 ed, Nova Odessa, SP: Plantarum, 1998. 352 p.

MARCATI, C. R. **Estudo da anatomia e das propriedades tecnológicas da madeira de angico-vermelho (*Piptadenia peregrina* Benth)**. 1992. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

MATTILA, T.; ALLAN, G. G. High energy degradation. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. (Eds.) **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. New York: John Wiley & Sons, 1971. p.575-596.

MEDEIROS, C. A.; REZENDE, M. E. A. Alcatrão Vegetal: perspectiva de produção e utilização. **Revista Fundação João Pinheiro**, v. 13, n. 9-12, p. 42-48, 1983.

MELO, A. C. **Geografia dos combustíveis lenhosos na microrregião de Patos- Paraíba**. 1998. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências geográficas) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1998.

MENDES, L. M. **Influência do carvão vegetal no desempenho de um gaseificador-gerador de energia elétrica**. Viçosa: UFV. 1994. 50 p.

- MIRANDA, G. **Potencial energético de três espécies florestais da região semi-árida do Nordeste do Brasil**. 1989. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.
- MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 1999. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- MOREY, P. R. **O crescimento das árvores**. São Paulo: EDUSP. 1981. 78 p.
- OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. **Estudos preliminares de normatização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal**. In: PENEDO, W. R. **CARVÃO VEGETAL**. Belo Horizonte, CETEC, 1982. p. 7-38. (Série de Publicações Técnica, 006).
- OLIVEIRA, E. **Correlação entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)**. 1988. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.
- OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. Propriedades do carvão vegetal. In: PENEDO, W. R. (Ed.) **Carvão vegetal: destilação, carvoejamento, controle de qualidade**. Belo Horizonte: CETEC. 1982b. p.39-61.
- OLIVEIRA, J. B.; VIVACQUA FILHO, A.; GOMES, P. A. Produção de carvão vegetal - aspectos técnicos. In: PENEDO, W. R. (Ed.) **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC. 1982a. p. 60-73.
- ÓRFÃO, J. J. M.; FIGUEIREDO, J. L. A simplified method for determination of lignocellulosic materials pyrolysis Kinetics from isothermal thermogravimetric experiments. **Thermochimica Acta**, v. 380, p. 67-78, 2001.
- PANSHIN, A. J.; De ZEEUW, C. **Textbook of technology**. 3.ed. New York: McGraw Hill, 1980. 722 p.
- PETTERSEN, R. C. The chemical composition of wood. In: ROWELL, R. (Eds.) **The chemistry of solid wood**. Washington: American Chemical Society, 1984. p.54-126.
- PNUD/FAO/IBAMA/GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA/BRA/87/007 1994. **Diagnóstico do Setor Florestal do Estado da Paraíba**. João Pessoa:
- RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa: UFV, 1987. 4 p.
- RIZZINI, C. T. Notas prévia sobre a divisão fitogeográfica do Brasil. **Rev. Bras. Geogr.**, v. 25, n. 1, p. 3-64, 1963.
- RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil** – manual de dendrologia . 2 ed., São Paulo: Ed. E. Blucher., 1981. 381 p.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos.** Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 1997. 747 p.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake da Ilha de Floresta, Indonésia.** 1998. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1998.

SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. Lignins: occurrence, formation, structure and reation. New York: John Wiley & Sons, 1971. 916 p.

SHAFIZADEH, F.; CHIN, P. P. S. Thermal deterioration of wood. In: GOLSTEIN, I. S. (Ed.) **Wood technology chemical aspects.** Washington: American Chemical Society. 1977. p. 57-81.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1990.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 2002. 160 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J.O. **Características dendrológicas e anatômicas da madeira de dez espécies ocorrentes no Nordeste semi-árido.** 1988. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

SILVA, S. A.; SOUZA, A. G.; CONCEIÇÃO, M. M.; ALENCAR, A. L. S.; PRASAD, S.; CAVALHEIRO, J. M. O. Estudo Termogravimétrico e Calorimétrico da Algaroba. **Quim. Nova**, v. 24, n. 4, p. 460-464, 2001.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications.** 2.ed. New York: Academic Press. 1993. 293 p.

SUDENE/EMBRAPA. **Levantamento exploratório Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba.** Rio de Janeiro: 1972. 683 p. (Boletim Técnico e Série Pedologia, 8).

TECHINICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. Tappi test methods: 1992-1993. Atlanta, 1992.

TIGRE, B. C. **Regeneração das formações arbóreas da caatinga.** In: VASCONCELLOS SOBRINHO, J. (Eds.). As regiões naturais no nordeste o meio e a civilização. 1970. p. 181-186. Conselho de Desenvolvimento de Pernambuco. Recife – Brasil.

- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenoides*. **IPEF**, v. 36, p. 35-42, 1987.
- TOMAZELLO FILHO, M. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. **IPEF**, v. 29, p. 25-36, 1985a.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, v. 29, p. 36-45, 1985b.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenoides*. **IPEF**, v. 36, p. 35-42, 1987.
- TRICART, J. **As Zonas Morfoclimáticas do Nordeste Brasileiro**. Salvador: Livraria Progresso, 1959.
- TRUGILHO, P. F. **Aplicação de algumas técnicas de análise multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus***. 1995. 160 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Van Nostrand Reinold, 1991. 494 p.
- TSUJIYAMA, S.; MIYAMORI, A. Assignment of DSC thermograms of wood and its components. **Termochimica Acta**, v. 351, p. 177-181, 2000.
- VALENTE, A. F. **Carbonização de madeira de eucalipto**. Informe Agropecuário, v. 141, p. 74-79, 1986.
- VASCONCELOS SOBRINHO, J. **As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização**. Recife: Conselho do Desenv. de Pernambuco, 1971. 441 p.
- VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa: SIF, 1984. 21 p. (Boletim técnico, 1).
- VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 10, n. 2, p. 151-160, 1986.
- WENZL, H. F. J. **The chemical technology of wood**. New York: Academic Press, 1970. 692 p.
- ZOBEL, J. B.; BUJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. New York. Springer-Verlag. 1989. 36 p.

APÊNDICE

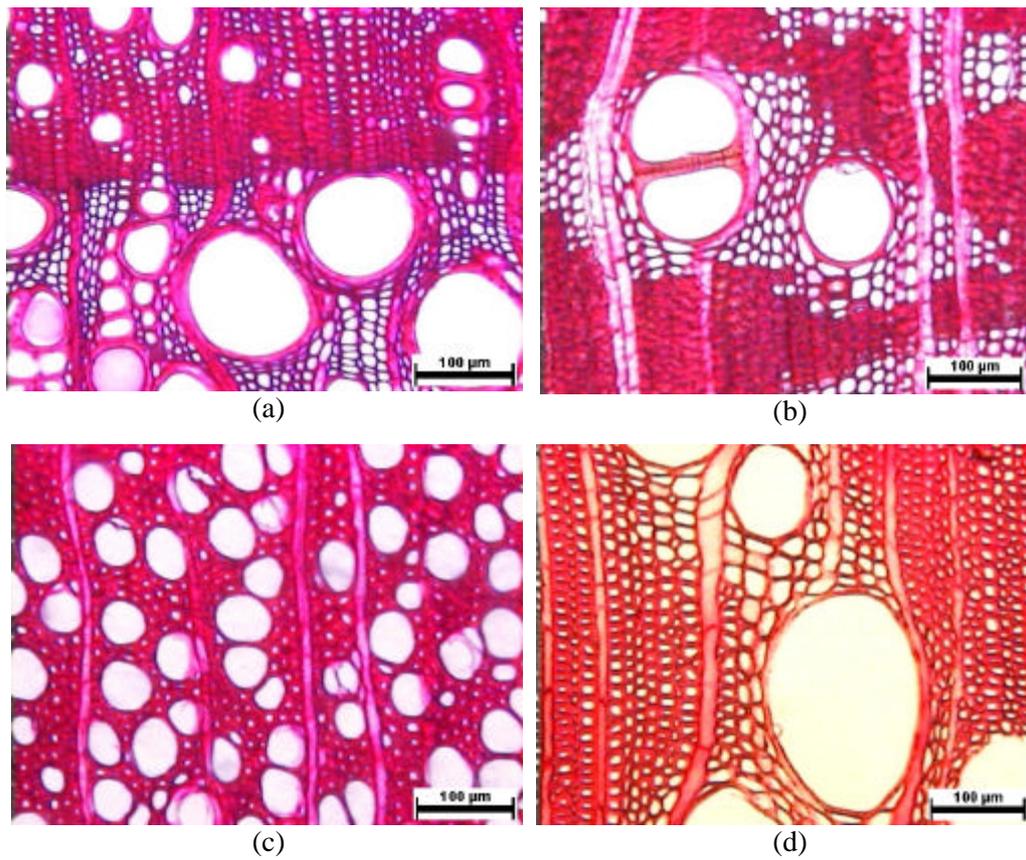
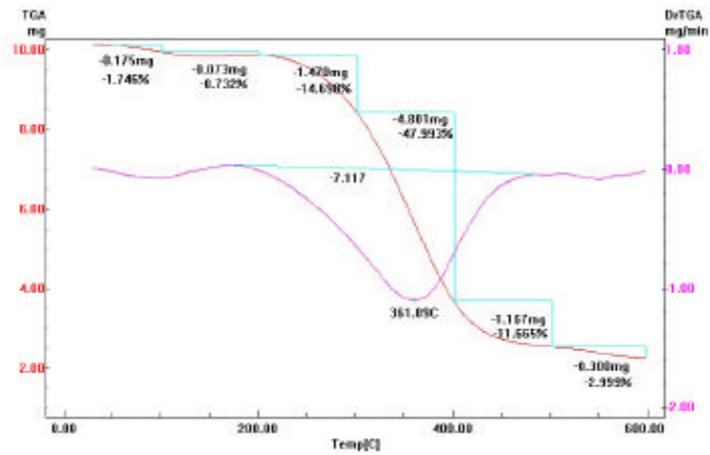
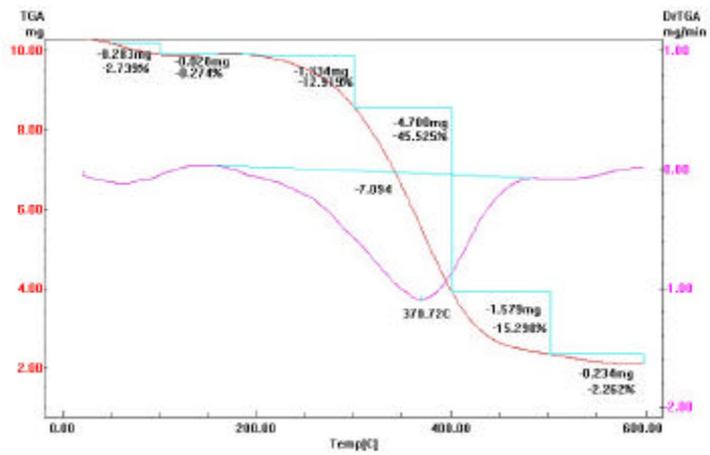


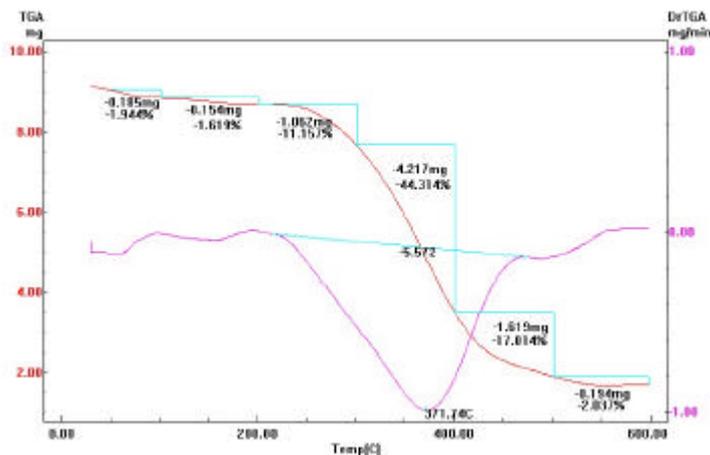
FIGURA 1A – Corte transversal (500X). a) *Croton sonderianus*, b) *Mimosa tenuiflora*, c) *Aspidosperma pyriformium* e d) *Eucalyptus grandis*. Escala com 100 µm.



(a)

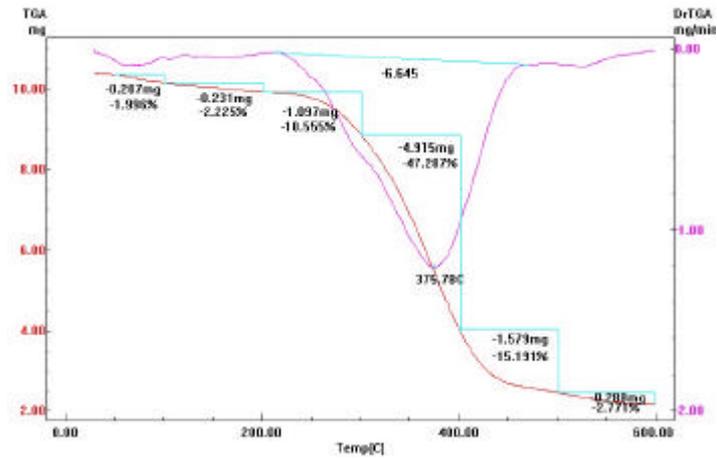


(b)

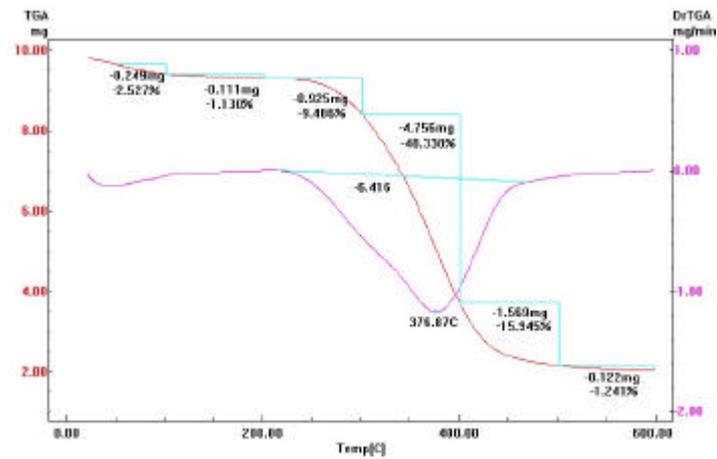


(c)

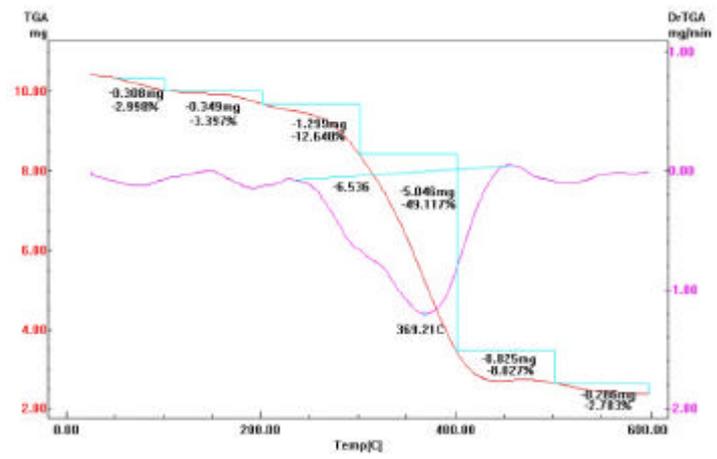
FIGURA 2A – Análise termogravimétrica da madeira de *Croton sonderianus*. a) amostra 1.1.1; b) amostra 1.1.2; e c) amostra 1.1.3.



(d)

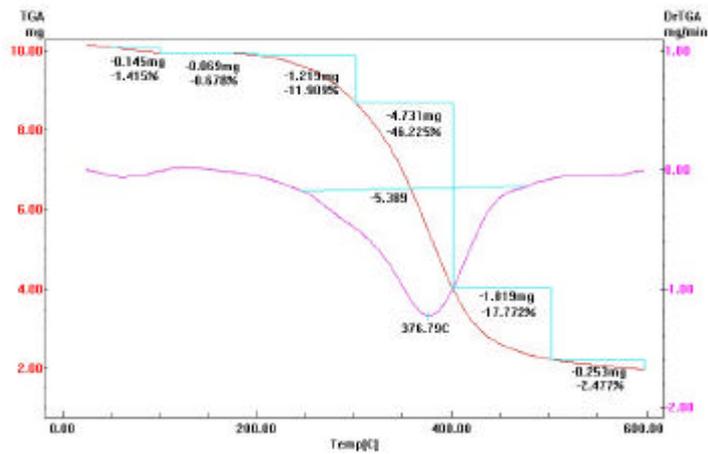


(e)

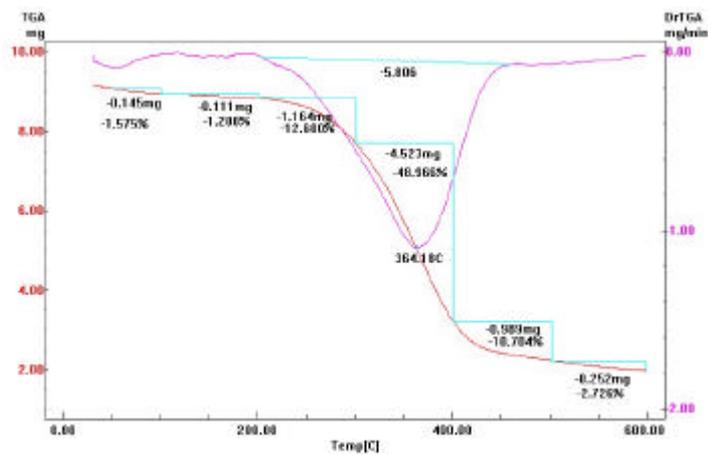


(f)

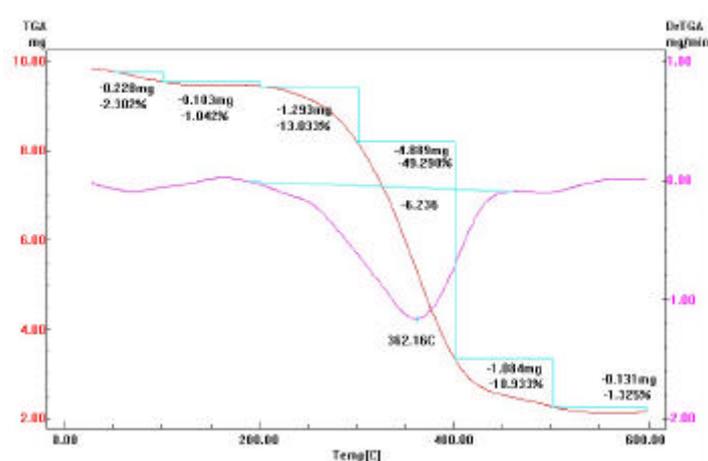
FIGURA 3A – Análise termogravimétrica da madeira de *Croton sonderianus*. d) amostra 1.2.1; e) amostra 1.2.2; e f) amostra 1.2.3.



(g)

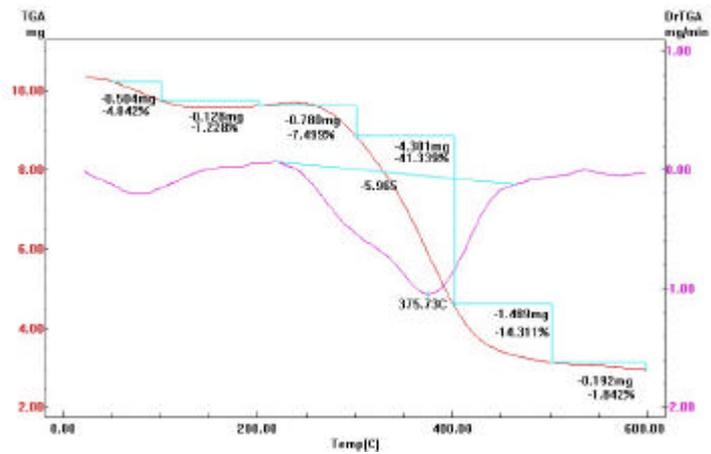


(h)

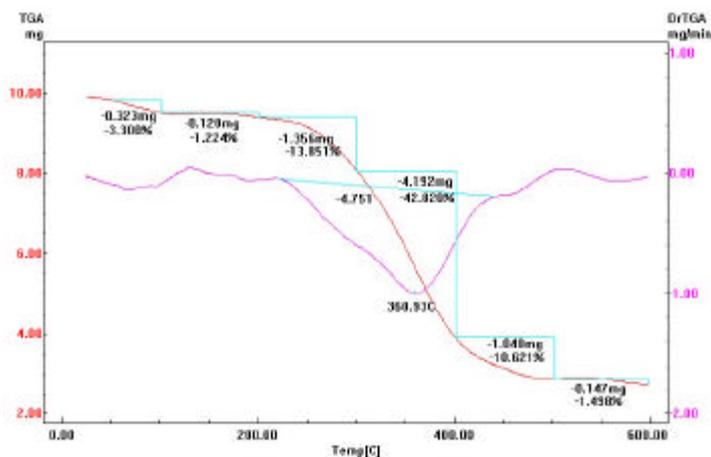


(i)

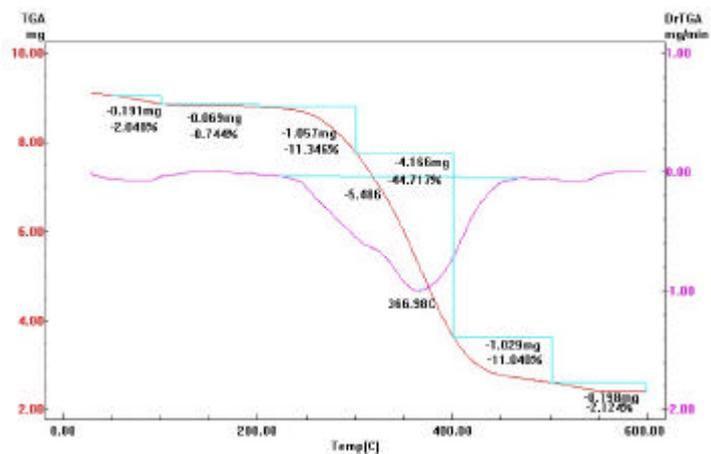
FIGURA 4A – Análise termogravimétrica da madeira de *Croton sonderianus*. g) amostra 1.3.1; h) amostra 1.3.2; e i) amostra 1.3.3.



(a)

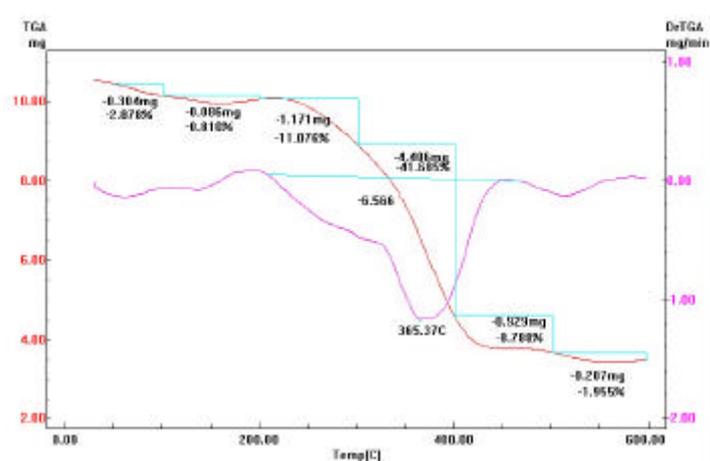


(b)

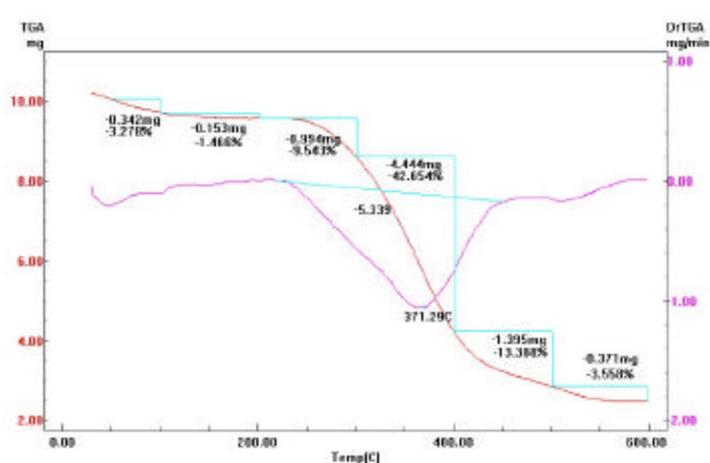


(c)

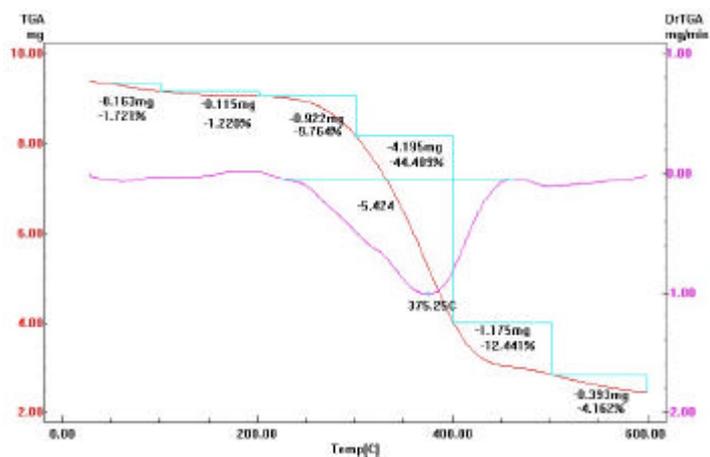
FIGURA 5A – Análise termogravimétrica da madeira de *Mimosa tenuiflora*. a) amostra 2.1.1; b) amostra 2.1.2; e c) amostra 2.1.3.



(d)

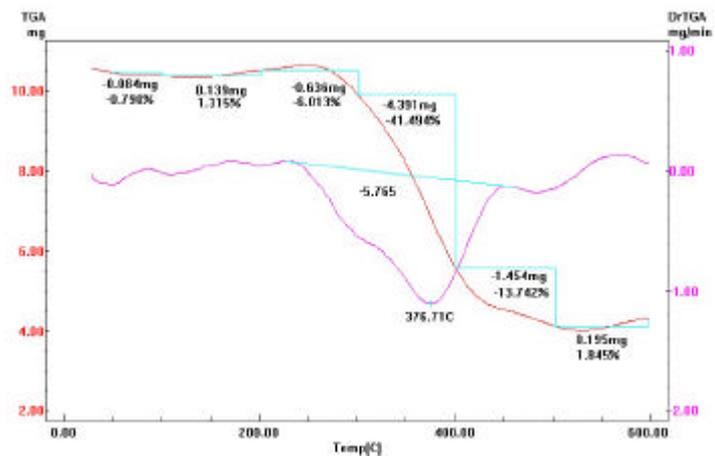


(e)

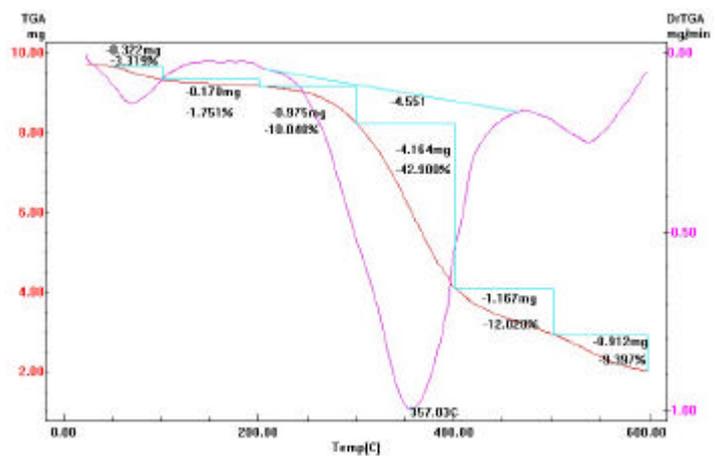


(f)

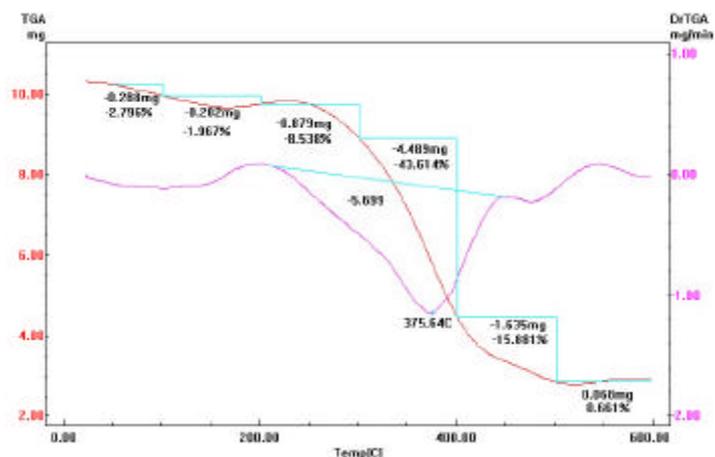
FIGURA 6A – Análise termogravimétrica da madeira de *Mimosa tenuiflora*. d) amostra 2.2.1; e) amostra 2.2.2; e f) amostra 2.2.3.



(g)

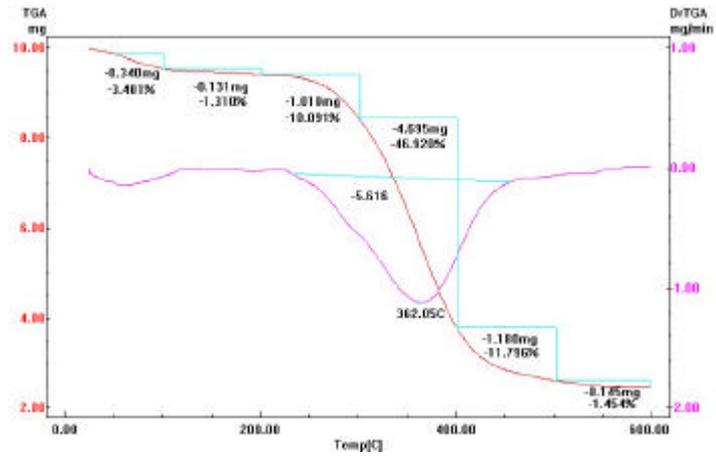


(h)

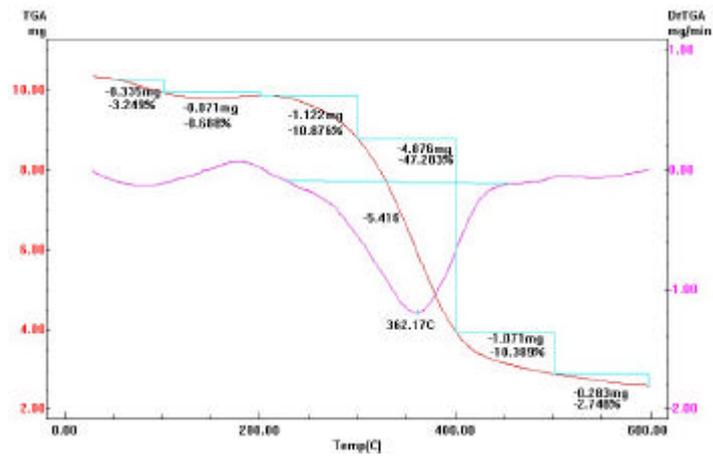


(i)

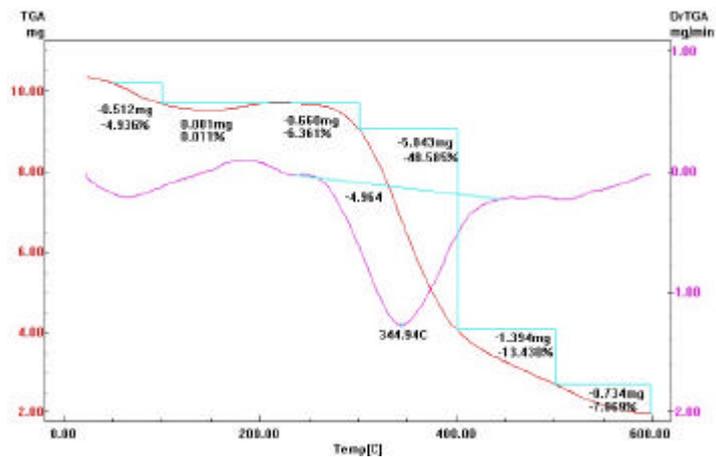
FIGURA 7A – Análise termogravimétrica da madeira de *Mimosa tenuiflora*. g) amostra 2.3.1; h) amostra 2.3.2; e i) amostra 2.3.3.



(a)

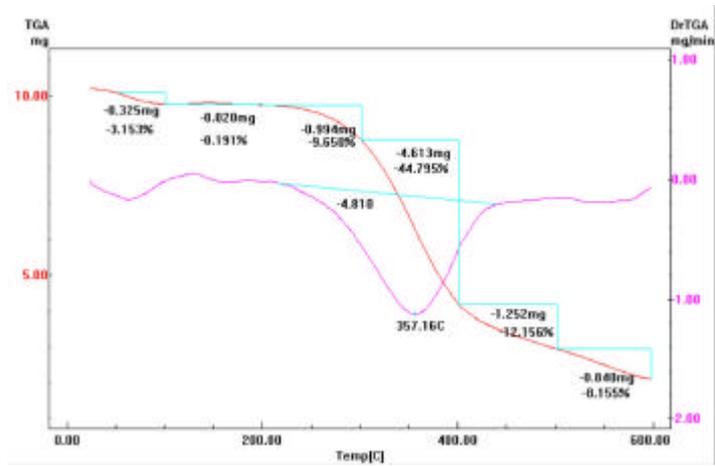


(b)

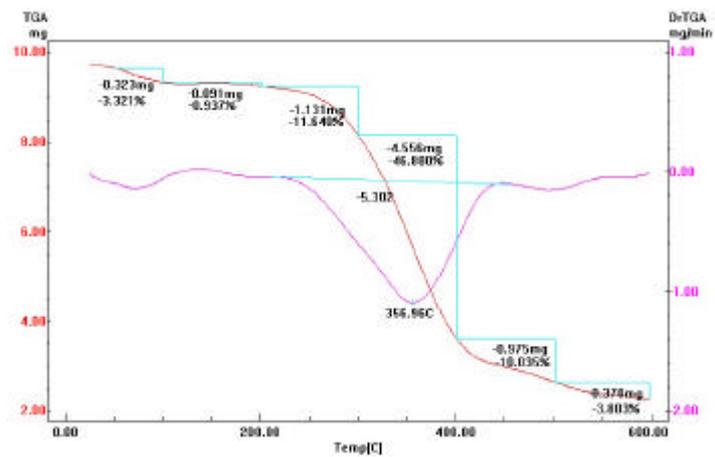


(c)

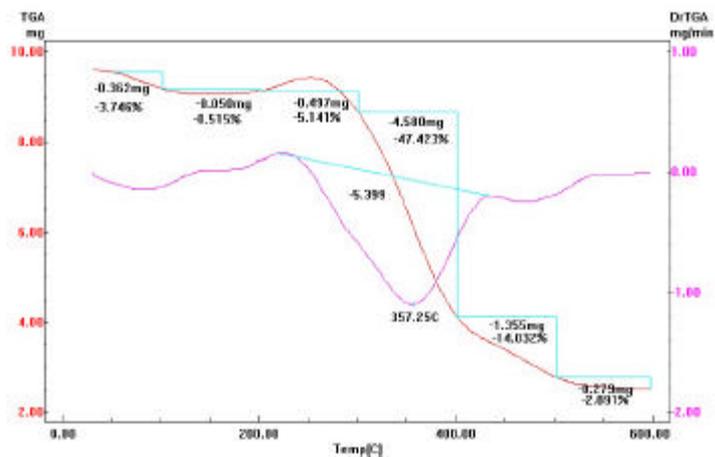
FIGURA 8A – Análise termogravimétrica da madeira de *Aspidosperma pyriforme*. a) amostra 3.1.1; b) amostra 3.1.2; e c) amostra 3.1.3.



(d)

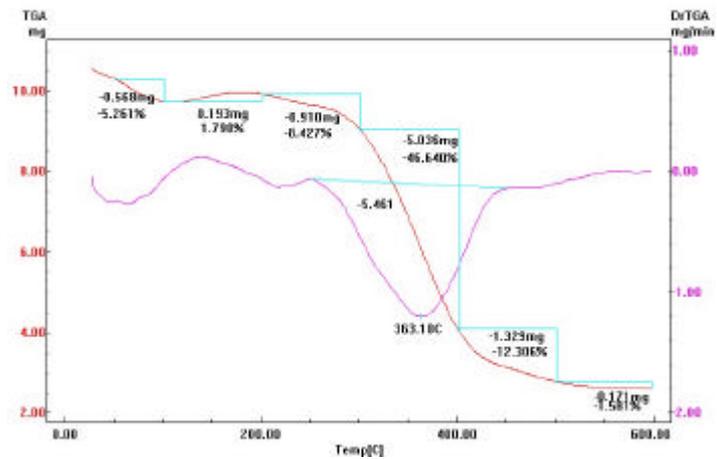


(e)

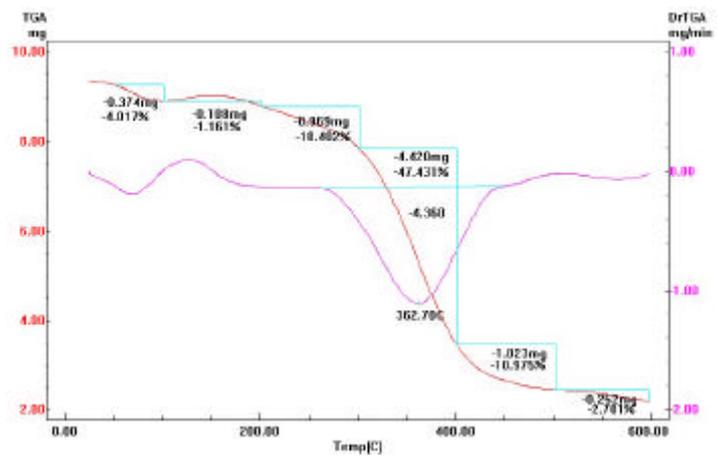


(f)

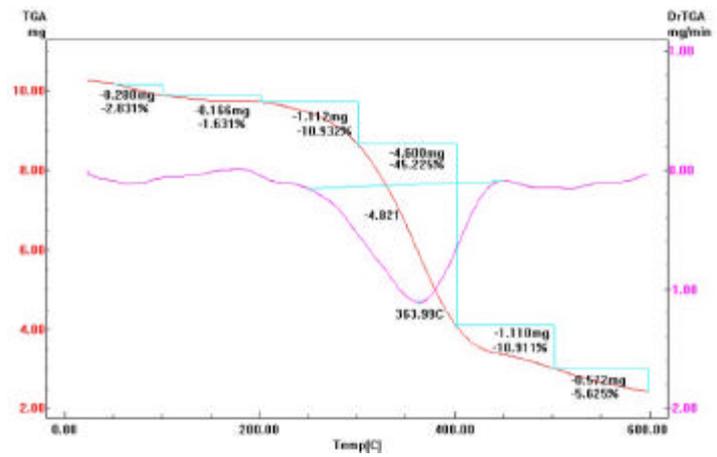
FIGURA 9A – Análise termogravimétrica da madeira de *Aspidosperma pyriformium*. d) amostra 3.2.1; e) amostra 3.2.2; e f) amostra 3.2.3.



(g)

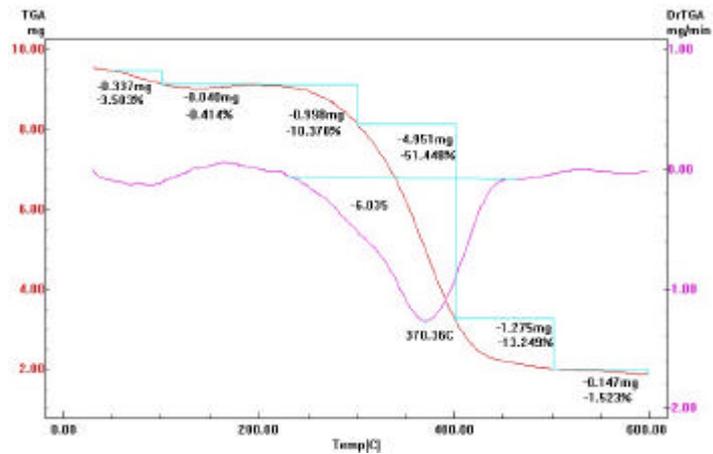


(h)

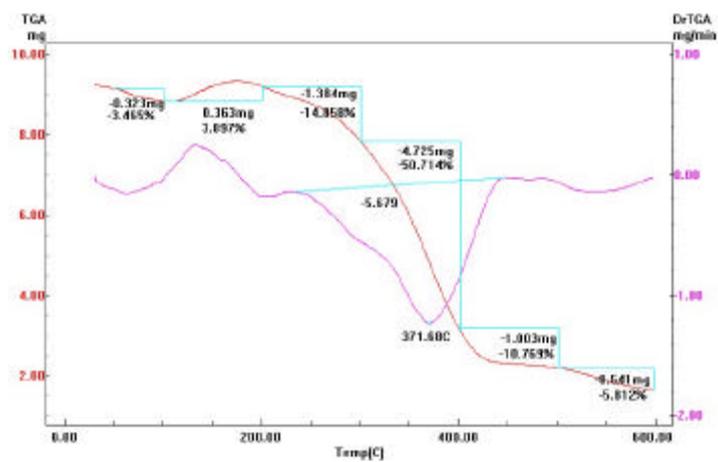


(i)

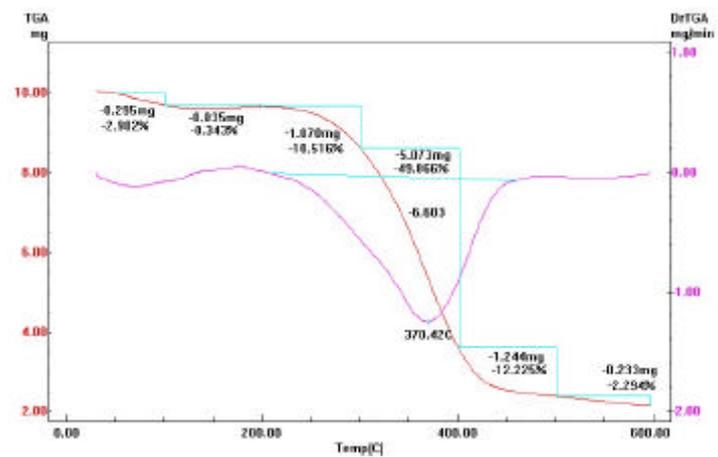
FIGURA 10A – Análise termogravimétrica da madeira de *Aspidosperma pyrifolium*. g) amostra 3.3.1 amostra 3.3.2; e i) amostra 3.3.3



(a)

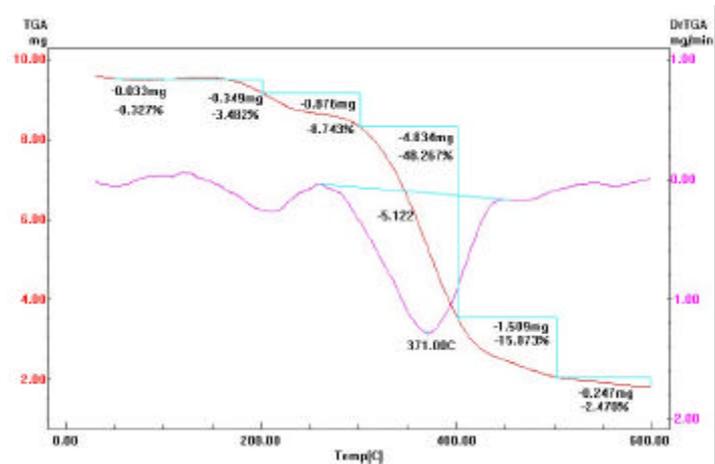


(b)

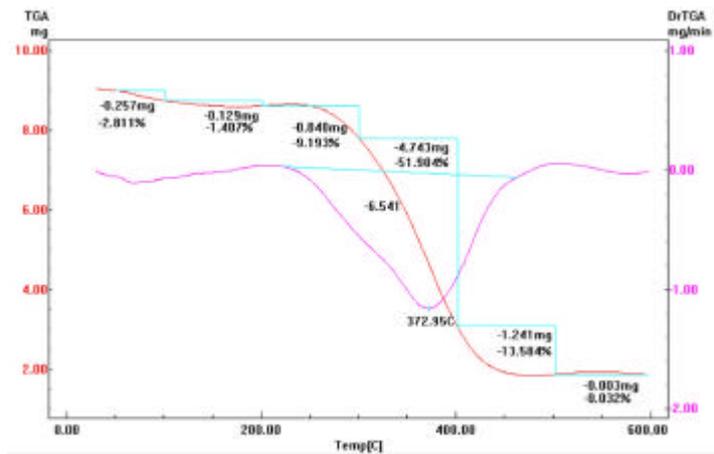


(c)

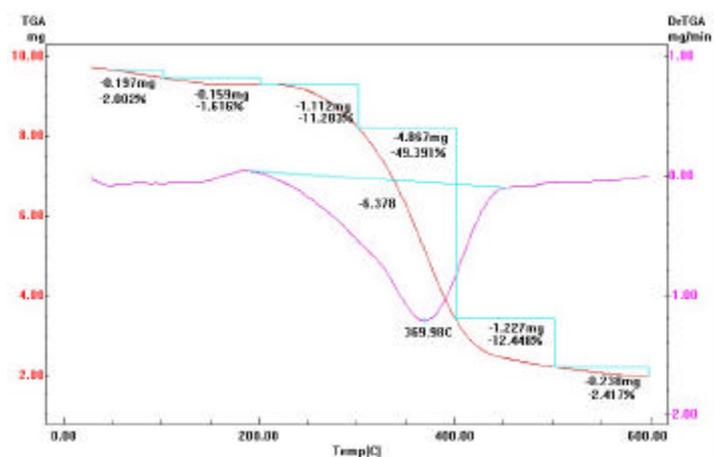
FIGURA 11A – Análise termogravimétrica da madeira de *Eucalyptus grandis*. a) amostra 4.4.1; b) amostra 4.4.2; e c) amostra 4.4.3.



(d)

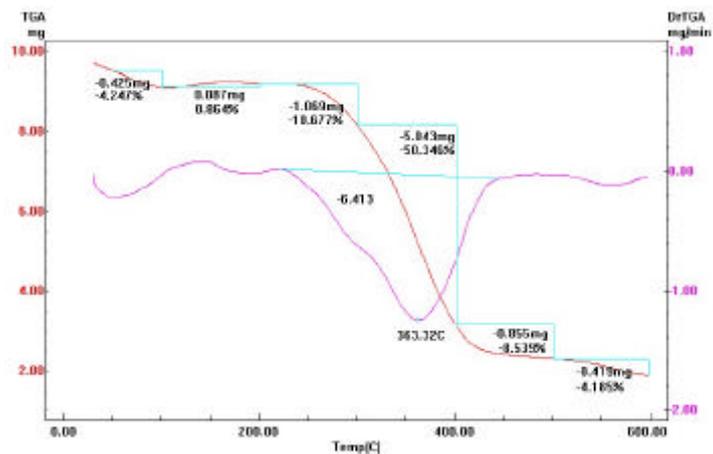


(e)

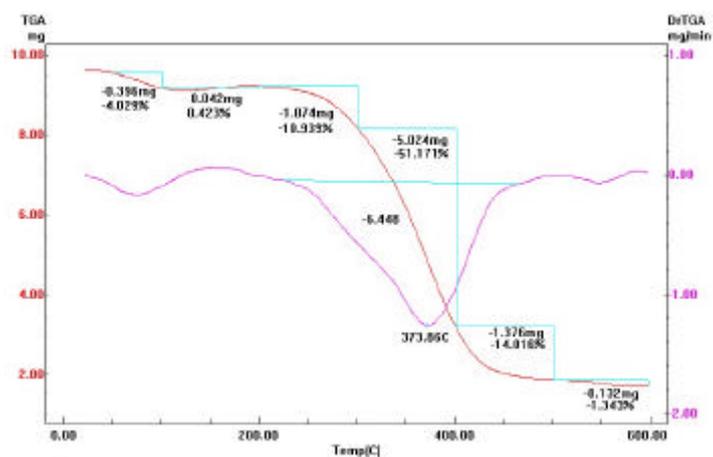


(f)

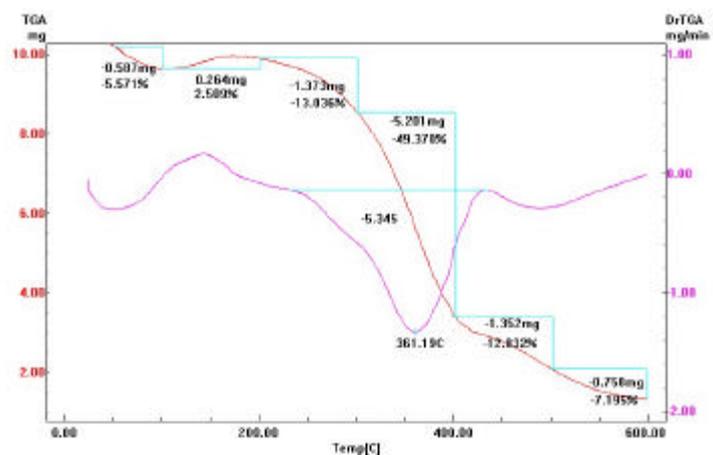
FIGURA 12A – Análise termogravimétrica da madeira de *Eucalyptus grandis*.
d) amostra 4.5.1; e) amostra 4.5.2; e f) amostra 4.5.3.



(g)

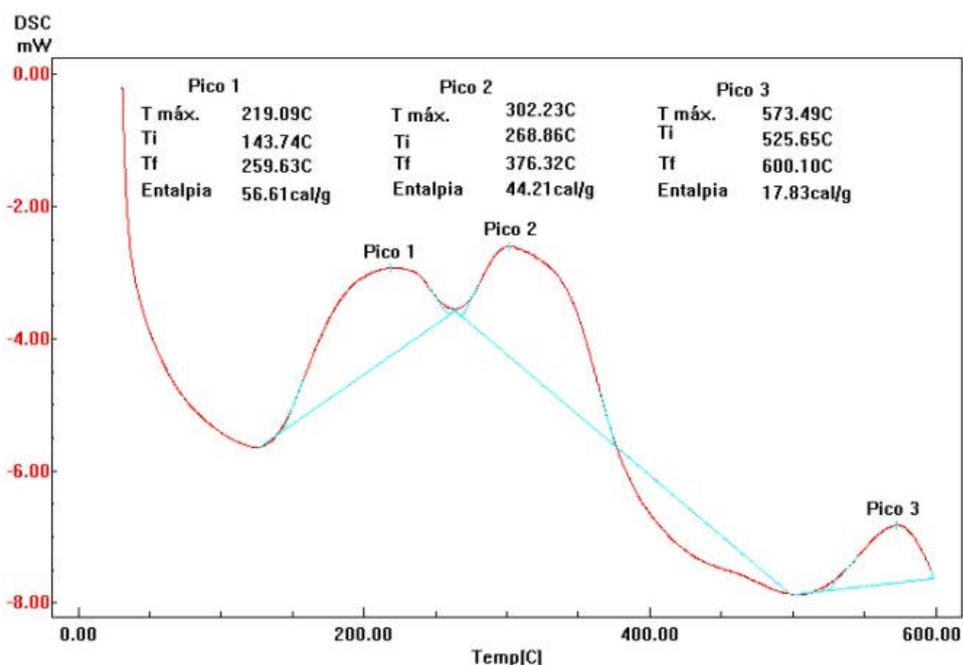


(h)

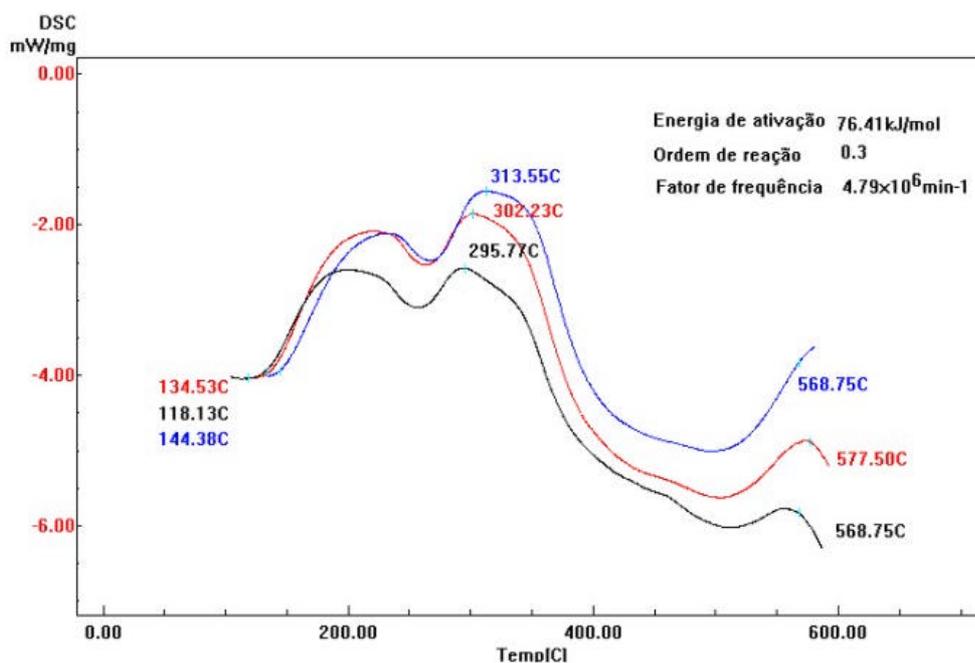


(i)

FIGURA 13A – Análise termogravimétrica da madeira de *Eucalyptus grandis*. g) amostra 4. 6.1.; h) amostra 4.6.2.; e i) amostra 4.6.3.

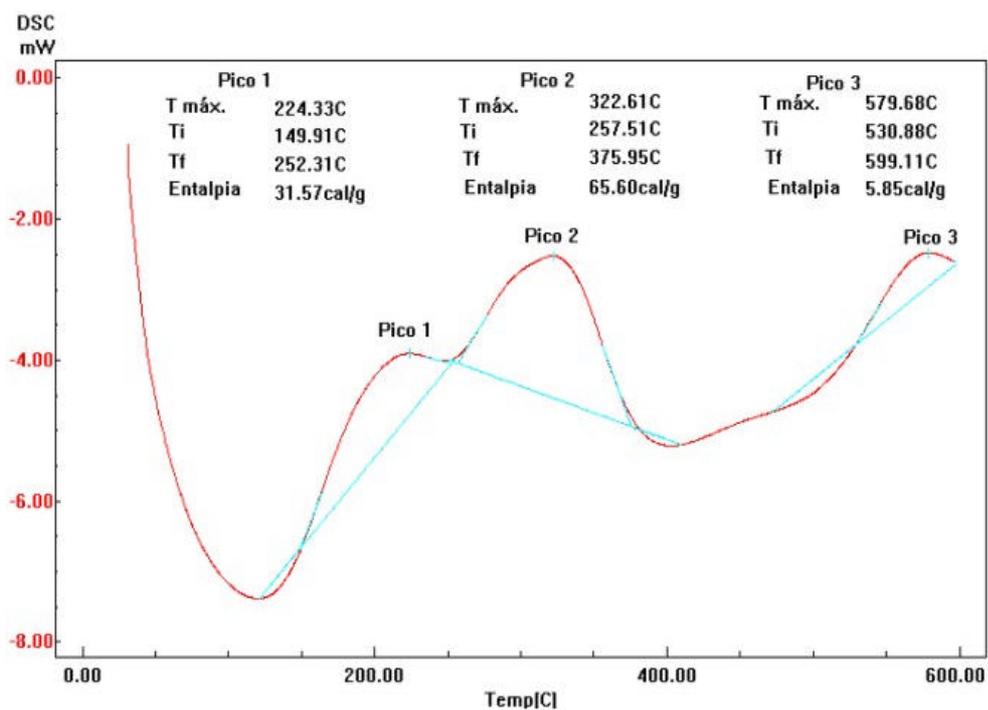


(a)

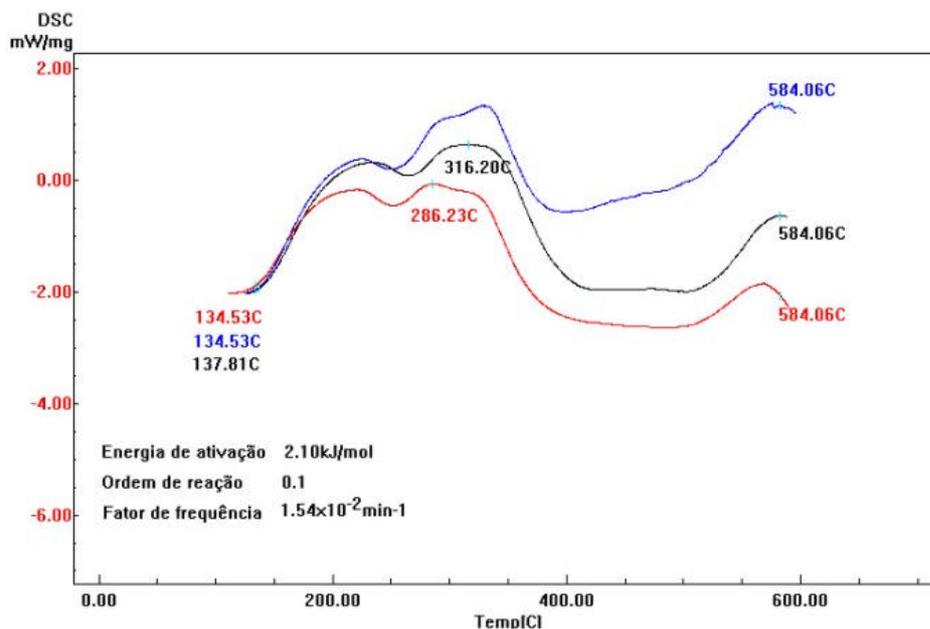


(b)

FIGURA 14A – Análise de calorimetria diferencial exploratória da madeira de *Croton sonderianus*. a) curva com a taxa de 20 °C/min e b) curvas referentes às três taxas de aquecimento (15, 20 e 25 °C/min).

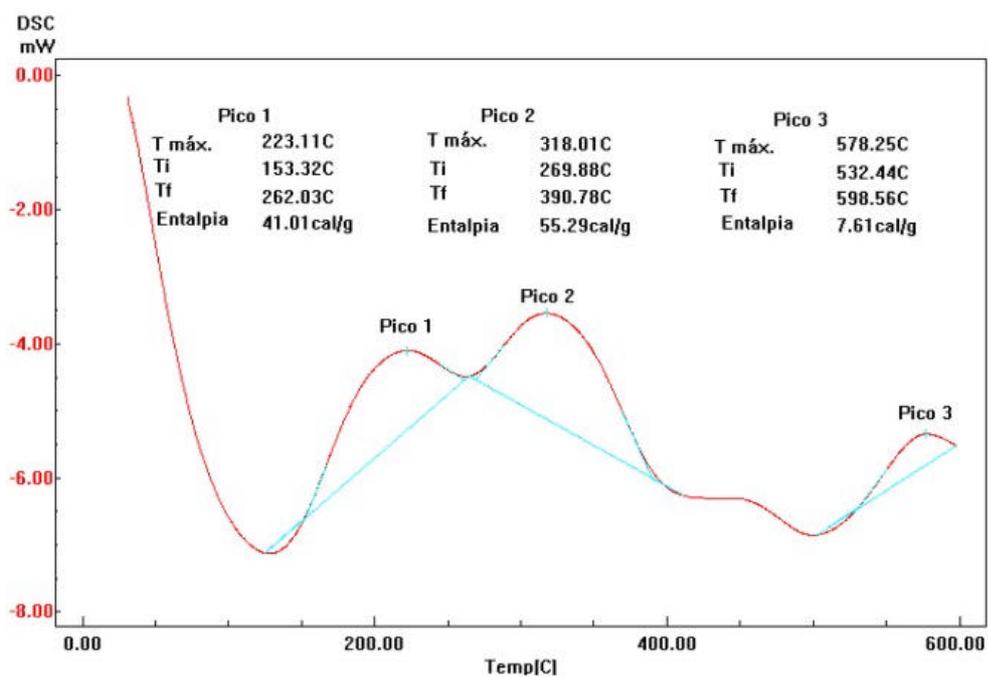


(a)

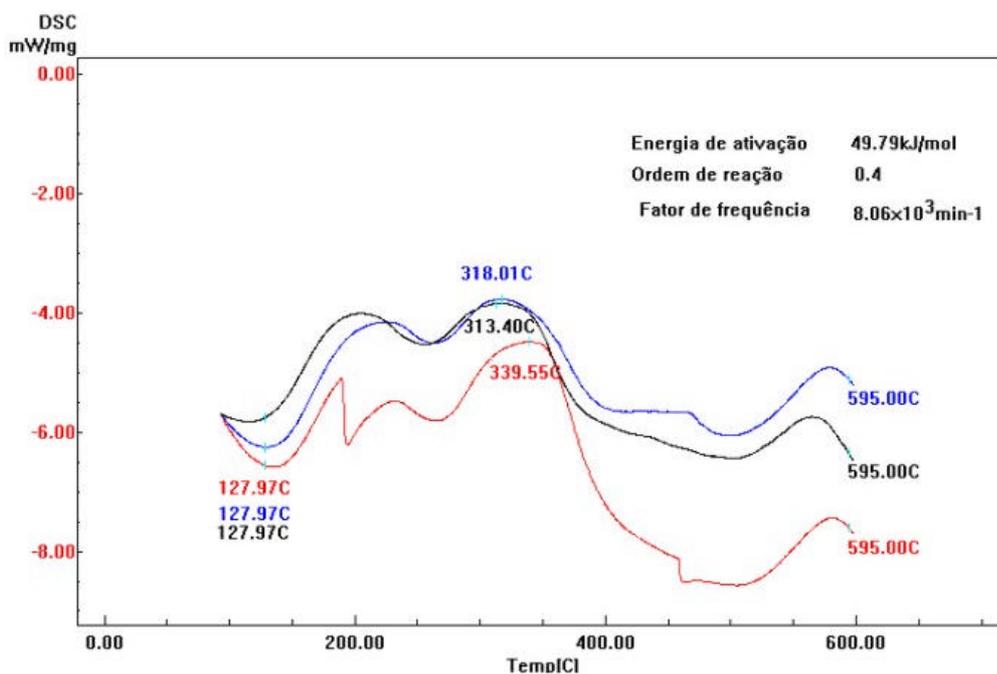


(b)

FIGURA 15A – Análise de calorimetria diferencial exploratória da madeira de *Mimosa tenuiflora*. a) curva com a taxa de 20 °C/min e b) curvas referentes às três taxas de aquecimento (15, 20 e 25 °C/min).

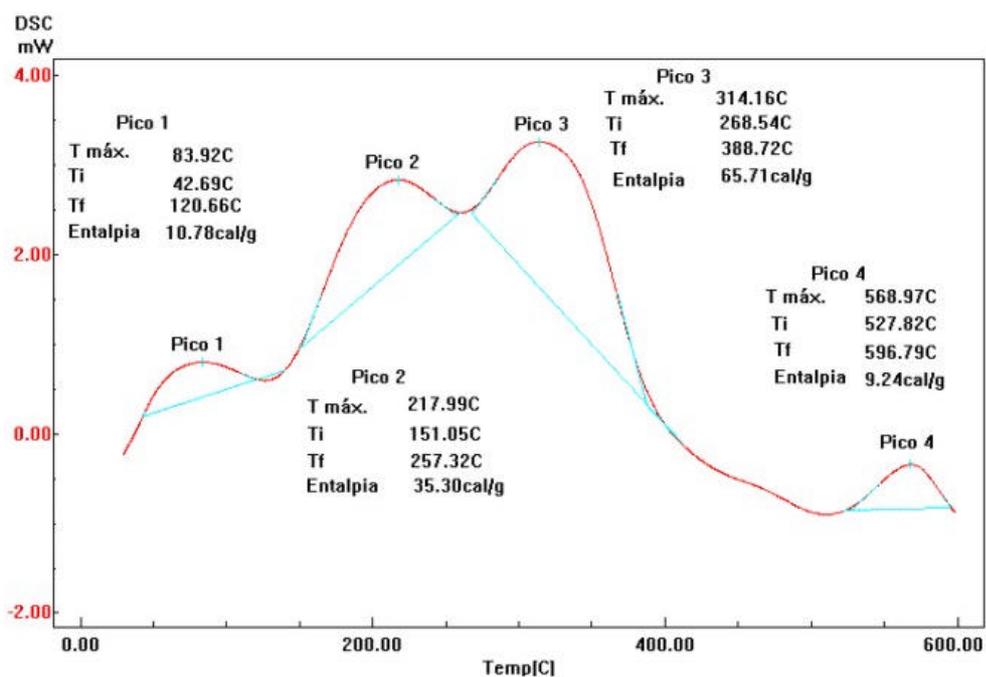


(a)

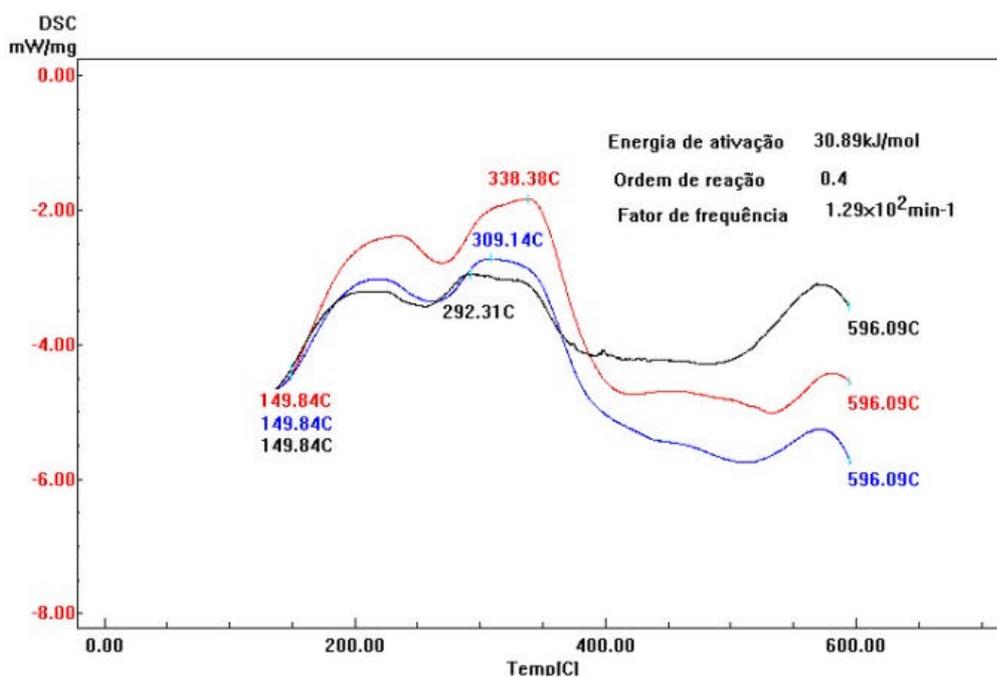


(b)

FIGURA 16A – Análise de calorimetria diferencial exploratória da madeira de *Aspidosperma pyrifolium*. a) curva com a taxa de 20 °C/min e b) curvas referentes às três taxas de aquecimento (15, 20 e 25 °C/min).



(a)



(b)

FIGURA 17A – Análise de calorimetria diferencial exploratória da madeira de *Eucalyptus grandis*. a) curva com a taxa de 20 °C/min e b) curvas referentes às três taxas de aquecimento (15, 20 e 25 °C/min).