

Análise quimiossistemática da Família Moraceae

Adriana Lima de Sousa

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Campos dos Goytacazes-RJ
Junho-2016

Análise quimiossistemática da Família Moraceae

Adriana Lima de Sousa

“Tese de Doutorado apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências Naturais”.

Orientador: Prof. D. Sc. Rodrigo Rodrigues de Oliveira

Coorientadora: Prof. D. Sc. Cibele Maria Stivanin *de* Almeida

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Campos dos Goytacazes-RJ
Junho-2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

145/2016

Sousa, Adriana Lima de

Análise quimiosistemática da família Moraceae / Adriana Lima de Sousa . –
Campos dos Goytacazes, 2016.

xvi, 134 f. : il.

Tese (Doutorado em Ciências Naturais) -- Universidade Estadual do
Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia.

Laboratório de Ciências Químicas. Campos dos Goytacazes, 2016.

Orientador: Rodrigo Rodrigues de Oliveira.

Coorientador: Cibele Maria Stivanin de Almeida.

Bibliografia: f. 123-134.

1. MORACEAE 2. QUIMIOSSISTEMÁTICA 3. EVOLUÇÃO QUÍMICA
4. QUIMIOTAXONOMIA I. Universidade Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Ciências
Químicas II. Título

CDD 583.45

Análise quimiossistemática da Família Moraceae

Adriana Lima de Sousa

Comissão Examinadora:

Virgínia Freitas Rodrigues

Prof. Virgínia Freitas Rodrigues - UNESA

Selma Ribeiro de Paiva

Prof. Selma Ribeiro de Paiva - UFF

Lara Fonseca Barbosa Siqueira

Prof. Lara Fonseca Barbosa Siqueira - IFFluminense

Rodrigo Rodrigues de Oliveira

Prof. Rodrigo Rodrigues de Oliveira - UENF Orientador

Morte e vida Severina

João Cabral de Melo Neto

O meu nome é Severino,
como não tenho outro da pia.
Como há muitos Severinos,
que é santo de romaria,
deram então de me chamar
Severino de Maria.
Como há muitos Severinos
com mães chamadas Maria,
fiquei sendo o da Maria
do finado Zacarias.
Mas isso ainda diz pouco:
há muitos na freguesia,
por causa de um coronel
que se chamou Zacarias
e que foi o mais antigo
senhor desta sesmaria.
Como então dizer quem falo
ora a Vossas Senhorias?
Vejam: é o Severino
da Maria do Zacarias,
lá da Serra da Costela,

limites da Paraíba.
Mas isso ainda diz pouco:
se ao menos mais cinco havia
com nome de Severino
filhos de tantas Marias
mulheres de outros tantos
já finados, Zacarias,
vivendo na mesma serra
magra e ossuda em que eu vivia.
Somos muitos Severinos
iguais em tudo na vida,
morremos de morte igual,
mesma morte severina:
que é a morte de que se morre
de velhice antes dos trinta,
de emboscada antes dos vinte,
de fome um pouco por dia
(de fraqueza e de doença
é que a morte severina
ataca em qualquer idade,
e até gente não nascida).

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da minha vida e por toda bondade expressa em afetos tão particulares.

Aos meus pais, Maria das Graças e Adilson, e minha irmã Adriellen por todo apoio ao longo da minha história e suporte para chegar a este momento.

Ao Professor Rodrigo Rodrigues Oliveira, amigo e irmão, que há anos atrás me recebeu em seu laboratório e me ensinou de forma singular a experiência científica. Obrigada por tudo!

À Professora Cibele Maria Stivanin de Almeida pela colaboração na experimentação quimiométrica, pela acolhida, ensinamentos, amizade e todo auxílio.

Aos amigos do laboratório, em especial Amaro, Diego, Isabela, Lara Tostes, Queitilane, Fernanda Braga, Rodrigo Freitas e Virgínia, que acompanharam todo o trabalho e apoiaram muito mais do que nas atividades, mas tornando os dias alegres e divertidos. Vocês são os melhores companheiros de trabalho! Obrigada pela motivação e amizade construída ao longo desse tempo.

Aos novos amigos, vizinhos ao laboratório e “agregados”, que somaram alegrias e companheirismo em nosso laboratório: Ana Lívia, Aline, Bárbara, Carol, Hellen, Lahis, Larissa, Luana. Obrigada por tudo e por toda motivação e parceria. Vocês são muito especiais!

Às amigas Marianna e Marina, que acompanharam todas as etapas desse processo, obrigada pela motivação e companheirismo nesse longo caminho!

À professora Maria Raquel Garcia Vega, pela alegria que divide conosco no dia a dia.

Aos amigos do coração e da vida que muito me motivaram e alegraram.

Aos colegas e amigos do IFFluminense *Campus* Campos Guarus por todo carinho e apoio nesse tempo.

Às Professoras, Lara Fonseca Barbosa Siqueira, Selma Ribeiro de Paiva e Virgínia Freitas Rodrigues por aceitarem participar desta banca.

RESUMO

SOUSA, Adriana Lima; D.Sc.; **Análise quimiosistemática da Família Moraceae**. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Junho, 2016, Campos dos Goytacazes, RJ. Professor Orientador: D.Sc. Rodrigues Rodrigues de Oliveira. Coorientadora: Prof. D. Sc. Cibele Maria Stivanin de Almeida

Moraceae é uma família subordinada à ordem Rosales, representada por 37 gêneros e 1500 espécies com distribuição cosmopolita, muitas destas com importância econômica. Espécimes da família são encontrados em todos os biomas brasileiros, onde se registram 23 gêneros e aproximadamente 350 espécies. A classificação supragenérica, segundo Dätwyler & Weiblen (2004), para a família é baseada em dados morfológicos e moleculares e reconhece as tribos Artocarpeae, Castilleae, Dorstenieae, Ficeae e Moreae. Esse trabalho tem como objetivo analisar as relações entre os gêneros e as tribos de Moraceae, através da exploração quimiométrica de dados quimiosistemáticos. O estudo quimiosistemático foi realizado a partir de levantamento bibliográfico das categorias micromoleculares identificadas em Moraceae. Com auxílio do *Scifinder* identificou-se 680 artigos, publicados entre 1907 e 2014, que enumeraram 3706 metabólitos especiais distribuídos nas tribos Artocarpeae (1242), Castilleae (350), Dorstenieae (486), Ficeae (557) e Moreae (1071). A biogênese dos metabólitos ocorrentes em Moraceae deriva-se, preponderantemente, da via mista (1827), seguida da via do acetato (1280) e da via do chiquimato (404). Foi verificado que cada tribo possui uma tendência específica de bioprodução de metabólitos. Em Artocarpeae e Moreae é destacada a preferência pelas substâncias da rota mista, em Castilleae e Ficeae, as advindas da via do acetato e Dorstenieae apresenta equidade produtiva. A exploração dos dados quimiosistemáticos, por meio da análise de agrupamento corrobora com a classificação supragenérica. Ademais, pela análise dos fatores, foi possível correlacionar os gêneros subordinados a uma mesma tribo, em função de suas particularidades quanto à biossíntese de metabólitos especiais e aos parâmetros de avanço evolutivo de proteção, oxidação e especialização.

Palavras chaves: Moraceae, Quimiosistemática, Evolução Química, Quimiotaxonomia.

ABSTRACT

SOUSA, Adriana Lima; DSc; **Chemosystematic analysis of Moraceae Family**. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, June, 2016, Campos dos Goytacazes, RJ. Advisor: Rodrigues Rodrigues de Oliveira. Co-Advisor: Prof. D. Sc. Cibele Maria Stivanin de Almeida

Moraceae family is subordinate to the Rosales order, consists of 37 genera and 1500 species, which are extensively distributed, and 23 genera and approximately 350 species alone have been described in Brazilian biomes. The suprageneric classification, defined by Dätwyler & Weiblen (2004), which is based on morphological and anatomical characteristics and on phylogenetic data, organizes the genera from the Moraceae family within the Artocarpeae, Castilleae, Dorstenieae, Ficeae and Moreae tribes. The purpose of the present study is to collaborate towards the understanding of the relationships between the genera and the tribes of this taxon by exploring chemosystematic data available for the Moraceae family, using grouping and factor analyses as chemometric methods. The chemosystematic analysis was performed through a bibliographic survey of the number of occurrence of secondary metabolites isolated from the Moraceae family. Six hundred and seventy-eight papers were identified with the aid of SciFinder, ranging from 1907 to 2014, enumerating 3706 special metabolites from this family, widely distributed within the Artocarpeae (1242), Castilleae (350), Dorstenieae (486), Ficeae (557) and Moreae (1071) tribes. According to the literature, the metabolite biogenesis in this family derives, mainly, from mixed pathways (1827), followed by the acetate (1280) and shikimate pathways (404). However, each tribe of the family shows a specific trend. For example, while the Artocarpeae and Moreae tribes prefer substances from the mixed route, the most predominant ones in the Castilleae and Ficeae tribes are from the acetate pathway. The Dorstenieae tribe, on the other hand, presents a reasonable productive equity in this regard. Furthermore, the factor analysis made it possible to relate genera subordinated in the same tribe, due to their peculiarities regarding special metabolite biosynthesis and evolutionary advancement parameters of protection, oxidation and specialization.

Key words: Moraceae, Chemosystematics, Chemical Evolution, Chemotaxonomy.

ÍNDICE GERAL

| | |
|--|-------------|
| LISTA DE ABREVIATURAS, FÓRMULAS E SÍMBOLOS | viii |
| ÍNDICE DE TABELAS | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xi |
| | |
| I) INTRODUÇÃO | 1 |
| 2) OBJETIVO | 4 |
| 2.1) Objetivo geral | 4 |
| 2.2) Objetivos específicos | 4 |
| III) SISTEMÁTICA | 5 |
| 3.1) Quimiosistemática | 8 |
| IV) METABÓLITOS ESPECIAIS | 11 |
| 4.1) A origem dos metabólitos especiais | 12 |
| 4.2) Função dos metabólitos especiais nas células das plantas | 14 |
| 4.3) Fatores que influenciam a bioprodução dos metabólitos especiais | 16 |
| V) A FAMÍLIA MORACEAE | 18 |
| 5.1) Aspectos botânicos da família Moraceae | 19 |
| 5.2) Sistemas de classificação da família Moraceae | 21 |
| 6) MATERIAIS E MÉTODOS: | 24 |
| 6.1) Metodologia quimiosistemática | 24 |
| 6.1.1) Relação chiquimato/Acetato | 24 |
| 6.1.2) Determinação dos Índices Químicos Particulares | 25 |

| | |
|---|-----------|
| 6.1.3) Índices Químicos moduladores | 25 |
| 6.1.4) Relação de ocorrência entre flavona e flavonol | 27 |
| 6.2) Análise estatística multivariada | 27 |
| VII) RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |
| 7.1) Perfil químico micromolecular da Família Moraceae: Um estudo quimiossistemático | 28 |
| 7.1.1) Ocorrência de metabólitos especiais oriundos da Via Mista | 32 |
| 7.1.2) Posição das hidroxilas das substâncias oriundas da via mista ocorrentes na Família Moraceae | 40 |
| 7.1.2.1) Aurona | 40 |
| 7.1.2.2) Flavonol | 41 |
| 7.1.2.3) Chalcona | 44 |
| 7.1.2.4) Flavana | 46 |
| 7.1.2.5) Moracina | 46 |
| 7.1.2.6) Diarilpropanóide | 47 |
| 7.1.2.7) Isoflavonóide | 48 |
| 7.1.2.8) Estilbeno | 49 |
| 7.1.2.9) Diidroflavonol | 50 |
| 7.1.2.10) Flavona | 52 |
| 7.1.2.11) Flavanona | 54 |
| 7.1.3) Análise dos índices químicos moduladores das micromoléculas advindas da via Mista | 56 |
| 7.1.4) Ocorrência de metabólitos especiais oriundos da Via do ácido | 60 |

acético

| | |
|---|------------|
| 7.1.5) Diversidade estrutural das categorias metabólicas, derivadas do acetato, presentes em Moraceae | 65 |
| 7.1.5.1) Monoterpenos | 65 |
| 7.1.5.2) Sesquiterpenos | 67 |
| 7.1.5.3) Diterpenos | 72 |
| 7.1.5.4) Triterpenos | 73 |
| 7.1.5.5) Esteroides | 78 |
| 7.1.5.6) Tetraterpenos | 83 |
| 7.1.6) Ocorrência de metabólitos especiais oriundos da Via do Chiquimato | 84 |
| 7.1.6.1) Cumarinas | 86 |
| 7.1.6.2) Lignanas | 88 |
| 7.1.6.3) Análise dos índices químicos moduladores das micromoléculas advindas da via do chiquimato | 91 |
| 7.2) Análise dos parâmetro de avanço evolutivo de especialização e oxidação da via mista, da via do acetato e da via do chiquimato | 93 |
| 7.3) Exploração quimiométrica dos dados quimiosistemáticos da família Moraceae | 98 |
| 7.3.1) Análise quimiométrica da via mista | 98 |
| 7.3.2) Análise quimiométrica da via do ácido acético | 113 |
| 7.3.3) Análise quimiométrica da via do chiquimato | 119 |
| 7.3.4) Análise quimiométrica dos parâmetros de avanço evolutivo e | 126 |

oxidativo dos metabólitos especiais da Família Moraceae

| | |
|-----------------------------------|------------|
| VIII) CONSIDERAÇÕES FINAIS | 119 |
| IX) PERSPECTIVAS FUTURAS | 122 |
| IX) REFERÊNCIAS | 123 |

LISTA DE ABREVIATURAS, FÓRMULAS E SÍMBOLOS.

| | |
|--------------------|--|
| a.C. | Antes de Cristo |
| AE _D | Parâmetro de avanço evolutivo em relação à desproteção das hidroxilas flavonoídicas. |
| AE _E | Parâmetro de avanço evolutivo de especialização |
| AE _G | Parâmetro de avanço evolutivo de proteção de hidroxilas fenólicas por glicosilação |
| AE _G | Parâmetro de avanço evolutivo de proteção de hidroxilas fenólicas por glicosilação |
| AE _M | Parâmetro de avanço evolutivo de proteção de hidroxilas fenólicas por metilação |
| AE _O | Parâmetro de avanço evolutivo de oxidação |
| AE _{Pren} | Parâmetro de avanço evolutivo de proteção de hidroxilas fenólicas por prenilação |
| APG | Angiosperm Phylogenetic Group |
| d.C. | Depois de Cristo |
| E | Nível de especialização do esqueleto |
| fl | Flavonol |
| fo | Flavona |
| fo/fl | Relação flavona / flavonol |
| ID | Índice de diversificação |
| IG | Índice de Proteção por glicosilação |
| IM | Índice de Proteção por metilação |
| Ipren | Índice de Proteção por prenilação |
| NO | Número de Ocorrência |
| NT | Número de tipos |
| O | Nível de oxidação |
| PCA | “Principle Component analysis” |
| PLS | “Partial Least Square” |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|-----------|
| Tabela 1. Gêneros da família Moraceae de acordo com a classificação de Dätwyler & Weiblen (2004). | 18 |
| Tabela 2. Evolução classificatória da Família Moraceae quanto à ordem. | 21 |
| Tabela 3. Controvérsias sobre a Distribuição intrafamiliar dos gêneros constituintes da Família Moraceae em tribos. | 22 |
| Tabela 4. Tabela 4. Número de ocorrências e publicações de cada gênero da família Moraceae. | 29 |
| Tabela 5. Número de ocorrência das vias metabólicas e demais classes ocorrentes em Moraceae. | 30 |
| Tabela 6. Número de Ocorrência (NO) de categorias metabólicas advindas da via mista (Acetato/Chiquimato). | 38 |
| Tabela 7. Padrão de oxigenação de flavonóis ocorrentes em <i>Artocarpus</i> , <i>Antiaris</i> , <i>Broussonetia</i> , <i>Ficus</i> , <i>Maclura</i> , <i>Morus</i> , <i>Streblus</i> , <i>Sorocea</i> e <i>Treculia</i> . | 42 |
| Tabela 8. Padrão de oxigenação de chalcona ocorrentes em Moraceae. | 45 |
| Tabela 9. Padrão de oxigenação de flavanas ocorrentes em Moraceae. | 46 |
| Tabela 10. Padrão de oxigenação de moracinas ocorrentes em Moraceae | 47 |
| Tabela 11. Padrão de oxigenação de isoflavonoides ocorrentes em Moraceae. | 49 |
| Tabela 12. Padrão de oxigenação de estilbenos ocorrentes em Moraceae | 50 |
| Tabela 13. Padrão de oxigenação de diidroflavonol ocorrentes em Moraceae. | 51 |

| | |
|--|-----------|
| Tabela 14. Padrão de oxigenação de flavona ocorrentes em Moraceae. | 53 |
| Tabela 15. Padrão de oxigenação de flavanonas ocorrentes em Moraceae. | 55 |
| Tabela 16. Valores médios dos parâmetros de avanço evolutivo de proteção e desproteção na via mista, nas tribos de Moraceae. | 56 |
| Tabela 17. Valores do parâmetro de proteção e desproteção hidroxilas flavonoídicas dos gêneros da família Moraceae. | 58 |
| Tabela 18. Diversificação estrutural de monoterpenos em Moraceae. | 66 |
| Tabela 19. Diversificação estrutural de sesquiterpenos em Moraceae. | 71 |
| Tabela 20. Diversificação estrutural de Diterpenos em Moraceae. | 72 |
| Tabela 21. Diversificação estrutural de triterpenos em Moraceae. | 78 |
| Tabela 22. Diversificação estrutural de Esteróides em Moraceae. | 82 |
| Tabela 23. Diversificação estrutural de Tetraterpenos em Moraceae. | 83 |
| Tabela 24. Número de ocorrência das subclasses cumarínicas presentes em Moraceae. | 88 |
| Tabela 25. Número de ocorrência das subclasses lignânicas presentes em Moraceae. | 90 |
| Tabela 26. Parâmetros de avanço evolutivo de oxidação e especialização das vias do ácido acético, via mista e via do chiquimato obtidas para os gêneros da família Moraceae. | 94 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Esquema da biossíntese de metabólitos especiais. | 14 |
| Figura 2. Representação gráfica do número de publicações e do número de ocorrência de metabólitos bioproduzidos nas tribos da Família Moraceae | 28 |
| Figura 3. Número de ocorrência (NO) dos metabólitos especiais ocorrentes na Família Moraceae, em função da rota biosintética. | 30 |
| Figura 4. Correlação entre as rotas biossintéticas do acetato, do chiquimato e mista, para as tribos de Moraceae. | 32 |
| Figura 5. Esqueletos estruturais derivados da via mista. | 33 |
| Figura 5. Esqueletos estruturais derivados da via mista (Continuação). | 34 |
| Figura 5. Esqueletos estruturais derivados da via mista (Continuação). | 35 |
| Figura 5. Número de ocorrência das classes metabólicas presentes em Moraceae que são procedentes da via mista (Acetato/Chiquimato). | 30 |
| Figura 6. Número de ocorrência dos tipos estruturais presentes em Moraceae que são procedentes da via mista (Acetato/Chiquimato). | 35 |
| Figura 7. Correlação percentual flavona/flavonol nas tribos da família Moraceae. | 36 |
| Figura 8. Número de Ocorrência (NO) de categorias metabólicas advindas da via mista (Acetato/Chiquimato) nas tribos. | 39 |
| Figura 9. Padrão de oxigenação das auronas ocorrentes nos gêneros <i>Artocarpus</i> , <i>Broussonetia</i> e <i>Morus</i> . | 40 |

| | |
|---|----|
| Figura 10. Padrão de oxigenação de flavonol ocorrentes nos gêneros em Moraceae. | 43 |
| Figura 11. Padrão de oxigenação de flavanas ocorrentes nos gêneros em Moraceae. | 46 |
| Figura 12. Padrão de oxigenação de moracinas ocorrentes nos gêneros em Moraceae. | 47 |
| Figura 13. Padrão de oxigenação de diarilpropanoide ocorrentes no gênero <i>Broussonetia</i> em Moraceae. | 48 |
| Figura 14. Padrão de oxigenação de isoflavonoides ocorrentes nos gêneros em Moraceae. | 49 |
| Figura 15. Padrão de oxigenação de estilbenos ocorrentes nos gêneros em Moraceae. | 50 |
| Figura 16. Padrão de oxigenação de diidroflavonol ocorrentes nos gêneros em Moraceae. | 51 |
| Figura 17. Relação entre os parâmetros de avanço evolutivo de proteção e desproteção na via mista, nas tribos de Moraceae. | 56 |
| Figura 18. Relação entre os parâmetros de avanço evolutivo de proteção e desproteção na via mista, nos gêneros de Moraceae. | 59 |
| Figura 19. Esqueletos estruturais dos derivados da via do ácido acético. | 60 |
| Figura 19. Esqueletos estruturais dos derivados da via do ácido acético (Continuação). | 61 |
| Figura 20. Número de ocorrência dos metabólitos derivados da via do ácido acético. | 62 |

| | |
|---|-----------|
| Figura 21. Classes metabólicas originadas pela via do ácido acético, na família Moraceae. | 64 |
| Figura 22. Esqueletos Estruturais monoterpênicos ocorrentes em Moraceae. | 65 |
| Figura 23. Categorias monoterpênicas ocorrentes em Moraceae. | 66 |
| Figura 24. Esqueletos Estruturais sesquiterpênicos ocorrentes em Moraceae. | 67 |
| Figura 24. Esqueletos estruturais sesquiterpênicos ocorrentes em Moraceae (Continuação). | 68 |
| Figura 25. Categorias sesquiterpênicas ocorrentes em Moraceae | 69 |
| Figura 26. Número de ocorrência das subclasses Sesquiterpênicas nos gêneros de Moraceae. | 70 |
| Figura 27. Categorias diterpênicas ocorrentes em Moraceae | 72 |
| Figura 28. Categorias diterpênicas ocorrentes em Moraceae. | 73 |
| Figura 29. Esqueletos estruturais triterpênicos ocorrentes em Moraceae. | 74 |
| Figura 29. Esqueletos estruturais triterpênicos ocorrentes em Moraceae (Continuação). | 75 |
| Figura 29. Esqueletos estruturais triterpênicos ocorrentes em Moraceae (Continuação). | 76 |
| Figura 30. Categorias triterpênicas ocorrentes em Moraceae. | 76 |
| Figura 31. Número de ocorrência das subclasses triterpênicas nos gêneros de Moraceae | 77 |
| Figura 32. Esqueletos estruturais esteroidais ocorrentes em Moraceae. | 79 |

| | |
|---|----|
| Figura 33. Categorias esteroidais ocorrentes em Moraceae. | 80 |
| Figura 34. Número de ocorrência das subclasses esteróídicas nos gêneros de Moraceae. | 81 |
| Figura 35. Esqueletos estruturais de tetraterpenos em Moraceae. | 83 |
| Figura 36. Número de ocorrência das subclasses tetraterpênica nos gêneros de Moraceae. | 84 |
| Figura 37. Esqueletos estruturais derivados da via do ácido chiquímico. | 84 |
| Figura 38. Número de ocorrência dos metabólitos derivados da via do Chiquimato. | 85 |
| Figura 39. Classes metabólicas originadas pela via do ácido chiquímico, na família Moraceae. | 85 |
| Figura 40. Esqueletos estruturais de cumarinas em Moraceae. | 86 |
| Figura 41. Número de ocorrência das subclasses cumarínicas ocorrentes em Moraceae. | 87 |
| Figura 42. Esqueletos Estruturais lignânicos ocorrentes em Moraceae. | 89 |
| Figura 43. Número de ocorrência das subclasses lignânicas ocorrentes em Moraceae. | 90 |
| Figura 44. Relação entre os parâmetros de avanço evolutivo de proteção e desproteção na via do chiquimato, nos gêneros de Moraceae. | 92 |
| Figura 45. Correlação entre os parâmetros AE_E e AE_O dos gêneros, na perspectiva da via mista. | 95 |
| Figura 46. Correlação entre os parâmetros AE_E e AE_O , na perspectiva da via do ácido acético. | 96 |

| | |
|--|------------|
| Figura 47. Correlação entre os parâmetros AE_E e AE_O , na perspectiva da via do ácido chiquímico. | 97 |
| Figura 48. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 2) mostrando as inter-relações entre os 37 gêneros da Família Moraceae. | 100 |
| Figura 49. Diagrama bidimensional (Fator 2 x Fator 3) mostrando as inter-relações entre os 37 gêneros da Família Moraceae. | 101 |
| Figura 50. Dendograma mostrando agrupamento dos 37 gêneros da Família Moraceae (Método de Ward-Distâncias Euclidianas). | 103 |
| Figura 51. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 2) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae. | 105 |
| Figura 52. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 3) mostrando as inter-relações entre os 18 gêneros da Família Moraceae. | 107 |
| Figura 53. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 4) mostrando as inter-relações entre os 18 gêneros da Família Moraceae. | 109 |
| Figura 54. Dendograma dos gêneros da família Moraceae (Método de Ward-Distâncias Euclidianas). | 112 |
| Figura 55. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 2) mostrando as inter-relações entre os 37 gêneros da Família Moraceae. | 114 |
| Figura 56. Dendograma mostrando agrupamento dos gêneros da Família Moraceae (Método de Ward-Distâncias Euclidianas). | 115 |
| Figura 57. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 2) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae. | 117 |
| Figura 58. Dendograma mostrando agrupamento dos gêneros da Família Moraceae (Método de Ward-Distâncias Euclidianas). | 119 |
| Figura 59. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 2) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae. | 120 |
| Figura 60. Dendograma mostrando agrupamento dos gêneros da Família Moraceae (Método de Ward-Distâncias Euclidianas). | 121 |

| | |
|---|------------|
| Figura 61. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 2) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae. | 123 |
| Figura 62. Diagrama bidimensional (Fator 2 x Fator 3) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae. | 124 |
| Figura 63. Dendograma mostrando agrupamento dos gêneros da Família Moraceae (Método de Ward-Distâncias Euclidianas). | 126 |
| Figura 64. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 2) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae. | 128 |
| Figura 65. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 3) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae. | 129 |
| Figura 66. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 4) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae. | 130 |
| Figura 67. Diagrama bidimensional (Fator 2 x Fator 4) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae. | 131 |
| Figura 68. Diagrama bidimensional (Fator 3 x Fator 4) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae. | 132 |
| Figura 69. Dendograma mostrando agrupamento dos gêneros da Família Moraceae (Método de Ward-Distâncias Euclidianas). | 133 |

I) INTRODUÇÃO

A natureza, desde épocas mais remotas, foi fonte de inspiração ao homem por fomentar questionamentos que produziram, paulatinamente, o desenvolvimento da razão. A história da humanidade demonstra a dinâmica da desmistificação de fenômenos relacionados à natureza, oriundos do pensamento primitivo, para o surgimento da ciência (FOUCAULT, 1966).

A epistemologia torna notório que o homem, espontaneamente, possui em sua natureza a habilidade de classificação do que o cerca, em decorrência de orientá-lo sobre o mundo à sua volta. Primordialmente, a categorização foi rudimentar nas diversas sociedades primitivas. De modo empírico, o homem estabeleceu, por meio de um olhar minucioso, descritivo, hierarquizador e relacional, a ordenação da variedade que o rodeava (FOUCAULT, 1966).

Nesse sentido, a descrição da multiplicidade presente na natureza foi desenvolvida ao longo da história da humanidade e constitui o que denominamos de Sistemas de Classificação.

A estruturação da Sistemática foi desenvolvida sendo influenciada diretamente pela conjuntura histórica, cultural, geográfica e religiosa, as quais, a todo tempo, enraízam e norteiam o homem. Ademais, essa estruturação é limitada pelas técnicas preponderantes em cada momento da linha cronológica (KAPLAN et al, 2010).

A sistemática e a taxonomia são áreas correlatas para a compreensão dos seres vivos. Houve nos séculos XX e XXI um crescente aumento na associação das informações químicas das plantas a problemas sistemáticos, a partir do desenvolvimento das técnicas de prospecção molecular e química. (ALSON & TURNER, 1963; HEYWOOD, 1973; HARBONE, 2001; LUDWICZUK & ASAKAWA, 2014; REYNOLDS, 2007).

Tendo em vista a alta diversidade de espécies em angiospermas, recorreu-se a uma sistematização alicerçada em caracteres morfológicos, anatômicos, químicos, citológicos, genômicos, metabolômicos, e paleontológicos. Contudo, mesmo em face às diversas proposições sistemáticas que adotaram informações de múltiplas esferas científicas, não

fora possível enunciar um sistema que persuadissem toda comunidade científica (SINGH, 2004).

A quimiosistemática representa a integração entre os dados químicos e a morfologia de um organismo, que depende da associação da herança genética, ecológica, geográfica e dos reguladores ambientais (GOTTLIEB et al, 1996).

As particularidades que distinguem as angiospermas dos outros grupos vegetais, como as briófitas, pteridófitas e gimnospermas, decerto propiciaram uma melhor adaptação ao meio ambiente ao longo de milhões de anos (CRONQUIST, 1988). Entre os diversos mecanismos adquiridos ao longo do processo adaptativo das angiospermas, destaca-se o desenvolvimento de um sistema de defesa constituído por micromoléculas, ricas em diversidade estrutural e biossintetizadas em vias metabólicas derivadas do metabolismo primário (WINK, 2003; GOTTLIEB, 1986).

Além das conspícuas características, as angiospermas são consideradas fascinantes por apresentarem uma surpreendente profusão taxonômica e por ocuparem diversos habitats terrestres, consistindo no maior grupo de organismos fotossintetizantes que têm dominado o planeta por mais de 90 milhões de anos (HUGHES, 1982; SAMBAMURTY, 2005; FRIIS et al, 2011).

A família Moraceae, é uma família subordinada à ordem Rosales, representada por 37 gêneros e 1500 espécies com distribuição cosmopolita, muitas destas com importância econômica. Espécimes da família são encontrados em todos os biomas brasileiros, onde se registram 19 gêneros e aproximadamente 198 espécies (ROMANIUC-NETO et al., 2015).

A importância da família Moraceae como moção de estudo deve-se às potencialidades das suas espécies sob o ponto de vista químico, bioativo, medicinal, alimentar, industrial e ambiental, não obstante a iminência de extinção que ameaça um grande número das espécies nativas e exóticas (CARAUTA, 1996).

À vista disso, o estudo quimiosistemático da família Moraceae parte do pressuposto desafio de contribuir para a compreensão de um dos mais fascinantes grupos de angiospermas, presentes na vegetação brasileira e, sobretudo, incidente na região sudeste do Brasil (CARAUTA, 1996a).

A família Moraceae constitui um grupo monofilético, que apresenta uma grande diversidade de caracteres morfológicos e anatômicos, além de ampla variedade morfológica floral. Dessa forma, esse táxon é marcado por problemas taxonômicos devido às relações supragenéricas e infragenéricas (CARAUTA, 1980; DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004; CLEMENT & WEIBLEN, 2009).

A despeito da família Moraceae possuir, para algumas tribos, um extenso conhecimento químico a respeito de suas espécies, estes elementos, até este momento, não foram utilizados como ferramenta em estudos quimiotaxonômicos. Desta forma, através da abordagem quimiosistemática pretende-se colaborar na compreensão das relações entre os gêneros deste táxon.

2) OBJETIVO

2.1) Objetivo geral

Compreender as relações entre os gêneros da Família Moraceae através da exploração dos dados quimiosistemáticos.

2.2) Objetivos específicos

- Avaliar a ocorrência dos metabólitos especiais presentes nas espécies dos gêneros da família Moraceae;
- Quantificar a diversidade estrutural das categorias moleculares;
- Identificar tendências e padrões sistemáticos na família Moraceae;
- Verificar a distribuição e a estrutura das micromoléculas na família que ocorrem nos gêneros da família Moraceae;
- Avaliar o grau evolutivo a partir de parâmetros químicos.

III) SISTEMÁTICA

As primeiras classificações, denominadas fenéticas, incidiram no período de 400 a.C. até 1.400 d.C e são principalmente marcadas pelas classificações atribuídas a Platão, Aristóteles e Teofrasto. Neste contexto, entretanto, eles eram convictos que “as espécies foram criadas por Deus e assim permaneciam imutáveis para sempre” (KAPLAN et al, 2010; STACE; 1991; STUESSY, 2009).

Posteriormente, o período de 1.470 - 1.670 d.C. coincide com o desencadeamento de transformações e valores da vida humana no que tange à cultura, sociedade, economia, política e religião. Esta fase foi denominada renascimento e é caracterizada por perfazer a transição do feudalismo para o capitalismo. Remonta a este período a convicção dos herbalistas, de que existia “uma relação estreita entre a forma das plantas e suas propriedades medicinais”. São destaques entre os herbalistas: Otto Brunfels (1530), Jerome Bock (1539), Leonard Fuchs (1542), Charles de L'Ecluse (1601) (KAPLAN et al, 2010; STUESSY, 2009).

A história da Classificação Natural está associada emblematicamente à fase dos taxonomistas Andreas Caesalpino (1519–1603), Gaspar Bauhin (1560–1624) e, principalmente, o Carl von Linné (1707-1778) que instituiu a Taxonomia Moderna, propondo a constituição de um sistema binominal de classificação natural das plantas baseado em gênero e espécie (KAPLAN et al, 2010; STUESSY, 2009; MAZUMDAR, 2002).

Uma oposição contundente à classificação, baseada no sistema binominal, proposta por Linné é estabelecida, a posteriori, entre o século XIX a metade do século XX. Os principais protagonistas são os franceses Antoine L. Jussieu, os alemães August W. Eichler e Heinrich G. A. Engler, os Norte-Americanos Arthur I. Cronquist e Robert F. Thorne e o russo Armen L. Takhtajan. Esses autores inauguraram a classificação baseada em sistemas naturais (KAPLAN et al, 2010; STEVENS, 2013).

A partir da publicação das Teorias Evolucionistas de Darwin e Wallace (1859) e das Leis Genéticas de Mendel (1900) consagrou-se a classificação por sistemas filogenéticos e a convicção de que os “seres vivos existentes resultam de processos evolutivos”. Ressaltam-se os trabalhos dos autores: August W. Eichler, responsável por separar as plantas em função da presença

e ausência de flores; Adolph Engler, que apresentou uma classificação prática que corroborava com as teorias evolutivas e Charles E. Bessey, que utilizou uma classificação baseada na comparação de dados morfológicos, embriológicos e paleontológicos (KAPLAN et al, 2010).

A sistemática filogenética foi desenvolvida, finalmente, em 1950, por Willi Henig, e baseia-se em relacionar os gêneros e espécies com um ancestral comum apontando a direção da evolução, baseando-se nos caracteres morfológicos e ecológicos, além das informações biogeográficas, paleontológicas e embriológicas. Nesse sentido, uma árvore filogenética é concebida em um cladograma, obtido a partir dos dados, com auxílio de *softwares*. Os agrupamentos apontados nesses gráficos exibem a história evolutiva dos táxons, apontando, inclusive, os grupos monofiléticos, parafiléticos e polifiléticos.

Posteriormente, na década de 60 passou-se a utilizar informações advindas do sequenciamento dos ácidos aminados, e, somente, a partir da década de 90 a filogenia deu início ao advento do sequenciamento de DNA e RNA. No final desse período havia tantos dados moleculares, que culminou na publicação pelo *Angiosperm Phylogenetic Group* (APG I). Esses sistemas de classificações foram atualizados pelo APGII (2003), APGIII (2009) e, por último, no APG IV (2016), no entanto, a filogenia continua em processo de aprimoramento (GOTTLIEB & BORIN, 2012).

Nas últimas décadas, portanto, foi consolidada a Sistemática como resultado do desenvolvimento teórico e metodológico dos estudos referentes à biodiversidade. Neste processo foram incrementadas desde análises cladísticas à aplicação de técnicas moleculares, com o auxílio de refinadas técnicas computacionais (PIRANI, 2005).

Os caracteres morfológicos são facilmente identificáveis e, portanto, apresentam-se como bons marcadores sistemáticos, classificando táxons dos níveis hierárquicos como espécie e gênero. Já os caracteres químicos, por sua vez, são excelentes indicadores de polaridade evolutiva e muito contribuem na investigação do posicionamento de grupos taxonômicos (GOTTLIEB & BORIN, 2012).

Nesse sentido, os dados químicos e biológicos podem ser utilizados na análise quimiosistemática de forma integrada visando à melhor categorização

da diversidade dos organismos. Para isso são utilizados caracteres de natureza diversa, tais como: informações fósseis, morfológicos, anatômicos, palinológicos, embriológicos, micromoleculares (metabólitos especiais) e macromoleculares (DNA). Entretanto, o desenvolvimento da quimiosistemática representa, na atualidade, a iminência das repostas para as questões cruciais e irresolutas ainda no 3º milênio, e que são fundamentais para o conhecimento por parte da ciência, da sociedade e do homem sobre o que tange o funcionamento da natureza (KENNEDY & NORMAN, 2005).

3.1) Quimiosistemática

A Quimiosistemática utiliza os caracteres químicos das micromoléculas e das macromoléculas oriundos respectivamente do metabolismo biossintético especial e primário dos organismos. É de grande destaque, portanto, a importância e contribuição dada pelos metabólitos especiais, uma vez que estão associados a uma enorme variabilidade estrutural e a ampla distribuição entre as espécies (LUDWICZUK & ASAKAWA, 2014).

Houve no último século um crescente aumento na associação das informações químicas das plantas na resolução de problemas sistemáticos (ALSTON & TURNER, 1963; HEYWOOD, 1973). Numerosas, pois, são as substâncias avaliáveis para esses estudos, no entanto dois grupos são principais, as micromoleculares e as macromoleculares: enquanto a quimiosistemática macromolecular consiste no estudo do genoma e do proteoma, a quimiosistemática micromolecular incide sobre o metaboloma.

O avanço na ciência da quimiosistemática se deve ao exitoso progresso no desenvolvimento e no melhoramento das técnicas de prospecção molecular, que permitiram a ampliação do número de substâncias analisadas (HARBONE, 2001; LUDWICZUK & ASAKAWA, 2014; REYNOLDS, 2007). Os caracteres químicos fornecidos pelos dados dos metabólitos especiais são suportes complementares em análises de relações filogenéticas e na construção de árvores genealógicas nos diversos níveis hierárquicos taxonômicos, mas principalmente nos gêneros e em identificação de espécies (HARBONE, 2001; LUDWICZUK & ASAKAWA, 2014).

A propósito, os metabólitos especiais apresentam caracteres adaptativos que foram submetidos à seleção natural ao longo da evolução e, conseqüentemente, possuem valor sistemático. Além disso, a distribuição dos metabólitos secundários tem valor para a taxonomia, pois sua ocorrência aparentemente reflete adaptações e estratégias particulares incorporadas em um determinado contexto filogenético (WINK, 2003).

Nesse sentido, a compilação de todos os dados químicos sobre um determinado táxon é interessante por si só. No entanto, a incorporação de um estudo quimiosistemático é essencial. Desse modo, é conspícuo que o químico perceba se os seus resultados apresentam alguma relevância

taxonômica e, assim, direcione o novo conhecimento para a compreensão da natureza (REYNOLDS, 2007).

O método quimiosistemático é aprimorado e depende do conhecimento das relações biossintéticas entre os metabólitos. Assim, verificamos no pioneirismo empenhado no sistema de classificação de linhagem de angiospermas proposto por Dahlgren, ao usar informações micromoleculares para distinguir as Angiospermas, baseado nos parâmetros de avanço evolutivo flavonoídico (DAHLGREN, 1980).

A análise do padrão de ocorrência de metabólitos secundários evidencia a distribuição restrita em muitos táxons e isso contribui para o estabelecimento de grupos de marcadores químicos que em conjunto com outros caracteres favorecem a robustez dos estudos taxonômicos de linhagens vegetais. Não obstante, os caracteres químicos são de grande valia para a consolidação de filogenias estabelecidas (WINK, 2003).

Nesse sentido, os estudos quimiotaxonômicos das plantas baseiam-se nos cálculos dos índices de níveis de oxidação das substâncias e nas variações dos seus esqueletos carbônicos em relação ao precursor biossintético. As micromoléculas são marcadores químicos abundantes, que apresentam ampla diversidade estrutural expressa nas diversas classes metabólicas (GOTTLIEB, 1982; ALVARENGA et al, 2001).

Deve-se considerar ainda que as experiências confirmam um dos princípios básicos da sistemática micromolecular, em que se afirma que o aparecimento de novas linhagens botânicas está atrelado ao significativo aumento do estado de oxidação.

Nesse sentido, Harborne, em trabalhos de 1975-2001, distingue grupos de flavonoides que são aplicáveis à taxonomia. Desta forma, atribuiu importância taxonômica às diferenças entre os níveis de oxidação das moléculas, além das características de substituição na cadeia principal ou ainda nas hidroxilas das moléculas.

Ao longo do trabalho realizado por Harborne, ainda, são apresentadas discussões no que dizem respeito à distribuição de classes de metabólitos, razão de frequência entre flavonóis e flavonas, além da ocorrência em função dos mecanismos de metilação e glicosilação das hidroxilas, ocorridas entre os grupos e famílias estudados.

O grupo do professor Gottlieb publicou ao longo dos últimos 40 anos metodologias quimiossistemáticas baseadas em tratamento matemático simples, que avaliam o estágio evolutivo oxidativo e de especialização das micromoléculas, a partir do seu percurso biossintético.

Recentemente, a quimiossistemática tem sido associada à análise estatística multivariada, entre elas o PCA e PLS, (ALVARENGA et al, 2001; ROCHA et al, 2015; CIPRIANI et al, 2012; ANHOLETI et al, 2015; PIGATTO et al, 2015; SCOTTI et al, 2012). Espera-se, que o uso dos subterfúgios quimiométricos atuais contribuam para originalidade pertinente às análises dos metabólitos especiais, facilitando a compreensão do que a natureza expressa e, assim, possa cooperar nas classificações intrafamiliares (VOGT, 1987).

IV) METABÓLITOS ESPECIAIS

“Fazer qualquer apreciação passar pelo crivo da vida equivale a perguntar se ela contribui para favorecê-la ou obstruí-la; submeter ideias ou atitudes ao exame genealógico é o mesmo que inquirir se são signos de plenitude de vida ou da sua degeneração; avaliar uma avaliação, enfim, significa questionar se é sintoma de vida ascendente ou declinante.” Nietzsche.

O estudo sobre os metabolismo das plantas aumentou significativamente nos últimos 50 anos (BOURGAUD et al, 2001). A discussão constitui-se em dois processos metabólicos: o metabolismo primário, responsável pelas funções biológicas, precoce na evolução da vida, síntese codificada pelos genes e que foram conservados em todas as plantas conhecidas; e o metabolismo especial, incumbidos da interação das plantas com o meio ambiente, regulados por fatores abióticos e bióticos (KLIEBENSTEIM, 2013).

Ao longo dos 200 anos de desenvolvimento da química moderna e da biologia, foram descritas as funções dos metabólitos primários associando-os às funções vitais, tais como os mecanismos de respiração, crescimento, armazenamento e reprodução (BOURGAUD et al, 2001). Já uma das primeiras definições dos metabólitos secundários foi feita por Julius Sachs (1873), pioneiro da fisiologia vegetal, em que afirmou que:

“Pode-se designá-los como produtos do metabolismo primário, mas que não são utilizados na formação de novas células...Qualquer importância dessas substâncias para a economia interior das plantas é ainda desconhecido” (HARTMANN, 1996).

No contexto da biologia o conceito dos metabólitos especiais foi deliberado por Kossel (1891), pela primeira vez. Entretanto, 30 anos depois, Czapek (1921) contribui afirmando que esses metabólitos poderiam derivar do metabolismo do nitrogênio, e por isso foram chamados por ele de metabólitos constituídos de modificações secundárias. No entanto, ao comparar com as principais moléculas encontradas nas plantas, esses metabólitos em função da baixa abundância, foram definidos como secundários (BOURGAUD et al, 2001; RHODES, 1994).

Desde então, essas substâncias têm sido erroneamente chamadas de “metabólitos secundários”, um termo antiquado consignado em um contexto em

que os cientistas não sabiam das funções biológicas desses compostos e suspeitava-se que eram resíduos.

No meado do século XX, com o desenvolvimento e a melhoria das técnicas de análise, aperfeiçoamento das técnicas bioquímicas e avanço da biologia molecular, foi demonstrado que os metabólitos especiais desempenham um papel na adaptação das plantas no meio ambiente (BOURGAUD et al, 2001).

As plantas produzem uma rica coleção de micromoléculas de diversa amplitude estrutural, conhecidas como metabólitos secundários no âmbito da bioquímica e, particularmente, chamados de metabólitos especiais na área de química de produtos naturais (PICHERSKY & LEWINSOHN, 2011; WENG et al, 2012).

4.1) A origem dos metabólitos especiais

“Embora a célula seja diminuta, constitui-se em uma usina de micromoléculas de complexidade incrível. Por sua vez, essas moléculas são responsáveis por uma cadeia de reações que mantêm a célula em funcionamento. No entanto, há 200 anos sabíamos pouco acerca de tais atividades. Somente com o advento do desenvolvimento da química orgânica os pormenores do mundo molecular nos foram revelados” (WENT, 1971).

O metabolismo é um pré-requisito para a vida. Nele há ocorrência de centenas de reações químicas, principalmente catalisadas por enzimas, as quais definem uma rede metabólica que suporta toda a atividade biológica. (SWEETLOVE & RATCLIFFE, 2011).

A interação e o acoplamento das diversas vias metabólicas garantem a unificação e a regulação do fluxo metabólico na célula e na planta. Em vista disso, o metabolismo celular pode ser caracterizado, principalmente, pela convergência entre diferentes processos sucessivos (POPOVA & CARVALHO, 1998).

As plantas sintetizam uma enorme gama de substâncias com uma variedade de funções fisiológicas. Considera-se que a interação coordenada entre o ambiente, abiótico e biótico, e as plantas são determinantes para o surgimento de metabolitos específicos (FACCHINI, 1999).

Até este momento, comparações de genoma sugerem que a expansão dos metabólitos especiais ocorreu concomitantemente à colonização da Terra por plantas, há aproximadamente 500 milhões de anos. A rota biossintética dos fenilpropanóides estabeleceu-se nesse período (WENG et al, 2012).

As primeiras plantas terrestres produziam substâncias originárias da via do ácido cinâmico com a finalidade de absorver e diminuir os efeitos prejudiciais da radiação na região do ultravioleta (WINK, 2003).

Assim, as ligninas e os taninos condensados exerceram um papel importante na evolução das gimnospermas. Estas substâncias fazem parte do principal mecanismo de defesa deste grupo de plantas, que tornam o tecido vegetal formado por carboidratos e proteínas, mecânica e enzimaticamente indigerível (IBRAHIM, 2000; BISWAS & JOHRI, 2013).

Nas angiospermas, por sua vez, a adaptação química se tornou especializada. As micromoléculas ativas, gradualmente, ocuparam a função outrora dos taninos condensados e das ligninas. Notoriamente, outros ramos metabólicos surgiram continuamente ao longo da evolução de plantas terrestres, resultando em um repertório contemporâneo de metabólitos especializados (WENG et al, 2012). Em outras palavras, em angiospermas ocorreu a substituição evolutiva da forma lenhosa pela forma herbácea, pela redução gradual de metabolitos advindos da via do chiquimato e concomitante aumento da bioprodução de derivados da via do acetato-mevalonato (GOTTLIEB, 1989).

A aptidão biossintética das micromoléculas se aperfeiçoou ao longo do processo de evolução ocorrido em diferentes linhagens de plantas, devido às necessidades impostas pelos vários habitats (GOTTLIEB, 1990).

O metabolismo especializou-se em biossintetizar micromoléculas, presumivelmente, para favorecer a diversidade molecular. Nesse sentido, pode-se afirmar que a partir da evolução, as micromoléculas foram cuidadosamente esculpidas para se ligar ao seu alvo, em um ajuste requintado, frente às adversidades ambientais e ecológicas (FISCHBACH & CLARDY, 2007).

A formação dos produtos naturais envolve, basicamente, duas rotas biossintéticas, a via dos derivados do ácido chiquímico e do ácido acético, além

de uma alternativa intermediária, a via mista (GOTTLIEB & BORIN, 2012), conforme é ilustrado, resumidamente, na Figura 1.

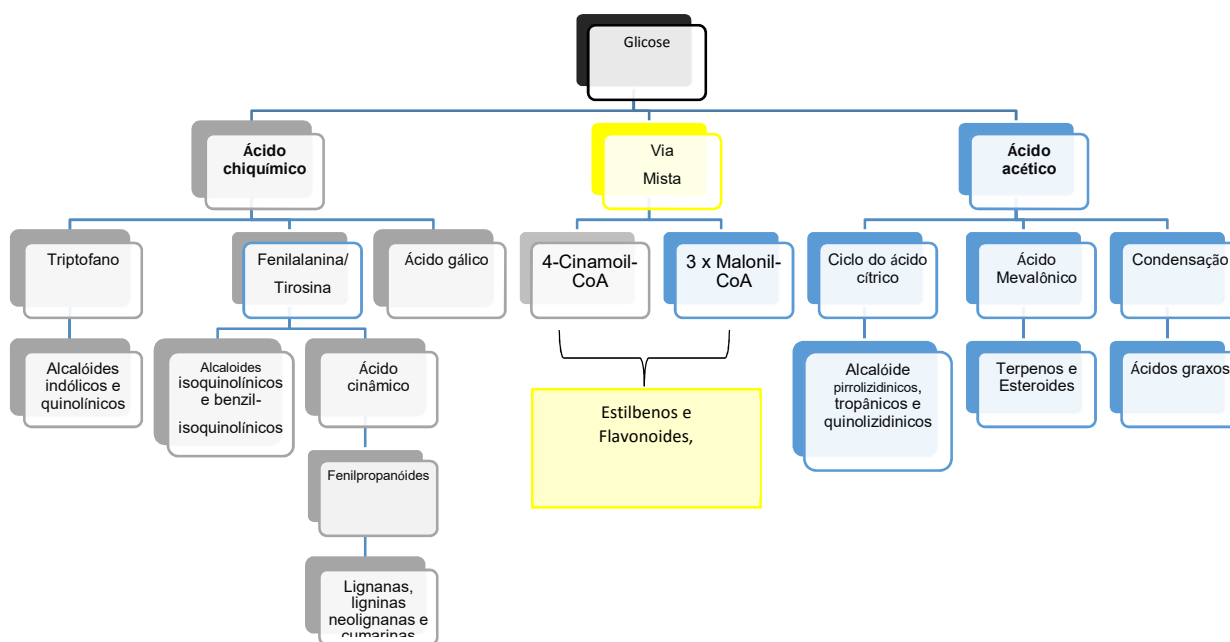


Figura 1. Esquema da biossíntese de Metabólitos Especiais.

4.2) Função dos metabólitos especiais nas células das plantas

Antes de tudo, é necessário ressaltar que existiram duas escolas de pensamentos antagônicos sobre a função dos metabólitos especiais na década de 70. Por um lado, um entusiasmado grupo¹ foi proponente de uma função ecológica para os metabólitos especiais, enquanto o professor Kurth Mothes acreditava que os metabólitos especiais “não possuíam significado fisiológico especial” (KUTCHAN, 2001).

A visão sobre os metabólitos especiais oriundos das plantas transcendeu a de resíduos que eventualmente são produzidos, para metabólitos que desempenham papéis fundamentais no desenvolvimento, na defesa e ataque das plantas, além de interação simbiótica e reprodução (KUTCHAN, 2001).

¹ Mirian Rothschild (Naturalista, Inglaterra); Jeffrey Harborne (The University of Reading); Tom Eisnir e Jerry Heinwald (Cornell University).

Levando em consideração a especificidade dos metabólitos especiais, que não são necessários para a vida celular, mas atuam na interação da célula (organismo) com o meio ambiente, deve-se ponderar que os metabólitos especiais ocorrem de forma restrita em grupos taxonômicos (VERPOORTE, 2000).

Dessa forma, os metabólitos especiais asseguram vantagens para a sobrevivência e para a perpetuação de sua espécie além de auxiliar as plantas no processo evolutivo e do seu status, no ecossistema que ocupam (KLIEBENSTEIM, 2013).

A expansão da quimiodiversidade associada aos metabólitos especiais reflete a formidável adaptabilidade das plantas terrestres (WENG et al, 2013). As plantas biossintetizam uma grande variedade de metabolitos que contribuem para a adaptação nos seus nichos ecológicos. Essas substâncias podem atuar na atração de outros organismos vivos benéficos para as plantas, na defesa contra outro biótico ou, também, agentes abióticos (PICHERSKY & LEWINSOHN, 2011).

Observa-se que, ao longo da evolução, uma linhagem de plantas adquire a capacidade de fazer novas micromoléculas especializadas, bem como perde a capacidade de fazer outras. Ou seja, a habilidade de biossintetizar metabólitos continua a evoluir como uma estratégica faceta do organismo para a sobrevivência (PICHERSKY & LEWINSOHN, 2011).

Os metabólitos especiais exercem importantes funções nos sistemas orgânicos, além de conectar o genótipo e o fenótipo,

É necessário observar que a função de conectar o genótipo ao fenótipo, exercidas pelos metabólitos especiais, nos sistemas orgânicos estão associadas às características que são intrínsecas à sua natureza, que merecem ser aqui destacadas: a polaridade, a pequena massa molecular, a meia vida curta, a variabilidade estrutural, ocorrência esporádica, potencial antioxidante. Algumas destas características tornam os produtos naturais importantes marcadores quimiotaxonômicos, uma vez que podem fornecer o perfil do caminho metabólico particular de um determinado táxon (GOTTLIEB et al, 1996).

4.3) Fatores que influenciam a bioprodução dos metabólitos especiais.

Supreendentemente não existe uma resposta para o porquê as plantas investem uma significativa quantidade de recursos na produção de metabólitos especiais. No entanto, há consenso que a presença dessas micromoléculas geralmente confere vantagens na interação com o meio ambiente (WATERMAN in: HENRY, 2005).

Os desafios bióticos e abióticos encontrados por uma planta podem mudar ao longo de sua vida, de modo que os metabólitos especiais podem ser um efetivo subterfúgio em um determinado tempo e espaço. Ou seja, não é possível haver uma concentração constante de metabólitos especiais durante as diferentes estações do ano, as ontogenéticas fases, ou até mesmo em partes particulares da planta (NEILSON et al, 2013).

Muitas atividades celulares das plantas ocorrem com uma ritmicidade diária e são mantidas, sob determinadas condições ambientais, de forma que o relógio circadiano regula os ritmos para que eles ocorram no momento correto do dia, durante todo o ano. Assim, sua função é perceber as alterações sazonais ao longo do dia (KREEPS & KAY, 1997).

Além disso, pelas diferentes vias químicas e bioquímicas as plantas são reguladas devido às influências do meio ambiente externo e potenciais predadores herbívoros. Nesse sentido, os metabólitos atuam diretamente a fim de superar as ameaças exógenas iminentes (PAVARINI et al, 2012).

As tendências sazonais quanto ao acúmulo de micromoléculas nas plantas se devem aos fatores externos que influenciam a biossíntese de metabólitos especiais. Devem ser mencionados os efeitos físicos que regem o habitat como a luz, radiação UV, disponibilidade de água, temperatura, composição do solo, osmolaridade e salinidade do solo (PAVARINI et al, 2012).

A temperatura e a luminosidade estão associadas ao processo fotossintético e de crescimento das plantas. Enquanto a intensidade da luz interfere na concentração e composição metabólica, a radiação UV influencia no crescimento e desenvolvimento da planta. Quando os organismos fotossintéticos são submetidos à exposição luminosa excessiva, são acometidas por fotoinibição, estresse fisiológico, que gera a diminuição da atividade fotossintética e conseqüentemente o crescimento. Em contrapartida,

devido à radiação UV, o organismo tende a aumentar a biossíntese de flavonóides (GOBBO-NETO & LOPES, 2007).

A produção de metabólitos especiais também é afetada pela variação de água, que é indispensável a diversos processos celulares, como a fotossíntese e o crescimento celular. Desta forma, qualquer estresse hídrico altera o metabolismo especial (GOBBO-NETO & LOPES, 2007).

Há ainda outros fatores externos que não poderiam deixar de ser mencionados nesse contexto, como a poluição atmosférica, salinidade e pH do solo, entre outros fenômenos climáticos naturais e não naturais, que interferem no desenvolvimento vegetal ao longo de sua vida. Levando em consideração que esses organismos são sésseis, os metabólitos especiais agem em resposta aos eventos externos protagonizando a proteção das plantas de modo singular (HARFOUCHE et al, 2011; GOTTLIEB et al, 1996).

V) A FAMÍLIA MORACEAE

A família Moraceae, uma importante representante das angiospermas, abrange cerca de 37 gêneros e 1125 espécies, que são extensivamente distribuídas com características cosmopolitas (CARAUTA, 1980; ZEREGA et al, 2005). A propósito, é importante destacar que há a ocorrência de espécies pertencentes a esse táxon, especialmente, em regiões tropicais, subtropicais e temperadas (CRONQUIST, 1981; BURN & MAYLE, 2008).

No que tange à incidência da família Moraceae, é evidente o destaque que as espécies exercem nos biomas que constituem a flora brasileira, uma vez que são descritos 19 gêneros, aproximadamente 198 espécies ocorrentes no Brasil e 70 espécies endêmicas (CARAUTA, 1980; CARAUTA, 1996b; FORZZA et al, 2010; ROMANIUC-NETO et al., 2010; ROMANIUC-NETO et al., 2013; ROMANIUC-NETO et al., 2014; ROMANIUC-NETO et al., 2015). Ademais, no estado do Rio de Janeiro ocorrem 58 espécies nativas compreendidas em 12 gêneros (CARAUTA, 1996a).

Os gêneros pertencentes à família Moraceae são descritos na tabela 1, tendo sido destacados os gêneros presentes na flora brasileira. A família Moraceae é proeminente na produção de látex e influente da no campo da ornamentação e na alimentação.

Tabela 1. Gêneros da família Moraceae de acordo com a classificação de Dätwyler & Weiblen (2004).

| | | | |
|----------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|
| <i>Artocarpus*</i> | <i>Antiaris</i> | <i>Bosqueiopsis</i> | <i>Bleekrodea</i> |
| <i>Bagassa*</i> | <i>Antiaropsis</i> | <i>Brosimum*</i> | <i>Broussonetia</i> |
| <i>Batocarpus*</i> | <i>Castilla*</i> | <i>Dorstenia*</i> | <i>Fatoua</i> |
| <i>Clarisia*</i> | <i>Helicostylis*</i> | <i>Helianthostylis*</i> | <i>Maclura*</i> |
| <i>Hulletia</i> | <i>Maquira*</i> | <i>Scyphosyce</i> | <i>Milicia</i> |
| <i>Parartocarpus</i> | <i>Mesogyne</i> | <i>Trilepisium</i> | <i>Morus</i> |
| <i>Prainea</i> | <i>Naucleopsis*</i> | <i>Trymatococcus*</i> | <i>Sorocea*</i> |
| <i>Treculia</i> | <i>Perebea*</i> | <i>Utsetela</i> | <i>Streblus</i> |
| | <i>Poulsenia*</i> | <i>Ficus*</i> | <i>Trophis*</i> |
| | <i>Pseudolmedia*</i> | | |
| | <i>Sparattosyce</i> | | |

*Gêneros da família Moraceae encontrados no Brasil (ROMANIUC-NETO et al., 2015).

As espécies constituintes da família Moraceae possuem uma alta diversidade morfológica. Suas espécies são constituídas de estruturas inflorescentes, extremamente peculiares e longínquas do ponto de vista estrutural, tornando-se a família mais enigmática entre as Angiospermae (CORNER, 1962).

5.1) Aspectos botânicos da família Moraceae

As espécies da família Moraceae são plantas lenhosas, herbáceas ou grandes ervas, monóicas ou dioicas. Os seus estames podem ser retos ou curvos. Entre os principais caracteres morfológicos compartilhados por esse táxon está a produção do suco leitoso, o látex. Os frutos são drupáceos ou em aquênios (CARAUTA, 1996). Os 37 gêneros de Moraceae apresentam uma gama impressionante de formas de inflorescência, além de síndromes de polinização e sistema de acasalamento (SYTSMA et al. 2002, DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004; WEIBLEN, 2006; CLEMENT & WEIBLEN, 2009, ZEREGA et al, 2010).

A maioria das espécies, 1100, da família Moraceae são figos, pertencentes à tribo Ficeae, marcadas por uma inflorescência singular, o sicônio e pelo mutualismo obrigatório por vespas (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004, WEIBLEN, 2006; RØNSTED, 2008).

A inflorescência do figo consiste em um receptáculo em forma de urna com flores unissexuais alinhadas e fechadas por brácteas. Nesse contexto, cabe ressaltar que o sicônio dos figos por apresentar uma diversidade morfológica floral original e ampla que dificulta a investigação da posição evolutiva do figo (MELLO FILHO et al, 2001; DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004). Outra característica importante das espécies do gênero *Ficus* está associada a apresentarem uma grande variação na forma e no tamanho das folhas e das estípulas (CARAUTA & DIAZ, 2001).

Ficeae é um grupo que possui ancestral comum à Castilleae. A diversidade de *Ficus* em relação às espécies de Castilleae se deve a especialização e coespeciação com as vespas microscópicas polinizadoras de figo (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004; WEIBLEN, 2006). Além disso, a diferença entre uma tribo e outra está fincada na estrutura das inflorescências. Enquanto as inflorescências de Ficeae possuem o involucre de brácteas que circundam completamente as flores a inflorescências de Castilleae tem involucre de brácteas imbricadas que circundam parcialmente as flores (ZEREGA et al, 2010).

Em Castilleae há polinização, em *Castila*, *Antiaropsis*, *Naucleopsis*, *Perebea* e *Pousenia*, por insetos pertencentes à ordem Thysanoptera. O pólen é usado como fonte primária de alimentos para as ninfas e adultos. No entanto especula-se que esses insetos sejam atraídos pela inflorescência estaminada e carpelada por engano (ZEREGA et al, 2004).

Artocarpeae possui uma classificação difícil por possuir alta heterogeneidade morfológica (ZEREGA et al, 2010). Assim, as espécies de Artocarpeae são monóicas com inflorescências unissexuais. Os gêneros dessa tribo têm um número reduzido de estames,

4, e possuem sementes que carecem de endosperma. *Artocarpus*, maior gênero da tribo, apresenta polinização mediada por mosquitos que se alimentam dos fungos parasitas das inflorescências estaminadas e são atraídos por um aroma floral, conteúdo nutricional e pela cor (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004).

A tribo Moreae é parafilética. Além disso, possui caracteres morfológicos primitivos como estames inflexos (curvos), que ejetam pólen no ar e propiciam a polinização anemofílicas (ZEREGA et al, 2005; CLEMENT & WEIBLEN, 2009). Os gêneros *Streblus* e *Trophis* são problemáticos, pois exibe enorme variação na forma de crescimento, sistema de reprodução, além das inflorescências e morfologia. Os gêneros *Bagassa*, *Soroceae* e *Maclura* apresentam inflorescências anemofílicas, polinização por ação dos ventos (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004), esses gêneros são caracterizados por liberar pólen de modo abundante (ZEREGA et al, 2004).

Dados filogenéticos apontam que *Morus*, *Milicia*, *Streblus* e *Trophis*, ambas pertencentes à tribo Moreae, possuem ancestrais em comum com os gêneros de Artocarpeae (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004).

Enquanto os gêneros *Broussonetia* e *Fatoua* são afins com as espécies monóicas e que apresentam inflorescências bissexuais da Tribo Dorstenieae. Cabe ressaltar, nesse ponto, que as Dorstenieae se distinguem de Moreae pela presença de flores carpeladas incorporadas no receptáculo e que são rodeadas por flores masculinas (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004).

As espécies de Dorstenieae apresentam uma enorme variabilidade morfológica (CARAUTA & VALENTE, 1983). Por exemplo, *Trilepisium* possui inflorescências estaminadas, que são características de polinização por vento. No entanto, possuem um odor forte conhecido por atrair besouros. Da mesma forma, *Brosimum* possui inflorescências estaminadas, mas apresenta a visitação de diversos pequenos insetos (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004). *Dorstenia*, por sua vez, segundo maior gênero de Moraceae, se difere dos outros gêneros devido o seu hábito herbáceo e pela presença de rizoma (BOENI & SINGER, 2015).

5.2) Sistemas de classificação da família Moraceae

Ao longo da história da sistemática botânica da família Moraceae são observadas grandes mudanças desde a sua criação. O relato pioneiro ocorreu por Johann Heinrich Friedrich Link que cognominou os táxons destes grupos de “Moriformes” no ano de 1931, (CARAUTA, 1980) enquanto, sucessivamente, Engler, em 1989, denomina o táxon como Moraceae, originariamente em latim “Morus” que possui o significado de amoeira, fruta a qual está classificada nesta família (CARAUTA, 1980; CASTRO, 2006).

No decorrer dos anos, diversos autores, imbuídos de tino científico, publicaram trabalhos de revisão de gêneros, fundamentados em dados de caracteres morfológicos e filogenéticos, das espécies da família Moraceae culminando em avanços propostos por Cronquist (1988) e pelo sistema *Angiosperm Phylogeny Group* (APG I, 1998; APG II, 2003; APG III, 2009; APG IV, 2016). A Tabela 2 demonstra as principais classificações taxonômicas da família Moraceae quanto à ordem, com as referidas autorias.

A evolução taxonômica acerca de Moraceae é marcada por controvérsias paradigmáticas quanto à classificação intrafamiliar, dos gêneros constituintes em suas tribos, adequadamente. Desta forma, as modificações mais emblemáticas estão resumidas na Tabela 3. O cerne da divergência está associado a alguns autores que utilizam, exclusivamente, a classificação baseada em dados morfológicos enquanto para os sistemas mais modernos e atuais são considerados dados moleculares, filogenéticos e paleontológicos.

Tabela 2. Evolução classificatória da Família Moraceae quanto à ordem.

| Bureau (1873) | Engler (1889) | Cronquist (1988) | APG I (1998) | APG II (2003) | APG III (2009) | APG IV (2016) |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|------------------|
| Ordem Urticales | Ordem Urticales | Ordem Urticales | Ordem Rosales | | Ordem Rosales | |
| Artocarpaceae | Rhoipteleaceae | Barbeyaceae | Barbeyaceae | | Barbeyaceae | |
| Cannabineae | Ulmaceae | Ulmaceae | Cannabaceae | | Cannabaceae | |
| Moraceae | Moraceae | Cannabaceae | Cecropiaceae | | Dirachmaceae | |
| Ulmaceae | Urticaceae | Moraceae | Dirachmaceae | | Elaeagnaceae | |
| Urticaceae. | Eucommiaceae | Cecropiaceae | Elaeagnaceae | | Moraceae | |
| | | Urticaceae | Moraceae | | Rhamnaceae | |
| | | Physenaceae | Rhamnaceae | | Rosaceae | |
| | | | Rosaceae | | Ulmaceae | |
| | | | Ulmaceae | | Urticaceae | |
| | | | Urticaceae | | | |

Tabela 3. Controvérsias sobre a Distribuição intrafamiliar dos gêneros constituintes da Família Moraceae em tribos.

| Rohwer (1993) | Berg (2001) | Dätwyler & Weiblen (2004) | Berg (2005) | Clement & Weiblen (2009) |
|---|---|---|---|--|
| Gêneros | Gêneros | Gêneros | Gêneros | Gêneros |
| - | - | - | Antiaropsidae <i>Antiaropsis</i> <i>Sparattosyce</i> | - |
| Artocarpeae <i>Antiaropsis</i> <i>Artocarpus</i> <i>Bagassa</i> <i>Batocarpus</i> <i>Clarisia</i> <i>Hullettia</i> <i>Paratorcarpus</i> <i>Poulsenia</i> <i>Prainea</i> <i>Sorocea</i> <i>Sparattosyce</i> <i>Treculia</i> | Artocarpeae <i>Antiaropsis</i> <i>Artocarpus</i> <i>Bagassa</i> <i>Batocarpus</i> <i>Clarisia</i> <i>Hullettia</i> <i>Paratorcarpus</i> <i>Poulsenia</i> <i>Prainea</i> <i>Sorocea</i> <i>Sparattosyce</i> <i>Treculia</i> | Artocarpeae <i>Artocarpus</i> <i>Batocarpus</i> <i>Clarisia</i> <i>Hullettia</i> <i>Paratorcarpus</i> <i>Prainea</i> <i>Treculia</i> | Artocarpeae <i>Artocarpus</i> <i>Hullettia</i> <i>Paratorcarpus</i> <i>Prainea</i> <i>Treculia</i> | Artocarpeae <i>Artocarpus</i> <i>Batocarpus</i> <i>Clarisia</i> <i>Hullettia</i> <i>Paratorcarpus</i> <i>Prainea</i> <i>Sorocea</i> <i>Treculia</i> |
| Castilleae <i>Antiaris</i> <i>Castilla</i> <i>Helicostylis</i> <i>Maquira</i> <i>Mesogyne</i> <i>Naucleopsis</i> <i>Perebea</i> <i>Pseudolmedia</i> | Castilleae <i>Antiaris</i> <i>Castilla</i> <i>Helicostylis</i> <i>Maquira</i> <i>Mesogyne</i> <i>Naucleopsis</i> <i>Perebea</i> <i>Pseudolmedia</i> | Castilleae <i>Antiaris</i> <i>Antiaropsis</i> <i>Castilla</i> <i>Helicostylis</i> <i>Maquira</i> <i>Mesogyne</i> <i>Naucleopsis</i> <i>Perebea</i> <i>Poulsenia</i> <i>Pseudolmedia</i> <i>Sparattosyce</i> | Castilleae <i>Antiaris</i> <i>Castilla</i> <i>Helicostylis</i> <i>Maquira</i> <i>Mesogyne</i> <i>Naucleopsis</i> <i>Perebea</i> <i>Pseudolmedia</i> | Castilleae <i>Antiaris</i> <i>Antiaropsis</i> <i>Castilla</i> <i>Helicostylis</i> <i>Maquira</i> <i>Mesogyne</i> <i>Naucleopsis</i> <i>Perebea</i> <i>Pseudolmedia</i> <i>Sparattosyce</i> |
| Dorstenieae <i>Bosqueiopsis</i> <i>Brosimum</i> <i>Dorstenia</i> <i>Helianthostylis</i> <i>Scyphosyce</i> <i>Trilepisim</i> <i>Trymatococcus</i> <i>Utsetela</i> | Dorstenieae <i>Bosqueiopsis</i> <i>Brosimum</i> <i>Dorstenia</i> <i>Helianthostylis</i> <i>Scyphosyce</i> <i>Trilepisim</i> <i>Trymatococcus</i> <i>Utsetela</i> | Dorstenieae <i>Brosimum</i> <i>Bosqueiopsis</i> <i>Dorstenia</i> <i>Helianthostylis</i> <i>Scyphosyce</i> <i>Trilepisim</i> <i>Trymatococcus</i> <i>Utsetela</i> | Dorstenieae <i>Brosimum</i> <i>Bosqueiopsis</i> <i>Dorstenia</i> <i>Helianthostylis</i> <i>Scyphosyce</i> <i>Trilepisim</i> <i>Trymatococcus</i> <i>Utsetela</i> | Dorstenieae <i>Bleektodea</i> <i>Bosqueiopsis</i> <i>Broussonetia</i> <i>Brosimum</i> <i>Dorstenia</i> <i>Helianthostylis</i> <i>Malaisia</i> <i>Scyphosyce</i> <i>Trilepisim</i> <i>Trymatococcus</i> <i>Utsetela</i> |
| Moreae <i>Bleekrodea</i> <i>Broussonettia</i> <i>Fatoua</i> <i>Maclura</i> <i>Milicia</i> <i>Morus</i> <i>Streblus</i> <i>Trophis</i> | Moreae <i>Bleekrodea</i> <i>Broussonetia</i> <i>Fatoua</i> <i>Maclura</i> <i>Milicia</i> <i>Morus</i> <i>Strebus</i> <i>Trophis</i> | Moreae <i>Bagassa</i> <i>Bleektodea</i> <i>Broussonetia</i> <i>Fatoua</i> <i>Maclura</i> <i>Milicia</i> <i>Morus</i> <i>Sorocea</i> <i>Strebus</i> <i>Trophis</i> | Moreae <i>Bleektodea</i> <i>Broussonetia</i> <i>Fatoua</i> <i>Maclura</i> <i>Milicia</i> <i>Morus</i> <i>Strebus</i> <i>Trophis</i> | Moreae <i>Bagassa</i> <i>Maclura</i> <i>Milicia</i> <i>Morus</i> <i>Soroceae</i> <i>Streblus</i> <i>Trophis</i> |
| Ficeae <i>Ficus</i> | Ficeae <i>Ficus</i> | Ficeae <i>Ficus</i> | Ficeae <i>Ficus</i> | Ficeae <i>Ficus</i> |
| - | - | - | - | Maclureae <i>Maclura</i> |
| | | | Soroceae <i>Bagassa</i> <i>Batocarpus</i> <i>Clarisia</i> <i>Poulsenia</i> <i>Sorocea</i> | |

A família Moraceae tem suas espécies organizadas por Dätwyler & Weiblen (2004) em cinco tribos. Ficeae constitui uma tribo monotípica com cerca de 750 espécies, Artocarpeae representada por 7 gêneros e 87 espécies, Castilleae com 11 gêneros e 64 espécies, Dorstenieae 8 gêneros e 128 espécies e, por último, Moreae com 10 gêneros e 70 espécies.

Conforme demonstra a tabela 3, Berg em publicações nos anos de 2001 e 2005, reorganizou a tribo Artocarpeae, remanejando as suas espécies, em função das suas características morfológicas heterogêneas frente às outras tribos de Moraceae, para Antiaropsideae e Soroceae, organizando a família Moraceae em 7 tribos. No entanto, a concepção de 7 tribos é controversa quando comparada com caracteres moleculares e filogenéticos (CLEMENT & WEIBLEN, 2009).

Nesse sentido, Clement & Weiblen (2009) propõem, a partir de análise filogenética, a classificação da família Moraceae em seis tribos, conforme demonstrou a tabela 3. As principais alterações é a reintegração dos gêneros *Malaisia* e *Sloetia* na família Moraceae e a separação do gênero *Maclura* em uma tribo monotípica (CLEMENT & WEIBLEN, 2009).

VI) MATERIAIS E MÉTODOS:

6.1) Metodologia quimiosistemática

A primeira etapa para o desenvolvimento deste trabalho foi a obtenção das informações sobre as categorias micromoleculares identificadas na família Moraceae. Para este levantamento bibliográfico, foi utilizado o *Chemical Abstracts* para acessar as principais obras de referência disponibilizadas no indexador *Scifinder*, abrangendo o período de 1907 até 2014.

Nesse sentido, foram realizadas buscas por meio de palavras-chave relacionadas ao nome da família Moraceae, o nome de cada uma das tribos e dos seus gêneros, a fim de obter os dados e, assim, desenhar o perfil químico dos táxons.

É importante ressaltar, quanto à organização botânica, que os gêneros foram agrupados em tribos pautadas nos estudos recentes, baseados em dados moleculares, desenvolvidos pelos taxonomistas filogenéticos Dätwyler e Weiblen (2004), especialistas em Moráceas. De posse dos dados, primeiramente, organizou-se uma tabela *que continha* os dados da espécie, parte da planta, os metabólitos isolados/identificados e a referência.

Após a organização do levantamento bibliográfico procedeu-se, então, à determinação dos índices químicos, referenciados em Gottlieb e colaboradores (1996):

A frequência de distribuição das categorias biossintéticas foi considerada de duas formas:

I) Com o intuito de avaliar a relevância das categorias metabólicas atribuídas à família Moraceae foi determinado o Número de Ocorrência (NO) de cada substância, a fim de caracterizar a tendência de sua produção no táxon.

II) Determinou-se a relevância da frequência de distribuição das categorias biossintetizadas por Moráceas através do produto do número de ocorrências (NO) pelo número de tipos (NT), em função das vias metabolizadoras de substâncias ocorrentes nesse táxon. Dessa forma, o índice de diversificação (ID) de Moraceae foi determinado pela equação:

$$\text{ID Moraceae} = \text{NO} \times \text{NT} \quad (\text{equação 1})$$

6.1.1) Relação chiquimato/Acetato

Em paralelo, verificou-se a relação percentual entre as substâncias aromáticas derivadas de ácido chiquímico (%CH) e as substâncias alifáticas derivadas de ácido acético (%AC), omitindo, entretanto, em função da gênese mista os alcaloides, conforme proposto por Gottlieb & Borin (1998). O cálculo desse parâmetro é definido pela seguinte fórmula:

$$\text{CH}\% = \frac{[\text{NO}(\text{CH}) \times 100]}{[\text{NO}(\text{CH}) + \text{NO}(\text{AC})]} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\text{AC}\% = \frac{[\text{NO}(\text{AC}) \times 100]}{[\text{NO}(\text{CH}) + \text{NO}(\text{AC})]} \quad (\text{Equação 3})$$

6.1.2) Determinação dos Índices Químicos Particulares

Para a determinação dos sistemas químicos particulares, averiguou-se o nível de oxidação (O) e especialização do esqueleto (E), de cada substância pertencente às categorias químicas identificadas na família Moraceae, seguindo as seguintes equações (GOTLLIEB et al, 1996).

$$\mathbf{O} = \frac{x-h}{n} \quad (\text{Equação 4})$$

$$\mathbf{E} = \frac{q+f+c+u}{n} \quad (\text{Equação 5})$$

onde:

x: Número de ligações C-heteroátomo;

h: Número de ligações C-H;

n: Número de átomos de carbono do esqueleto molecular;

q: Número de ligações C-C quebradas em relação ao precursor;

f: Número de ligações C-C formadas em relação ao mesmo precursor;

u: Número de unidades carbônicas adicionais em relação ao mesmo precursor.

Deve ser observado, no entanto, que na determinação do índice de especialização, não foram consideradas a formação de saturações ou ligações múltiplas.

Após os cálculos individuais, obtiveram-se, afinal, os parâmetros de avanço evolutivo de oxidação AE_O e de especialização AE_E de cada gênero, a partir das micromoléculas das rotas biossintéticas da via Mista, da via do Acetato e da via do chiquimato, ocorrentes Moraceae.

$$\mathbf{AE}_O = \sum O / \text{Número de substâncias} \quad (\text{Equação 6})$$

$$\mathbf{AE}_E = \sum E / \text{Número de substâncias} \quad (\text{Equação 7})$$

6.1.3) Índices Químicos moduladores

A fim de estimar o grau de proteção das hidroxilas das micromoléculas fenólicas, advindas da via mista e da via do chiquimato, calculou-se em cada substância, por meio dos índices matemáticos denominados Índice de Proteção por metilação (IM), Índice de

Proteção por glicosilação (IG) e do Índice de Proteção por prenilação (Ipren), conforme propõe Emerenciano (1985) e Gottlieb e colaboradores (1996):

IG= Número de grupos O-glicosila/Número total de grupos oxílicos (Equação 8)

IM= Número de grupos O-metila/Número total de grupos oxílicos (Equação 9)

IPren= Número de grupos O-prenila/Número total de grupos oxílicos (Equação 10)

Em seguida, foram calculados os parâmetros de avanço evolutivo de cada gênero pertencente à Família Moraceae:

$$\mathbf{AEG} = \frac{\sum \mathbf{IG}}{\mathbf{NO}} \quad (\text{Equação 11})$$

$$\mathbf{AEM} = \frac{\sum \mathbf{IM}}{\mathbf{NO}} \quad (\text{Equação 12})$$

$$\mathbf{AEPren} = \frac{\sum \mathbf{IPren}}{\mathbf{NO}} \quad (\text{Equação 13})$$

Estimou-se, ainda, o grau de desproteção das hidroxilas de cada um dos metabólitos oriundos da via mista, por intermédio da razão entre o número total de hidroxilas livres e o número total dos grupos oxílicos, conforme proposto por Gottlieb (1996), enquanto o parâmetro de avanço evolutivo de desproteção foi obtido pelo somatório dos índices de desproteção das substâncias dividido pelo número de ocorrências, conforme mostrado abaixo.

$$\mathbf{AED} = \frac{\sum \mathbf{ID}}{\mathbf{NO}} \quad (\text{Equação 14})$$

Através desse índice é possível obter o dimensionamento da proteção total conferida às substâncias da via mista. O índice de proteção total, desta forma, abarca o somatório do índice de glicosilação, metilação e prenilação pela razão do número total de grupos oxílicos presentes na estrutura, ao passo que seu parâmetro de proteção total pode ser obtido da seguinte maneira:

$$\mathbf{AEPtotal} = \frac{\sum \mathbf{IPtotal}}{\mathbf{NO}} \quad (\text{Equação 15})$$

6.1.4) Relação de ocorrência entre flavona e flavonol

Em cada gênero pertencente à família Moraceae foi averiguada a relação percentual entre a bioprodução de flavona (fo) e flavonol (fl), devido constituir um importante parâmetro no estabelecimento da correlação entre morfologia e diversidade química.

$$fo/fl = \frac{NO \text{ Flavona}}{NO \text{ Flavonol}} \quad (\text{Equação 16})$$

6.2) Análise estatística multivariada

Análise multivariada refere-se a todas as técnicas estatísticas que simultaneamente analisam múltiplas variáveis em um único relacionamento ou conjunto de relações. Para serem consideradas verdadeiramente multivariadas, todas as variáveis devem ser aleatórias e inter-relacionadas de tal maneira que seus diferentes efeitos não podem ser significativamente interpretados em separado. Para este estudo foram consideradas as seguintes abordagens estatísticas: análise fatorial e análise de agrupamento. A primeira fornece ferramentas para analisar a estrutura das inter-relações (correlações) em um grande número de variáveis definindo conjuntos de variáveis que são fortemente inter-relacionadas, conhecidos como fatores (representam as dimensões que resumem ou explicam o conjunto original de variáveis observadas). A segunda tem como finalidade principal agregar objetos com base nas características que eles possuem reconhecendo padrões e os agregando (HAIR et al, 1999).

Para tornar mais fácil a manipulação dos dados na abordagem estatística optou-se pelo uso de siglas ao invés do nome dos gêneros considerados no estudo. Considera-se então: **Representantes da tribo Artocarpeae:** A1 – *Artocarpus*; A2 – *Batocarpus*; A3 – *Clarissa*; A4 – *Hulletia*; A5 – *Parartocarpus*; A6 – *Prainea*; A7 – *Treculia*. **Representantes da tribo Castileae:** C1 – *Antiaris*; C2 – *Antiaropsis*; C3 – *Castila*; C4 – *Helicostylis*; C5 – *Maquira*; C6 – *Mesogyne*; C7 – *Naucleopsis*; C8 – *Perebea*; C9 – *Poulsenia*; C10 – *Pseudolmedia*; C11 – *Sparratosyce*. **Representantes da tribo Dorstenieae:** D1 – *Bosqueiopsis*; D2 – *Brosimum*; D3 – *Dorstenia*; D4 – *Helianthostylis*; D5 – *Scyphosyce*; D6 – *Trilepisium*; D7 – *Trymatococcus*; D8 – *Utsetela*. **Representante da tribo Ficeae:** F1 - *Ficus*; **Representantes da tribo Moreae:** M1 – *Bagassa*; M2 – *Bleekrodea*; M3 – *Broussonetia*; M4 – *Fatoua*; M5 – *Maclura*; M6 – *Milicia*; M7 – *Morus*; M8 – *Sorocea*; M9 – *Streblus*; M10 – *Trophis*.

VII) RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1) Perfil químico micromolecular da Família Moraceae: Um estudo quimiosistemático.

A ocorrência de metabólicos especiais foi verificada para os 37 gêneros, compreendidos nas 5 tribos, pertencentes à família Moraceae. A análise das 680 publicações disponibilizadas, no período de 1907 até dezembro de 2014, aponta a ocorrência de 3706 substâncias, amplamente distribuídas nesse táxon. Cabe ressaltar, entretanto, que as tribos Artocarpeae (NO=1242) e Moreae (1071) são proeminentes quanto ao número de ocorrência, seguidas de Ficeae (NO=557), Dorstenieae (NO=486) e Castilleae (NO=350). Esses dados são demonstrados na Figura 2.

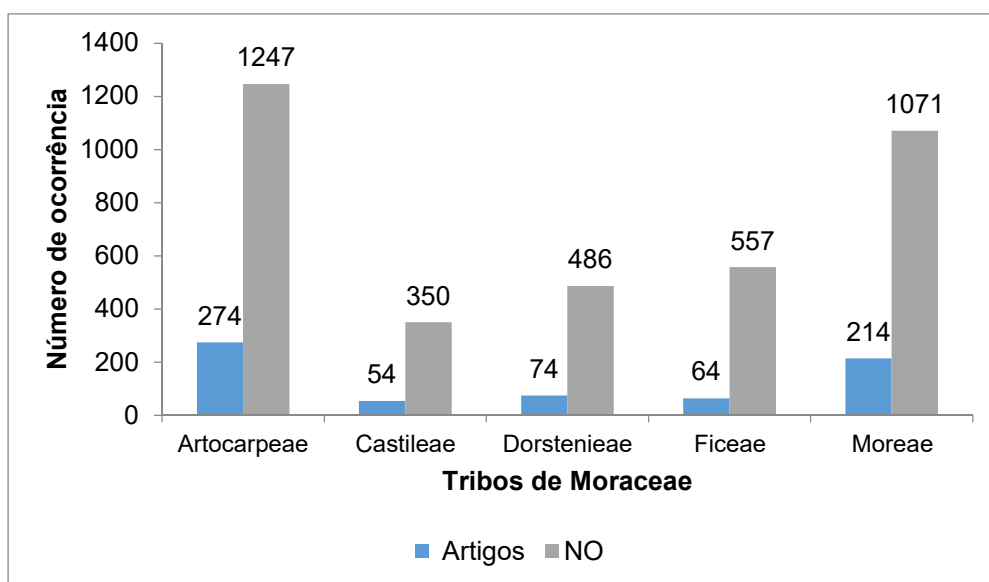


Figura 2. Representação gráfica do número de publicações e do número de ocorrência de metabólitos bioproduzidos nas tribos da Família Moraceae.

No que tange à distribuição dos metabólitos no nível hierárquico dos gêneros, observa-se um abundante registro de ocorrência de substâncias entre os gêneros que possuem espécies que desempenham papéis importantes para a alimentação e valor econômico, o gênero *Artocarpus* (NO=1151), *Ficus* (NO=557), *Broussonetia* (NO=377), *Dorstenia* (NO=352), *Antiaris* (NO=315) e *Morus* (273).

Por outro lado, determinados gêneros se destacam pela ausência de ocorrências ou estudos em suas espécies. Entre estes estão os gêneros pertencentes à tribo Castilleae, *Castilla*, *Helicostylis*, *Mesogyne*, *Pereba*, *Sparratosyce*. Além desses, não foram encontradas citações científicas para os gêneros *Hulletia*, *Prainea*, *Bosqueiopsis*, *Helianthostylis*, *Scyphosyce*, *Trymatococcus*, *Utsetela* e *Bleekrodea*. Na Tabela 4, estão descritos o número de artigos analisados para cada um dos gêneros, bem como o número de ocorrência de metabólitos atribuídos a esses táxons.

Tabela 4. Número de ocorrências e publicações de cada gênero da família Moraceae.

| Gêneros | Artigos | Metabólitos | Gêneros | Artigos | Metabólitos |
|----------------------|----------------|--------------------|------------------------|----------------|--------------------|
| <i>Artocarpus</i> | 264 | 1151 | <i>Brosimum</i> | 23 | 120 |
| <i>Batocarpus</i> | 1 | 2 | <i>Dorstenia</i> | 49 | 352 |
| <i>Clarisia</i> | 2 | 3 | <i>Helianthostylis</i> | 0 | 0 |
| <i>Hulletia</i> | 0 | 0 | <i>Scyphosyce</i> | 0 | 0 |
| <i>Parartocarpus</i> | 2 | 14 | <i>Trilepisium</i> | 2 | 14 |
| <i>Prainea</i> | 0 | 0 | <i>Trymatococcus</i> | 0 | 0 |
| <i>Treculia</i> | 5 | 72 | <i>Utsetela</i> | 0 | 0 |
| <i>Antiaris</i> | 46 | 315 | <i>Ficus</i> | 64 | 557 |
| <i>Antiaropsis</i> | 1 | 2 | <i>Bagassa</i> | 2 | 22 |
| <i>Castila</i> | 0 | 0 | <i>Bleekrodea</i> | 0 | 0 |
| <i>Helicostylis</i> | 0 | 0 | <i>Broussonetia</i> | 89 | 377 |
| <i>Maquira</i> | 3 | 22 | <i>Fatoua</i> | 2 | 25 |
| <i>Mesogyne</i> | 0 | 0 | <i>Maclura</i> | 23 | 134 |
| <i>Naucleopsis</i> | 2 | 5 | <i>Milicia</i> | 3 | 8 |
| <i>Pereba</i> | 0 | 0 | <i>Morus</i> | 48 | 273 |
| <i>Poulsenia</i> | 1 | 5 | <i>Sorocea</i> | 12 | 69 |
| <i>Pseudolmedia</i> | 1 | 1 | <i>Streblus</i> | 36 | 179 |
| <i>Sparratosyce</i> | 0 | 0 | <i>Trophis</i> | 1 | 6 |
| <i>Bosqueiopsis</i> | 0 | 0 | | | |

Com relação às vias metabólicas, os gêneros de Moraceae produzem metabólitos, preferencialmente, oriundos da via mista (NO=1827), conforme apontado na Figura 3, seguido pela via do ácido acético-mevalônico (NO=1280). Outro ponto interessante é a baixa ocorrência de substâncias da

via do chiquimato (NO=404), visto que é uma família conhecida pela produção de cumarinas.

Algumas categorias metabólicas foram omitidas em vista da sua origem mista aromática-alifática. Nessa análise foram excluídos alguns alcaloides (NO=127) de origem alifática, as quinonas terpenoídicas (NO=14) e as porfirinas (NO=7). Os números de ocorrências das vias metabólicas estão sumarizados na Tabela 5.

Tabela 5. Número de ocorrência das vias metabólicas e demais classes ocorrentes em Moraceae.

| Tribos | Rotas metabólicas | | | Outras classes | | |
|--------------------|-------------------|-------|---------|----------------|----------------------|-----------|
| | Chiquimato | Mista | Acetato | Alcaloides | Quinona Terpenoídica | Porfirina |
| Artocarpae | 33 | 933 | 260 | 5 | 0 | 0 |
| Castilleae | 26 | 32 | 276 | 10 | 1 | 0 |
| Dorstenieae | 158 | 163 | 139 | 16 | 0 | 0 |
| Ficeae | 47 | 98 | 350 | 28 | 5 | 7 |
| Moreae | 140 | 601 | 255 | 68 | 8 | 0 |

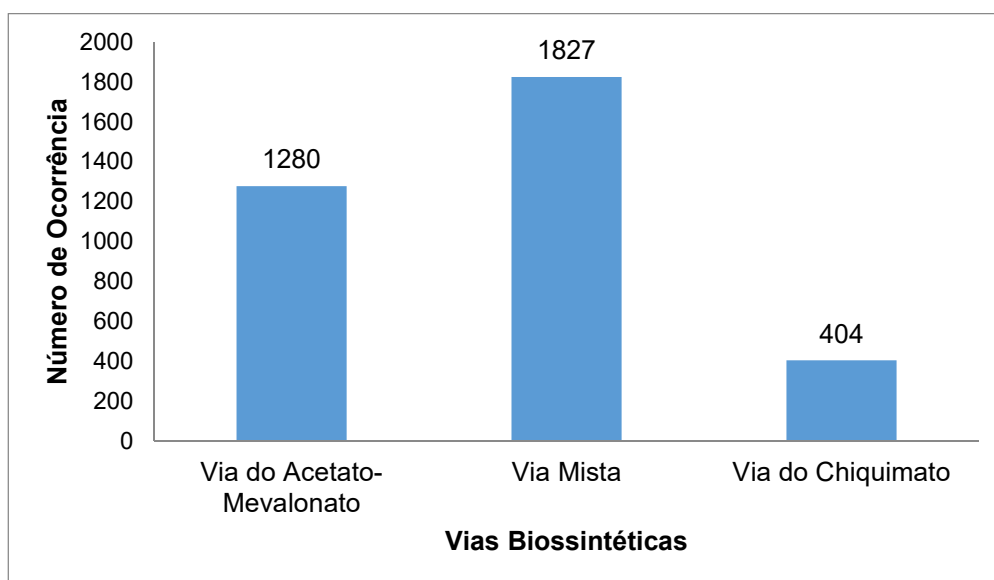


Figura 3. Número de ocorrência (NO) dos metabólitos especiais ocorrentes na Família Moraceae, em função da rota biosintética.

Em posse desses dados foi possível determinar a relação de ocorrência percentual entre as substâncias oriundas da via do chiquimato ($\%_{CH}=23,99$) e da via do acetato ($\%_{AC}=76,00$). A razão na relação chiquimato/acetato igual a 0,3156 mostra claramente a tendência evolutiva da família em deslocar a biossíntese de substâncias aromáticas da via do ácido chiquímico para substâncias alifáticas oriundas da via do ácido acético. Esses dados confirmam o posicionamento evolutivo para essa família colocando-a em uma posição intermediária entre as angiospermas basais e as mais derivadas. Além disso, a grande produção de substâncias oriundas da biossíntese mista reforça essa indicação de transição.

Também foi calculado o percentual produtor de cada rota metabólica ocorrente na família Moraceae. Contrapondo-se ao perfil geral de Moraceae, nesta análise, verificou-se que cada tribo possui uma tendência específica, de modo que priorizam a bioprodução de metabólitos de forma particular. Desta forma, a Figura 4 mostra a correlação bioprodutiva de metabólitos especiais nas tribos de Moraceae.

As tribos Moreae ($CH/AC=0,5491$), Ficeae ($CH/AC=0,1343$), Artocarpeae ($CH/AC=0,1269$) e Castilleae ($CH/AC=0,0942$) têm uma razão CH/AC menor do que 1, confirmando a tendência para a produção de substâncias da via do ácido acético. A tribo Dorstenieae ($CH/AC=1,1367$) apresenta uma razoável equidade produtiva, com uma maior produção da via do chiquimato. O resultado desse parâmetro aponta uma tendência evolutiva entre as tribos de Moraceae, sendo a Dorstenieae considerada a mais basal e Castilleae a considerada a mais derivada.

Com relação à ocorrência de substância da via biossintética mista, todas as tribos mostram ocorrências, mas a predominância dessa via em relação às outras é vista nas tribos Artocarpeae e Moreae. Novamente, Dorstenieae mostra uma equidade produtiva entre as três vias.

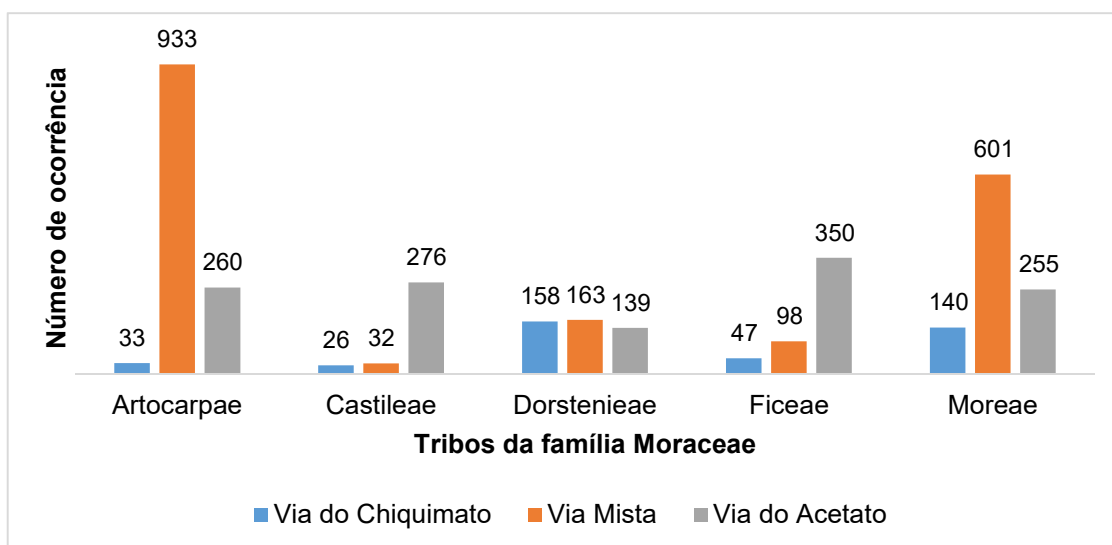


Figura 4. Correlação entre as rotas biossintéticas do acetato, do chiquimato e mista, para as tribos de Moraceae.

7.1.1) Ocorrência de metabólitos especiais oriundos da Via Mista

A investigação dos metabólitos especiais demonstrou uma ampla ocorrência de metabólitos especiais derivados da via de biossíntese mista (NO=1827) com um alto índice de diversificação (ID=32886). Em Moraceae, o alto índice de diversificação pode ser explicado pela ocorrência de 18 tipos de esqueletos, conforme consta nas Figuras 5 e 6, embora esta alta diversidade seja principalmente concentrada em três tribos: Moreae, Artocarpeae e Dorstenieae. A preponderância da classe dos flavonoides é notável, com diversidade estrutural elevada em todas as tribos de Moraceae. Estas substâncias são compostas de um esqueleto regular com os grupos hidroxilo ocasionalmente protegidos, mas também existem tipos mais especializados, tais como isoflavonas e aductos de Diels Alder.

Os aductos de Diels Alder são formados pela condensação de dois flavonoides ou dois estilbenos, ou de ambos. Essas substâncias apresentam um alto nível de grupos prenilas ligados ao carbono aromático, que estão normalmente presentes em esqueletos flavonoídicos, e apresenta-se como uma característica da família Moraceae. As principais ocorrências de flavonoides na família concentram-se entre flavonas (NO=714), chalconas (NO=206), flavonóis (NO=171), flavanonas (NO=133), isoflavonoides (NO=63),

estilbenos (107). Flavonas e Chalconas são comumente encontradas nas tribos da família Moraceae, com a exceção de Castilleae e Ficeae, respectivamente.

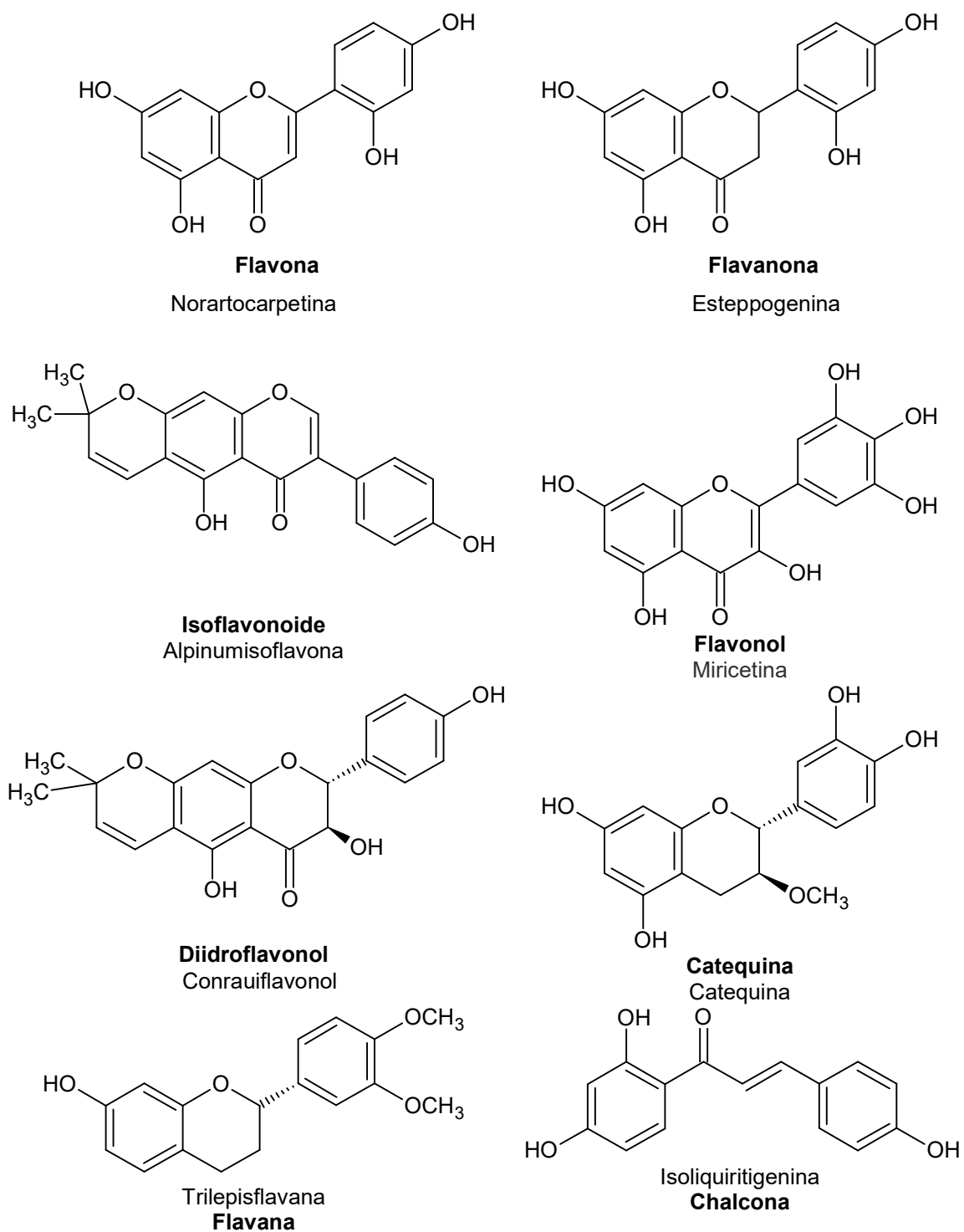


Figura 5. Esqueletos estruturais derivados da via mista.

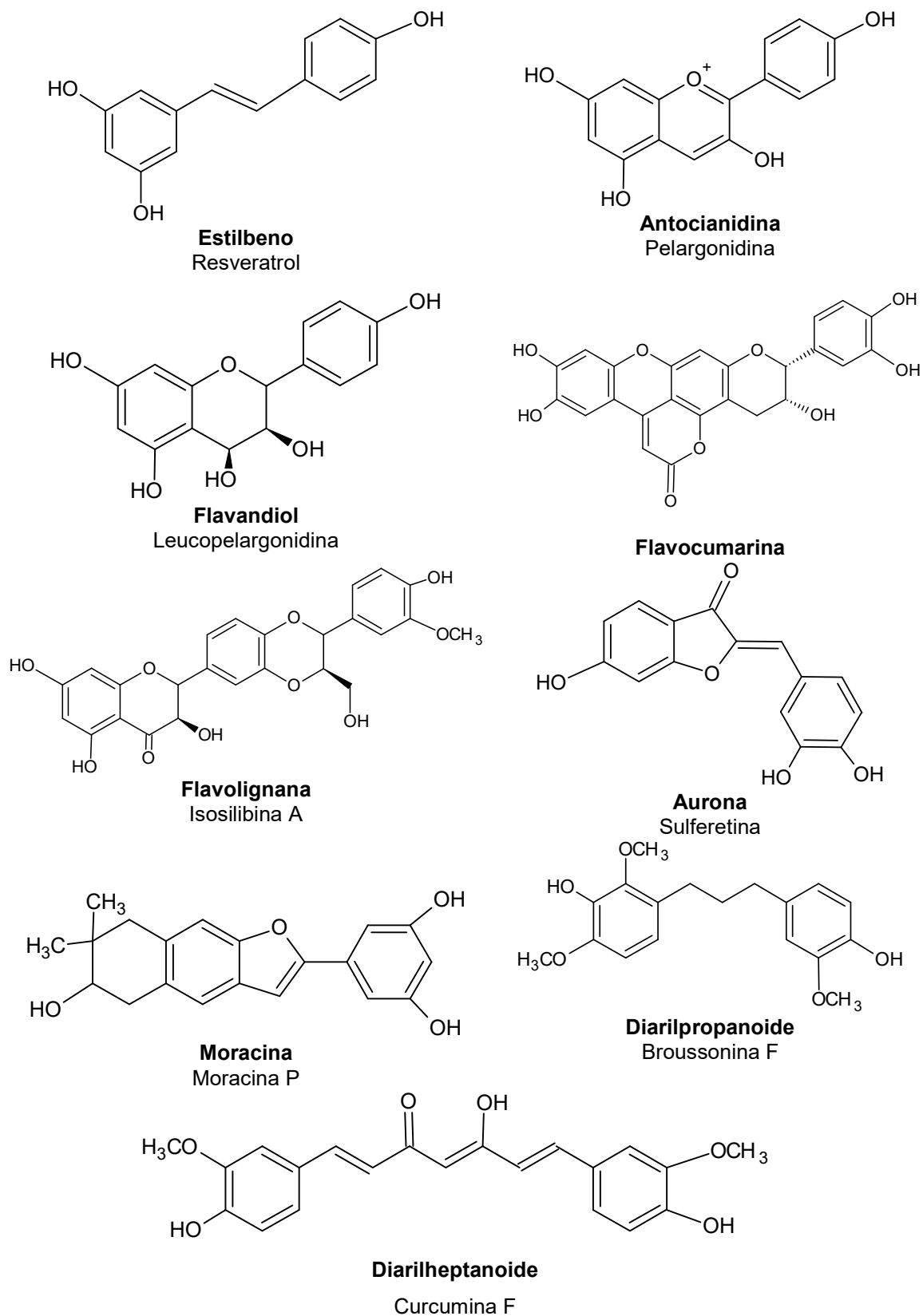
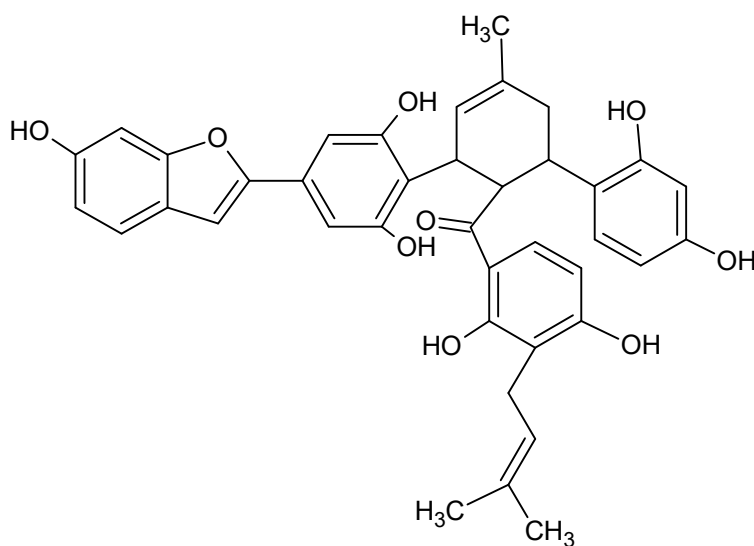


Figura 5. Esqueletos estruturais derivados da via mista (Continuação).



Aducto de Diels Alder

Chalcomoracina

Figura 5. Esqueletos estruturais derivados da via mista (Continuação).

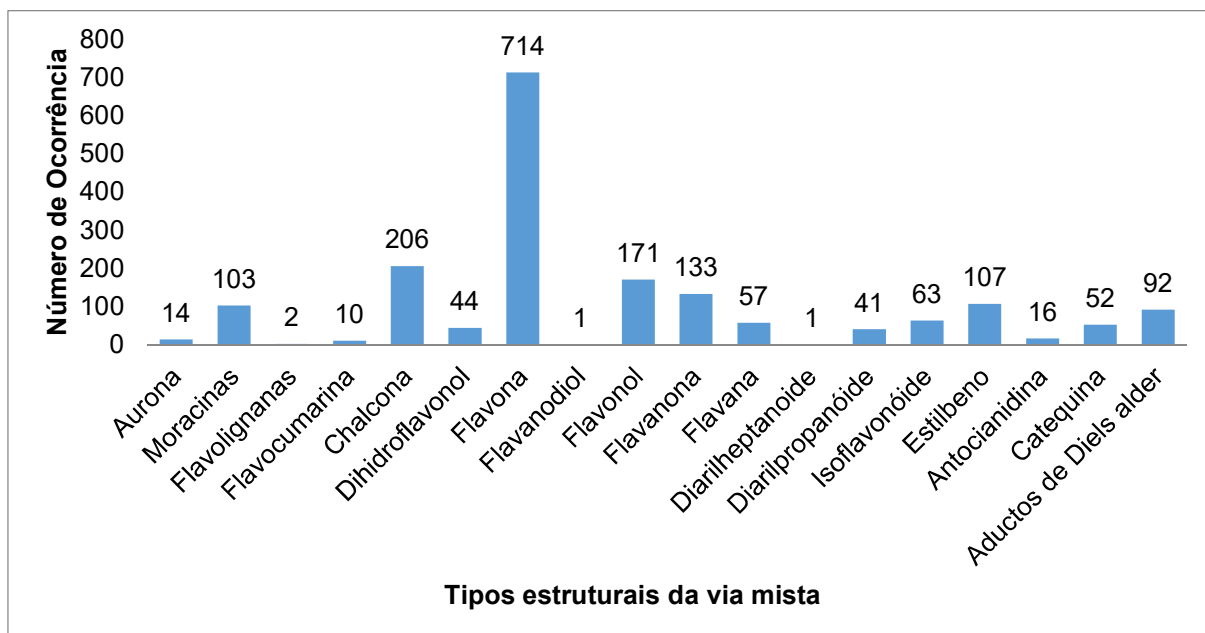


Figura 6. Número de ocorrência dos tipos estruturais presentes em Moraceae que são procedentes da via mista (Acetato/Chiquimato).

A alta prevalência de flavonas quando comparadas com flavonóis (fo/fl=4.2) é um importante parâmetro de correlação entre as características morfológicas e químicas, e demonstra que a Família Moraceae é mais avançada do que uma angiosperma basal. Assim, essa evolução é confirmada por dois parâmetros, o índice de Sporne (IS=48) e o índice de herbacidade (IH=25). A tribo Artocarpeae contribui positivamente para esse índice devido a sua alta taxa de produção de flavonas. As outras tribos mostram equidade na produção entre flavonas e flavonóis, conforme demonstra a Figura 7 (HARBORNE, 1977; SPORNE, 1980, SOARES & KAPLAN, 2001).

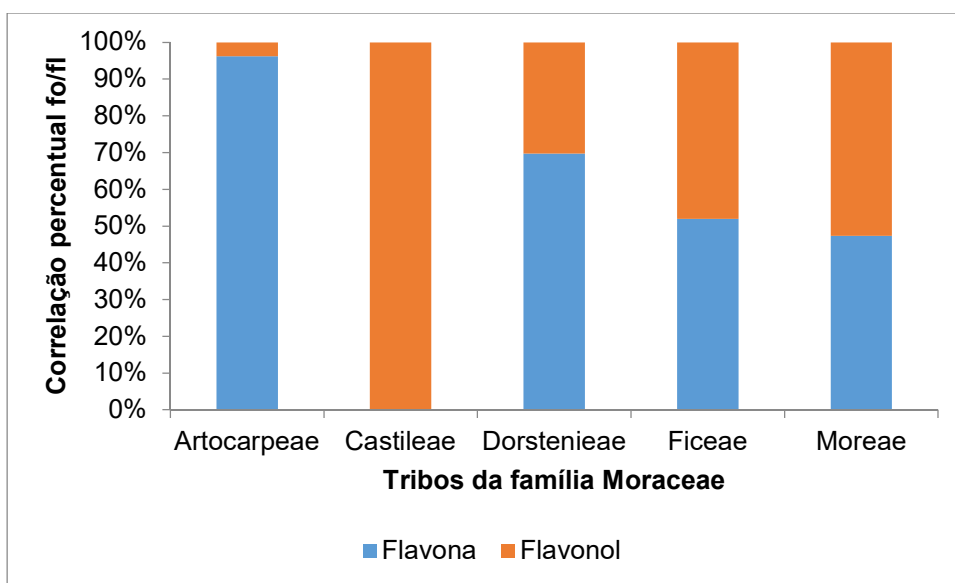


Figura 7. Correlação percentual flavona/flavonol nas tribos da família Moraceae.

De modo geral, é notória a ocorrência de flavonoides especializados, como isoflavonas, auronas, moracinas e aductos de Diels Alder, principalmente nas tribos Moreae, Artocarpeae e Dorstenieae. A presença destas substâncias aponta um status evoluído destas tribos devido à presença de enzimas específicas (GOTTLIEB et al, 1996). Estilbenos também estão presentes nesta família, são encontrados nas tribos Moreae, Artocarpeae, Dorstenieae e Ficeae.

Observa-se que há uma rica diversidade estrutural de metabólitos em todas as tribos pertencentes à família Moraceae. Nesse sentido, no repertório flavonoídico da tribo Artocarpeae há 13 tipos de metabólitos, com sobrepujo de flavonas (NO=559), chalconas (NO=96), estilbenos (NO=78), flavanonas (NO=58), moracinas (NO= 51), catequinas (NO=31), flavonol (NO=22),

diidroflavonóis (NO=9), auronas (NO=15), aductos de Diels Alder (NO=13), isoflavonoides (NO= 3) e flavocumarina (NO=3).

A profusa variedade de substâncias bioproduzidas, pela via mista, na tribo Moreae merece ser salientada. Com o predomínio de flavonóis (NO=109) e flavonas (NO=98) somados a moracinas (NO=51), flavanas (NO=42), diarilpropanóides (NO=41), chalconas (NO=32), isoflavonoides (NO=35), flavanonas (NO=34), diidroflavonóis (NO=32), estilbenos (NO=27), auronas (NO=8), antocianidinas (NO=10), flavocumarinas (NO=5), catequinas (NO=3) e flavolignananas (NO=2) e Aductos de Diels Alder (NO=71), totalizam 16 tipos de metabólitos.

A tribo Ficeae possui 9 categorias de metabolitos derivados da via mista: Flavonas (NO=26), flavonóis (NO=24), isoflavonoides (NO=17), catequinas (NO=16), antocianidinas (NO=5), chalconas (NO=3), flavanonas (NO=3), estilbenos (NO=1), e flavanodiol (NO=1). Diarilheptanoides e diarilpropanoides tem ocorrência restrita na família Moraceae, estão presentes somente nas tribos Dorstenieae e Moreae. A Tabela 6 sumariza o número de ocorrência das categorias metabólicas da via mista de cada uma das tribos.

Por outro lado, a análise da bioprodução de substâncias realizada pela via mista, em Castilleae, demonstra um número de ocorrência mais modesto, com apenas 3 tipos de classes. Nesse táxon, há presença de flavanonas (NO=17), chalconas (NO=12) e flavonóis (NO=3). Já a tribo Dorstenieae apresenta 9 tipos de derivados da via mista, com a preponderância de chalconas (NO=60), seguidas de flavonas (NO=30), flavanonas (NO=21), flavana (NO=15), flavonóis (NO=13), isoflavonoides (NO=8), aductos de Diels Alder (NO=8), catequina (NO=2) e estilbenos (NO=1).

As categorias micromoleculares, oriundas da via mista, estão projetadas na Figura 8 e discriminadas os números de ocorrência em cada tribo de Moraceae na Tabela 6.

Tabela 6. Número de Ocorrência (NO) de categorias metabólicas advindas da via mista (Acetato/Chiquimato).

| Tribos | Fl | Fla | Dih | Dip | I | E | An | Ca | Ada | Au | Mo | Flg | Flc | Ch | Di | Fon | Fdol | Fol |
|--------|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|-----|----|----|-----|-----|----|----|-----|------|-----|
| A | 58 | 0 | 0 | 0 | 3 | 78 | 1 | 31 | 13 | 9 | 51 | 0 | 3 | 96 | 9 | 559 | 0 | 22 |
| C | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| D | 21 | 15 | 1 | 0 | 8 | 1 | 0 | 2 | 8 | 0 | 1 | 0 | 2 | 60 | 1 | 30 | 0 | 13 |
| F | 3 | 0 | 0 | 0 | 17 | 1 | 5 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 26 | 1 | 24 |
| M | 34 | 42 | 0 | 41 | 35 | 27 | 10 | 3 | 71 | 5 | 51 | 2 | 5 | 32 | 32 | 98 | 0 | 109 |

Tribos: A: Artocarpeae; C: Castilleae; D: Dorstenieae; F: Ficeae; M: Moreae. Categorias identificadas: Fl=Flavanona; Fla=Flavana; Dih=Diarylheptanoide; Dip=Diarylpropanoide; I=Isoflavonoide; E=Estilbeno; An=Antocianidina; Ca=Catequina; Ada= aductos de Diels Alder; Au=Aurona; Mo=Moracina; Flg=Flavolignana; Flc=Flavocumarina; Ch=Chalcona; Di=Diidroflavonol; Fon=Flavona; Fdol= Flavanodiol; Fol=Flavonol.

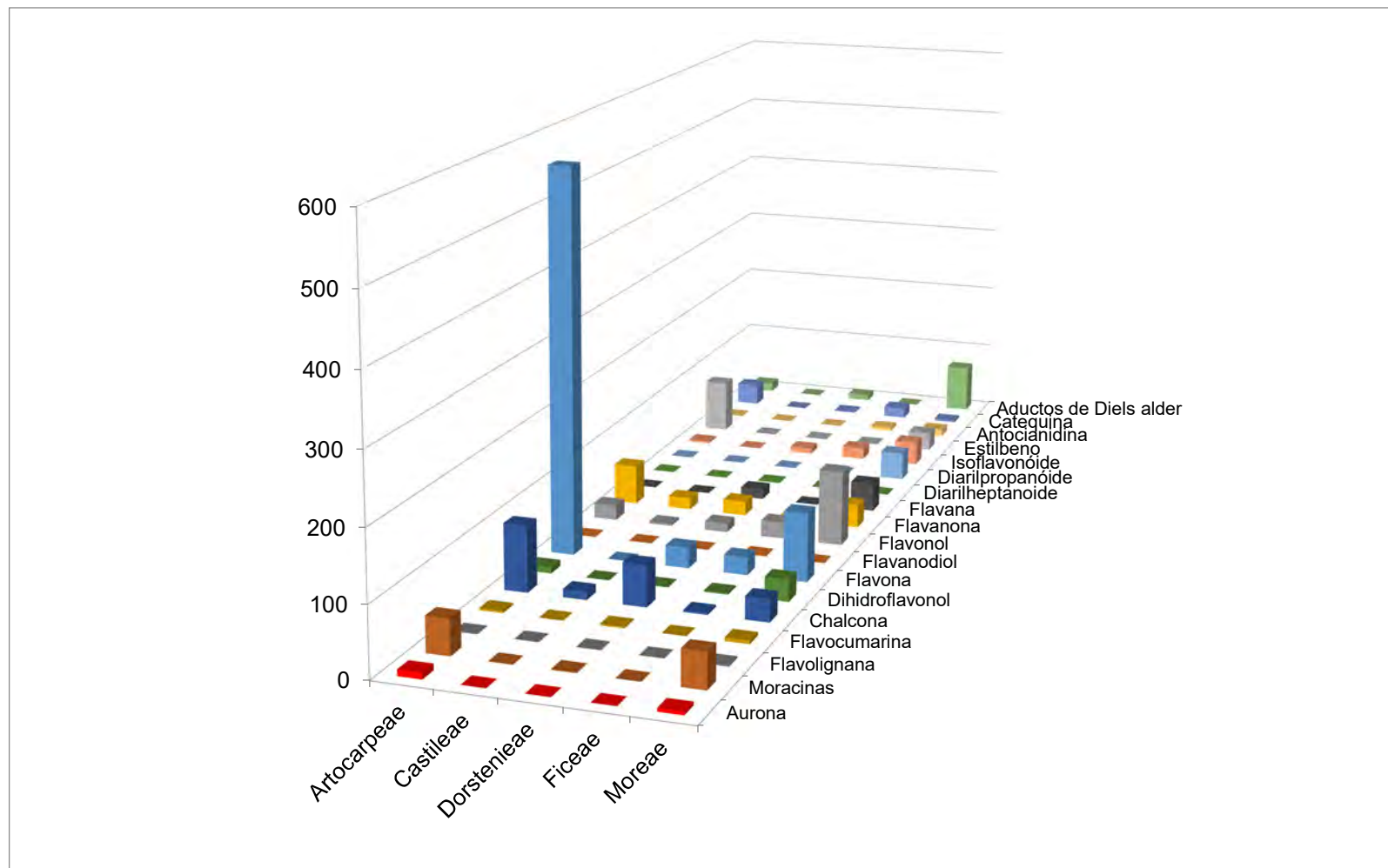


Figura 8. Número de Ocorrência (NO) de categorias metabólicas advindas da via mista (Acetato/Chiquimato) nas tribos.

A família Moraceae apresenta uma ampla diversidade de produção metabólica de micromoléculas vindas da via mista. Os gêneros desse táxon apresentam diversos padrões de oxigenação entre os derivados flavonoídicos bioproduzidos seja no anel A ou no anel B.

Na seção 7.1.2 serão discriminadas cada uma das subclasses flavonoídicas presentes em Moraceae e são explicitadas as peculiaridades quanto ao padrão de oxigenação desses flavonoides e o número de ocorrência em cada gênero.

7.1.2) Posição das hidroxilas das substâncias oriundas da via mista ocorrentes na Família Moraceae

7.1.2.1) Auronas

As Auronas estão presentes nos gêneros *Artocarpus* (NO=9), *Broussonetia* (NO=4) e *Morus* (NO=1). Conforme pode ser visto na Figura 9, em ambos os gêneros o padrão de oxigenação das hidroxilas das auronas é característico das angiospermas, com características avançadas, principalmente, pois apresenta auronas com o anel B dioxigenados e trioxigenados, e até mesmo tetraoxigenados.

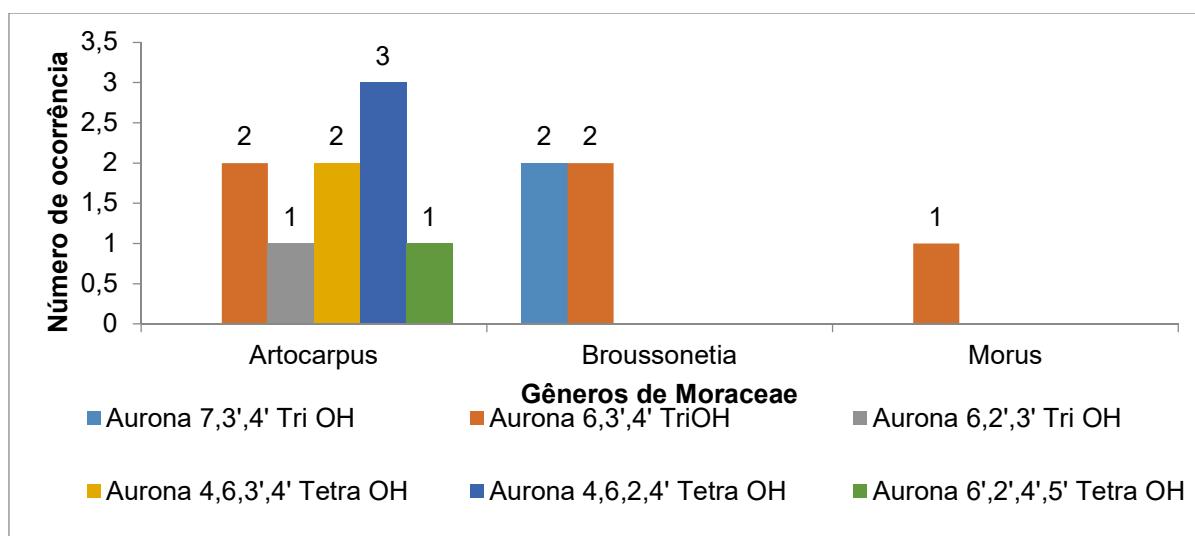


Figura 9. Padrão de oxigenação das Auronas ocorrentes nos gêneros *Artocarpus*, *Broussonetia* e *Morus*.

7.1.2.2) Flavonol

Os flavonóis (NO=158) em Moraceae estão presentes nos gêneros *Artocarpus* (NO= 21), *Antiaris* (NO= 3), *Broussonetia* (NO= 51), *Ficus* (NO= 24), *Maclura* (NO= 10), *Morus* (NO=35), *Streblus* (NO= 11), *Sorocea* (NO= 2) e *Treculia* (NO= 1). A maioria dos flavonóis presentes nesse táxon é penta hidroxilado e apresenta oxigenação nas posições 5,7,3,3',4', conforme pode ser visto na Tabela 7 e Figura 10.

Tabela 7. Padrão de oxigenação de Flavonóis ocorrentes em *Artocarpus*, *Antiaris*, *Broussonetia*, *Ficus*, *Maclura*, *Morus*, *Streblus*, *Sorocea* e *Treculia*.

| Gêneros | Flavonol | | | | | | | |
|---------------------|----------|----------|-----------|----------|-------------|-------------|----------------|---------------|
| | Tri | | Tetra | | Penta | | Hexa | |
| | 7,3,4' | 5,7,3,4' | 7,3,3',4' | 5,7,3,4' | 5,7,3,3',4' | 5,7,3,2',4' | 5,7,3,3',4',5' | 5,6,7,3,3',4' |
| <i>Artocarpus</i> | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 |
| <i>Antiaris</i> | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Broussonetia</i> | 1 | 0 | 1 | 11 | 38 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ficus</i> | 1 | 3 | 0 | 0 | 17 | 0 | 2 | 1 |
| <i>Maclura</i> | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Morus</i> | 0 | 11 | 0 | 0 | 24 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Streblus</i> | 0 | 0 | 0 | 3 | 7 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Sorocea</i> | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Treculia</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

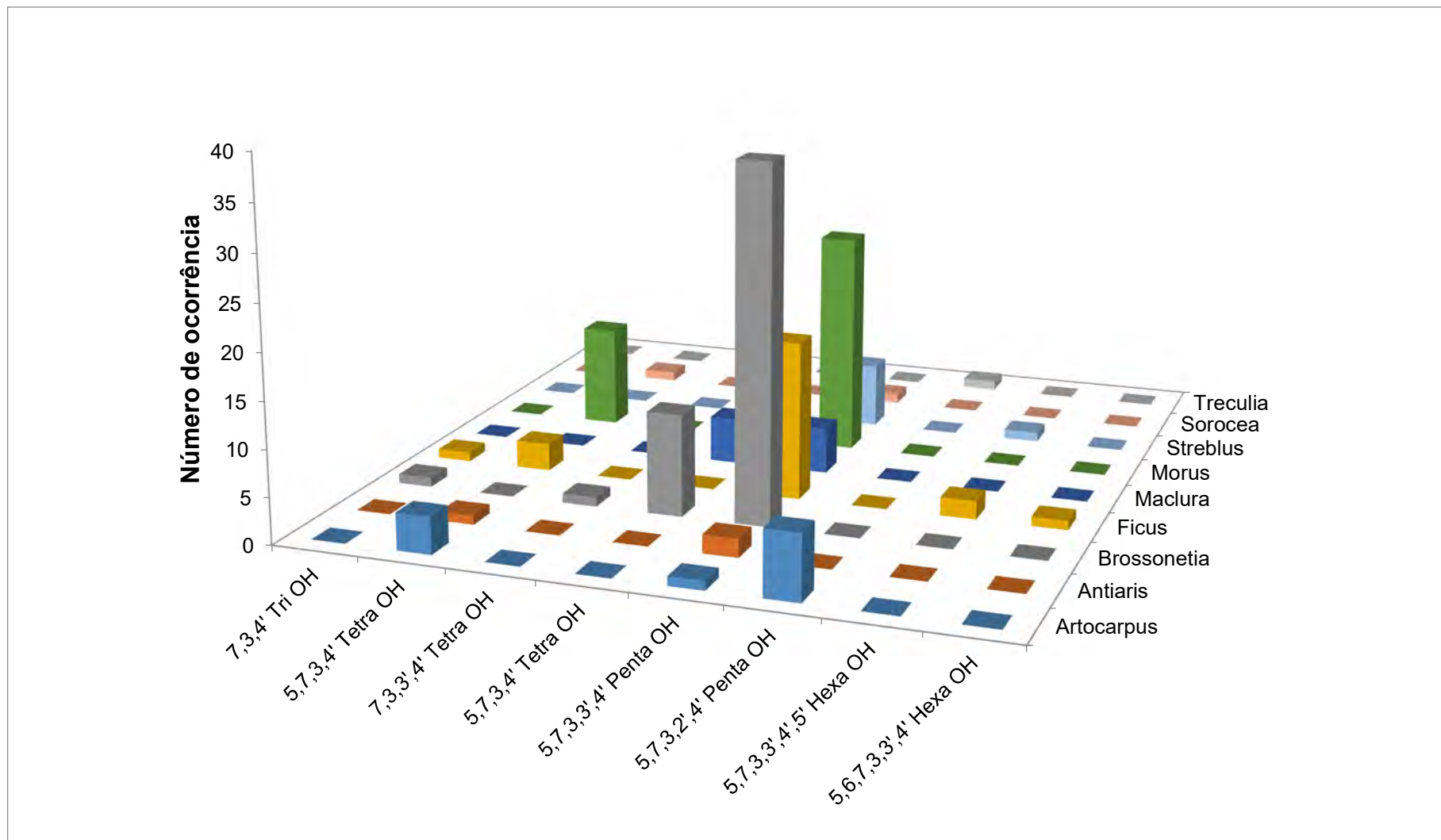


Figura 10. Padrão de oxigenação de Flavonol ocorrentes nos gêneros em Moraceae.

7.1.2.3) Chalcona

A ocorrência de chalconas em Moraceae é bastante expressiva configurando cerca de 20 tipos de padrões de oxigenação diferentes, conforme ilustra a tabela 8. Consistem desde chalconas não substituídas até apresentarem-se pentahidroxiladas. Assim, ocorrem chalconas nos gêneros *Artocarpus* (NO=83), *Antiaris* (NO=9), *Brosimum* (NO=6), *Broussonetia* (NO=24), *Dorstenia* (NO=52), *Ficus* (NO=3), *Fatoua* (NO=3), *Maclura* (NO=1), *Morus* (NO=4), *Paratocarpus* (NO=9), *Trilepisium* (NO=2), *Sorocea* (NO=1), *Treculia* (NO=4). Deve-se observar que há predomínio de chalconas trihidroxiladas em *Artocarpus* e *Dorstenia* e de tetrahidroxilada em *Artocarpus* e *Broussonetia*.

Tabela 8. Padrão de oxigenação de chalcona ocorrentes em Moraceae.

*NS: Não Substituída.

| | NS [*] | 4 | 4,4' | 2,4,4' | 2,5,4' | 3,4,4' | 3,4',6' | 4,2',4' | 4,4',6' | 2',3',4',6' | 2,3,4,4' | 2,3,5,4' | 2,4,2',4' | 2,4,3',4' | 2,4,6,4' | 2,6,4',5' | 3,4,2',4' | 3,4,3',4' | 2,3,6,3',4' |
|---------------------|-----------------|---|------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|-------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| <i>Artocarpus</i> | 0 | 0 | 0 | 38 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 4 | 34 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Antiaris</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| <i>Brosimum</i> | 0 | 1 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Broussonetia</i> | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Dorstenia</i> | 0 | 0 | 0 | 48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ficus</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Fatoua</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Maclura</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Morus</i> | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Paratocarpus</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Trilepisium</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Soroceae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Treculia</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

7.1.2.4) Flavanas

As flavanas são escassas em grande parte dos gêneros da Família Moraceae, entretanto ocorrem em *Brosimum* (NO=14), *Dorstenia* (NO=1) e *Morus* (NO=1). Além disso, apresentam uma destacada presença em *Broussonetia* (NO=44). Essa subclasse flavonoídica apresenta em Moraceae 3 tipos de padrão de oxigenação, conforme pode ser visto na Tabela 9 e Figura 11.

Tabela 9. Padrão de oxigenação de flavanas ocorrentes em Moraceae.

| Gêneros | 4' Mono OH | 7,4'di OH | 7,3',4' Tri OH |
|---------------------|------------|-----------|----------------|
| <i>Brosimum</i> | 1 | 12 | 1 |
| <i>Broussonetia</i> | 0 | 7 | 37 |
| <i>Dorstenia</i> | 0 | 1 | 0 |
| <i>Morus</i> | 0 | 0 | 1 |

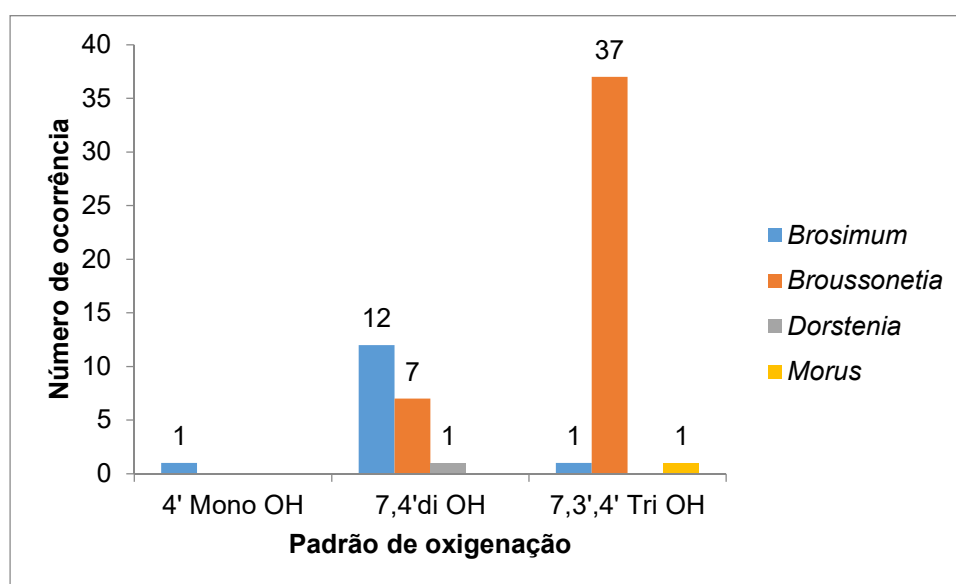


Figura 11. Padrão de oxigenação de flavanas ocorrentes nos gêneros em Moraceae.

7.1.2.5) Moracina

As Moracinas estão presentes em Moraceae, principalmente nos gêneros *Artocarpus* (51) e *Morus* (NO=39) e mais escassamente em *Bagassa* (NO=9), *Brosimum* (NO=1), *Broussonetia* (NO=2), *Milicia* (NO=1) e *Sorocea*

(NO=1). Na Tabela 10 e na Figura 12 são descritos e ilustrados os padrões de oxigenação das moracinas ocorrentes em Moraceae.

Tabela 10. Padrão de oxigenação de moracinas ocorrentes em Moraceae.

| Moracinas | | | | | |
|--------------------|-------------|--------------|---------|----------------|-----------|
| Gêneros | Dioxigenada | Trioxigenada | | Tetraoxigenada | |
| | 7,3',5' | 6,3',5' | 5,3',5' | 5,6,3',5' | 4,6,3',5' |
| <i>Artocarpus</i> | 0 | 34 | 1 | 2 | 14 |
| <i>Bagassa</i> | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Brosimum</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Brossonetia</i> | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Milicia</i> | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Morus</i> | 0 | 32 | 0 | 7 | 0 |
| <i>Soroceae</i> | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

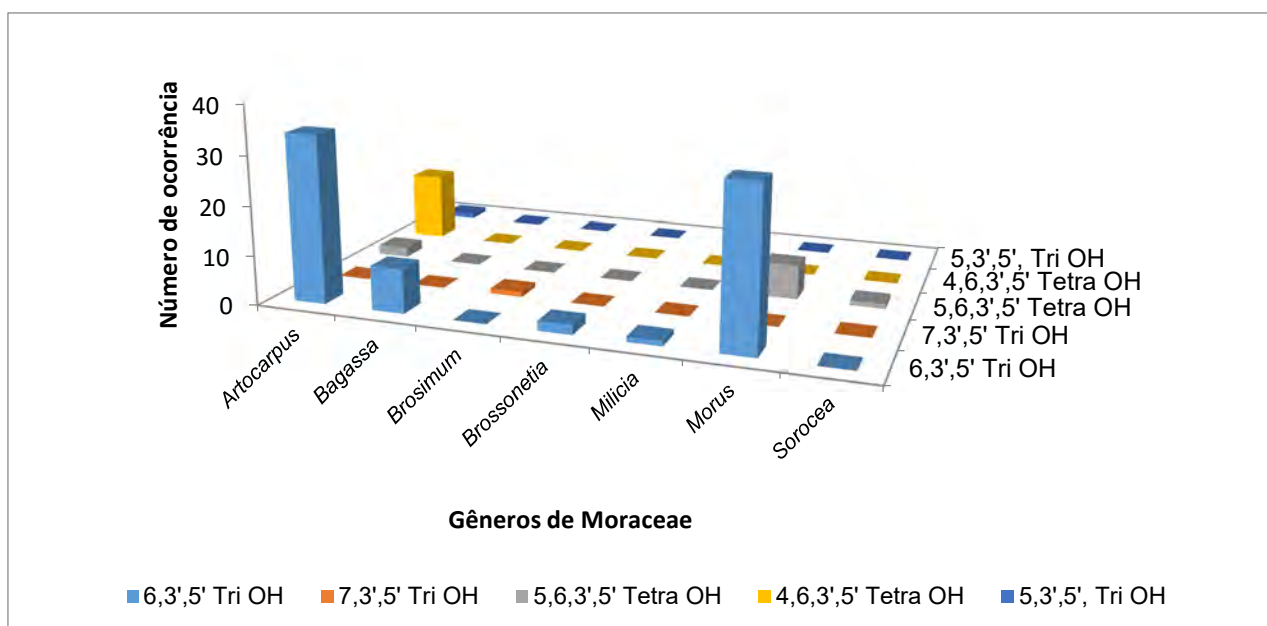


Figura 12. Padrão de oxigenação de moracinas ocorrentes nos gêneros em Moraceae.

7.1.2.6) Diarilpropanoide

Os diarilpropanoídeos estão presentes em Moraceae apenas no gênero *Brossonetia* (NO=41), com diversidade nos tipos de padrão de oxigenação.

Essa subclasse metabólica pode ser considerada um quimiomarcador desse táxon. Na Figura 13, estão discriminados os padrões de oxigenação ocorrentes nos diarilpropanóides de *Broussonetia*.

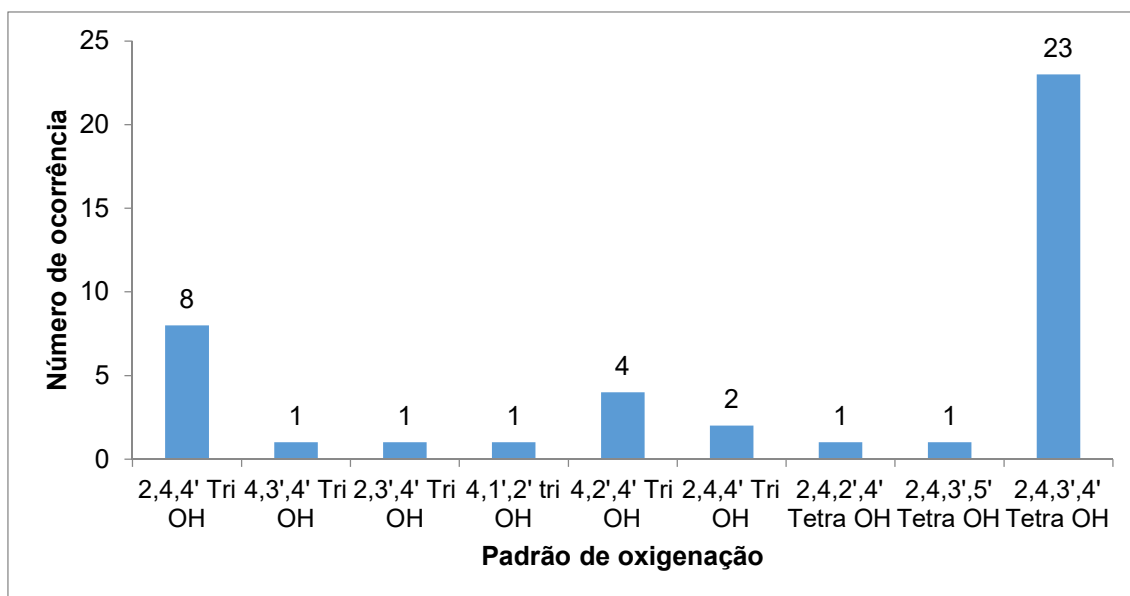


Figura 13. Padrão de oxigenação de diarilpropanoide ocorrentes no gênero *Broussonetia* em Moraceae.

7.1.2.7) Isoflavonoide

Os isoflavonoides estão presentes em Moraceae nos gêneros *Artocarpus* (NO=3), *Brosimum* (NO=7), *Ficus* (NO=17), *Maclura* (NO=30), *Streblus* (NO=5). É importante ressaltar que a maioria das estruturas dessa subclasse observadas em Moraceae são trioxigenadas ou tetraoxigenadas. Vale a pena destacar, também, o elevado número de isoflavonoides encontrados no gênero *Maclura*. A Tabela 11 e a Figura 14 ilustram o padrão de oxidação nos isoflavonoides ocorrentes em Moraceae.

Nesse contexto, cabe ressaltar que os isoflavonoides possuem uma limitada distribuição. Estão confinados essencialmente na subfamília Papilionoideae (Lotoideae) das Leguminosae. No entanto, ocasionalmente, ocorrem em outros táxons, entre eles Rasaceae e Moraceae, ambas pertencentes à ordem Rosales (HARBORNE & MABRY, 2013).

Tabela 11. Padrão de oxigenação de isoflavonoides ocorrentes em Moraceae.

| Gênero | Dioxigenada | | Trioxigenada | Tetraoxigenada | | Pentaoxigenada | |
|-------------------|-------------|------|--------------|----------------|-----------|-----------------|--------------|
| | 5,7 | 7,4' | 5,7,4' | 5,7,2',4' | 5,7,3',4' | 7,2',4',3'',5'' | 5,6,7, 3',4' |
| <i>Artocarpus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| <i>Brosimum</i> | 1 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ficus</i> | 0 | 0 | 13 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Maclura</i> | 0 | 0 | 18 | 0 | 12 | 0 | 0 |
| <i>Streblus</i> | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

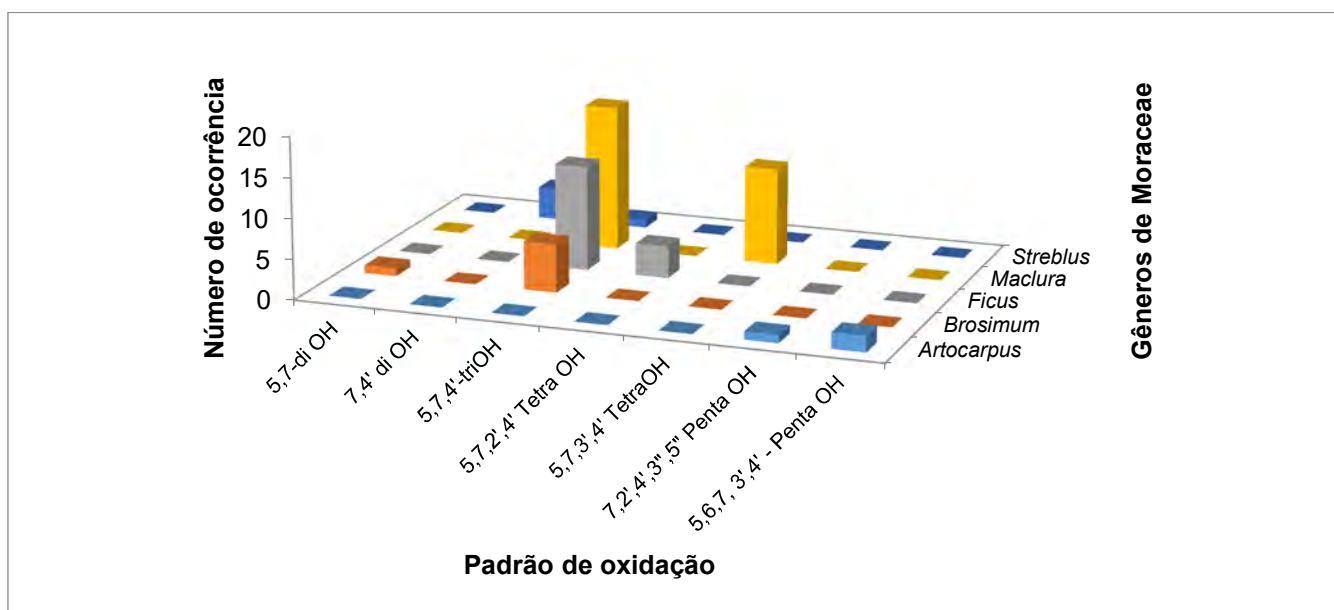


Figura 14. Padrão de oxigenação de isoflavonoide ocorrentes nos gêneros em Moraceae.

7.1.2.8) Estilbeno

Os estilbenos (NO=107) em Moraceae são amplamente distribuídos nos gêneros *Artocarpus* (NO= 78), *Bagassa* (NO= 6), *Brosimum* (NO=1), *Broussonetia* (NO=1), *Clarisia* (NO=1), *Ficus* (NO=1), *Maclura* (NO=3), *Morus* (NO=17), *Sorocea* (NO=1). Conforme demonstram a Tabela 12 e a Figura 14 destaca-se nessa subcategoria micromolecular o padrão de oxigenação tetraoxigenado 2,4,3',5', especialmente, no gênero *Artocarpus*.

Tabela 12. Padrão de oxigenação de estilbenos ocorrentes em Moraceae.

| Gêneros | Estilbeno | | | | | | | | |
|---------------------|-------------|--------------|---------|--------|----------------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| | Dioxigenada | Trioxigenada | | | Pentaoxigenada | Tetraoxigenada | | | |
| | 4,4' | 2,4,4' | 4,3',5' | 3,5,4' | 2,4,6,2',4' | 2,4,3',5' | 2,6,3',5' | 3,4,3',5' | 4,6,3',5' |
| <i>Artocarpus</i> | 8 | 2 | 8 | 0 | 1 | 50 | 0 | 8 | 0 |
| <i>Bagassa</i> | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Brosimum</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Broussonetia</i> | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clarisia</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ficus</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Maclura</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Morus</i> | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 10 | 1 | 2 | 0 |
| <i>Soroceae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

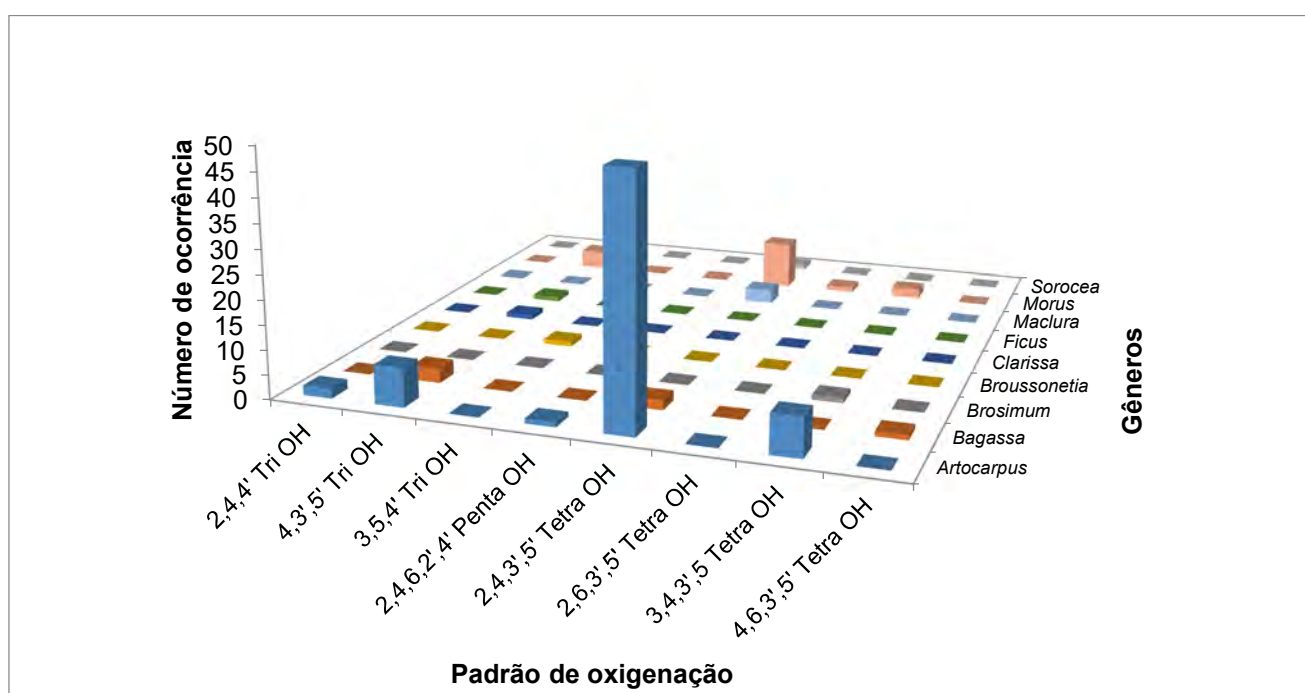


Figura 15. Padrão de oxigenação de estilbenos ocorrentes nos gêneros em Moraceae.

7.1.2.9) Diidroflavonol

Os diidroflavonoides, embora não sejam abundantes, estão presentes em diversos gêneros da Família Moraceae: *Artocarpus* (NO=9), *Bagassa* (NO=4), *Broussonetia* (NO=2), *Ficus* (NO=2), *Maclura* (NO=7), *Morus* (NO=11), *Trilepisium* (NO=1), *Streblus* (NO=2), *Sorocea* (NO=5). A Tabela 13 e a Figura

16 explicitam o padrão de oxigenação de cada subclasse flavonoídica, que ocorre em cada gênero.

Tabela 13. Padrão de oxigenação de diidroflavonol ocorrentes em Moraceae.

| Gêneros | Diidroflavonol | | | | |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|
| | Trioxigenada | Tetraoxigenada | Pentaoxigenada | | |
| | 5,7,4' | 5,7,3,4' | 5,7,3,2',4' | 5,7,3,3',4' | 5,7,3,4',6' |
| <i>Artocarpus</i> | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 |
| <i>Bagassa</i> | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| <i>Broussonetia</i> | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| <i>Ficus</i> | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Maclura</i> | 0 | 5 | 2 | 0 | 0 |
| <i>Morus</i> | 0 | 1 | 10 | 0 | 0 |
| <i>Trilepisium</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Streblus</i> | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Sorocea</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |

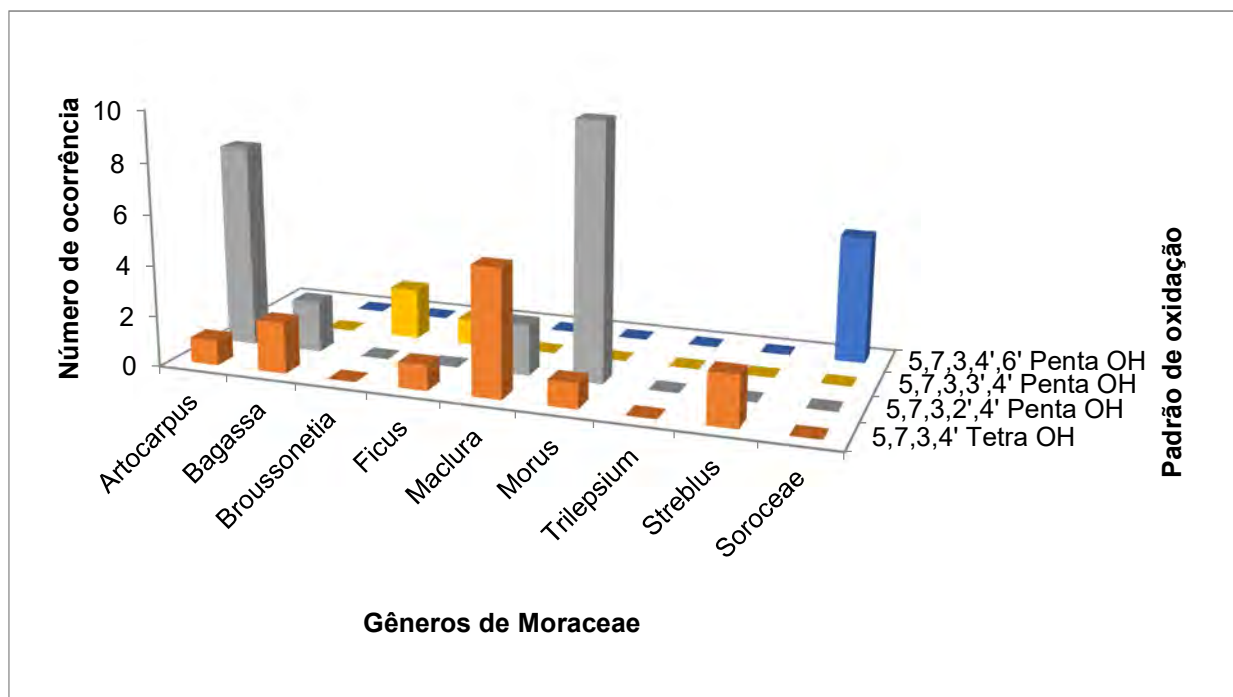


Figura 16. Padrão de oxigenação de diidroflavonol ocorrentes nos gêneros em Moraceae.

7.1.2.10) Flavona

As flavonas representam a subclasse flavonoídica mais importante em Moraceae, estão presentes na maioria dos gêneros, principalmente nos gêneros *Artocarpus* (NO=548), *Broussonetia* (NO=38), *Ficus* (NO=26) e *Morus* (NO=44). Além disso, apresentam uma ampla gama de padrões de oxigenação, estes estão expressos na Tabela 15, com a discriminação do número de ocorrência.

7.1.2.11) Flavanona

As flavanonas são expressivas nos gêneros da família Moraceae e protagonizam diversos tipos de padrões de oxigenação, ocorrem em *Artocarpus* (NO=57), *Antiaris* (NO=17), *Bagassa* (NO=1), *Brosimum* (NO=7), *Broussonetia* (NO=6), *Dorstenia* (NO= 14), *Ficus* (NO=3), *Maclura* (NO=10), *Morus* (NO=15), *Paratocarpus* (NO=5). Na Tabela 15 são mostrados os números de ocorrência das flavanonas em cada.

7.1.3) Análise dos índices químicos moduladores das micromoléculas advindas da via Mista

As substâncias metabolizadas pela via mista, em todos os gêneros de Moraceae, são caracterizadas por possuir as hidroxilas desprotegidas em face às proteções mais atenuadas de metilação, glicosilação e prenilação, conforme demonstra a Figura 17. Os índices médios das tribos estão condensados na Tabela 16.

Embora seja uma característica basal o alto índice de hidroxilas desprotegidas, esta análise revela que a família Moraceae está em transição devido à presença, ainda tênue, de diferentes padrões de proteção.

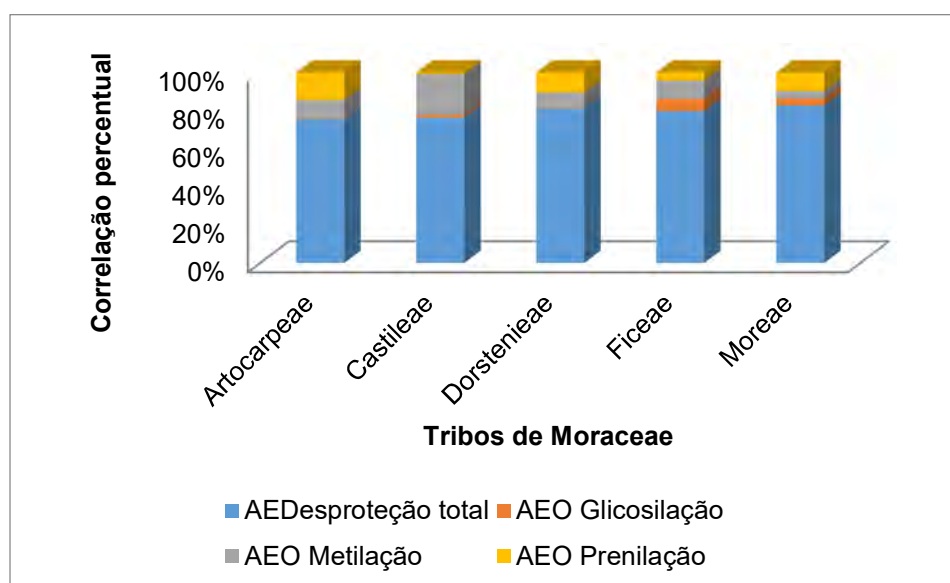


Figura 17. Relação entre os parâmetros de avanço evolutivo de proteção e desproteção na via mista, nas tribos de Moraceae.

Tabela 16. Valores médios dos parâmetros de avanço evolutivo de proteção e desproteção na via mista, nas tribos de Moraceae.

| Tribos | EAOProteção | EAODesproteção | EAOGlicosilação | EAOMETILAÇÃO | EAOPrenilação |
|--------------------|-------------|----------------|-----------------|--------------|---------------|
| Artocarpeae | 1.1573 | 3.5501 | 0.0073 | 0.4725 | 0.6797 |
| Castilleae | 0.2359 | 0.7641 | 0.0141 | 0.2141 | 0.0078 |
| Dorstenieae | 0.5686 | 2.4361 | 0.0051 | 0.2536 | 0.3154 |
| Ficeae | 0.1988 | 0.7986 | 0.0645 | 0.0954 | 0.0415 |
| Moreae | 1.3239 | 6.5509 | 0.295 | 0.3064 | 0.7689 |

Conforme pode ser observado, na Figura 17, a tribo Moreae é a que apresenta o maior índice de avanço evolutivo de proteção por glicosilação, seguida de modo decrescente pelas tribos Ficeae, Castilleae e Artocarpeae. Já para a proteção por metilação estimou-se que a tribo Artocarpeae apresente maior valor atribuído desse tipo de proteção seguida de Moreae, Castilleae, Dorstenieae e Ficeae. E no que diz respeito à proteção por prenilação, a mais pronunciada para toda a família, são destaques a tribo Moreae e Artocarpeae, sucedida por Dorstenieae, Castilleae e Ficeae.

No entanto, ao analisar os valores dos índices obtidos para cada gênero, na Figura 18 e na Tabela 17, confrontando o parâmetro de proteção com os valores de desproteção, observa-se que quando ocorrem proteções nas hidroxilas das micromoléculas vindas desta rota, são feitas, de modo geral, por prenilação, com exceção dos gêneros *Clarisia*, *Antiaris*, *Trilepisium*, *Ficus* e *Streblus*. As unidades de isopreno estão ligadas ao carbono aromático próximo dos grupos hidroxila, em seguida, eles fazem a proteção de oxigênio por ciclização. As reações C-Prenilação são muito raras em Angiospermas basais, sendo comum em grupos avançados de Angiospermas.

Nesse sentido, é importante ressaltar que a O-glicosilação em Moraceae foi identificada apenas entre os gêneros *Ficus* e *Broussonetia*, *Maclura*, *Morus*, *Sorocea*, e *Strebus*. Ocorre, particularmente, entre os gêneros *Artocarpus*, *Antiaris*, *Bagassa*, *Clarisia* e *Ficus* uma maior frequência à proteção por O-Metilação. Já o gênero *Streblus* apresentou equidade entre a proteção por O-Glicosilação e a proteção por O-Metilação.

Tabela 17. Valores do parâmetro de proteção e desproteção hidroxilas flavonoídicas dos gêneros da família Moraceae.

| Gêneros | IG | IM | IPren | IP_{total} | ID | C-Pren |
|------------------------|-----------|-----------|--------------|---------------------------|-----------|---------------|
| <i>Artocarpus</i> | 0.0073 | 0.0697 | 0.1440 | 0.2188 | 0.7600 | 0.2894 |
| <i>Batocarpus</i> | 0.0000 | 0.1250 | 0.2500 | 0.3750 | 0.6250 | 0.1667 |
| <i>Clarisia</i> | 0.0000 | 0.2778 | 0.0000 | 0.2778 | 0.7222 | 0.2222 |
| <i>Hulletia</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Parartocarpus</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.2857 | 0.2857 | 0.6429 | 0.2436 |
| <i>Prainea</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Treculia</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 10.000 | 0.0286 |
| <i>Antiaris</i> | 0.0141 | 0.2141 | 0.0078 | 0.2359 | 0.7641 | 0.2777 |
| <i>Antiaropsis</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Castilla</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Helicostylis</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Maquira</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Mesogyne</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Naucleopsis</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Perebea</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Poulsenia</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Pseudolmedia</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Sparratosyce</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Bosqueiopsis</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Brosimum</i> | 0.0051 | 0.1075 | 0.1129 | 0.2255 | 0.7745 | 0.1082 |
| <i>Dorstenia</i> | 0.0000 | 0.0211 | 0.2025 | 0.2181 | 0.7866 | 0.3688 |
| <i>Helianthostylis</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Scyphosyce</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Trilepisium</i> | 0.0000 | 0.1250 | 0.0000 | 0.1250 | 0.8750 | 0.0000 |
| <i>Trymatococcus</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Utsetela</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Ficus</i> | 0.0645 | 0.0954 | 0.0415 | 0.1988 | 0.7986 | 0.6589 |
| <i>Bagassa</i> | 0.0000 | 0.0500 | 0.0167 | 0.0667 | 0.8333 | 0.0560 |
| <i>Bleekrodea</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| <i>Broussonetia</i> | 0.0398 | 0.0509 | 0.0524 | 0.1434 | 0.8518 | 0.1771 |
| <i>Fatoua</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0833 | 0.0833 | 0.9167 | 0.3111 |
| <i>Maclura</i> | 0.0300 | 0.0205 | 0.1372 | 0.1646 | 0.8815 | 0.1781 |
| <i>Milicia</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.2167 | 0.2167 | 0.7833 | 0.1556 |
| <i>Morus</i> | 0.0606 | 0.0282 | 0.0821 | 0.1095 | 0.8089 | 0.1447 |
| <i>Sorocea</i> | 0.0085 | 0.0000 | 0.1805 | 0.2268 | 0.7883 | 0.1486 |
| <i>Streblus</i> | 0.1561 | 0.1568 | 0.0000 | 0.3129 | 0.6871 | 0.0000 |
| <i>Trophis</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

Identificação dos índices: IG: glicosilação; IM: metilação; IP: prenilação; Iptotal: Proteção Total; ID: Desproteção; C – Pren: Carbono ligado à prenila.

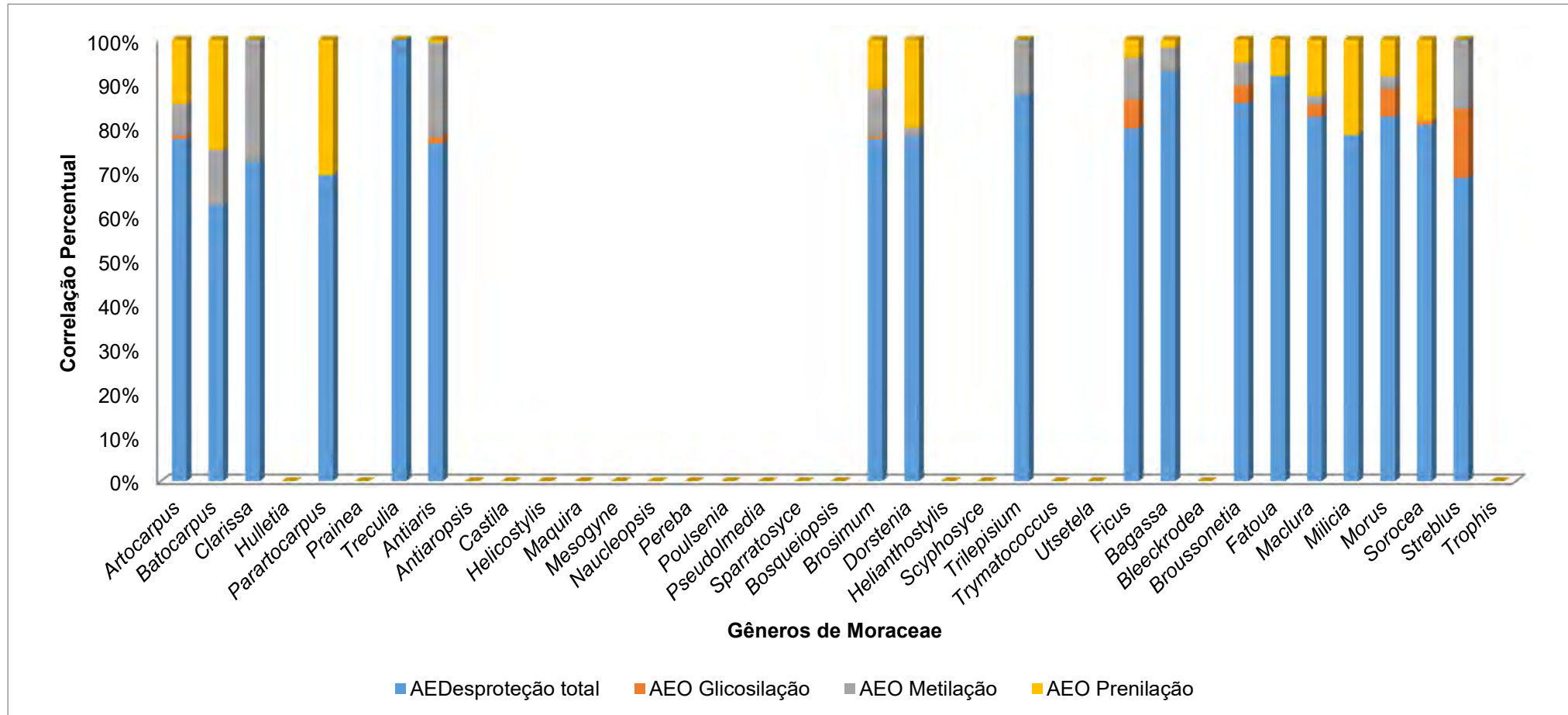


Figura 18. Relação entre os parâmetros de avanço evolutivo de proteção e desproteção na via mista, nos gêneros de Moraceae.

7.1.4) Ocorrência de metabólitos especiais oriundos da Via do ácido acético.

A averiguação das substâncias bioproduzidas pela via do ácido acético (NO=1280) evidenciou uma variação estrutural com 13 tipos de esqueletos estruturais, ilustrados na figura 19, além de um elevado índice de diversificação (ID=16640). Essas informações denotam que há uma expressiva exploração da via do ácido acético pela família Moraceae.

Através do prospecto da biogênese de Moraceae, identificou-se a hegemonia terpenoídica na via do ácido acético, pois nesse táxon há uma notável ocorrência descrita aos triterpenos (NO=325), glicosídeos cardiotônicos (NO=206), esteroides (NO=133), ácidos graxos (154), monoterpenos (NO=86), sesquiterpenos (NO=109), entre outros. Estes dados estão exibidos na Figura 20.

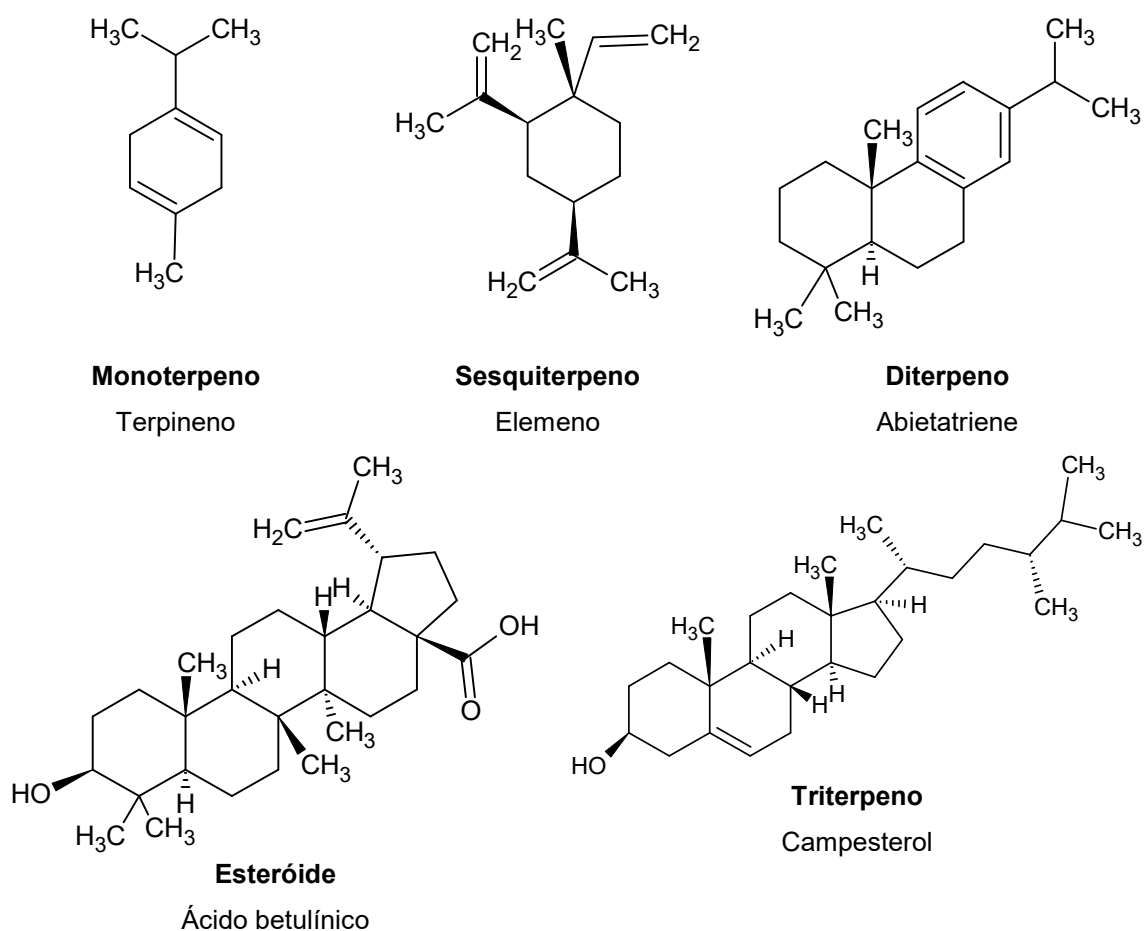
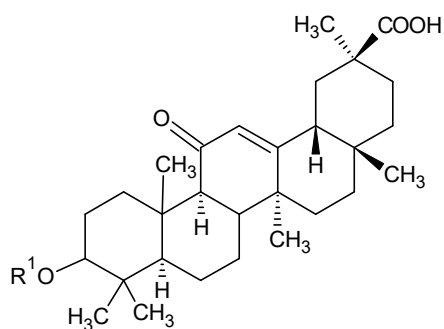


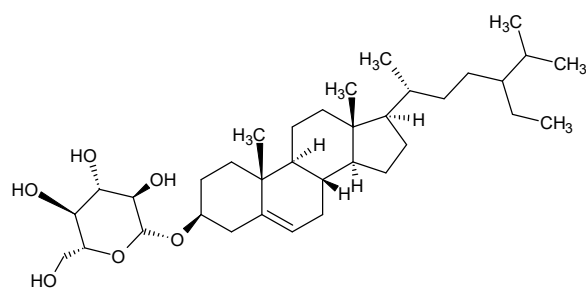
Figura 19. Esqueletos estruturais dos derivados da via do ácido acético.



Saponina Triterpênica

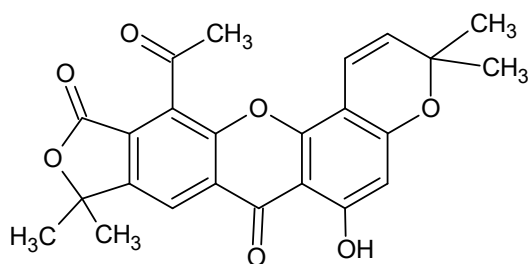
(R1= Ácido glicurônico)

Ácido glicirrhízico



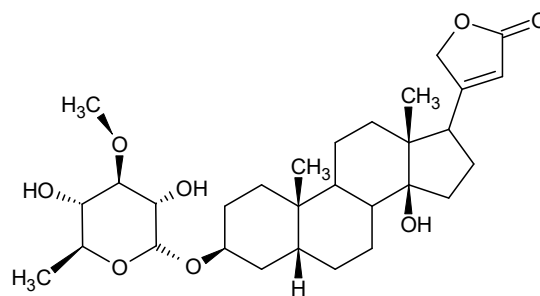
Saponina esteroidal

Daucosterol



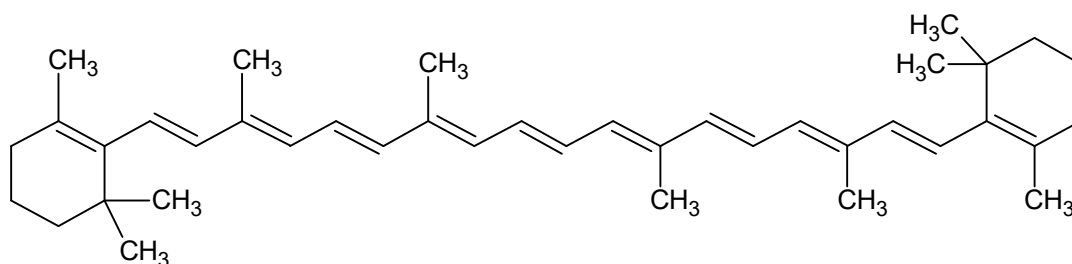
Xantona

Artonina B



Glicosídeo Cardiotônico

Neriifolina



Carotenoide

β -Caroteno

Figura 19. Esqueletos estruturais dos derivados da via do ácido acético (Continuação).

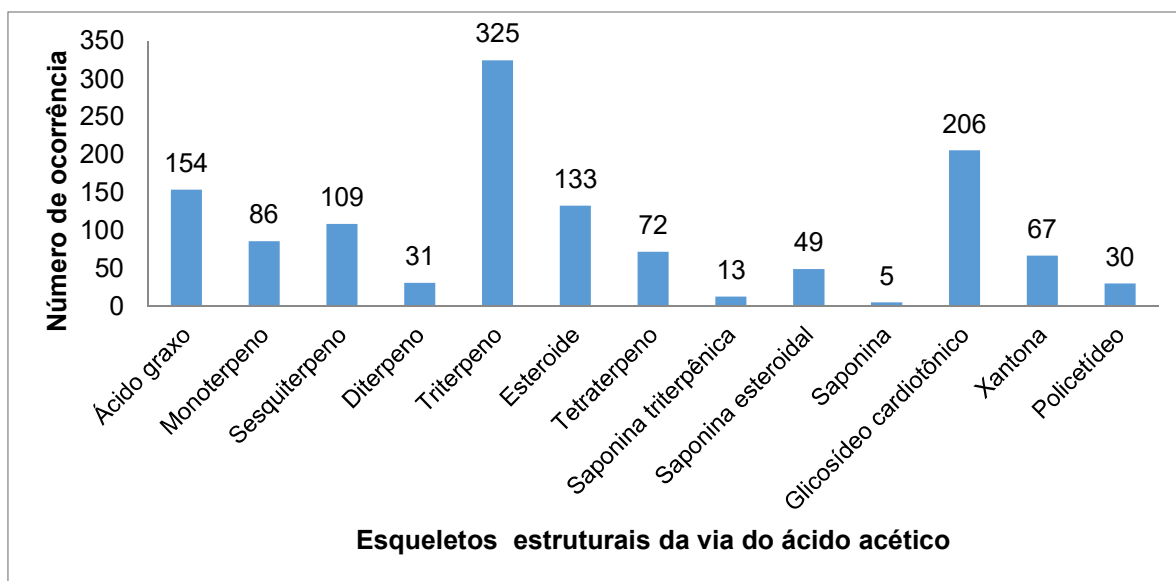


Figura 20. Número de ocorrência dos metabólitos derivados da via do ácido acético.

Ao analisar as tribos da família Moraceae, sob a esfera da via do ácido acético, avista-se que há uma abundante heterogeneidade estrutural de metabólitos distribuídos nas tribos, conforme aponta a Figura 21. Na tribo Artocarpeae há a compilação de 13 tipos distintos de esqueletos originados, pela via do ácido acético, entre as quais prevalecem os esteroides (NO=49) e triterpenos (NO=42), acompanhados de xantonas (NO=27), sesquiterpenos (NO=26), monoterpenos (NO=21), saponinas esteroidais (NO=8), saponinas (NO=4), além de ácidos graxos (NO=36).

Castilleae é marcada pela proeminência dos glicosídeos cardiotônicos (NO=184), além de conter triterpenos (NO=26), esteroides (NO=12), monoterpenos (NO=8), saponinas esteroidais (NO=4), tetraterpenos (NO=3), policetídeos (NO=2), sesquiterpenos (NO=1), xantona (NO=1) e ácidos graxos (NO=35), totalizando 10 tipos nesse táxon.

No que diz respeito à via do acetato, a tribo Dorstenieae possui primazia na bioprodução de triterpenos (NO=80), além de monoterpenos (NO=13), policetídeos (NO=13), esteroides (NO=10), sesquiterpenos (NO=6), diterpeno (NO=1), saponinas esteroidais (NO=4), glicosídeo cardiotônico (NO=1), e ácido graxo (NO=11). Somadas as classes metabólicas totalizam 9 tipos nesse táxon.

Ficeae, por sua vez, exibiu 11 classes, sendo a mais pronunciada os triterpenos (NO=95), sesquiterpenos (NO=66), monoterpenos (NO=44),

esteroides (NO=34), diterpenos (NO=23), além de, tetraterpenos (NO=16), saponinas esteroidais (NO=18), policetídeos (NO=12), saponina triterpênicas (NO=1), saponina esteroidal (NO=1) e ácido graxo (NO=40).

Deve-se ressaltar a importância terpenoídica no gênero *Ficeae*, principalmente de monoterpenos, diterpenos, sesquiterpenos e triterpenos. *Ficus* é caracterizado pelo mutualismo obrigatório, com polinização por vespas da família Agaonidae (Hymenoptera) que adentram a sua inflorescência especializada, o sicônio. Diante dessa conjuntura, já era esperada a produção de micromoléculas que fossem capazes de atrair os polinizadores para dentro de sua estrutura floral e cooperar, então na entomofilia (CRUAUD et al, 2011).

Moreae, por sua vez, é caracterizada pela presença majoritária de triterpenos (NO=82), xantonas (NO=39), esteroides (NO=28), glicosídeo cardiotônico (NO=21), afora de, saponinas esteroidais (NO=15), saponina triterpênicas (NO=12), tetraterpenos (NO=11), sesquiterpenos (NO=10), diterpeno (NO=5), totalizando 10 classes provenientes da via do ácido acético.

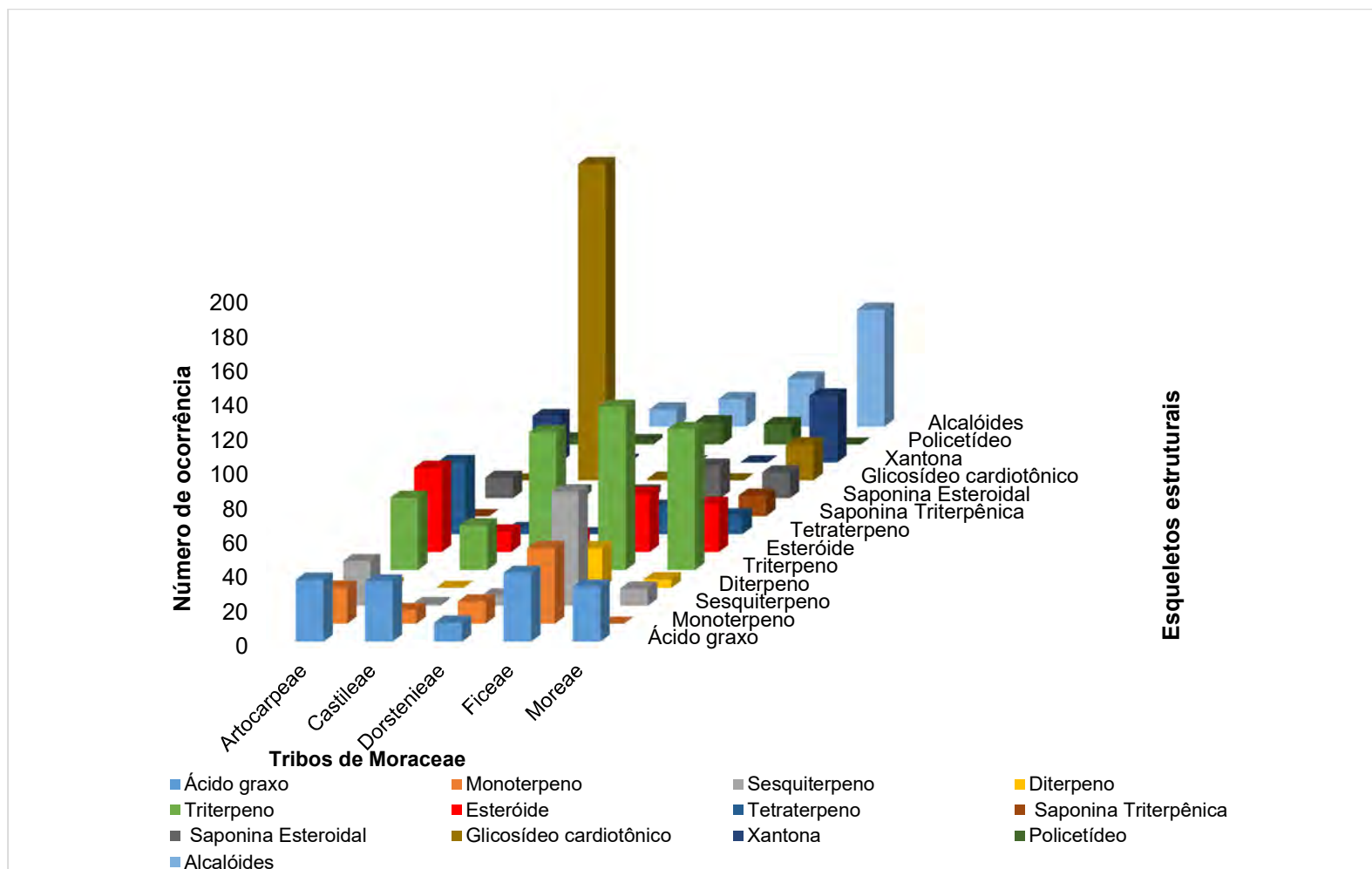


Figura 21. Classes metabólicas originadas pela via do ácido acético, na família Moraceae.

7.1.5) Diversidade estrutural das categorias metabólicas, derivadas do acetato, presentes em Moraceae

7.1.5.1) Monoterpeno

Ao analisar cada categoria micromolecular procedente da via derivada do ácido acético verificou-se que cada uma delas possui preferência pela produção de um determinado tipo de esqueleto molecular. Os gêneros de Moraceae apresentam a ocorrência da classe de monoterpenos (NO=75), com uma diversificação de 9 tipos de estruturas (Figura 22 - 23 e Tabela 18), há predomínio do tipo mentano (NO=32).

Merece destaque a presença diversificada de monoterpenos no gênero *Ficus* (NO=58), principalmente fitanos e mentanos. Na Tabela 18 estão resumidas as ocorrências de Monoterpenos na família Moraceae.

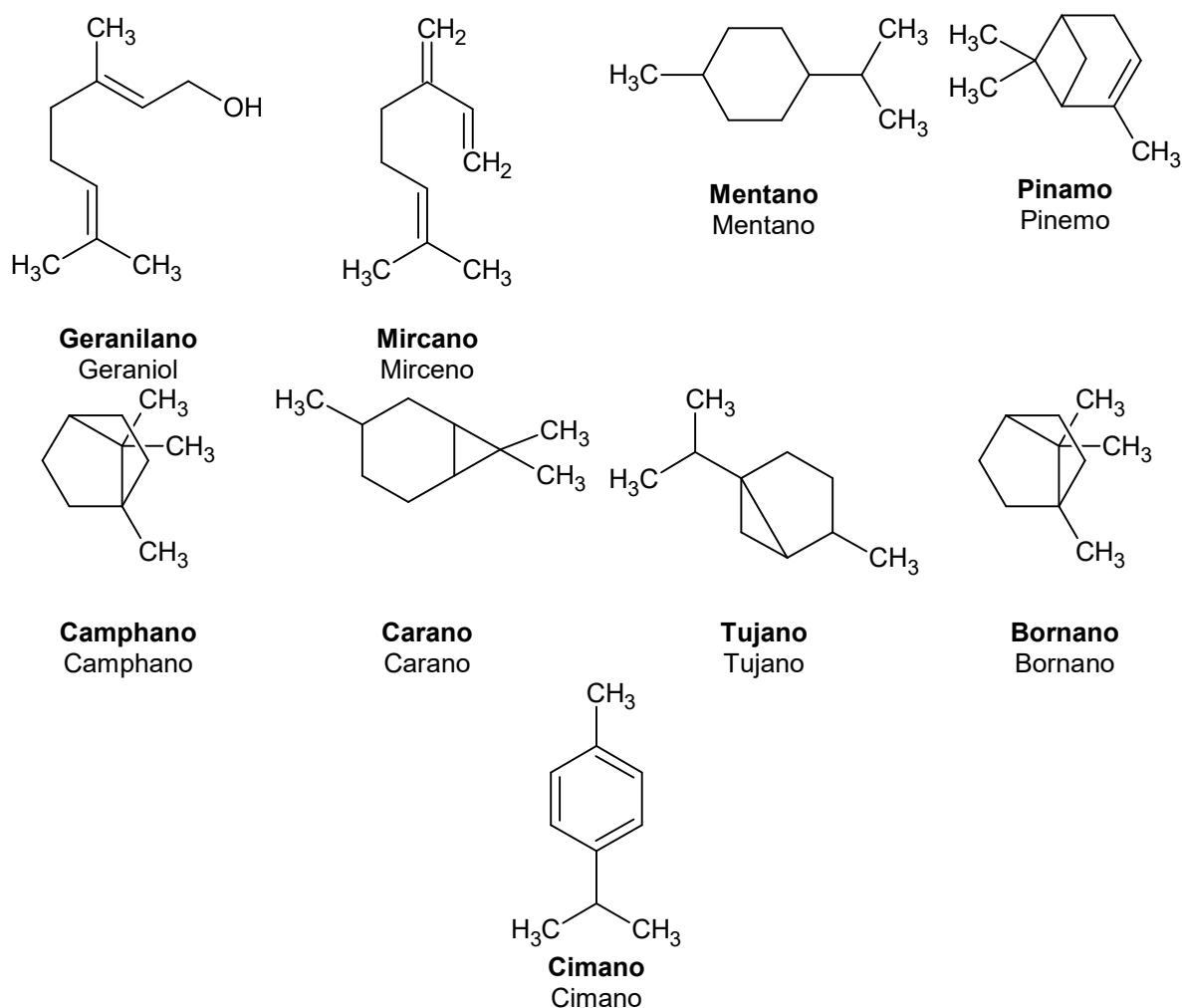


Figura 22. Esqueletos Estruturais monoterpênicos ocorrentes em Moraceae.

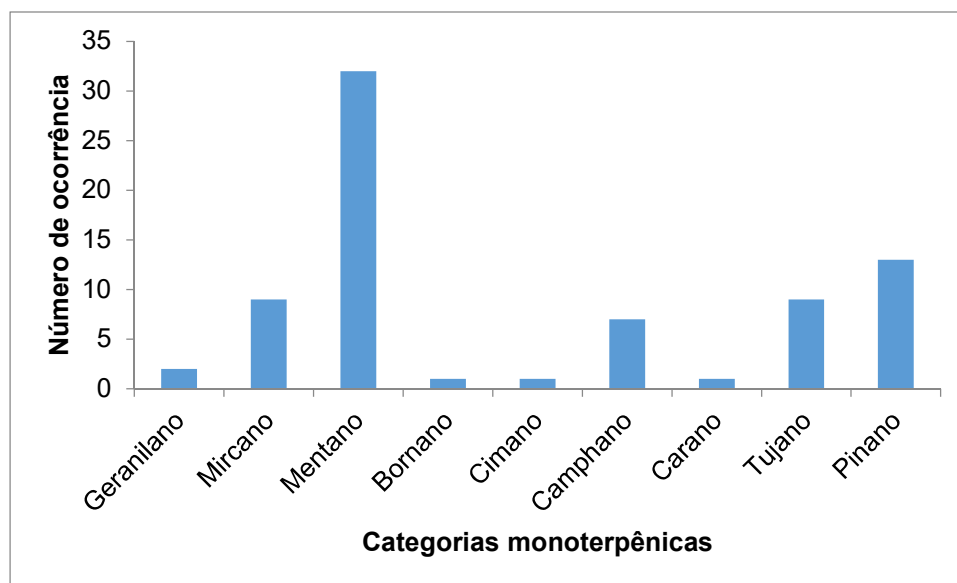


Figura 23. Categorias monoterpênicas ocorrentes em Moraceae.

Tabela 18. Diversificação estrutural de monoterpênicos em Moraceae.

| Gêneros | Monoterpeno | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|---------|---------|-------------|--------|----------|-----------|--------|--------|
| | Acíclico | | | Monocíclico | | | Bicíclico | | |
| | Geranilanos | Mircano | Mentano | Bornano | Cimano | Camphano | Carano | Tujano | Pinano |
| <i>Artocarpus</i> | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Treculia</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 3 | 2 |
| <i>Antiaris</i> | 0 | 0 | 5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Dorstenia</i> | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| <i>Ficus</i> | 2 | 7 | 19 | 0 | 0 | 2 | 1 | 5 | 8 |

7.1.5.2) Sesquiterpeno

Os sesquiterpenos encontrados em Moraceae apresentam 22 variações estruturais em Moraceae, conforme mostram as Figuras 24 e 25. Estas micromoléculas abrangem estruturas acíclicas, monocíclicas e policíclicas. O gênero *Ficus*, novamente, apresenta maior proeminência na bioprodução desse tipo estrutural terpênico (NO=66) que os demais gêneros de Moraceae. A Tabela 19 compila as subcategorias sesquiterpênicas.

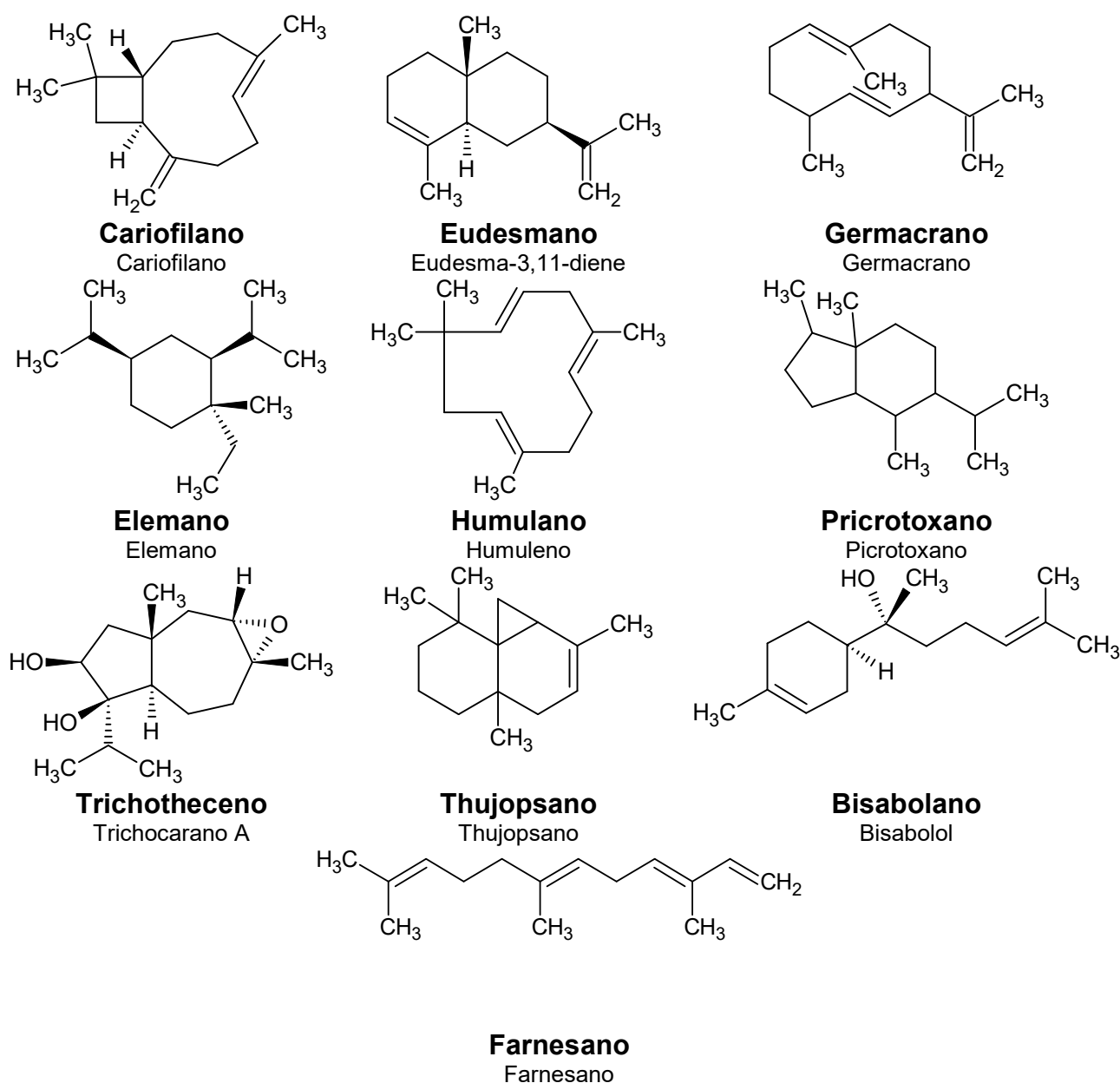


Figura 24. Esqueletos Estruturais sesquiterpênicos ocorrentes em Moraceae.

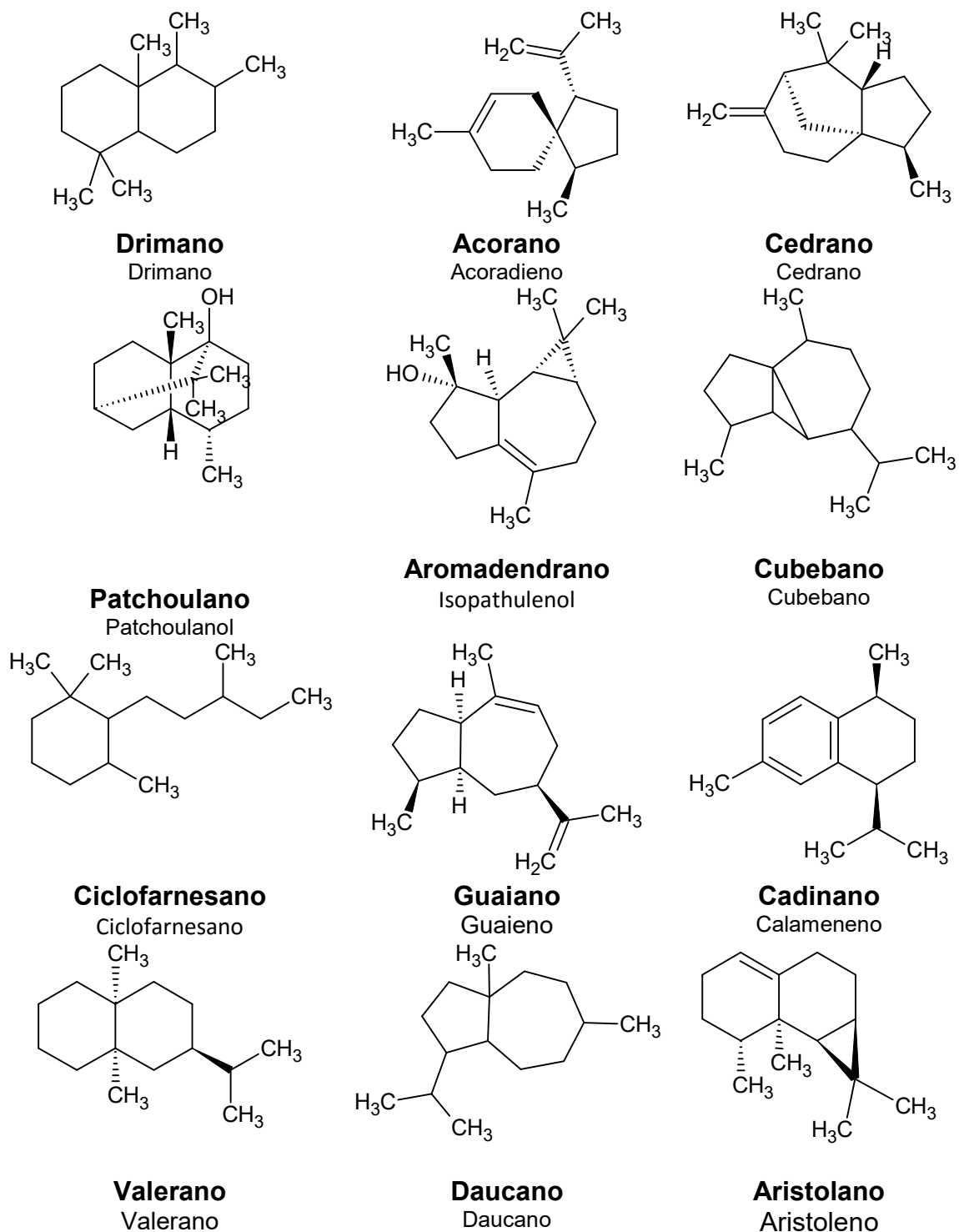


Figura 24. Esqueletos Estruturais sesquiterpênicos ocorrentes em Moraceae (Continuação).

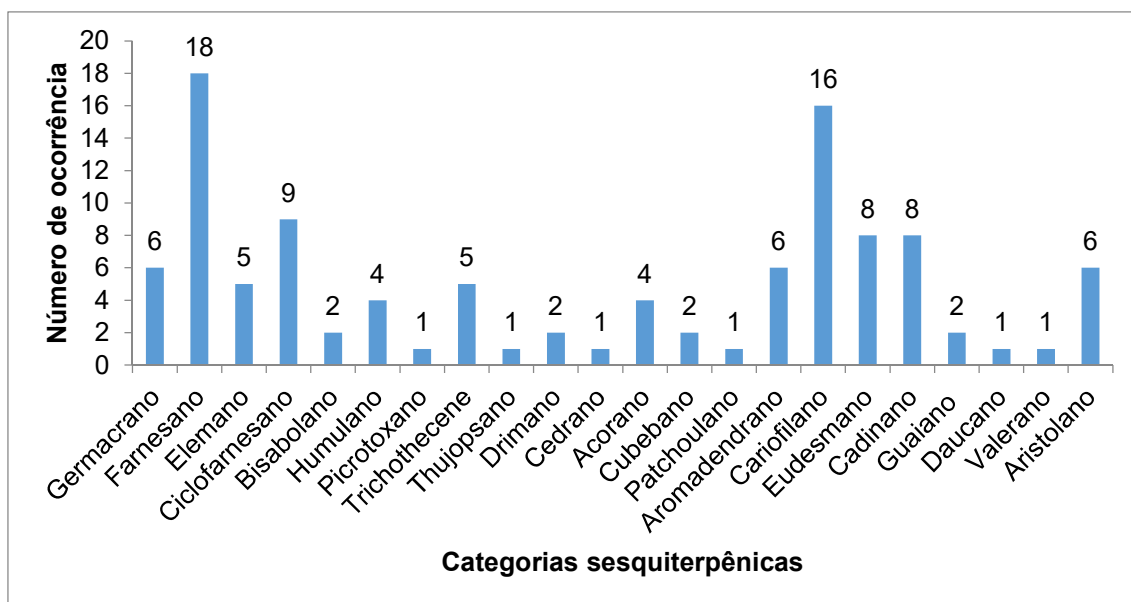


Figura 25. Categorias sesquiterpênicas ocorrentes em Moraceae.

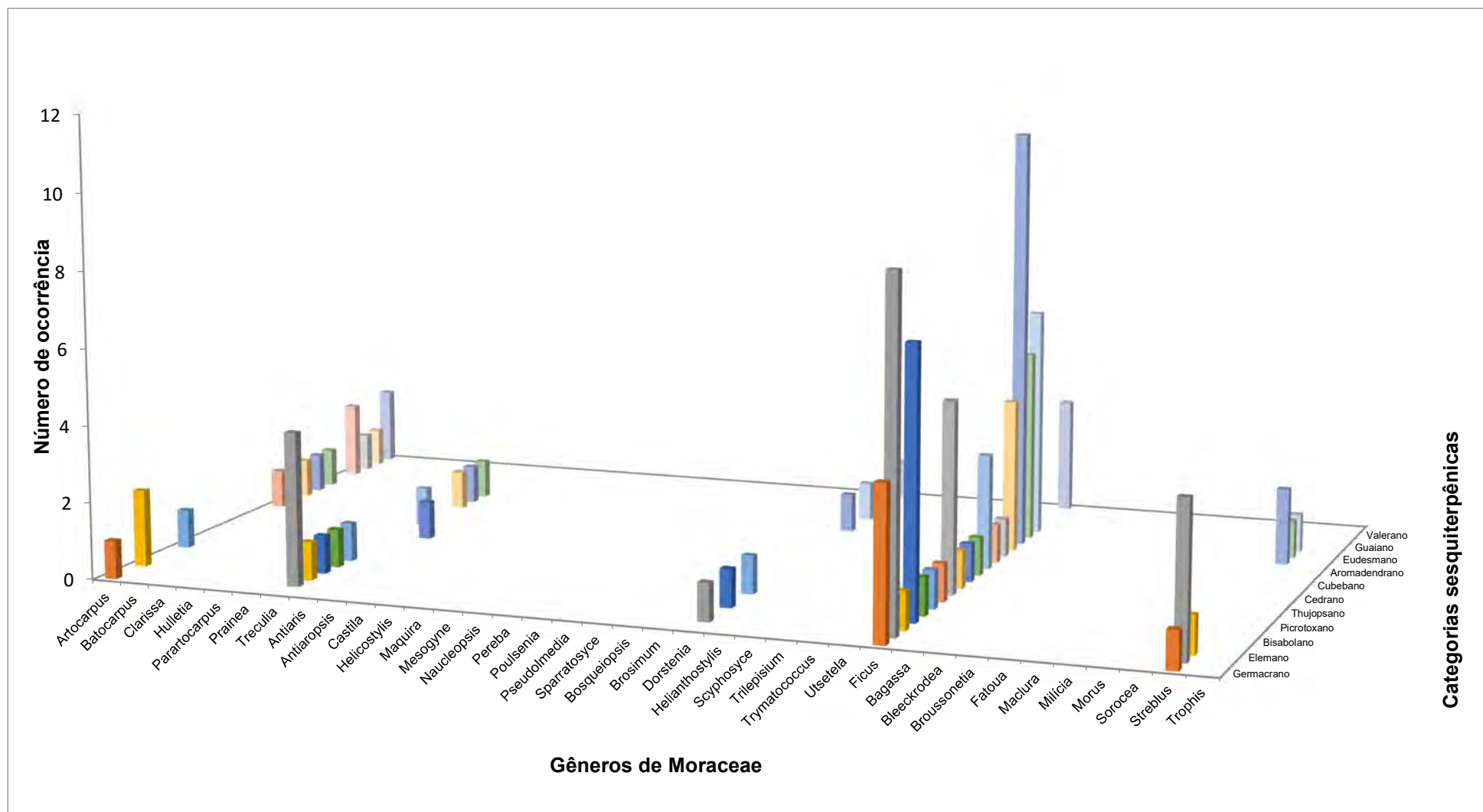


Figura 26. Número de ocorrência das subclasses Sesquiterpênicas nos gêneros de Moraceae.

Tabela 19. Diversificação estrutural de sesquiterpenos em Moraceae.

| Gêneros | Acíclico | | | | | | | Policíclico | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------|---|---|---|---|---|---|-------------|-----|---|----|---|----|----|-----|----|----|-----|----|-----|---|-----|
| | G | F | E | C | B | H | P | Tri | Thu | D | Ce | A | Cu | Pa | Aro | Ca | Eu | Cad | Gu | Dau | V | Ari |
| <i>Artocarpus</i> | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| <i>Treculia</i> | 0 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Antiaris</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Dorstenia</i> | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Ficus</i> | 4 | 9 | 1 | 7 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 4 | 11 | 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| <i>Streblus</i> | 1 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Identificação das Subcategorias: G: Germacrano; F: Farnesano; E= Elemo; C: Ciclofarnesano; B: Bisabolano; H: Humulano; P: Picrotoxano; Tri: Trichothecene; Thu:Thujopsano; D:Drimano; Ce:Cedrano; A:Acorano; Cu: Cubebano; Pa:Patchoulano; Aro:Aromadendrano; Ca: Cariofilano; Eu:Eudesmano; Cad:Cadinano; Dau: Daucano; V: Valerano; Ari: Aristolano

7.1.5.3) Diterpeno

Os diterpenos estão presentes em Moraceae sendo encontrados como estruturas lineares, tricíclicas e tetracíclicas, conforme aponta a Tabela 20. O tipo estrutural predominante pertence ao grupo dos fitanos como está ilustrado na Figura 22 e a sua ocorrência principal está no gênero *Ficus*.

Tabela 20. Diversificação estrutural de Diterpenos em Moraceae.

| Gêneros | Linear | | Tricíclico | | Tetracíclico | |
|---------------------|--------|----------|-------------|---------|--------------|---|
| | Fitano | Abietano | Isopimarano | Kaurano | | |
| <i>Artocarpus</i> | 1 | | | | | |
| <i>Treculia</i> | 1 | | | | | |
| <i>Dorstenia</i> | | | | 1 | | |
| <i>Ficus</i> | 22 | 1 | | | | |
| <i>Broussonetia</i> | | | | | | 3 |
| <i>Sorocea</i> | 1 | | | | | |
| <i>Streblus</i> | 1 | | | | | |

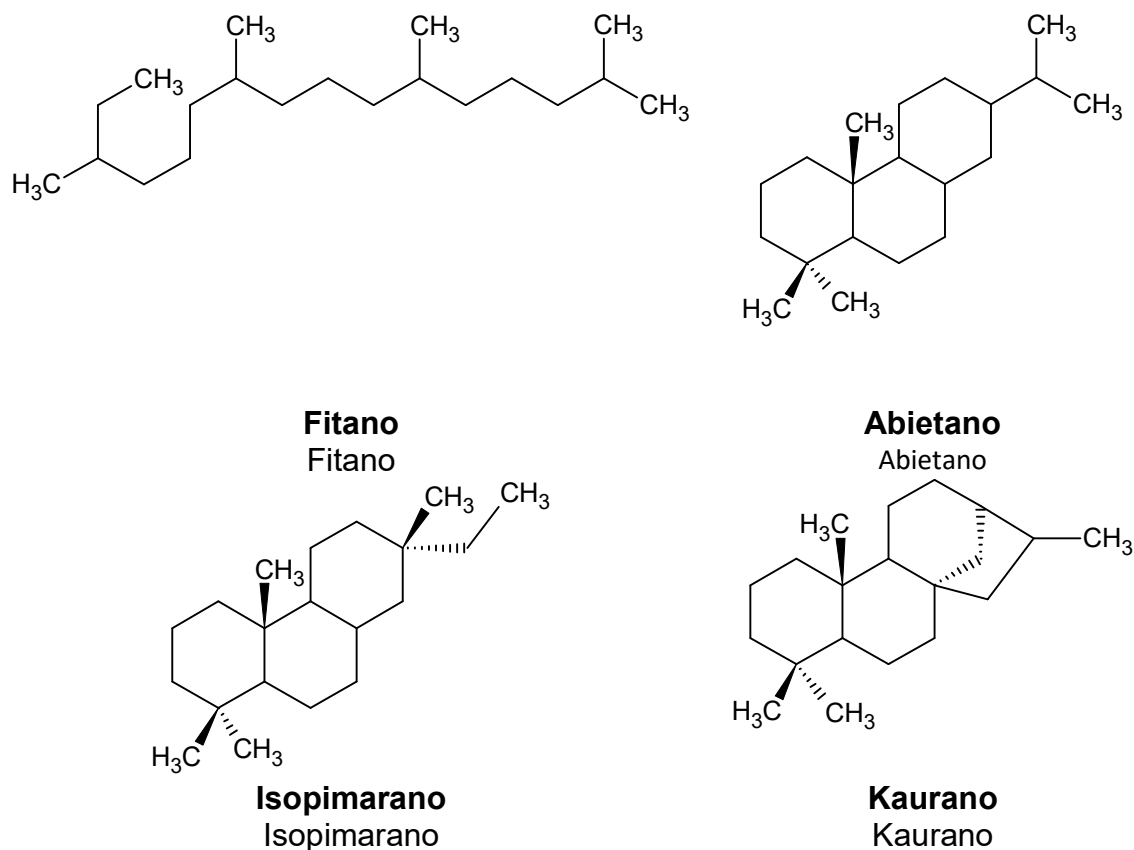


Figura 27. Categorias diterpênicas ocorrentes em Moraceae.

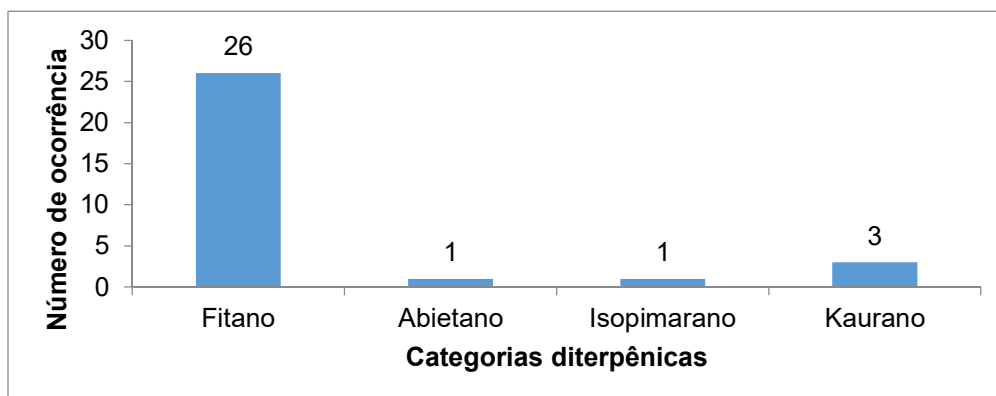


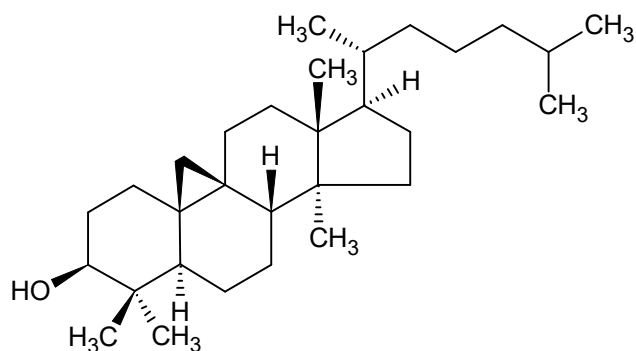
Figura 28. Categorias diterpênicas ocorrentes em Moraceae.

7.1.5.4) Triterpeno

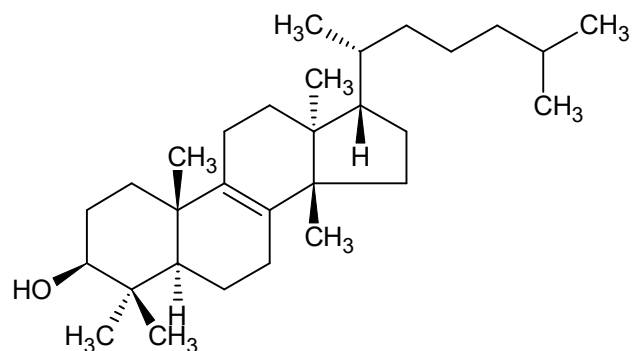
A classe terpenoídica mais abundante e com uma variação de 16 tipos de estrutura, presente na maioria dos gêneros de Moraceae, são os triterpenos.

Entre as subclasses com um maior número de ocorrência estão lupanos (NO=105), ursanos (NO=80), oleanos (NO=80), como ilustram as Figuras 25 e 26. Deve-se ressaltar, no entanto, que há uma enorme diversidade estrutural, principalmente nos gêneros *Ficus* e *Dorstenia*. Na Tabela 22 é exibido o número de ocorrência das subcategorias micromoleculares da família Moraceae.

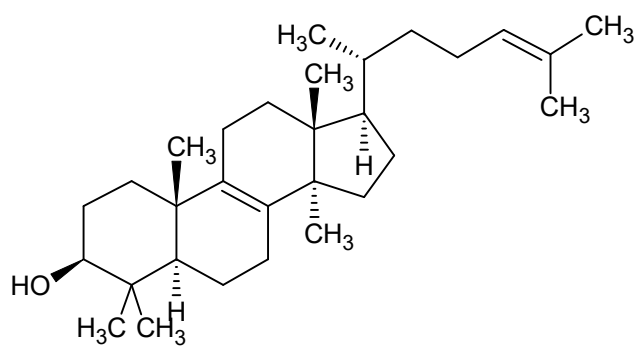
Entre as peculiaridades quanto à produção triterpênica em Moraceae, destaca-se que na tribo Artocarpeae apenas o gênero *Artocarpus* é produtor de triterpenos. Além disso, entre os metabólitos da via do ácido acético o único identificado, bioproduzidos por gêneros da tribo Castilleae, são os triterpenos e a maior diversificação estrutural triterpênica se encontra entre os gêneros da tribo Moreae.

**Cicloartano**

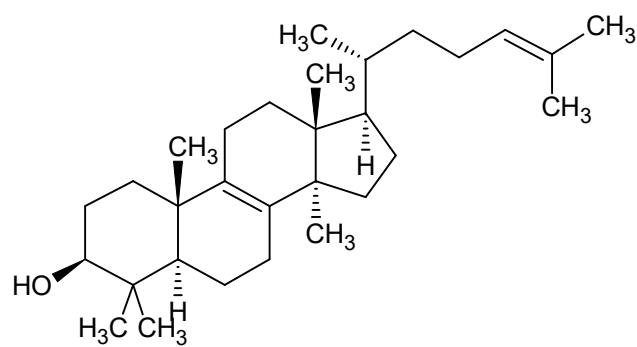
Cicloartanol

**Eufano**

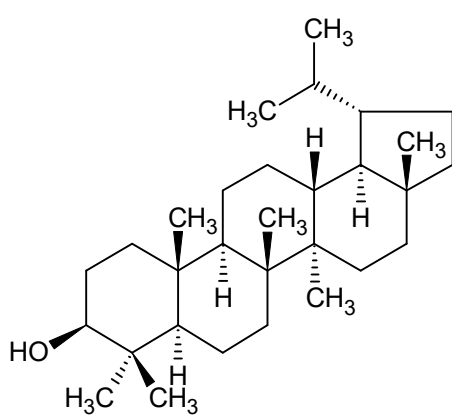
Eufenol

**Lanostano**

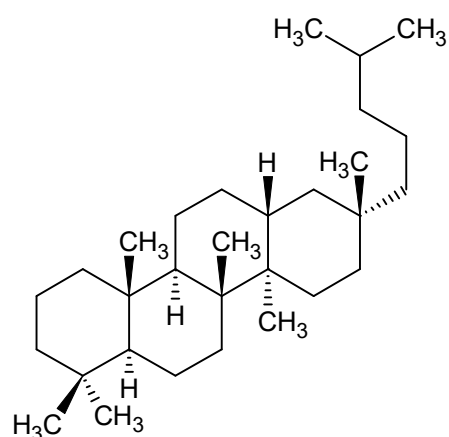
Lanosterol

**Tirucalano**

Tirucalol

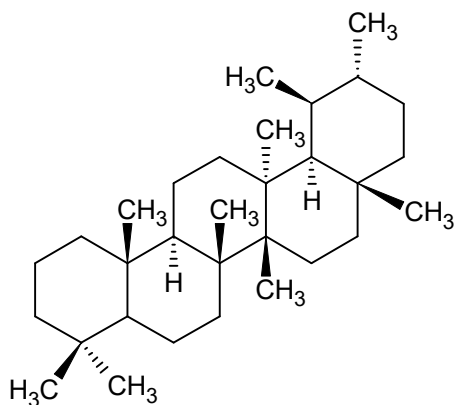
**Lupano**

Lupanol

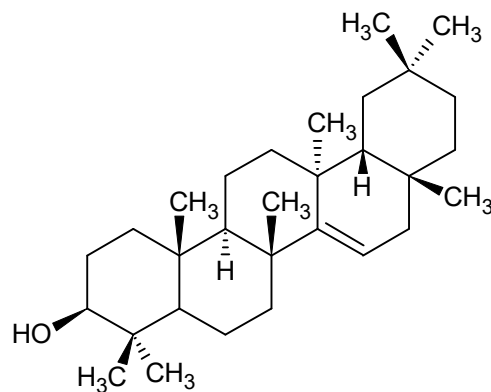
**Bacarano**

Bacarano

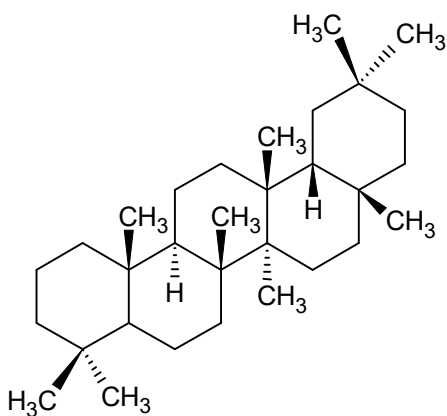
Figura 29. Esqueletos estruturais triterpênicos ocorrentes em Moraceae.

**Bauerano**

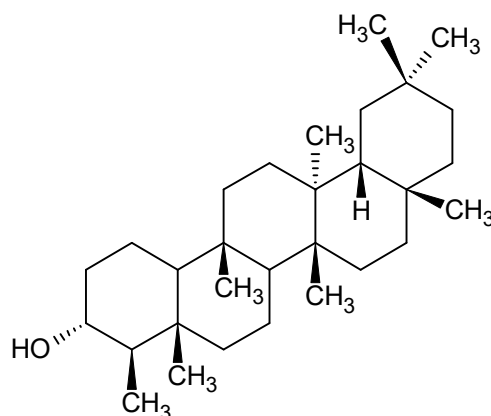
Bauerano

**Taraxerano**

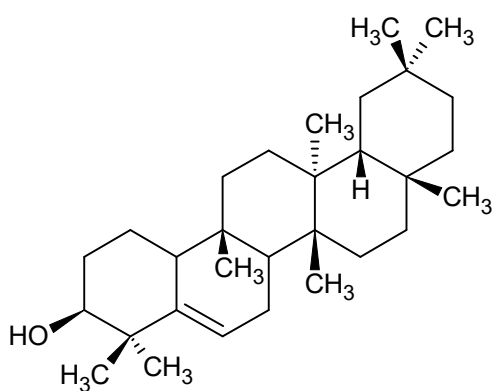
Taraxerol

**Oleano**

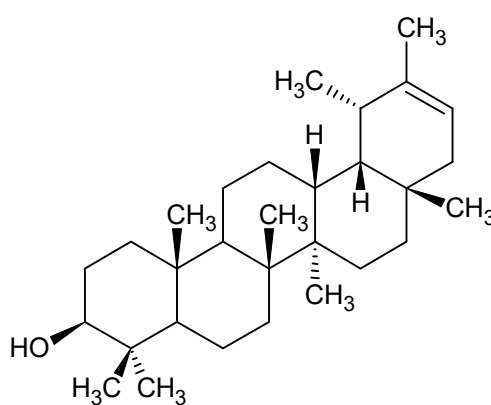
Oleano

**Friedelano**

Friedelinol

**Glutinano**

Alnusol

**Taraxastano**

Taraxasterol

Figura 29. Esqueletos estruturais triterpênicos ocorrentes em Moraceae (Continuação).

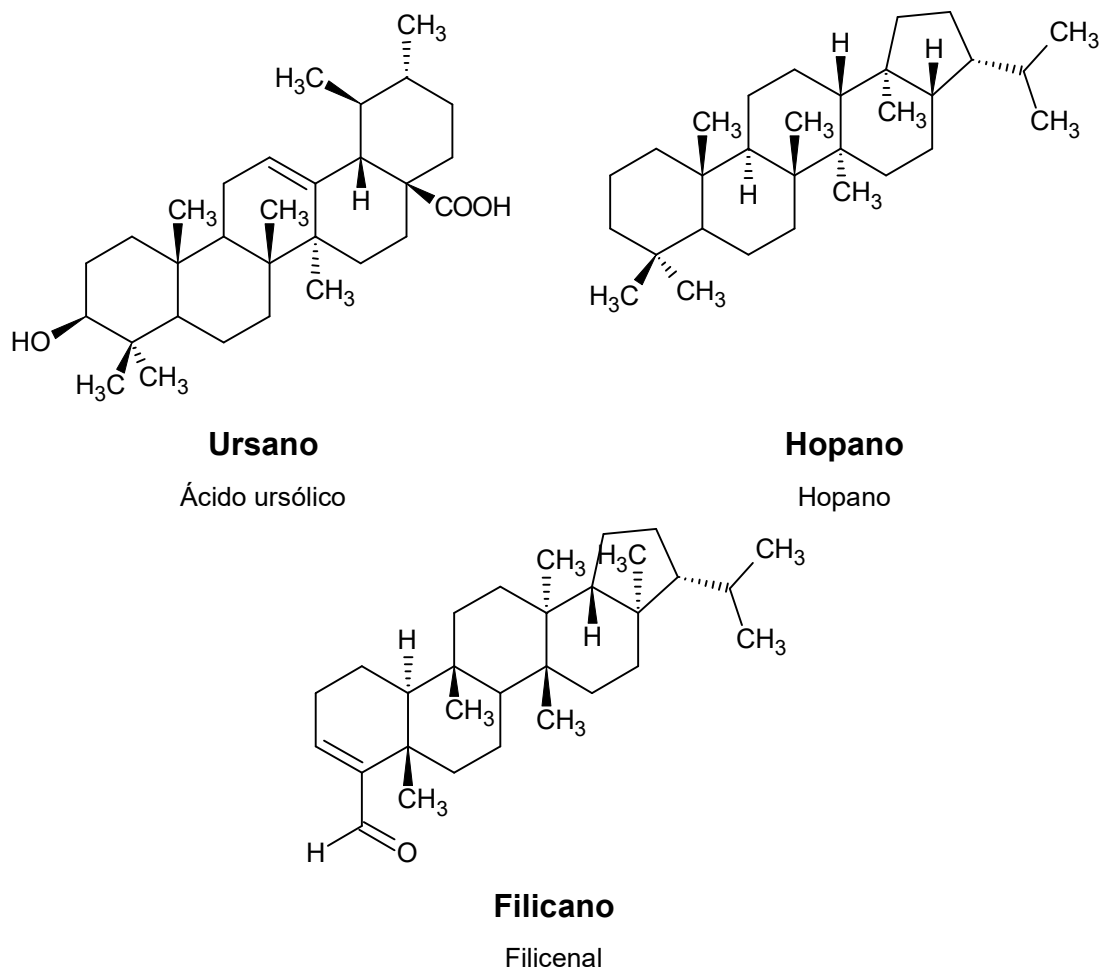


Figura 29. Esqueletos estruturais triterpênicos ocorrentes em Moraceae (Continuação).

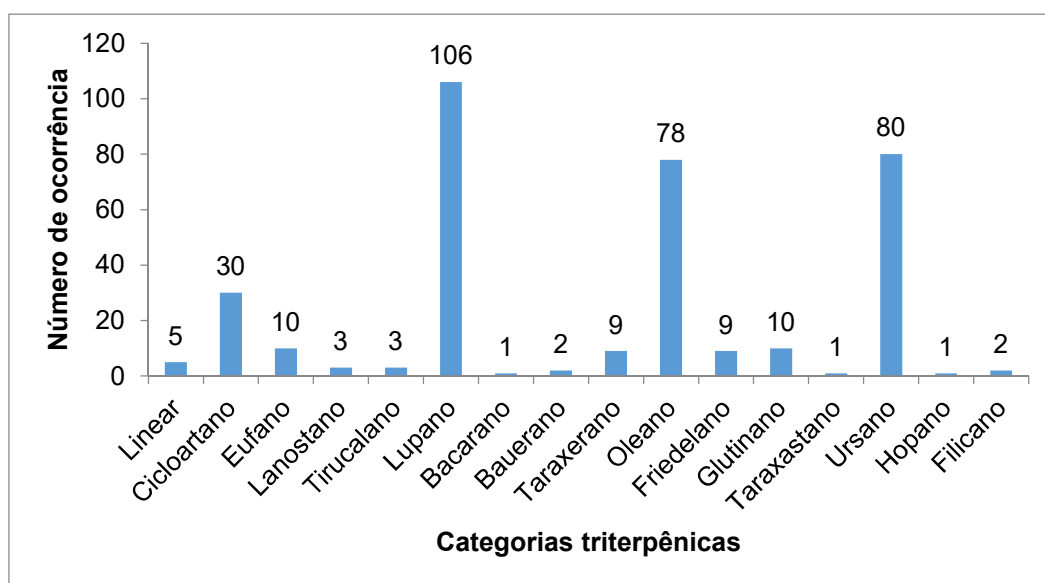


Figura 30. Categorias triterpênicas ocorrentes em Moraceae.

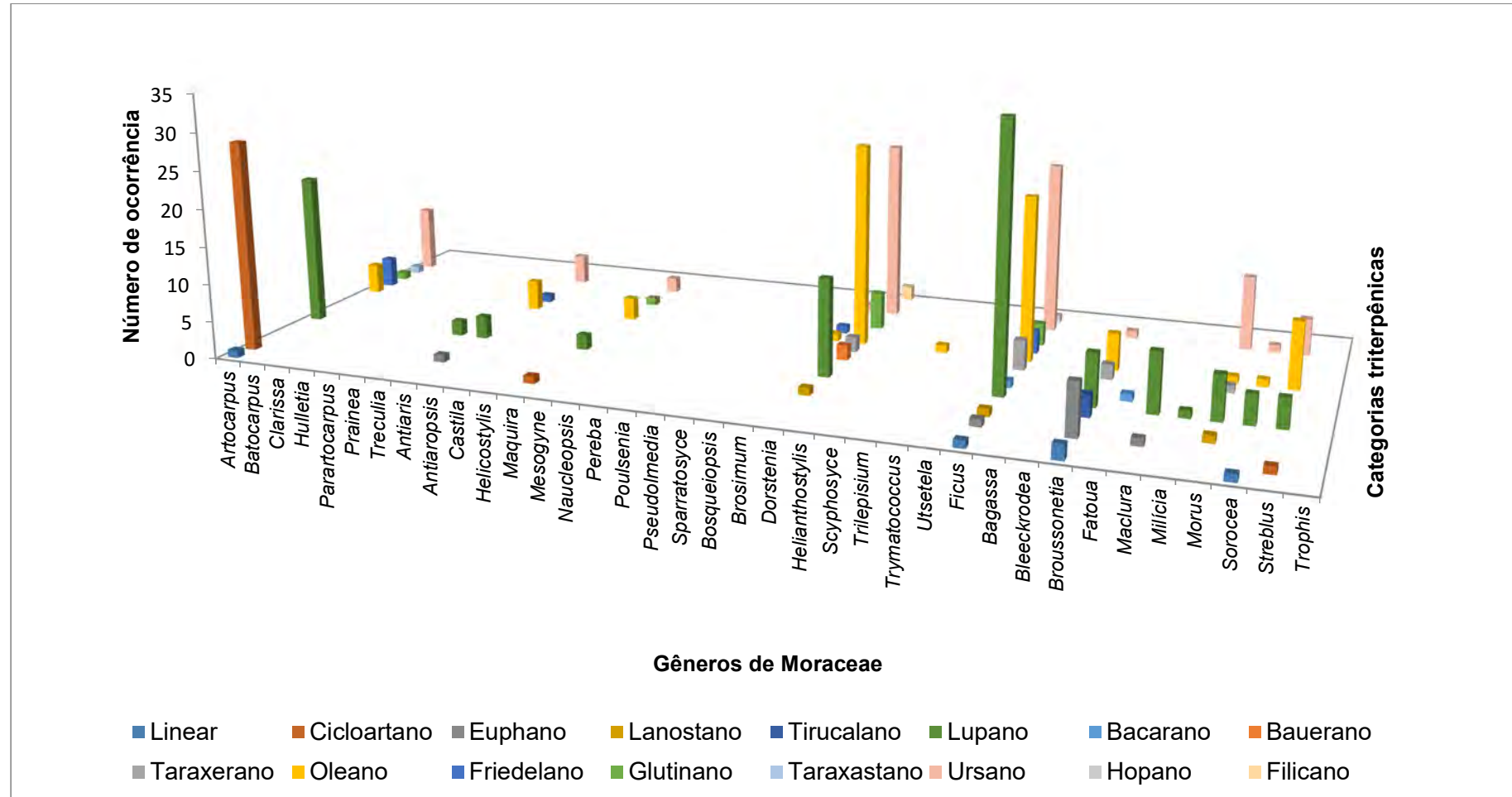


Figura 31. Número de ocorrência das subclasses triterpênicas nos gêneros de Moraceae.

Tabela 21. Diversificação estrutural de triterpenos em Moraceae.

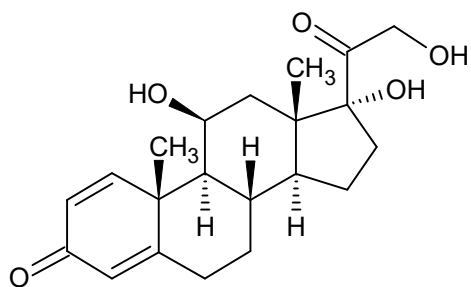
| Gêneros | Triterpeno | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------|----|----|----|----|----------|----|-----|----|----|-----|--------|-----|----|---|---|
| | Gonano | | | | | Bacarano | | | | | | Hopano | | | | |
| | Li | Ci | Eu | La | Ti | Lu | Ba | Bau | Ta | O | Fri | Glu | Taa | U | H | F |
| <i>Artocarpus</i> | 1 | 28 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 1 | 1 | 9 | 0 | 0 |
| <i>Treculia</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Antiaris</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| <i>Maquira</i> | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| <i>Brosimum</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Dorstenia</i> | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 13 | 0 | 2 | 2 | 27 | 0 | 5 | 0 | 24 | 0 | 2 |
| <i>Trilepisium</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ficus</i> | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 35 | 1 | 0 | 4 | 22 | 3 | 3 | 0 | 23 | 1 | 0 |
| <i>Broussonetia</i> | 2 | 0 | 7 | 0 | 3 | 7 | 0 | 0 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Fatoua</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Maclura</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Milicia</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Morus</i> | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 6 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 |
| <i>Sorocea</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Streblus</i> | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |

Identificação das Subcategorias: Li: Linear; Ci: Cicloartano; Eu: Euphano; La: Lanostano; Ti: Tirucalano; Lu: Lupano; Ba: Bacarano; Bau: Bauerano; Tae: Taraxerano; O: Oleano; Fri: Friedelano; Glu: Glutinano; Taa: Taraxastano; U: Ursano; H: Hopano; F: Filicano.

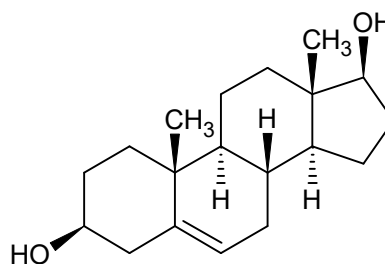
7.1.5.5) Esteróide

Os esteróides apresentam 8 subclasses em Moraceae, conforme descreve a Figura 32. Os estigmastanos são os esteróides mais importantes entre os gêneros de Moraceae. Na Tabela 22 estão descritas as ocorrências para cada gênero.

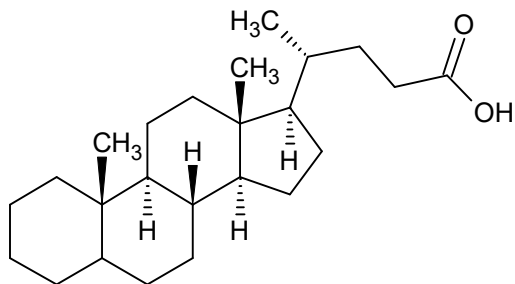
Observa-se claramente, na figura 33, que há maior predomínio de esteróides do tipo estrutural estigmastanos entre os gêneros que bioproduzem triterpenos. Há, ainda, maior ocorrência esteroidal entre os gêneros da tribo Moreae, Ficeae e em *Artocarpus*, pertencente à Artocarpeae, conforme ilustra a figura 34.

**Gonano**

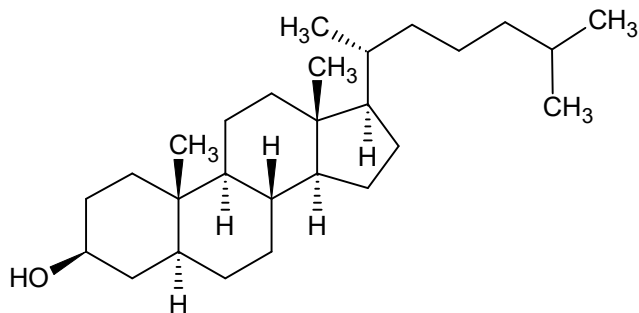
Esterano

**Androstano**

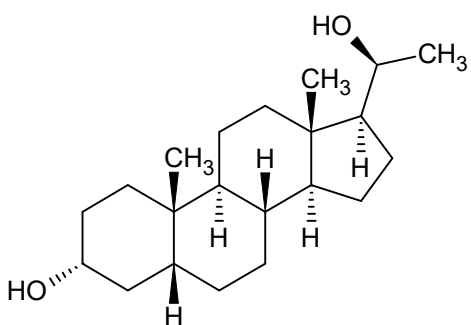
Androstenediol

**Colano**

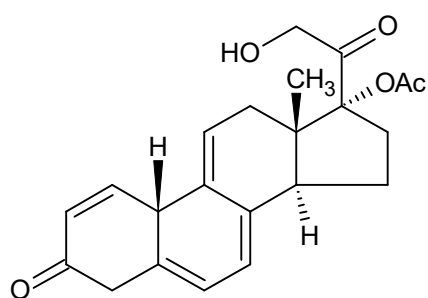
Ácido colânico

**Colestano**

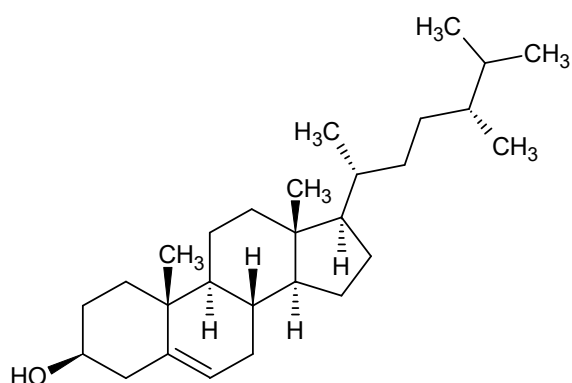
Colestanol

**Pregnano**

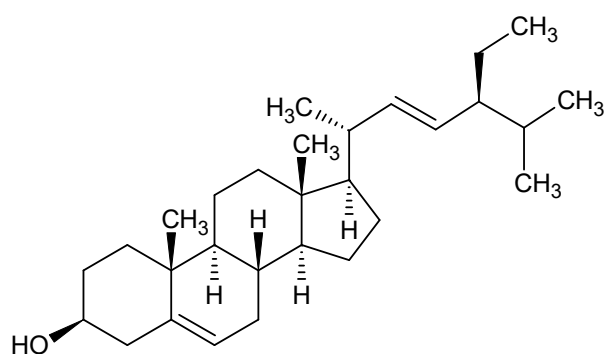
Pregnanediol

**Norpregnano**

19-Norpregna-1,5,7,9(11)-tetraene-3,20-dione

**Campestano**

Campesterol

**Estigmasterol**

Estigmasterano

Figura 32. Esqueletos estruturais esteroidais ocorrentes em Moraceae.

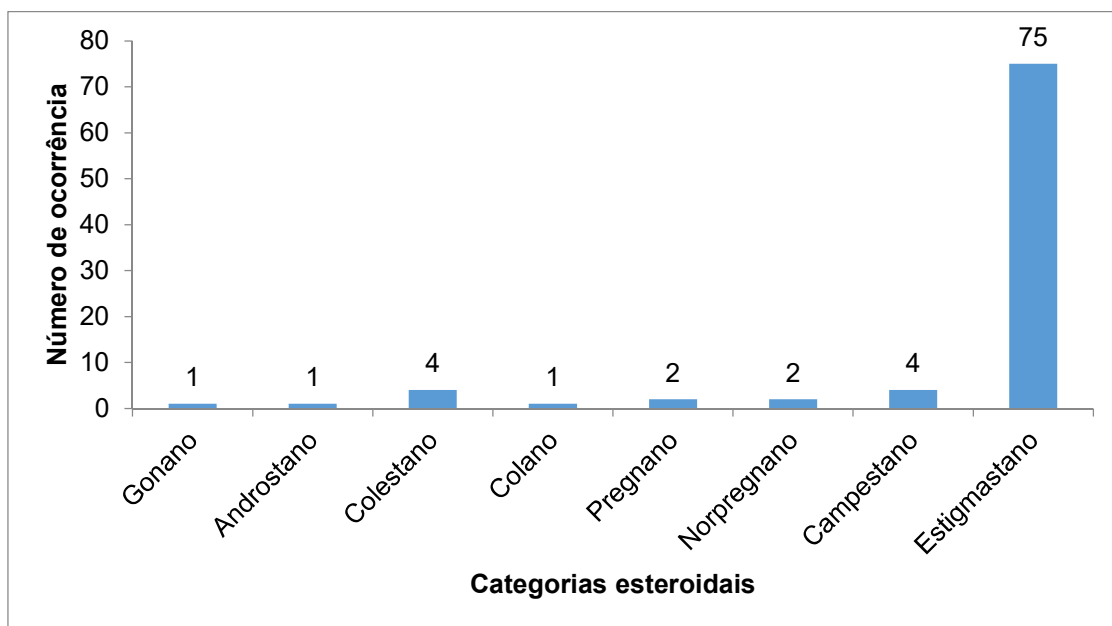


Figura 33. Categorias esteroidais ocorrentes em Moraceae.

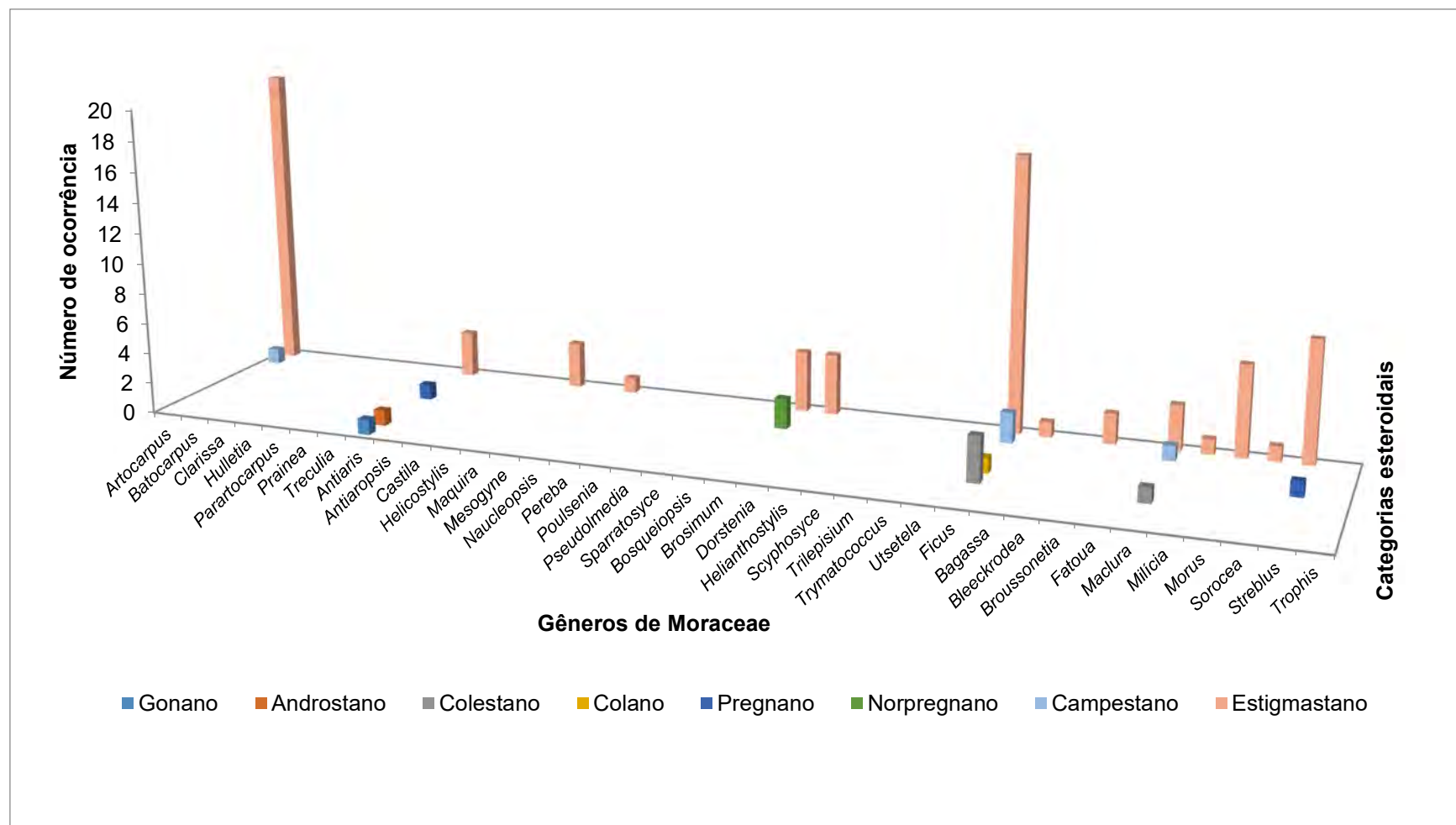


Figura 34. Número de ocorrência das subclasses esteróídicas nos gêneros de Moraceae.

Tabela 22. Diversificação estrutural de Esteróides em Moraceae.

| Gêneros | Esteróides | | | | | | | | |
|---------------------|------------|------------|-----------|--------|----------|-------------|---------------|-------------|--------------|
| | Gonano | Androstano | Colestano | Colano | Pregnano | Norpregnano | Campestandano | Cicloartano | Estigmastano |
| <i>Artocarpus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 28 | 20 |
| <i>Antiaris</i> | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| <i>Maquira</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| <i>Naucleopsis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Brosimum</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 4 |
| <i>Dorstenia</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| <i>Ficus</i> | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 18 |
| <i>Bagassa</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Broussonetia</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Maclura</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| <i>Milicia</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Morus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| <i>Sorocea</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Streblus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 8 |

7.1.5.6) Tetraterpeno

Os tetraterpenos também ocorrem em Moraceae, embora sejam mais escassos. Estão presentes os tipos estruturais megastimanos, apocarotenóides, carotenoide e diapocarotenóide. Na figura 35 estão ilustrados os tipos estruturais presentes em Moraceae, enquanto na Tabela 23 e na Figura 36, são evidenciadas as ocorrências para cada um dos gêneros de Moraceae.

Tabela 23. Diversificação estrutural de Tetraterpenos em Moraceae.

| Gêneros | M | A | C | D |
|---------------------|----|---|----|---|
| <i>Artocarpus</i> | 0 | 5 | 26 | 3 |
| <i>Treculia</i> | 8 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Antiaris</i> | 3 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ficus</i> | 15 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Broussonetia</i> | 8 | 0 | 3 | 0 |

Identificação das Subcategorias: M: Megastimano; A: Apocarotenóide; Carotenoide: C; Diapocarotenóide: D.

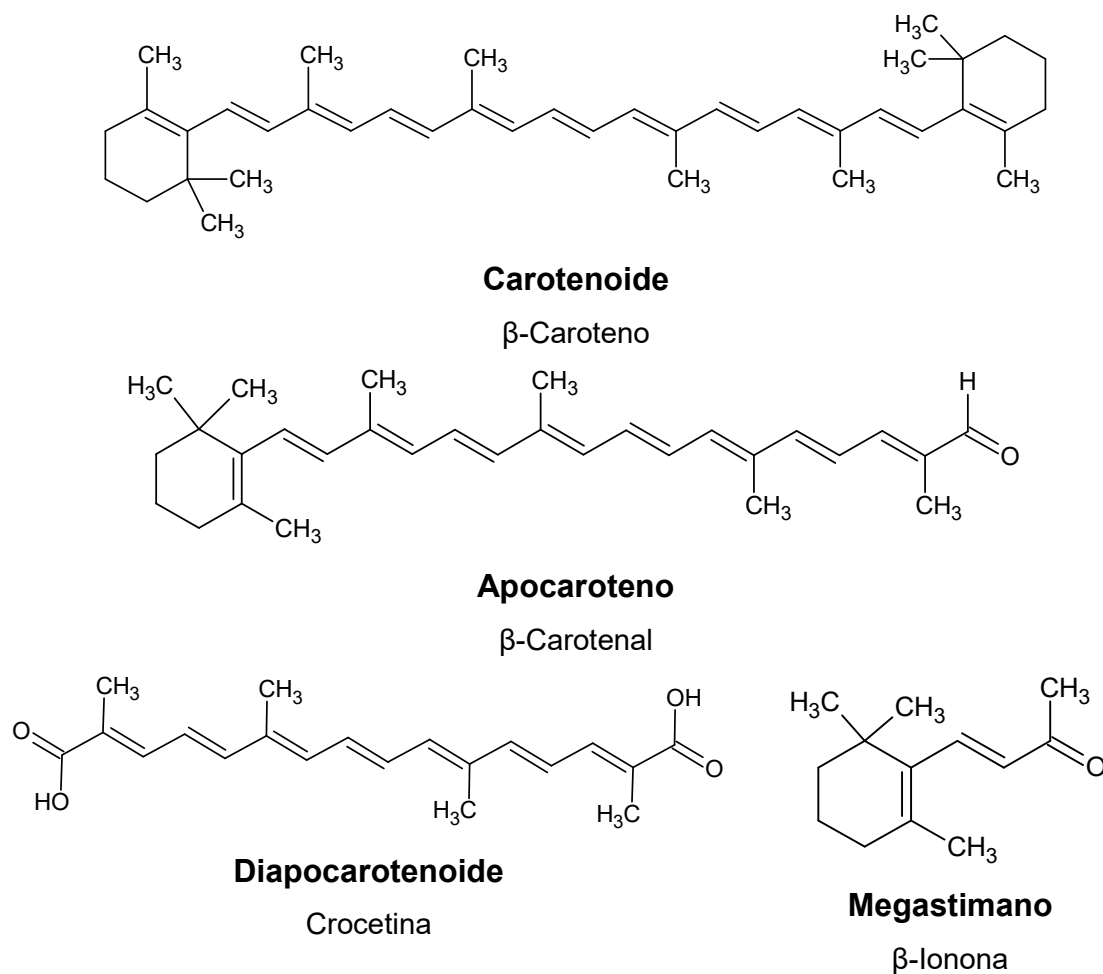


Figura 35. Esqueletos estruturais de tetraterpenos em Moraceae.

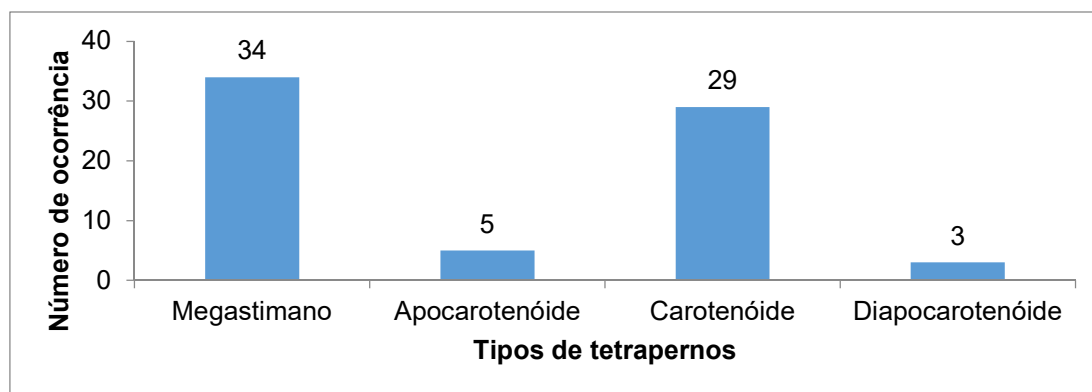


Figura 36. Número de ocorrência das subclasses tetraprenil nos gêneros de Moraceae.

7.1.6) Ocorrência de metabólitos especiais oriundos da Via do Chiquimato

Conforme foi anteriormente mencionado, os derivados da via do ácido chiquímico são menos expressivos (NO=404) nessa família e os cinco tipos estruturais encontrados configuram um índice de diversificação (ID) de 2020, o mais baixo se comparado com as demais vias.

Em Moraceae, esta rota biossintética é representada por 5 tipos estruturais, ilustrados na figura xxx, protagonizado pelas cumarinas (NO=220), ácidos cinâmicos (NO=44), lignanas (NO=87), ácidos benzóicos (NO=40) e fenilpropenos (NO=13) (Figura 28).

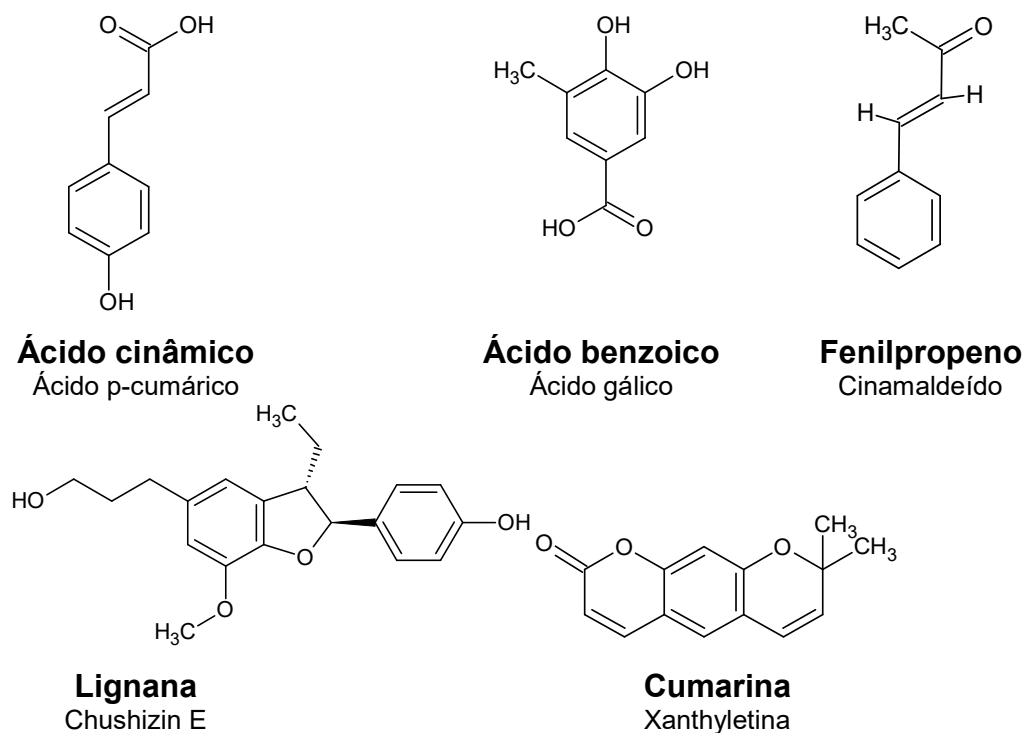


Figura 37. Esqueletos estruturais derivados da via do ácido chiquímico.

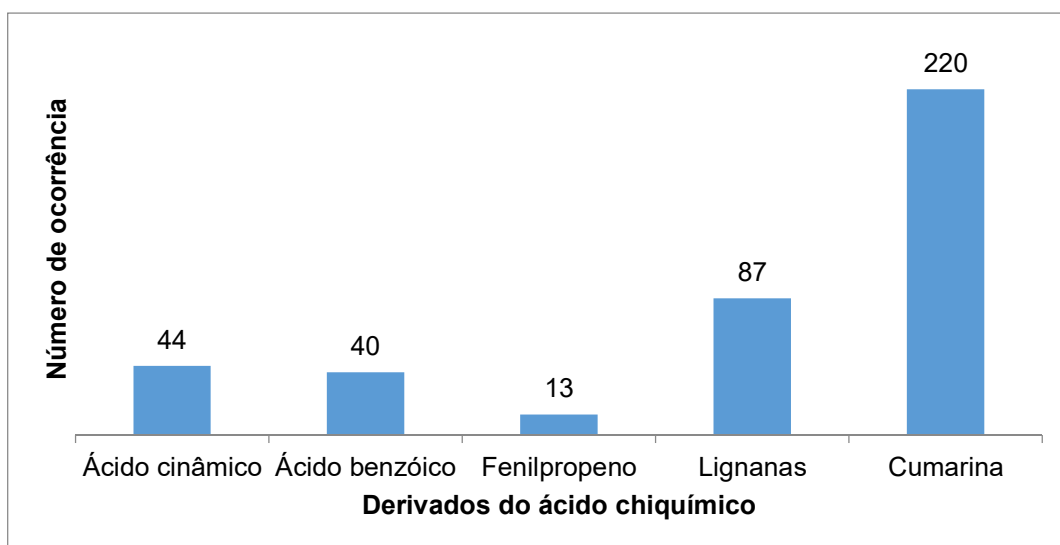


Figura 38. Número de ocorrência dos metabólitos derivados da via do Chiquimato.

A análise do número de ocorrências para as tribos mostrou a incidência de 5 classes para Artocarpeae, Castilleae e Moreae, enquanto em Dorstenieae e Ficeae ocorrem apenas 4. A Figura 39 ilustra o número de ocorrência de cada subclasse para as tribos.

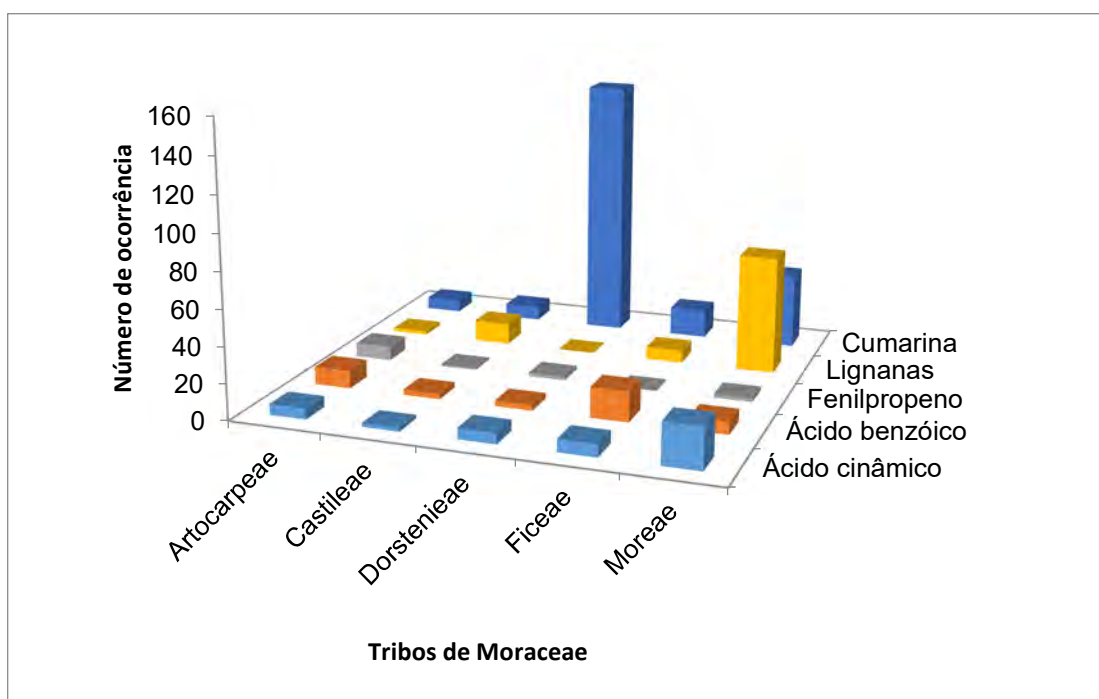
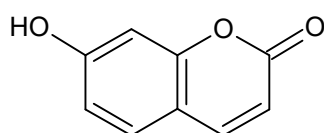


Figura 39. Classes metabólicas originadas pela via do ácido chiquímico, na família Moraceae.

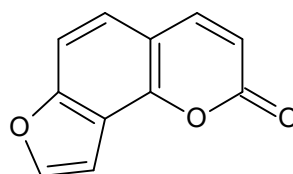
7.1.6.1) Cumarina

As cumarinas outrora foram consideradas, erroneamente, biomarcadores da família Moraceae (RIBEIRO et al, 2002), no entanto demonstra-se ao longo desse trabalho que estas micromoléculas estão presentes principalmente nas tribos Moreae e Dorstenieae, conforme visto na figura 29. Já na Figura 40 e 41 são retratadas as cinco subclasses de cumarinas presentes em Moraceae. Observa-se que a maioria é simples ou com anel furanocumarínicas lineares e são características de angiospermas mais basais. Nesse sentido, é fundamental reafirmar que a tribo Dorstenieae possui hábitos de ervas e de arbustos para suculentas, diferente das demais Moráceas que possuem hábitos herbáceos.



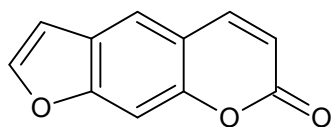
Cumarina simples

Umbelliferona



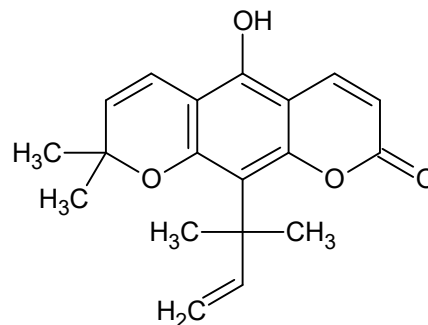
Furanocumarina angular

Angelicina



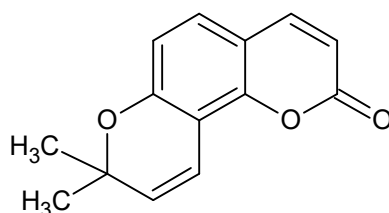
Furanocumarina linear

Psoraleno



Piranocumarina Linear

Nordentantina



Piranocumarina angular

Seselina

Figura 40. Esqueletos estruturais de cumarinas em Moraceae.

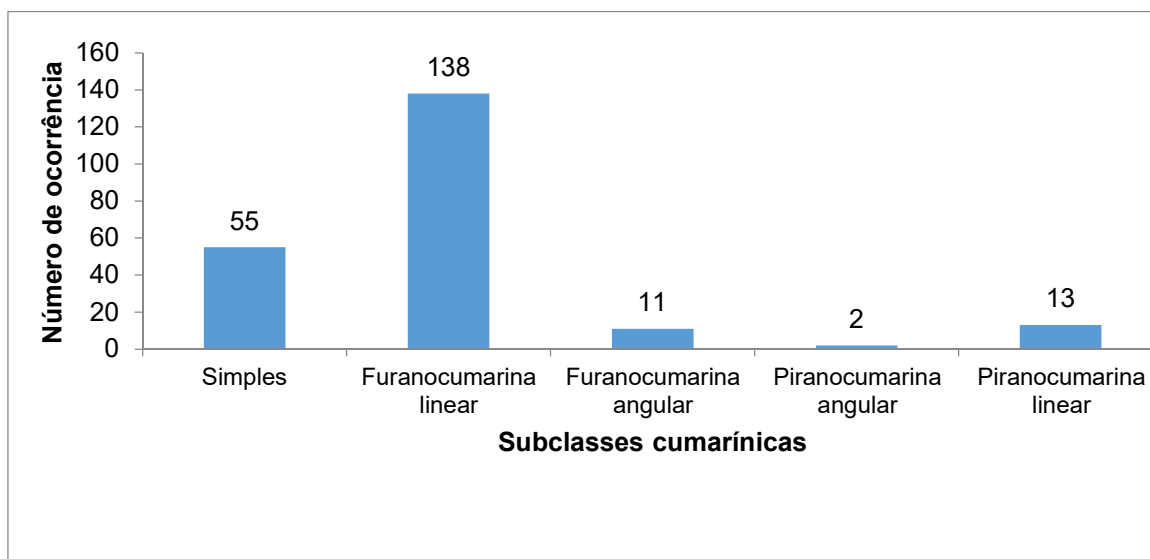


Figura 41. Número de ocorrência das subclasses cumarínicas ocorrentes em Moraceae.

A presença de cumarinas é restrita a poucos gêneros e tribos da família Moraceae, entre eles Moreae e, principalmente, Dorstenieae apresentam maior número de ocorrência. A diversificação estrutural é restrita aos gêneros *Brosimum* e *Dorstenia*. Provavelmente as cumarinas presentes nesses gêneros são responsáveis por atrair os insetos responsáveis pelo processo de polinização inerente a esses táxons, uma vez que odores fortes são atribuídos a essas plantas, bem como ao cheiro característico das cumarinas (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004).

Os gêneros de Moraceae estão organizados na Tabela 24 apresentando os diferentes tipos estruturais de cumarinas bioproduzidos nesse táxon, haja vista que é relatado forte odor nessas plantas, ricas em inflorescências estaminadas (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004).

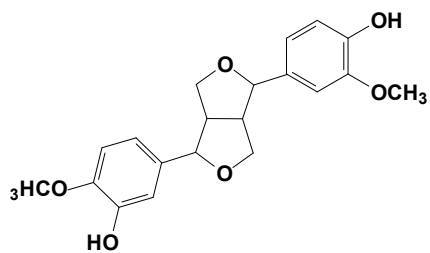
Tabela 24. Número de ocorrência das subclasses cumarínicas presentes em Moraceae.

| Gêneros | Subclasses Cumarínicas | | | | |
|---------------------|------------------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
| | Simples | Furocumarina linear | Furocumarina angular | Piranocumarina angular | Piranocumarina linear |
| <i>Artocarpus</i> | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Treculia</i> | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Antiaris</i> | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Maquira</i> | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Naucleopsis</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Brosimum</i> | 9 | 20 | 0 | 0 | 10 |
| <i>Dorstenia</i> | 7 | 89 | 11 | 1 | 0 |
| <i>Ficus</i> | 6 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Broussonetia</i> | 3 | 5 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Fatoua</i> | 11 | 6 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Morus</i> | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Streblus</i> | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |

7.1.6.2) Lignana

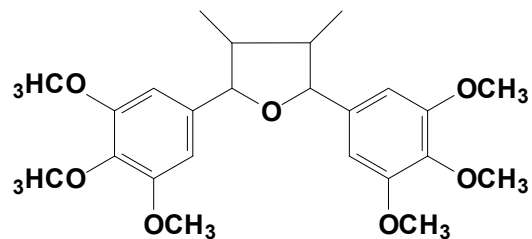
Entre os metabólitos oriundos da via derivada do ácido chiquímico, as lignanas representam a segunda categoria mais ocorrentes Moraceae, NO=87. No entanto, deve-se observar há ocorrência em poucos gêneros, apenas não há registro de ocorrência na tribo Dorstenieae. Contrapondo-se à baixa ocorrência, a diversificação estrutural é elevada, sendo relatados sete tipos estruturais com um predomínio na bioprodução de neolignanas, como pode ser visto na Figura 42.

A Tabela 25 mostra que a ocorrência de lignoides é limitada a poucos gêneros. Entretanto, vale destacar a elevada ocorrência de neolignanas para o gênero *Streblus*, pertencente à tribo Moreae, podendo ser considerado como um marcador químico para o gênero. Esse resultado vai de encontro as características filogenéticas (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004) e quimiosistemática das micromoléculas derivadas da via mista (SOUSA et al, 2016) dessemelhantes aos demais gêneros da tribo Moreae. A Tabela 25 agrupa, ainda, as frequências de ocorrência das subclasses lignânicas.



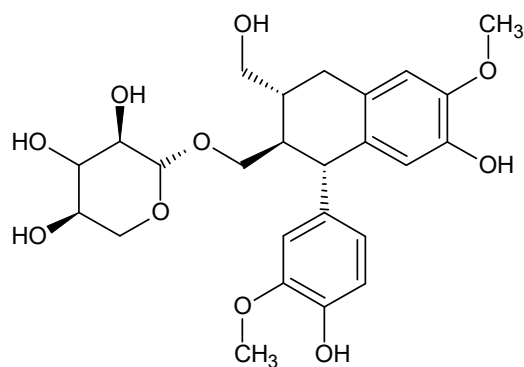
Furofurânica

Pinoresinol



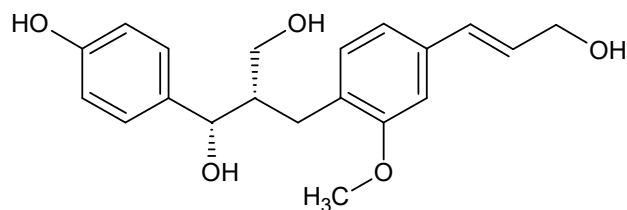
Furânica

Grandisima



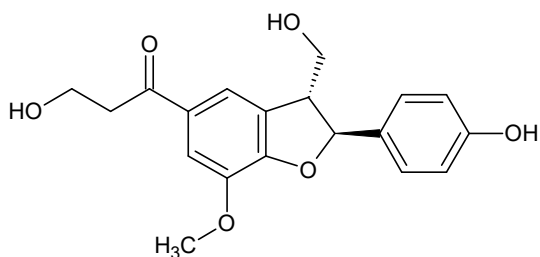
Ariltetralina

Schizandriside



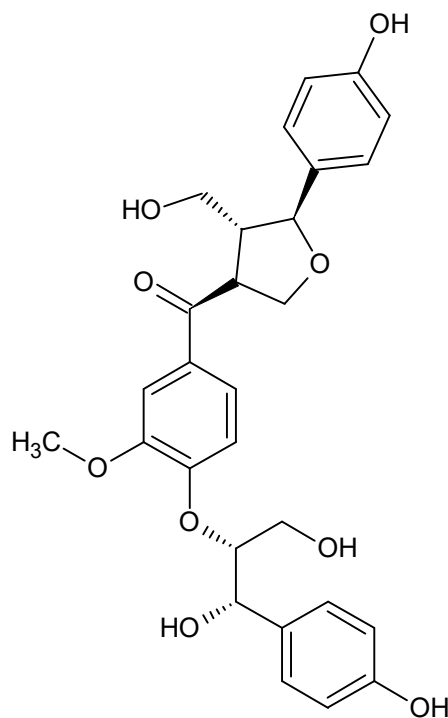
Oxineolignana

Chushizisin A



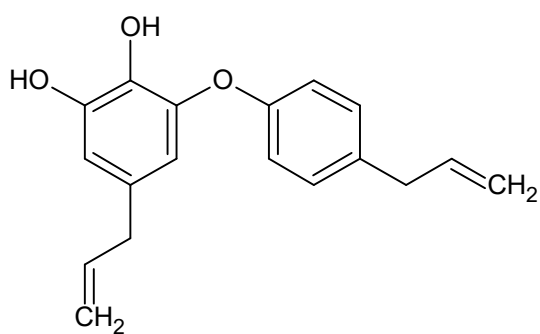
Neolignana

Chushizisina F



Heterolignana

Chushizisin H



Epoxineolignana

Obovatol

Figura 42. Esqueletos Estruturais lignânicos ocorrentes em Moraceae.

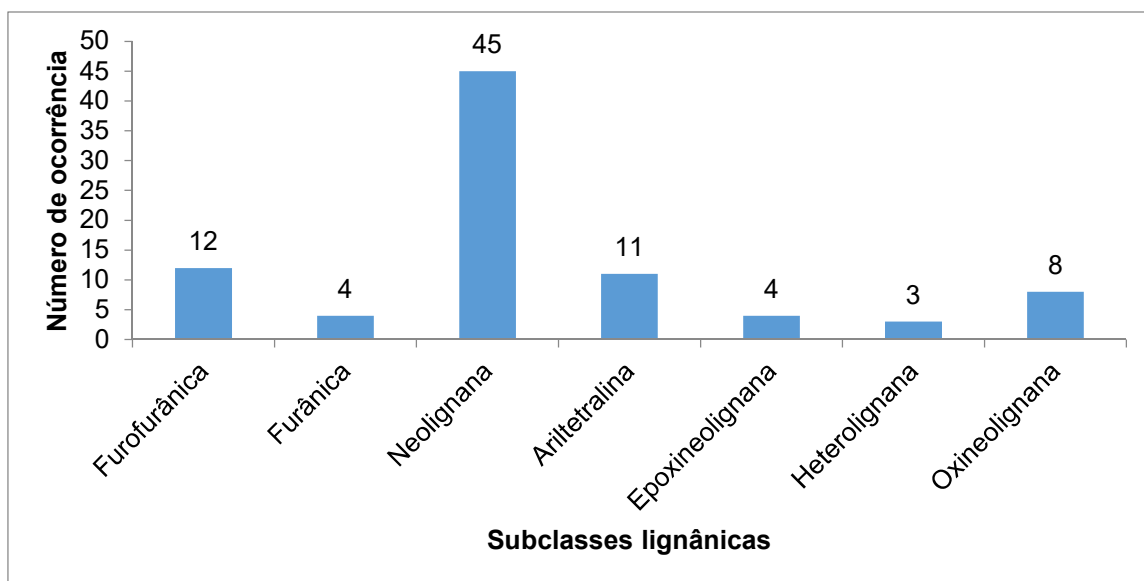


Figura 43. Número de ocorrência das subclasses Lignânicas ocorrentes em Moraceae.

Tabela 25. Número de ocorrência das subclasses lignânicas presentes em Moraceae.

| Gêneros | Subclasses Lignânicas | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|---|----|---|---|---|---|
| | Ff | F | N | A | E | H | O |
| <i>Artocarpus</i> | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Antiaris</i> | 1 | 3 | 6 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Broussonetia</i> | 8 | 1 | 3 | 0 | 0 | 3 | 6 |
| <i>Streblus</i> | 0 | 0 | 36 | 5 | 4 | 0 | 0 |

Identificação das Subcategorias: Ff: Furofurânica; F: Furânica; N: Neolignana; A: Ariltetralina; E: Epoxineolignana; H: Heterolignana; O: Oxineolignana.

7.1.6.3) Análise dos índices químicos moduladores das micromoléculas advindas da via do chiquimato

A análise das micromoléculas bioproduzidas pela via do chiquimato apontou gêneros com elevada preferência à proteção das hidroxilas (*Treculia*, *Antiaris*, *Maquira*, *Naucleopsis*, *Brosimum*, *Dorstenia*, *Ficus*, *Broussonetia*, *Fatoua*), bem como gêneros com maior propensão à desproteção de hidroxilas (*Artocarpus*, *Trilepisium*, *Morus*, *Sorocea* e *Streblus*). A Figura 44 refere-se à ilustração desse padrão modulador em Moraceae.

Ao conferir os valores dos índices obtidos para desproteção, defronte a cada parâmetro de prenilação, metilação, acilação e glicosilação, nota-se que cada um dos gêneros se comporta de forma particular.

Enquanto a proteção por O-Prenilação é predominante em *Maquira*, *Naucleopsis*, *Brosimum* e *Dorstenia*, a O-metilação é preferida em *Antiaris*, *Artocarpus*, *Broussonetia*, *Fatoua*, *Ficus*, *Morus*, *Streblus* e *Trilepisium*, ao passo que há uma modesta proteção por O-Glicosilação entre os gêneros *Antiaris*, *Artocarpus*, *Ficus*, *Broussonetia*, *Morus* e *Strebus*.

De modo geral, a análise dos parâmetros de avanço evolutivo demonstra que as substâncias oriundas da via do chiquimato, nos gêneros pertencentes à Moraceae, apresentam uma tendência geral à proteção, seja por prenilação ou metilação, enquanto as proteções por glicosilação são mais escassas.

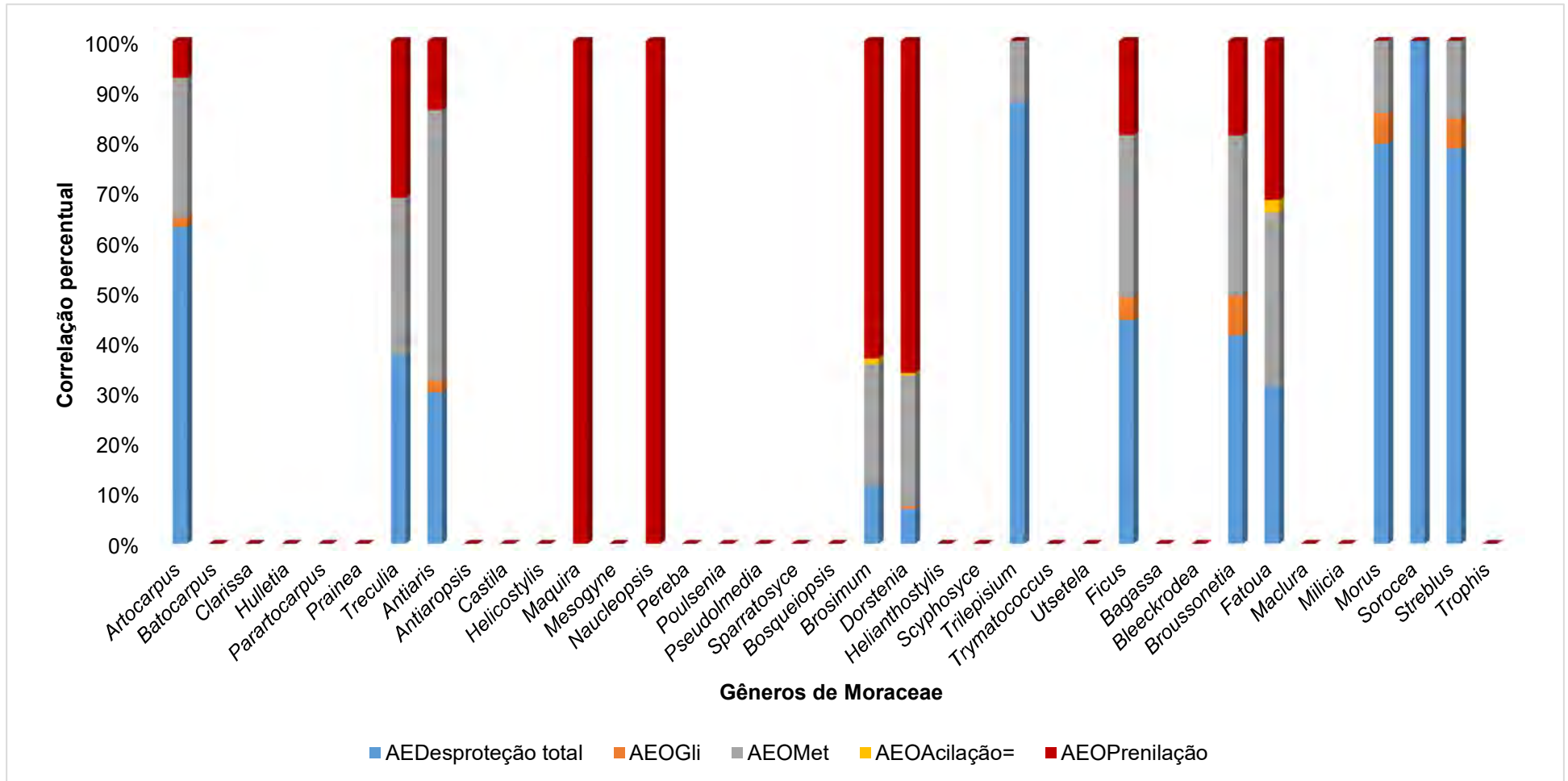


Figura 44. Relação entre os parâmetros de avanço evolutivo de proteção e desproteção na via do chiquimato, nos gêneros de Moraceae.

7.2) Análise do parâmetro de avanço evolutivo de especialização e oxidação da via mista, da via do acetato e da via do chiquimato

Com o desígnio de avaliar as substâncias produzidas pelas vias biogenéticas, em Moraceae, calculou-se aos índices químicos particulares. Para isto foi determinado o nível de oxidação (O) e o nível de especialização do esqueleto (E) de cada metabólito descrito entre os gêneros. A partir da estimativa particular a cada substância, foram determinados os parâmetros de avanço evolutivo de oxidação (AE_O) e especialização (AE_E) de cada gênero. Na Tabela 27 estão reunidos os valores obtidos para cada gênero, a partir de cada uma das vias. Com esses dados em mãos foi possível verificar se havia separação clara entre os gêneros.

A partir dos metabólitos estudados da via mista, foram obtidos os valores de AE_O versus AE_E e plotados na Figura 45 e conforme é demonstrado, não existe uma separação clara entre os gêneros. Os valores de oxidação e especialização são bastante próximos, e os valores obtidos para as suas médias não propiciam uma diferenciação significativa dos gêneros. Entretanto, nota-se uma moderada proximidade entre os gêneros *Morus*, *Soroceae*, *Maclura*, *Bagassa* e *Broussonetia*, pertencentes à tribo Moreae.

A apreciação dos parâmetros de AE_O e AE_E , obtidos dos metabólitos da via do Acetato-Mevalonato, ilustrados na Figura 46, não demonstram, do mesmo modo, uma distinção dos gêneros. Porém pôde-se perceber que estão na mesma imediação os gêneros *Streblus* e *Milicia*, pertencentes à Moreae, além de, *Naucleopsis* e *Antiaropsis*, da tribo Castilleae e, ainda, dos gêneros *Brosimum* e *Dorstenia*, da tribo Dorstenieae.

A análise dos parâmetros de AE_O e AE_E para as substâncias da via do chiquimato, Figura 47, mostra claramente que há uma gama de especialização diversa, que distancia os gêneros uns dos outros. Nessa conjuntura, apenas há proximidade entre *Soroceae*, *Streblus* e *Morus*, pertencentes à Moreae, e entre *Dorstenia* e *Brosimum*, ambos de Dorstenieae.

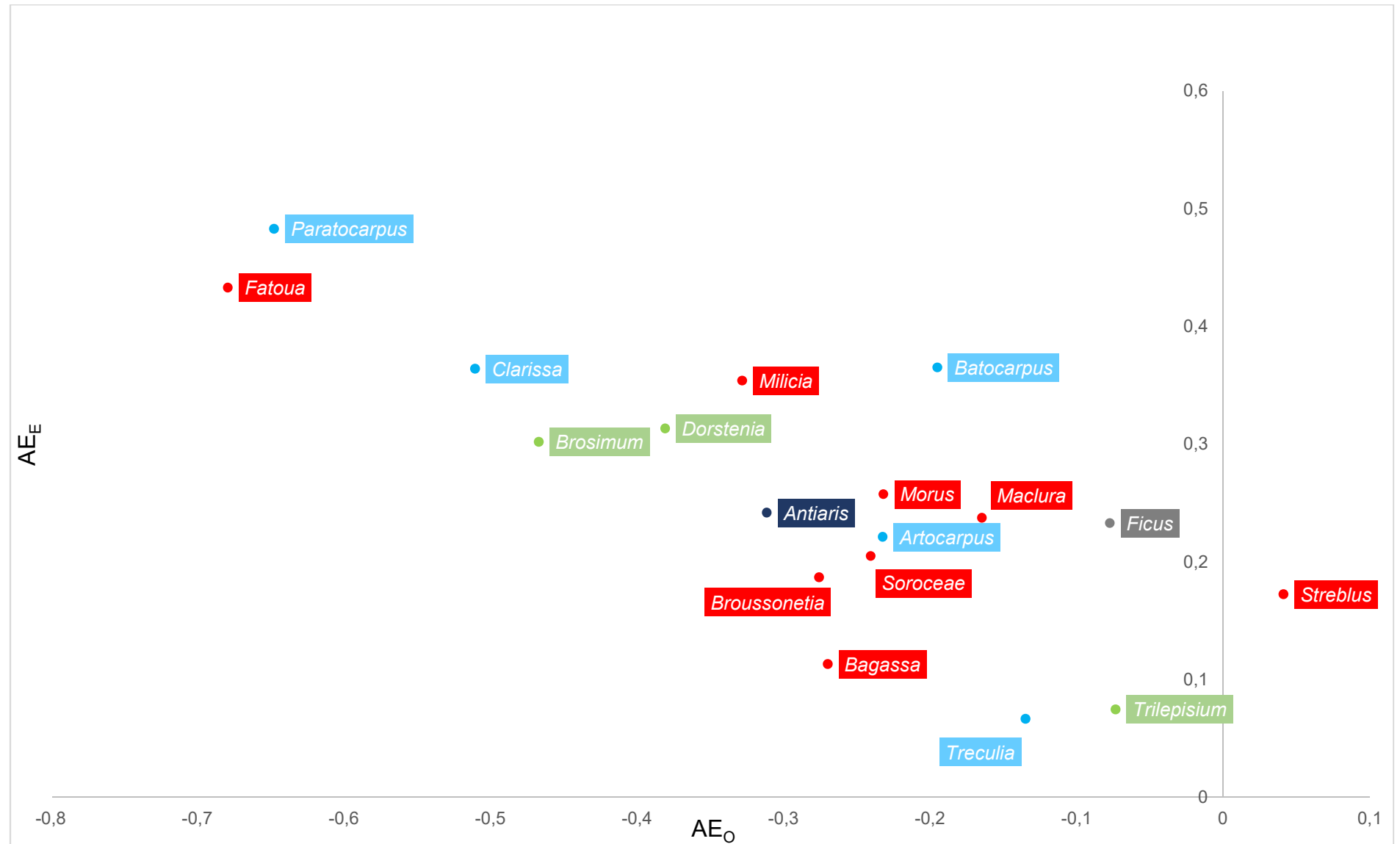


Figura 45. Correlação entre os parâmetros AE_E e AE_O dos gêneros, na perspectiva da via mista.

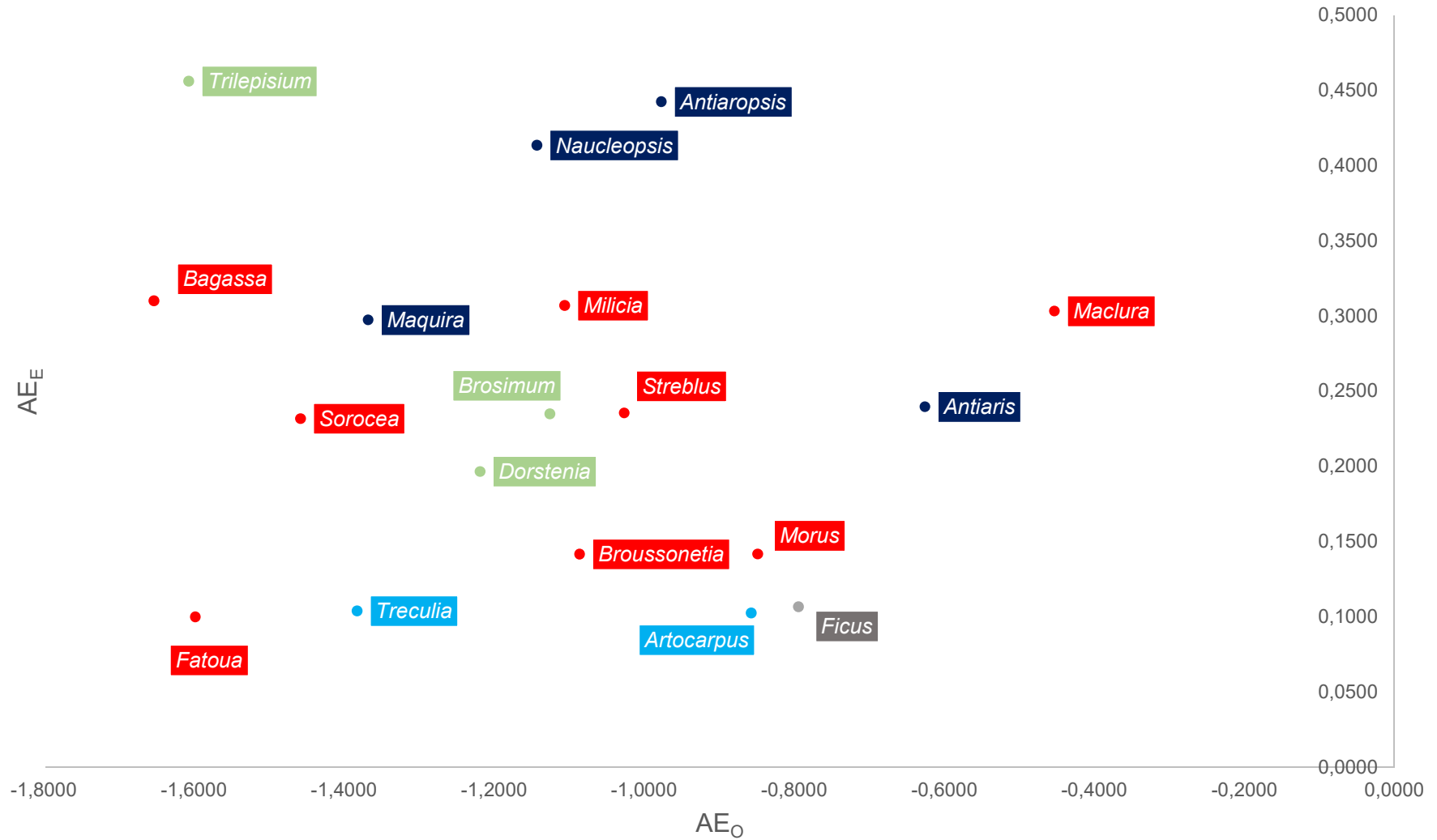


Figura 46. Correlação entre os parâmetros AE_E e AE_O , na perspectiva da via do ácido acético.

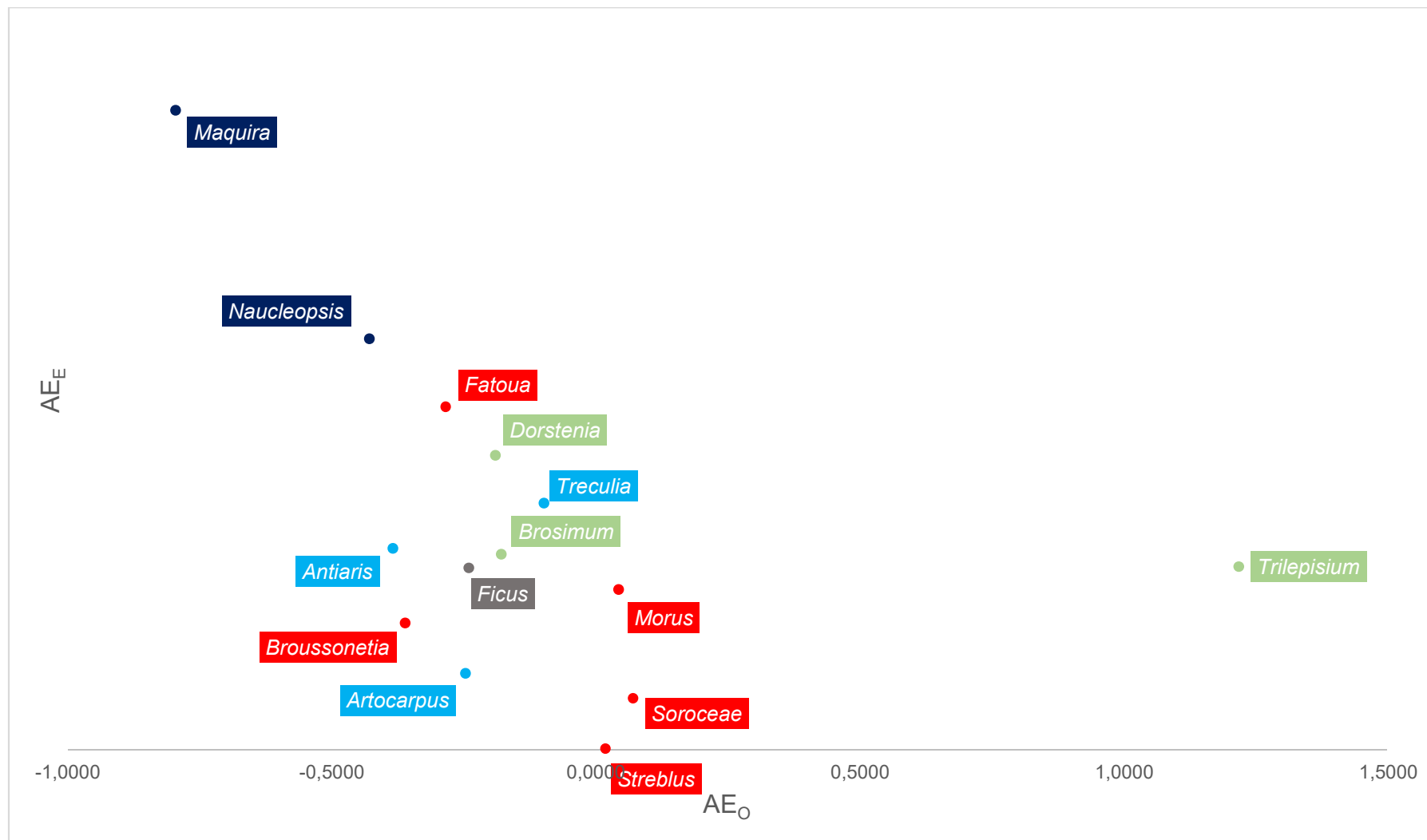


Figura 47. Correlação entre os parâmetros AE_E e AE_O , na perspectiva da via do ácido chiquímico.

7.3) Exploração quimiométrica dos dados quimiosistemáticos da família Moraceae.

7.3.1) Análise quimiométrica da via mista

A análise dos parâmetros quimiosistemáticos das micromoléculas advindas da via mista, consistiu em observar as similaridades, entre os gêneros, a partir da exploração quimiométrica, por meio da análise fatorial e da análise de agrupamento.

A análise fatorial dos gêneros de Moraceae atribuiu ao Fator 1 os parâmetros de O-Prenilação, O-Proteção total, Desproteção total, C-Prenilação, AE_O e AE_E . Enquanto, o fator 2 constituiu-se pela classificação de gênero e tribos, baseados em Dätwyler e Weiblen (2004) e, por fim, o fator 3 baseou-se nos parâmetros de O-Glicosilação e O-Metilação.

Assim, o diagrama bidimensional (Figura 48) demonstra a análise de fatores dos 37 gêneros de Moraceae, revelando que há uma suave dispersão entre os gêneros. Observa-se claramente que os gêneros para os quais não há NO de micromoléculas, desta via, estão sobrepostos entre -0,5 e -1,0. A análise do gráfico bidimensional (Figura 38) mostra que as variáveis do fator 1 provocam uma dispersão dos gêneros da Família Moraceae mantendo, contudo, próximos os representantes de cada tribo. Os dois grupos definidos com um círculo não apresentam dados de ocorrência de micromoléculas, sendo esta a principal razão de sua formação. Por isso, nenhum dos dois fatores impacta sobre o seu perfil de distribuição.

A tribo Moreae apresenta seus gêneros dispersos em função de particularidades atribuídas pelas variáveis do fator 1. Por isso, observa-se *Fatoua* e *Milicia* apresentando maior correlação entre si, devido às suas semelhanças quanto à proteção de hidroxilas exclusivamente por prenilação.

O gênero *Streblus* não mostra uma correlação com os outros gêneros devido ao alto índice de avanço evolutivo de oxidação, além do alto valor de proteção das hidroxilas fenólicas. Essas discrepâncias entre *Streblus* e os demais gêneros de Moreae não são surpreendentes, pois o gênero *Streblus* é um gênero que exhibe uma enorme variação na forma de crescimento, sistemas de acasalamento/criação, inflorescência e morfologia comparada à tribo onde

está inserida, além de ser parafilético (CLEMENT & WEIBLEN, 2009; CONN, 2015).

Nesse gráfico, ainda, é possível observar que o gênero *Ficus* (Ficeae) apresenta considerável afinidade com os gêneros da tribo Moreae, principalmente os gêneros que apresentam considerável proteção por glicosilação das hidroxilas fenólicas, excetuando-se *Sorocea* e *Milicia* e *Fatoua*.

Já o gênero *Antiaris* (Castilleae) está próximo do gênero *Artocarpus* (Artocarpeae) por mostrar uma similaridade nos parâmetros de avanço evolutivo de oxidação e especialização das estruturas. Além disso, deve se ressaltar que ambos os gêneros apresentam polinização por entomofilia, ou seja, mediada por insetos, que se alimentam de suas inflorescências estaminadas (ZEREGA et al, 2010).

A tribo “fruta-pão”, Artocarpeae, rica em heterogeneidades morfológicas e anatômicas, apresenta grande dispersão em seus gêneros devido às peculiaridades químicas de suas espécies. *Parartocarpus* e *Treculia* são mais divergentes e não possuem afinidades com os demais gêneros de Artocarpeae.

O gênero *Parartocarpus*, altamente rico em proteção por prenilação e, conseqüentemente, com índice de especialização elevado frente ao baixo índice de oxidação, apresenta características químicas distintas dos demais gêneros de Artocarpeae. Dessa forma, os dados quimiosistemáticos de *Parartocarpus* corroboram com a afirmação de Zerega et al, 2010, em que afirmam que este táxon possui *status* tribal.

Já o gênero *Treculia* se distingue de Artocarpeae por apresentar metabólitos derivados da via mista com hidroxilas desprotegidas e, ao mesmo tempo, escassas C-prenilações. Em estudo anterior, Zerega et al, 2010 já havia sugerido que esse táxon fosse transferido para Dorstenieae. E no presente trabalho quimiosistemático observa-se uma maior afinidade entre *Treculia* e *Trilepisium*, gênero pertencente à Dorstenieae.

Os dados quimiosistemáticos da tribo Dorstenieae ratificam a distância do gênero *Trilepisium* dos gêneros *Brosimum* e *Dorstenia*, já demonstrados pelos estudos filogenéticos (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004). *Dorstenia* e *Brosimum* são mais especializados e menos oxidados que *Trilepisium*. Isto se deve ao fato de possuírem maior número de hidroxilas protegidas, seja por

prenilação ou metilação, além de alto índice de C-Prenilação, enquanto *Trilepisium* distingue-se por ter mais hidroxilas desprotegidas e quando usa o mecanismo de proteção, o faz, exclusivamente, por metilação.

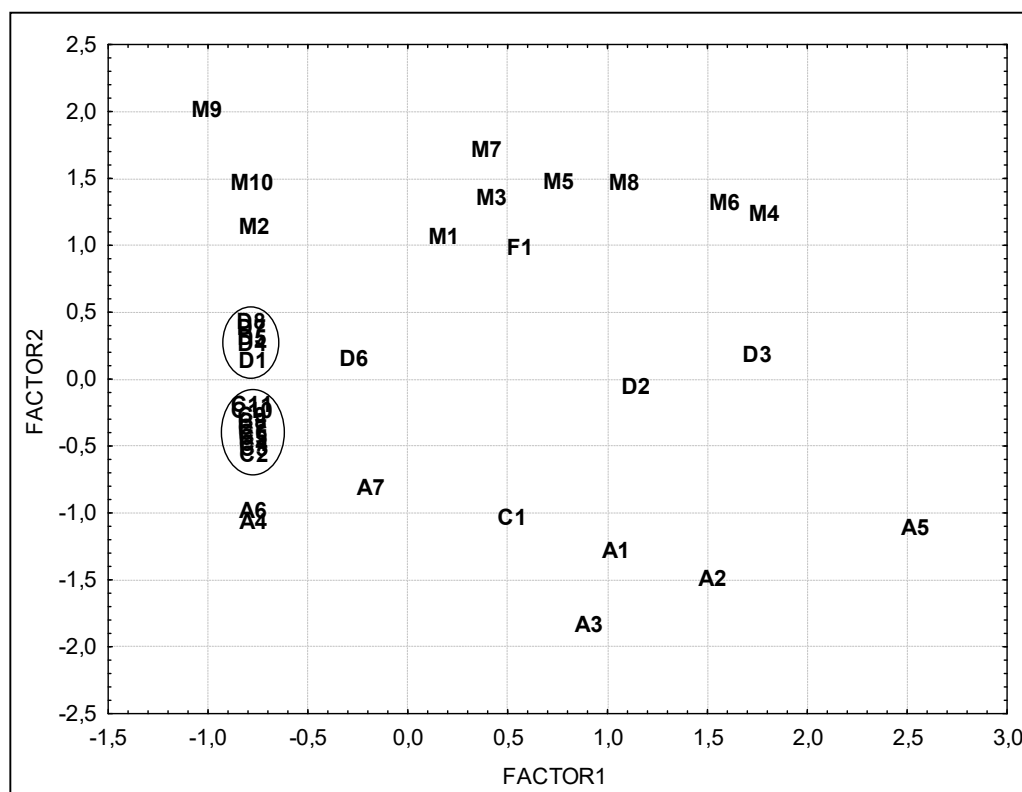


Figura 48. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 2) mostrando as inter-relações entre os 37 gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

Da mesma maneira, ao observar a distribuição dos gêneros por outra perspectiva, no diagrama bidimensional que confronta o Fator 2 e o Fator 3, Figura 49, observamos os gêneros ainda mais distribuídos.

Nesse ponto, vale ressaltar que *Streblus* se encontra bem distante dos demais gêneros da tribo Moreae, e isto pode ter relação com o fato de que este gênero possui alto índice de oxidação (AE_0), ao seu alto índice de proteção por metilação e glicosilação, comparado aos demais gêneros da tribo Moreae.

Legitimando a análise anterior e as análises filogenéticas (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004), esse táxon está distante dos seus pares.

O afastamento do gênero *Clarisia* dos demais gêneros da tribo Artocarpeae merece destaque, pois esse táxon apresenta alto índice de proteção por metilação, diferente dos demais gêneros de Artocarpeae que apresentam majoritária proteção por prenilação.

A partir dessa perspectiva, já se pode observar a diferença de Ficeae dos gêneros de Moreae. Enquanto em Moreae, de modo geral, há predomínio de proteção de Hidroxilas por prenilação, em Ficeae há preponderância de proteção por metilação e glicosilação. Logo, o que aproxima Ficeae de Moreae é a habilidade de ambas protegerem suas hidroxilas por glicosilação.

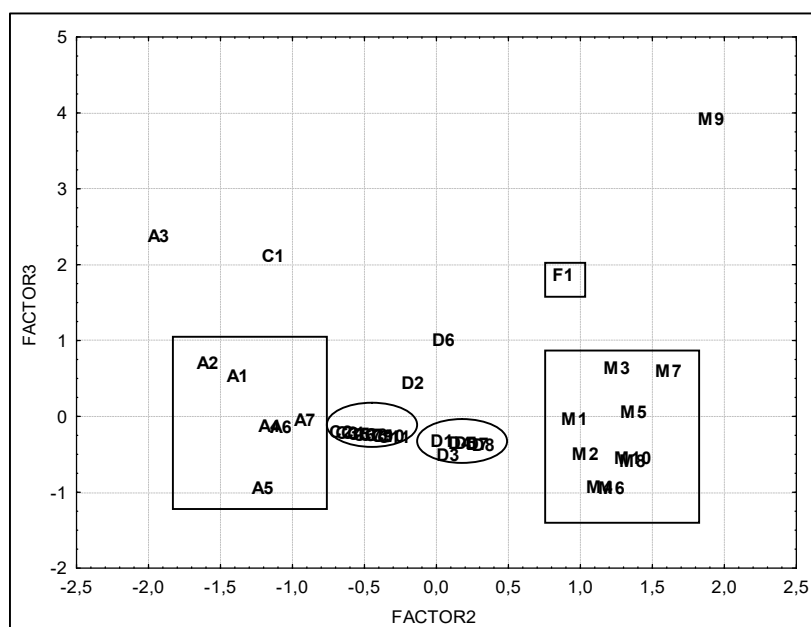


Figura 49. Diagrama bidimensional (Fator 2 x Fator 3) mostrando as inter-relações entre os 37 gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

Nesse sentido, prosseguiu-se para a análise de agrupamento, pelo método de Ward com a distância Euclidiana, conforme demonstrado abaixo na

Figura 50 É visível a diversidade presente em Moraceae, de forma que diversos *clusters* são formados, subdividindo até mesmo as tribos, ou seja, indicando presença de multiplicidade de características em cada uma delas.

Assim, observamos a formação de dois grandes *clusters* e cada um deles constituído de três subgrupos. O primeiro *cluster* é constituído da associação dos gêneros de Moreae à Ficeae e alguns gêneros de Dorstenieae. Já o segundo é fruto da associação dos gêneros das tribos Castilleae e Artocarpeae.

Surpreendentemente, os dados quimiosistemáticos das micromoléculas advindas da via mista separaram os gêneros em dois *clusters*, coincidindo com as singulares características florais e morfológicas, além dos sistemas de acasalamento que regem os gêneros de Moraceae e dos aspectos ecológicos e evolutivos que caracterizam esse táxon.

A afinidade quimiosistemática entre Artocarpeae e Castilleae está relacionada às peculiaridades químicas coincidentes entre suas espécies, que muito provavelmente são ocasionadas devido às características morfológicas que ambas as tribos sustentam, entre as quais se podem destacar o monoicismo e as inflorescências unissexuais (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004). Aliás, embora a tribo Castilleae seja entomofílica, devido às estruturas florais de Artocarpeae, são encontrados alguns gêneros polinizados por insetos, principalmente o gênero *Artocarpus*.

Já as espécies pertencentes à Moreae e Dorstenieae são estreitamente interligadas em virtude de serem anemófilas e, além disso, a arquitetura de suas inflorescências é globosa. Já a relação entre Ficeae e Dorstenieae se deve ao fato de ambas serem monoicas e apresentarem inflorescências bissexuais, somados a possuírem, dois estames por flor.

Finalmente, observa-se claramente que há grande relação entre os *clusters* formados, baseados em dados quimiosistemáticos, as suas morfologia externa e o *status* evolutivo. Em resumo, o cluster formado por Artocarpeae e Castilleae é caracterizado por gêneros em maioria Monoicos, com inflorescências unissexuais.

Ficeae e Moreae se relacionam devido à razão entre a bioprodução de flavona/flavonol de ambas serem próximas. Justamente por isso seus

representantes apresentam os indicadores do estágio intermediário da bioprodução de flavona/flavonóis, os flavonoides glicosilados, (GOTTLIEB, 1982; SOARES & KAPLAN; 2001) que até mesmo só ocorrem nessas duas tribos.

Já Ficeae e Dorstenieae são ambas monoicas e constituídas de inflorescências bissexuais, somadas à Moreae, que embora a grande maioria dos gêneros sejam dióicos, se alinha à Dorstenieae por ambas serem anemofílicas.

Ainda nessa análise, vale ressaltar que, embora não tenham coincidido as afinidades propostas a partir dos dados quimiosistemáticos com o cladograma filogenético (DÄTWYLER & WEIBLEN 2004), deve-se considerar os aspectos ecológicos e as condições evolutivas que, sobretudo, fomentam a produção das micromoléculas.

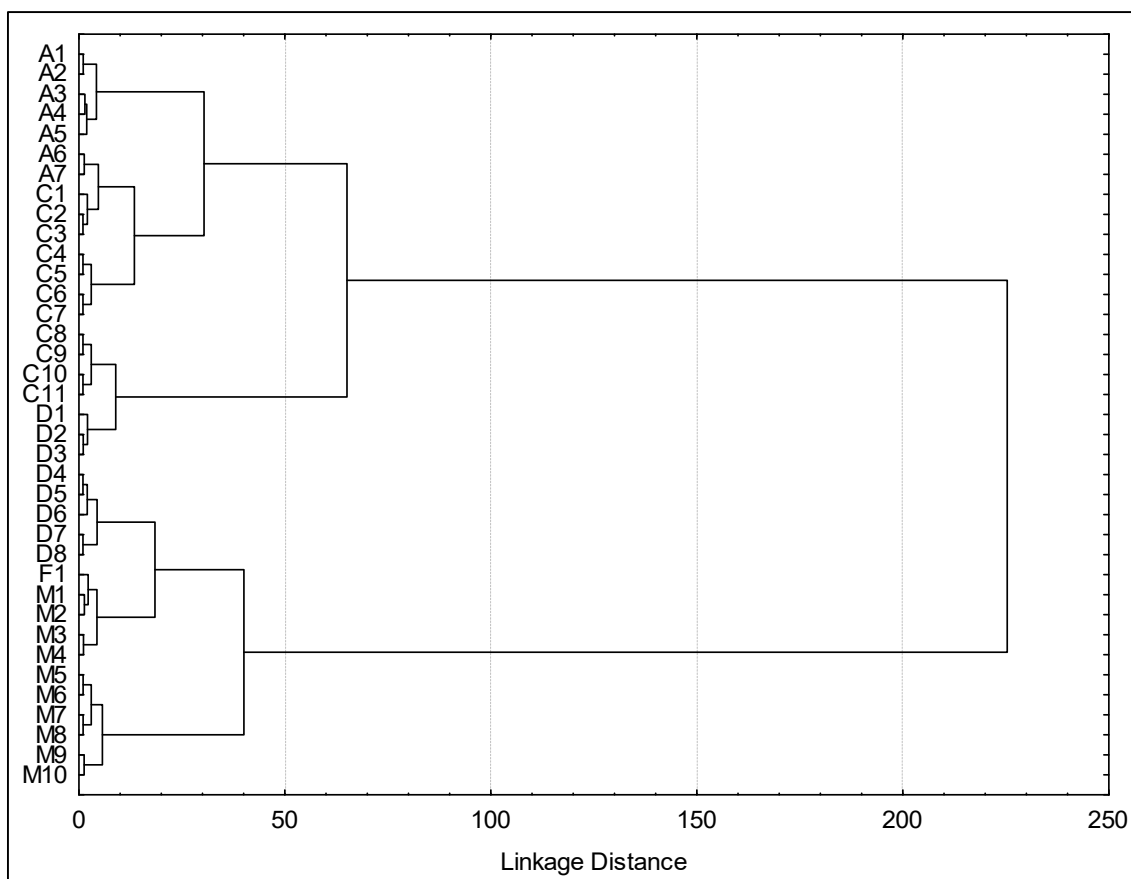


Figura 50. Dendrograma mostrando agrupamento dos 37 gêneros da Família Moraceae (Método de Ward-Distâncias Euclidianas).

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11:

Sparratosyce; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *BleECKrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

Após as análises preliminares, retiraram-se os gêneros para os quais não haviam sido encontrados registros de ocorrência de metabólitos na literatura. Dessa maneira, a análise fatorial foi constituída no Fator 1 (% 36,6066) pelos parâmetros de classificação de tribos, conforme Dätwyler e Weiblen (2004). O fator 2 (%22,9174) consiste nos parâmetros de O-Metilação e O-Prenilação. Enquanto o fator 3 (%16,9967) em O-Proteção total e Desproteção total.

De tal modo, o diagrama bidimensional, delineado na Figura 51, que confronta o fator 1 em contraste o fator 2, apresenta ainda uma grande separação dos gêneros e, à medida que se analisa os valores de proteção e desproteção, observamos que estes são determinantes nessa distribuição.

As afinidades estabelecidas entre os gêneros de Moreae estão intimamente relacionadas às prioridades quanto ao uso do mecanismo de proteção por O-metilação em oposição a O-prenilação que cada gênero utiliza, conforme pôde ser visto os detalhes no gráfico previamente exposto (Figura 18).

Em função das características de proteção de hidroxilas, é reafirmada a distância do gênero *Streblus* dos demais gêneros de Moreae, pois *Streblus* é o gênero que mais apresenta hidroxilas protegidas por metilação na tribo Moreae. No que se refere à proximidade entre *Sorocea* e *Milicia* se deve ao fato destes táxons apresentarem quase que exclusivamente proteção por prenilação. Já *Broussonetia*, *Maclura*, *Morus* e *Bagassa* estão espalhados, uma vez que cada um desses possui preponderâncias particulares de proteção de hidroxilas.

Conforme pode ser visto no dendrograma (Figura 51), a tribo monogenérica Ficeae se distancia de Moreae, por priorizar a proteção por metilação frente à Moreae em que há predomínio da proteção por prenilação.

O gráfico ainda evidência uma dispersão entre os gêneros de Artocarpeae, e, ao observar os valores atribuídos entre os parâmetros de

proteção, pode-se afirmar que isto está associado ao fato de cada um dos gêneros possuírem uma tendência específica a proteção. Na tribo Moreae também se observa que há diversidade de comportamento quanto à proteção entre os seus gêneros.

Nesse sentido, observa-se claramente o distanciamento de *Paratocarpus* dos gêneros da tribo a qual está alocada, Artocarpeae, reacendendo a discussão proposta por Zerega et al, 2010 que afirma que esse gênero está em um posicionamento filogenético conflituoso.

Já em Dorstenieae observa-se claramente a distância de *Trilepisium* dos gêneros *Dorstenia* e *Brosimum*, ambos próximos entre si. A posição de *Trilepisium* no gráfico pode estar associada à sua tendência maior à desproteção, sendo que quando há proteção estas ocorrem prioritariamente por metilação, diferentemente dos demais.

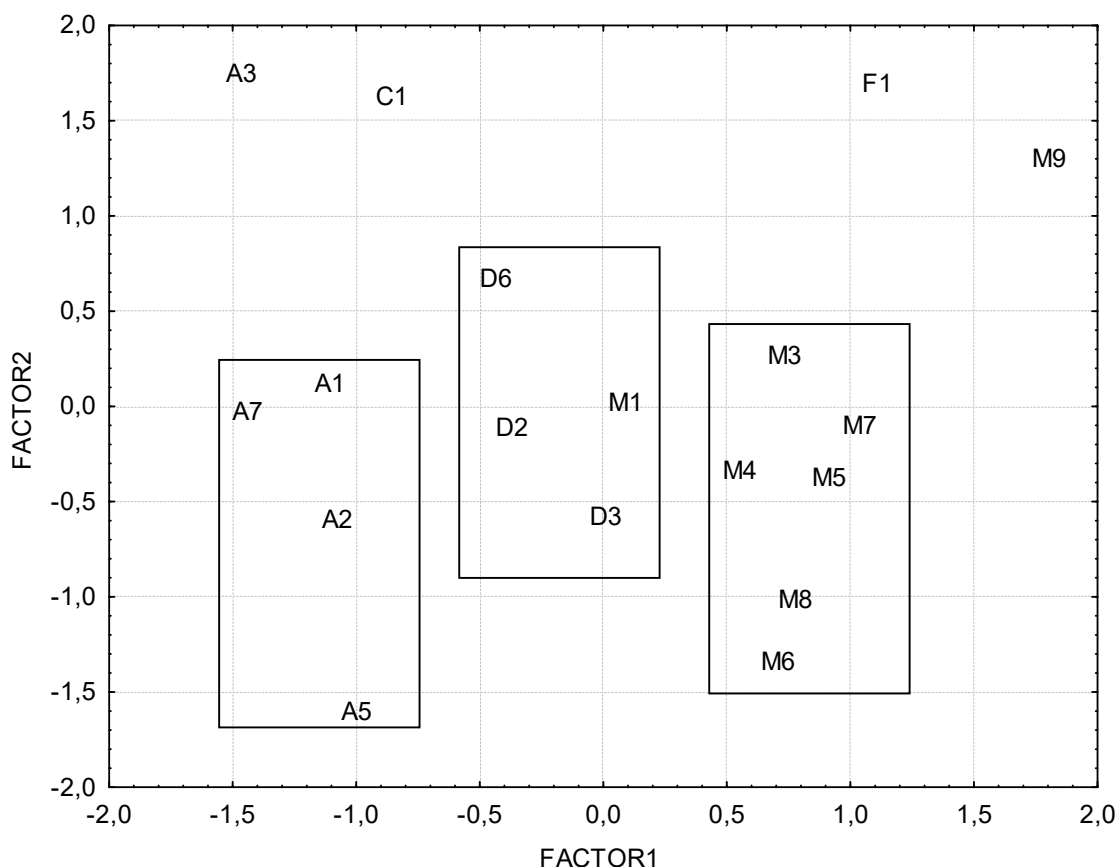


Figura 51. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 2) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Paratocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11:

Sparratosyce; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

A análise do gráfico bidimensional (Factor 1 x Factor 3), Figura 52, apresenta as dissimilaridades e similaridades dos gêneros principalmente em função da proteção versus desproteção das hidroxilas das micromoléculas.

Assim, é ratificado a posição distante de *Streblus* em relação a Tribo Moreae, uma vez que este gênero, conforme supramencionado, possui o maior índice de proteção de hidroxilas e conseqüentemente menor índice de desproteção.

Fatoua e *Bagassa* se apresentam distantes de Moreae em função de possuírem o menor índice de proteção de hidroxilas. Já *Sorocea* e *Milicia* possuem índices de proteção total e desproteção bastante similares entre si, por isso se sobrepõem. Bem como os gêneros *Maclura*, *Broussonetia* e *Morus* e, ainda, *Ficus*, pertencente à Ficeae.

Já *Antiaris*, pertencente à Castilleae, se associa a *Artocarpus* e *Clarisia*. Ambos gêneros possuem em comum proximidade entre os índices de desproteção. Além disso, é observado de modo geral uma grande dispersão entre os gêneros de Artocarpeae, pois cada gênero possui um comportamento específico quanto à proteção e desproteção. Dessa forma, além de *Treculia*, *Artocarpus*, *Clarisia*, *Batocarpus* e *Paratocarpus* estão distantes entre si.

No que diz respeito à Dorstenieae, *Trilepisium* por possuir índice de desproteção mais elevado é mantida o distante de *Dorstenia* e *Brosimum*, que, por sua vez, possuem índices de desproteção menor, ou seja, são mais protegidas que *Trilepisium*.

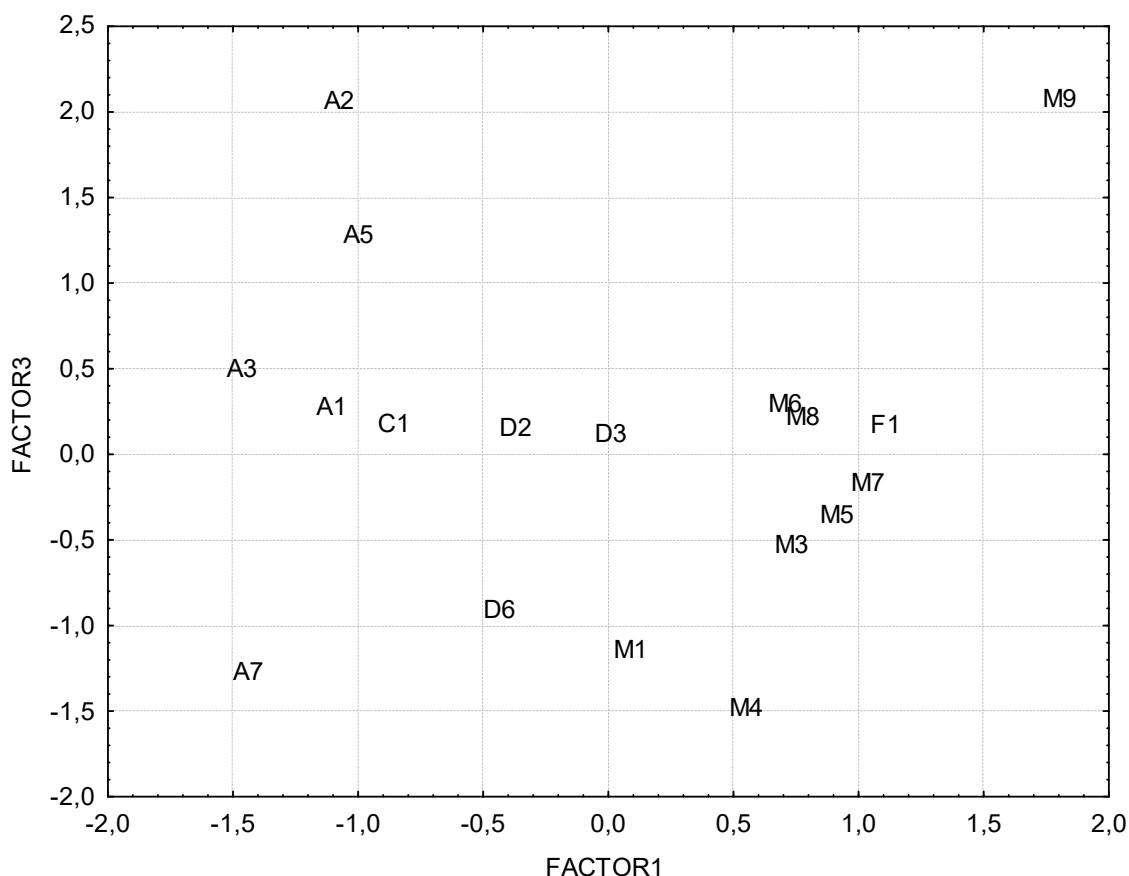


Figura 52. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 3) mostrando as inter-relações entre os 18 gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

Sob a luz do diagrama bidimensional (Figura 53) (Fator 1 x Fator 4) podemos verificar a separação entre os gêneros sendo regida pela especialização das micromoléculas, através dos índices de AE_E e C-Prenilação, e pelo avanço evolutivo de oxidação (AE_O).

Nesse sentido, observamos a ratificação quanto às diferenças entre os gêneros pertencentes à tribo Dorsteneieae no que diz respeito à especialização e ao carácter oxidativo. *Dorstenia* e *Brosimum* apresentam índice de especialização (AE_E e C-Prenilação) mais elevado do que o gênero *Trilepisium*.

Esta constatação não surpreende, haja visto que *Dorstenia* e *Brosimum* são ricos em proteção por prenilação. Por outro lado, *Trilepisium* possui índice de oxidação (AE_O) superior aos gêneros *Dorstenia* e *Brosimum*.

A tribo Moreae, por sua vez, apresenta uma aglomeração formada por *Milicia*, *Broussonetia*, *Morus*, *Sorocea* e *Maclura*, entre 0,5 e 1,0 no fator 1. Estes representantes de Moreae apresentam similitudes nos seus índices de AEO, AE_E e C-Prenilação. Os demais gêneros alocados em Moreae se encontram dispersos.

Bagassa está distante de Moreae, pois apresenta menor índice de especialização (AE_E) em consequência, até mesmo, de possuir entre os gêneros de Moreae o menor índice de C-Prenilação. Já o gênero *Fatoua* distancia-se de Moreae, pois possui características de especialização proeminentes, como elevados índices de especialização e C-Prenilação. *Streblus*, mantém-se afastada da tribo, pois possui alto índice de oxidação.

Ficeae, tribo monogênica, se encontra isolada por ser rico em C-Prenilação, além de possuir alto índice de oxidação comparada às demais tribos.

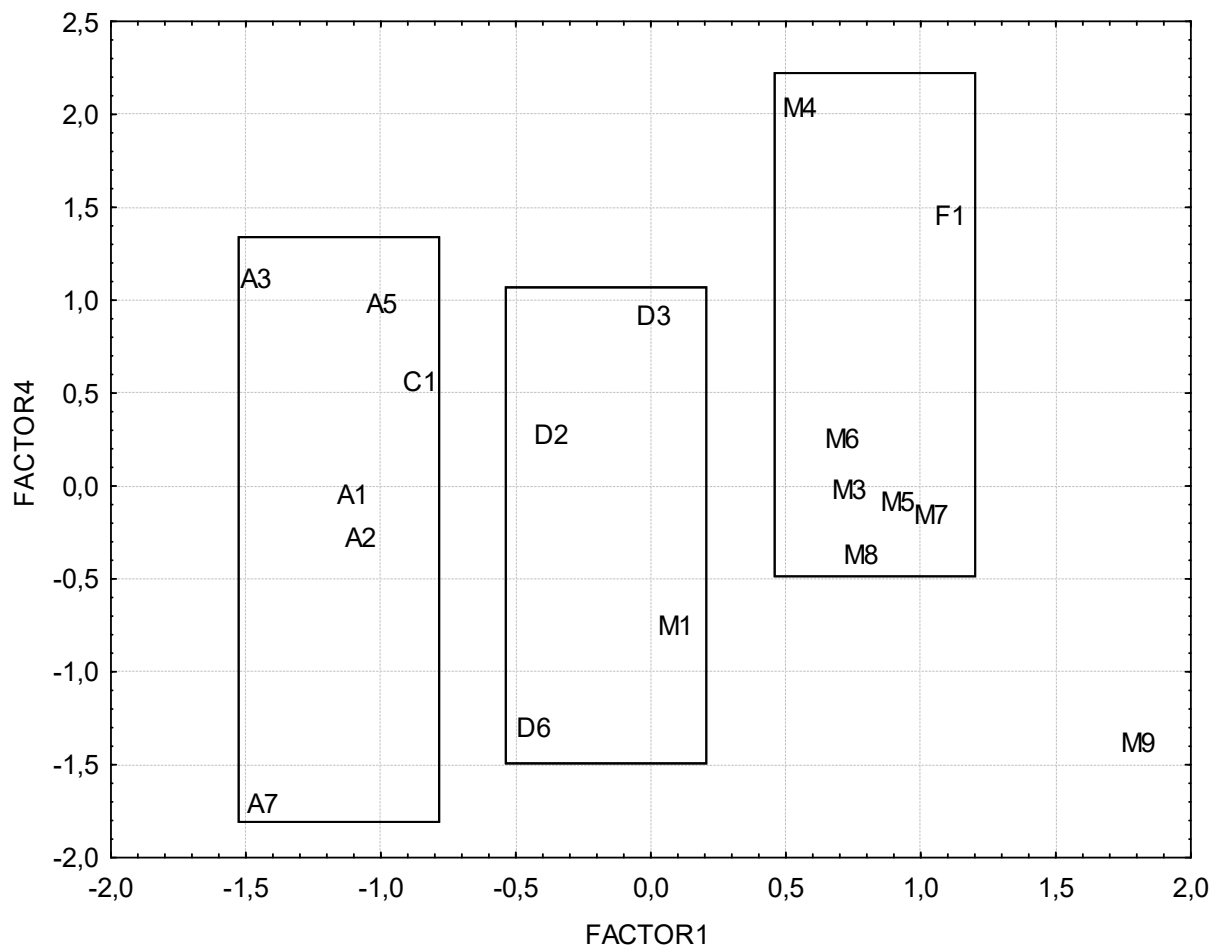


Figura 53. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 4) mostrando as inter-relações entre os 18 gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

O dendograma, contido na Figura 54, mostra a formação de dois grupos de *clusters* majoritários. O primeiro grupo é constituído da associação dos gêneros de Artocarpeae e Castilleae, enquanto o segundo grupo é composto dos gêneros das tribos Moreae, Ficeae e Dorstenieae. Conforme anteriormente foi discutido, a organização a partir dos caracteres químicos coincide com peculiaridades morfológicas e anatômicas de Moraceae.

Nesse sentido, embora haja discordâncias das associações pautadas pela filogenética, isoladamente, (DÄTWYLER & WEIBLEN 2004), os gêneros se organizaram no dendograma (Figura 54) em função de afinidades químicas. Ou seja, se afinam entre si, a partir de similitudes adquiridas na evolução molecular subsidiada por fatores bióticos e abióticos.

Por isso, através de uma cuidadosa análise das características morfológicas, anatômicas e evolutivas que constituem Artocarpeae e Castilleae pode-se compreender o primeiro *cluster* formado. O subgrupo formado pelos gêneros *Artocarpus*, *Batocarpus* e *Clarisia* possuem a mesma origem de divergência biogeográfica (ZEREGA et al, 2005). De encontro a isso, *Batocarpus* e *Clarisia* possuem glândulas amarelas nas inflorescências e o mesmo nível de especialização (AE_E), enquanto *Artocarpus* e *Batocarpus* possuem o mesmo nível de oxidação (AE_O). Ambos os gêneros sustentam características típicas de Artocarpeae, como um estame por flor, brácteas interflorais peltadas e filamento reto. Já *Treculia*, *Antiaris* e *Paratocarpus*, que constituem o segundo subcluster, além de serem Monóicas e unissexuais, possuem em comum a produção de chalconas.

O grupo formado pelas tribos Dorstenieae, Ficeae e Moreae é subdividido em três subgrupos devido às peculiaridades que as caracterizam. Moreae e Ficeae possuem afinidades por protegerem as hidroxilas das micromoléculas por glicosilação e, além disso, possuem o mesmo número basal cromossômico (SYTSMA et al, 2002). Já Dorstenieae e Moreae, justamente por serem anemofílicas são ricas em semelhanças morfológicas, entre elas brácteas interflorais peltadas, filamentos retos e inflorescência com arquitetura globosa, entre outras (CLEMENT & WEIBLEN, 2009; SYTSMA et al, 2002). Já Dorstenieae e Ficeae são Monóicas e bissexuais e possuem filamentos retos (CLEMENT & WEIBLEN, 2009).

Pontualmente, *Ficus* e *Bagassa* assemelham-se, unicamente, por apresentarem os menores índices de proteção por prenilação em Moraceae. Enquanto que *Broussonetia* e *Fatoua* são os gêneros pertencentes à Moreae que possuem afinidades filogenéticas com a tribo Dorstenieae (ZEREGA et al, 2005).

Já *Maclura* e *Milicia* são dióicas, possuem índice de O-proteção Total próximos, bem como o índice de C-Prenilação.

O subgrupo formado por *Morus*, *Streblus* e *Sorocea*, constituem os gêneros pertencentes à Moreae que se avizinham filogeneticamente de Artocarpeae.

Morus e *Sorocea* se associam em função por possuírem semelhantes índices de oxidação, C-Prenilação, O-Proteção total e, além disso, bioproduzem aductos de Diels Alder. Ambos os gêneros se associam a *Streblus*, pois possuem o mesmo nível de especialização (AE_E).

O *Cluster* formado por *Brosimum* e *Dorstenia* pode ser atribuído à proximidade entre seus índices de O-Proteção total. Já *Trilepisium* está distante de ambos, e isto se deve a esse gênero priorizar a metilação, enquanto aqueles preferem a prenilação. Deve-se ressaltar que a tribo Dorstenieae é mais próxima filogeneticamente de Moreae que das demais tribos, por isso, também, constitui um *cluster* junto a estes gêneros.

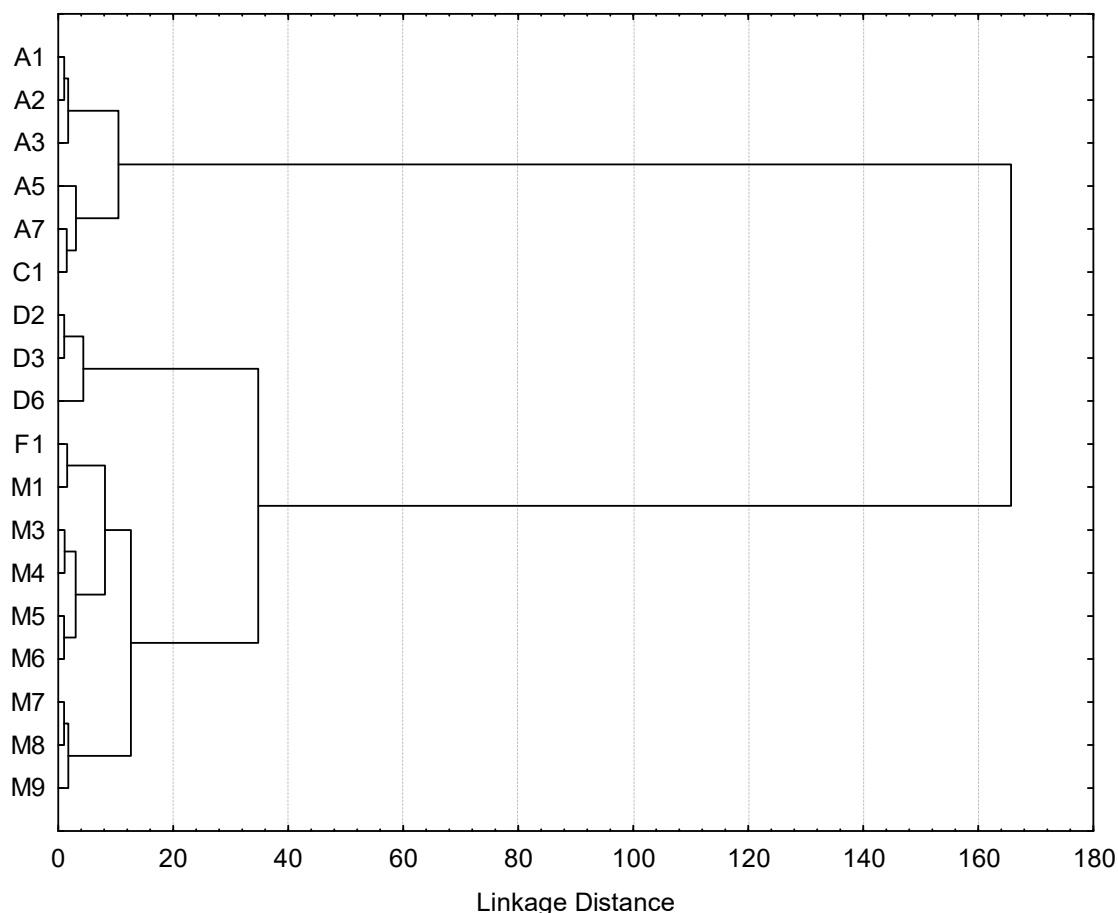


Figura 54. Dendrograma dos gêneros da família Moraceae (Método de Ward-Distâncias Euclidianas).

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

O agrupamento entre os gêneros *Broussonetia* e *Morus*, formando um *cluster*, pode ser atribuído por seus valores de desproteção de hidroxila se aproximarem. Embora *Broussonetia* e *Morus* agrupem com *Bagassa* por causa da comum ocorrência de Moracinas, no entanto, de modo mais distante, em função de suas características de proteção, em que há predomínio da O-Metilação. Do mesmo modo, o agrupamento de *Maclura* com esses três gêneros se deve à proximidade entre os valores do parâmetro de O-

Desproteção, no entanto de forma mais distante provavelmente em função de suas causas de proteção em que priorizam a proteção por prenilação.

A separação de *Streblus* e *Fatoua* em *clusters* individuais, embora agrupados aos demais gêneros de Moreae está relacionada, como já mencionado, às suas características peculiares no que tange à tendência de proteção de hidroxilas.

O agrupamento do gênero monofilético *Ficus* à Moreae está provavelmente associado à diversidade aos parâmetros de proteção uma vez que os gêneros de Moreae se assemelham a Ficeae nesse quesito por sustentarem a proteção de suas hidroxilas tanto por metilação, glicosilação e prenilação, na maioria de seus gêneros, em diferentes proporções.

Já o *cluster* formado por *Brosimum* e *Dorstenia* pode ser atribuído a seus valores de desproteção de hidroxilas. Já a distância de *Trilepisium* de ambos se deve a este possui proteção de hidroxilas prioritariamente por metilação. *Antiaris*, pertencente à Castilleae agrupa com *Brosimum*, *Dorstenia* e *Trilepisium* em função de ocorrer proximidade entre os seus parâmetros de proteção total de hidroxilas.

Os gêneros da tribo Artocarpeae são subdivididos em dois subgrupos. Um grupo se constitui por *Clarisia* e *Paratocarpus*, possivelmente em função de proximidade dos índices de proteção total. *Artocarpus* e *Batocarpus*, por sua vez, são agrupados juntos.

7.3.2) Análise quimiométrica da via do ácido acético

A apreciação dos parâmetros quimiosistemáticos das micromoléculas advindas da via do ácido acético, sob o ponto de vista da exploração quimiométrica, considerou no fator 1 as variáveis de classificação de tribos e gêneros e no fator 2 os avanços evolutivos de oxidação e especialização.

É importante mencionar, nesse ponto, que a análise individual dos parâmetros de AE_O e AE_E , conforme ilustrado na Figura 55, não são suficientes para a classificação (ou distribuição) entre gêneros e tribos.

A partir da perspectiva quimiométrica, o gráfico bidimensional (Figura 55), demonstra a análise de fatores dos 37 gêneros de Moraceae revelando uma clara separação entre os gêneros pertencentes às mesmas tribos. Além

disso, observa-se, claramente, que os gêneros para os quais não há número de ocorrência de micromoléculas, desta via, estão sobrepostos entre 0 e 1,0.

Ressalta-se o gênero *Trilepisium* por manter-se distante dos demais gêneros da tribo Dorstenieae. Semelhante ao que ocorre com os dados quimiosistemáticos da via mista (SOUSA et al, 2016), *Antiaris*, pertencente à Castilleae, se agrupa com *Treculia* e *Artocarpus*, ambas alocadas em Artocarpeae. Além disso, os demais gêneros de Castilleae, *Antiaropsis*, *Naucleopsis* e *Maquira*, se agrupam em um mesmo grupo.

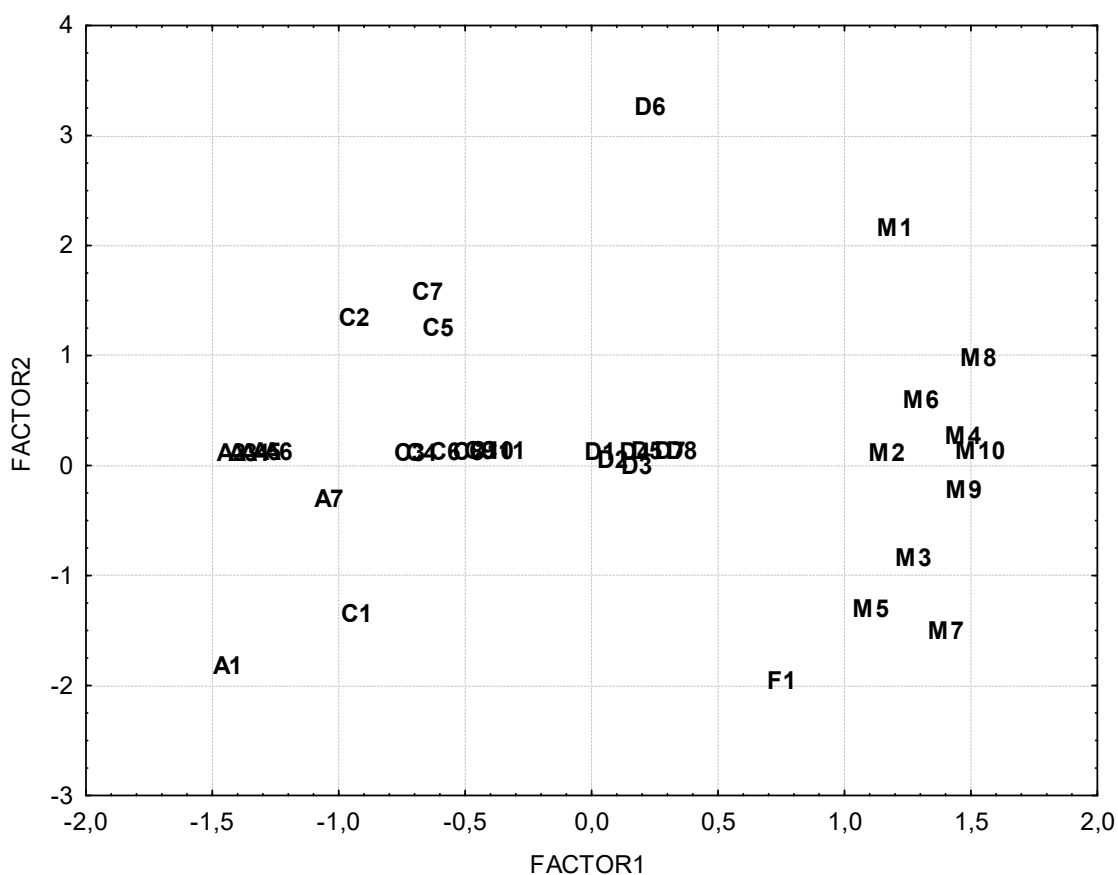


Figura 55. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 2) mostrando as inter-relações entre os 37 gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

Nesse sentido, avançou-se em direção a análise de agrupamento, pelo método de Ward, conforme demonstrado no dendograma da Figura 56. É visível que não ocorrem agrupamentos muito concisos, com diversos gêneros em *clusters* isolados. Dessa forma, prosseguiu-se a análise fatorial com a retirada de gêneros que não possuíam registro de ocorrência de micromoléculas da via do ácido acético.

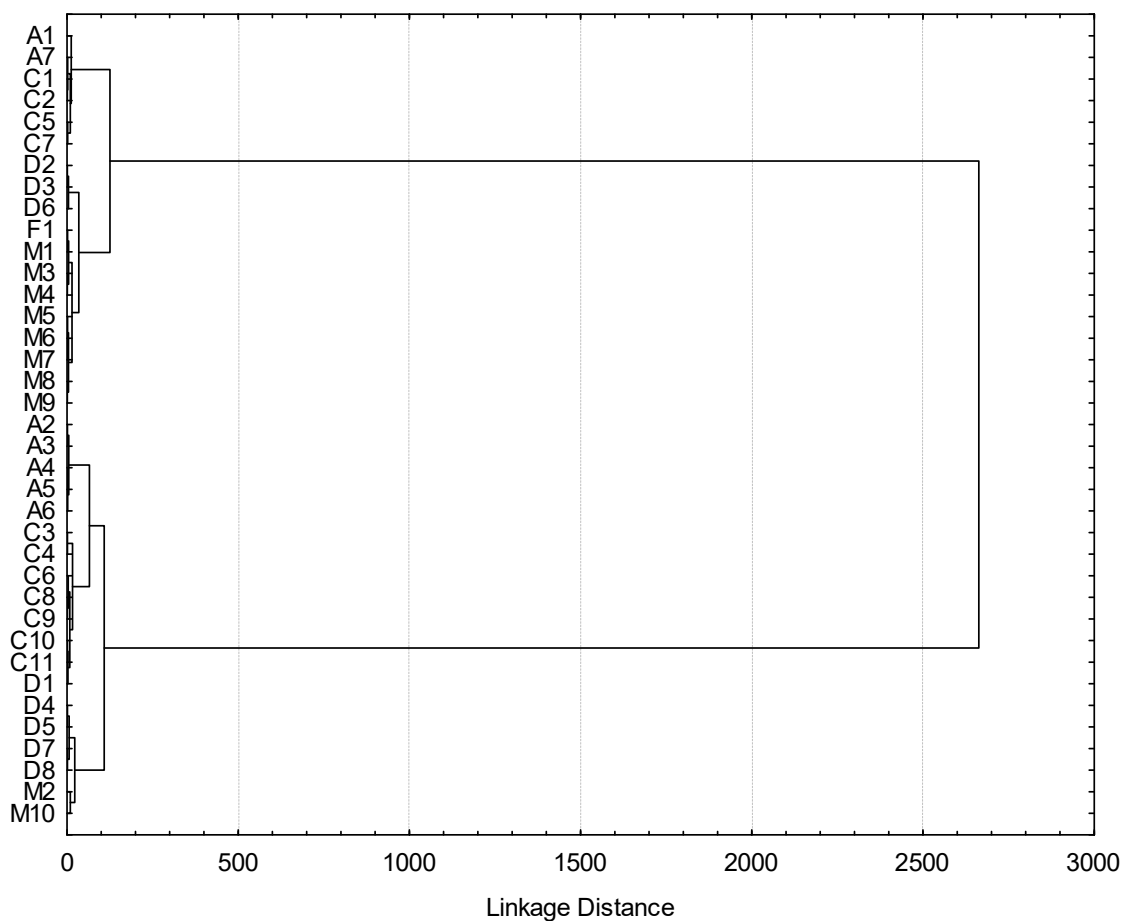


Figura 56. Dendograma mostrando agrupamento dos gêneros da Família Moraceae (Método de Ward-Distâncias Euclidianas).

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

Após a retirada dos gêneros com ausência de metabólitos derivados do ácido acético, prosseguiu-se a análise e, assim, obteve-se o diagrama bidimensional apresentado na Figura 57, que apresenta uma dispersão entre os gêneros. Os dados de avanço evolutivo de especialização (AE_E) e oxidação (AE_O) não são suficientes para separar com clareza os gêneros, pelos parâmetros das micromoléculas da via do acetato. Considerando que os valores de oxidação e especialização são bastante próximos, e os valores obtidos para as suas médias não propiciam uma diferenciação significativa dos gêneros.

De modo particular, é importante ressaltar a dispersão dos gêneros da tribo Moreae, que se devem ao fator 2, constituído de AE_E e AE_O , provavelmente em função da alta diversidade de tipos de especialização frente à baixa oxidação das micromoléculas bioproduzidas. São formados três grupos, no primeiro há o isolamento de *Bagassa*, no segundo *Sorocea*, *Fatoua*, *Streblus* e *Milicia* se agrupam e, por fim, estão próximos *Maclura*, *Morus*, *Broussonetia*.

O gráfico evidencia a diferença do gênero *Trilepisiium* dos gêneros *Dorstenia* e *Brosimum*, que corroboram com a diferença dos parâmetros de AE_O e AE_E , em que *Trilepisiium* é mais especializado e menos oxidado que os demais gêneros. Outro destaque importante é à distância de *Antiaris* dos demais gêneros de Castilleae, provavelmente em função de possuir características distintas nessa tribo quanto à oxidação e especialização. Castilleae ainda apresenta a reunião dos gêneros *Antiaropsis*, *Naucleopsis* e *Maquira*.

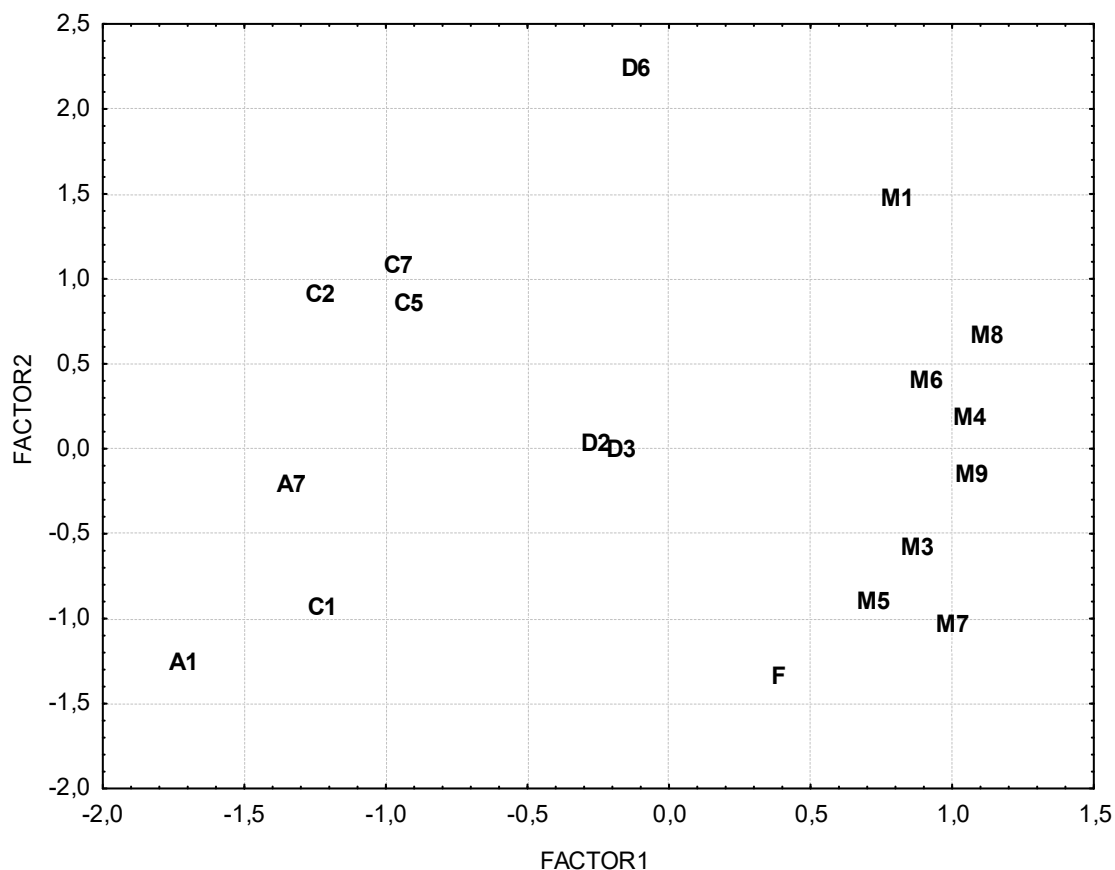


Figura 57. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 2) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

A análise de similaridade contida no diagrama da Figura 46 mostra a formação de dois grupos principais. O primeiro, constituído do agrupamento dos gêneros da tribo Moreae com a tribo monofilética Ficeae e desse subgrupo com os gêneros da tribo Dorstenieae. O segundo grupo é constituído dos gêneros da tribo Castilleae e os gêneros da tribo Artocarpeae.

O diagrama (Figura 58) apresenta o *cluster* formado por *Sorocea* e *Streblus* que pode estar associado face à proximidade entre seus valores de

avanço evolutivo de especialização. É importante ressaltar, também, que esses táxons possuem a mesma origem biogeográfica (ZEREGA et al, 2005).

Além disso, há agrupamento entre *Milicia* e *Morus*, e esses estão um pouco distantes da *Maclura*. É oportuno lembrar que estes gêneros são dioicos e anemofílicos. Reunidos, esses gêneros formam um dos subgrupos em Moreae, enquanto o outro subgrupo é formado por *Broussonetia* e *Fatoua* que estão agrupados junto ao *cluster* formado por *Ficus* e *Bagassa*.

A tribo Dorsteneiae, por sua vez, exhibe os gêneros *Brosimum* e *Dorstenia* agrupados em um *cluster* separadamente do gênero *Trilepisium*. Isto se deve às discrepâncias dos índices de avanço evolutivo de oxidação e especialização de *Trilepisium* ($AE_{O \text{ Trilepisium}}: -1,6087$, $AE_{E \text{ Trilepisium}}: 0,4565$) em relação à *Dorstenia* ($AE_{O \text{ Dorstenia}}: -1,2201$, $AE_{E \text{ Dorstenia}}: 0,1967$) e *Brosimum* ($AE_{O \text{ Brosimum}}: -1,127$, $AE_{E \text{ Brosimum}}: 0,2351$).

Os dados quimiosistemáticos sustentam as incertezas já apontadas sobre o posicionamento filogenético de *Trilepisium* (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004) conforme supramencionado. É necessário destacar, ainda, que os gêneros pertencentes à Dorsteneiae estão associados às Tribos Ficeae e Moreae, de um modo geral no diagrama.

Maquira e *Naucleopsis*, pertencentes à Castilleae, se agrupam em um *cluster*, enquanto *Antiaropsis* e *Antiaris* se associam em outro agrupando, ainda, com *Treculia* e *Artocarpus*, ambos pertencentes à Artocarpeae. Destaca-se, nesse ponto, que ambos os gêneros são entomófilos, ou seja, a polinização é realizada com auxílio dos insetos.

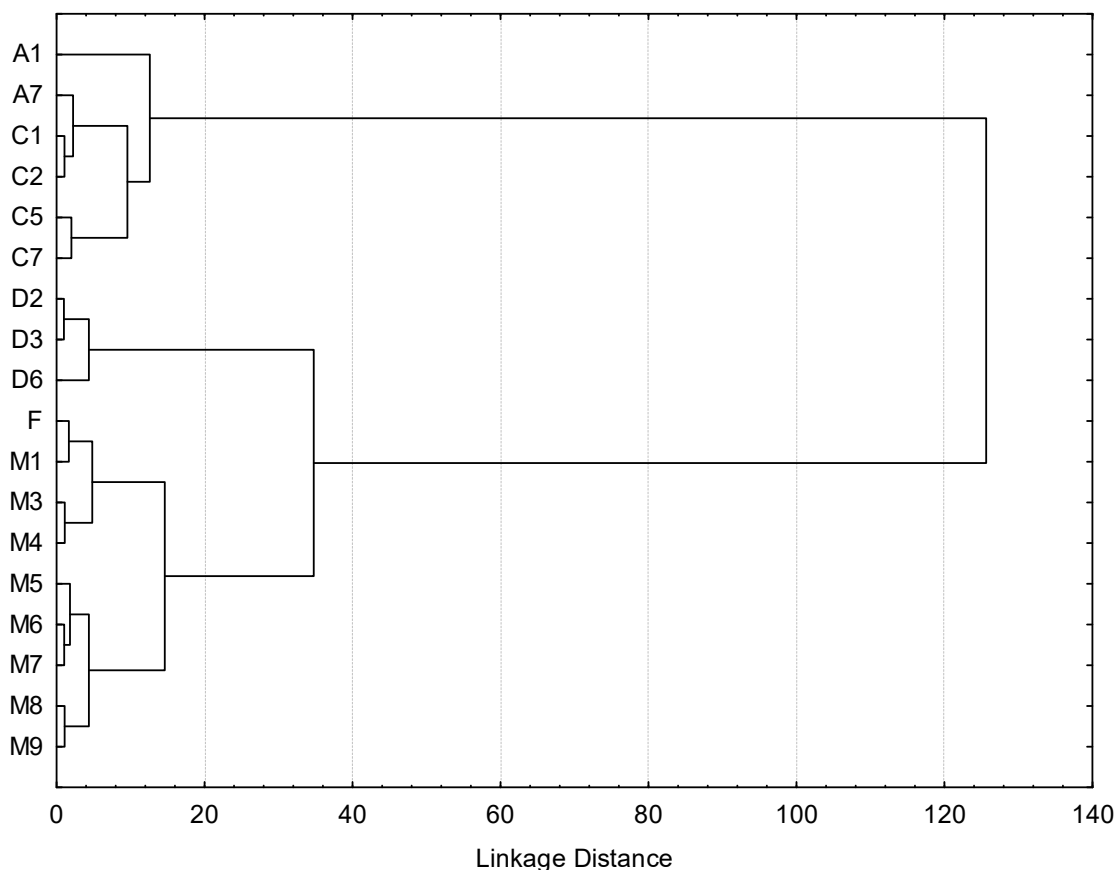


Figura 58. Dendrograma mostrando agrupamento dos gêneros da Família Moraceae (Método de Ward-Distâncias Euclidianas).

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

7.3.3) Análise quimiométrica da via do chiquimato

Embora em Moraceae haja um menor número de micromoléculas vindas da rota do chiquimato do que das demais vias, os seus parâmetros quimiosistemáticos foram aplicados à quimiometria.

A análise fatorial foi baseada em três fatores, no Fator 1 que contém os índices de O-Prenilação, O-Proteção total, C-Prenilação e AE_E ; no Fator 2 que abrange a classificação de tribos e gêneros e no Fator 3 que engloba os índices de O-Glicosilação, O-Metilação e Desproteção total.

Assim, o diagrama bidimensional demonstra a análise fatorial dos 37 gêneros de Moraceae, a qual aponta que há uma dispersão entre eles. No entanto, observa-se claramente que os táxons para os quais não há NO de micromoléculas, desta via, estão sobrepostos próximos à -0,5 no fator 1 (Figura 59).

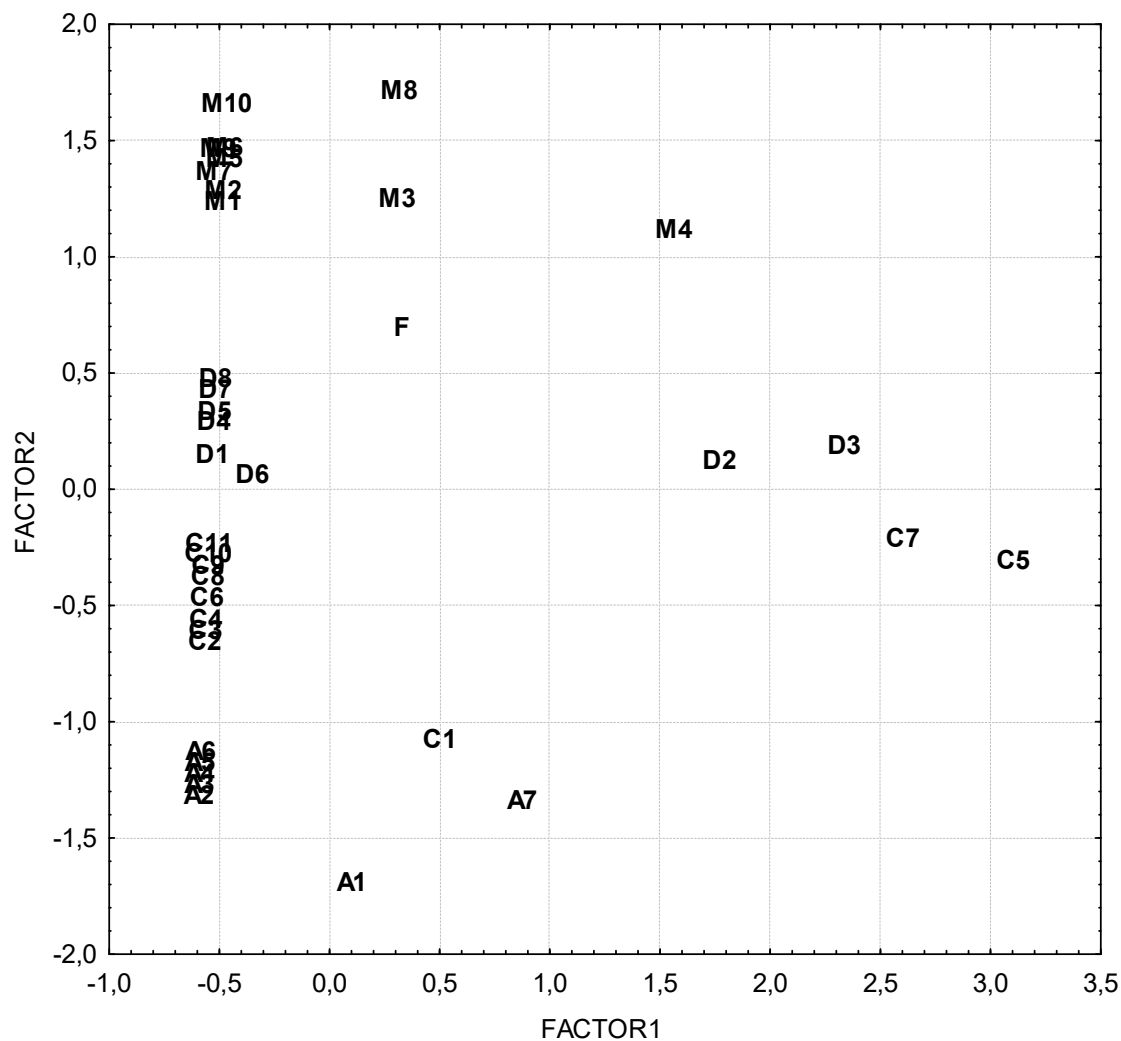


Figura 59. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 2) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

Assim sendo, foi conduzida a análise de agrupamento, pelo método de Ward, conforme observado na Figura 60. É visível a diversidade biológica, morfológica, floral e botânica dos gêneros que compõem a família Moraceae, de forma que diversos *clusters* são formados, subdividindo até mesmo as tribos, ou seja, indicando presença de multiplicidade de características em cada uma delas.

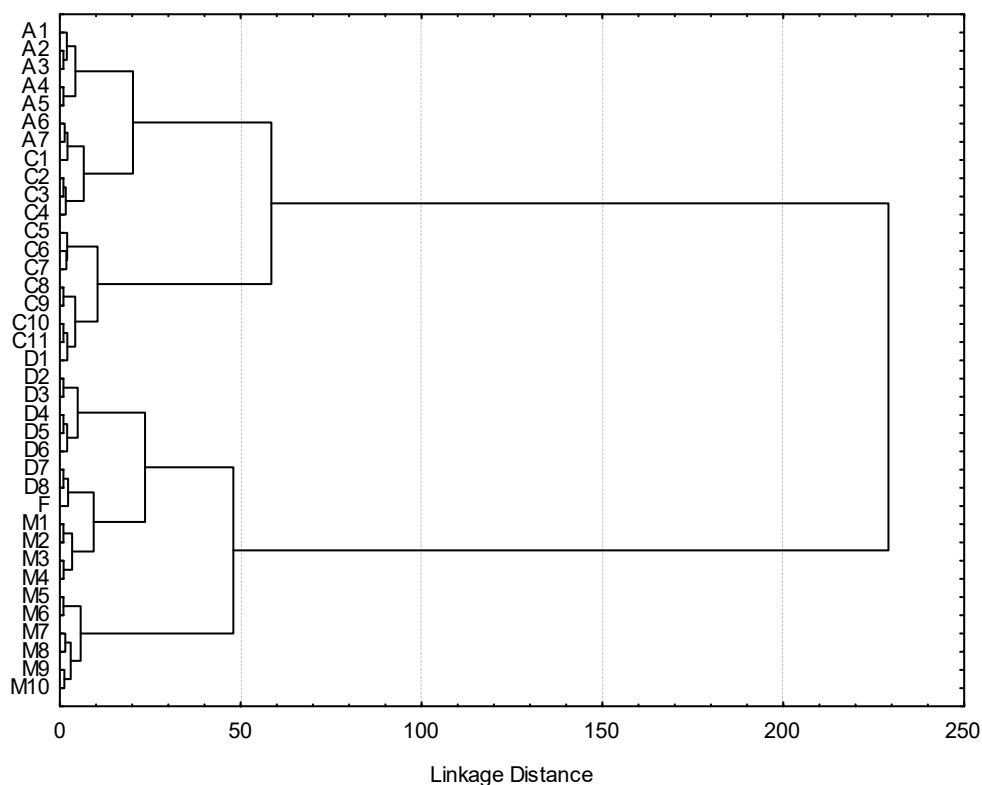


Figura 60. Dendrograma mostrando agrupamento dos gêneros da Família Moraceae (Método de Ward-Distâncias Euclidianas).

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparatosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

Depois das análises prévias, foram retirados os gêneros em que, na literatura, não exibiram ocorrência de metabólitos da via do chiquimato. Em seguida, procedeu-se a análise fatorial que foi composta pelo Fator 1 com os

parâmetros de O-Prenilação, O-Proteção total, Desproteção total, C-Prenilação; pelo Fator 2 que agrega a classificação de tribos e gêneros e pelo Fator 3 que contém o índice de O-Metilação. A análise resultou no diagrama bidimensional, onde mostra uma dispersão entre os gêneros (Figura 61).

É importante destacar que os parâmetros do fator 1 são determinantes na separação dos gêneros pertencentes à tribo Moreae. Notadamente, observa-se que *Streblus* e *Morus* estão agrupadas. Além disso, *Ficus*, pertencente à tribo Ficeae, se acopla à *Broussonetia*. Em ambos os casos observa-se que o acoplamento ocorre em função de suas características de proteção entre si. Há ainda proximidade entre *Sorocea* e *Fatoua*.

A tribo Castilleae, por sua vez, apresenta seus gêneros divididos em dois grupos. O primeiro é formado por *Maquira* e *Naucleopsis*, estes gêneros apresentam cumarinas com hidroxilas preniladas. Já *Antiaris* está associado aos gêneros *Artocarpus* e *Treculia*, pertencentes à Artocarpeae devido a apresentar similitudes quanto à proteção das hidroxilas e índices de especialização e oxidação.

Quanto à tribo Dorstenieae há claramente uma distinção do gênero *Trilepisium* dos gêneros *Dorstenia* e *Brosimum*. A distância entre esses grupos, nesse caso específico, está associada às suas características inversas de proteção. Enquanto *Brosimum* e *Dorstenia* não possuem hidroxilas fenólicas altamente protegidas, *Trilepisium* apresenta hidroxilas bastante desprotegidas.

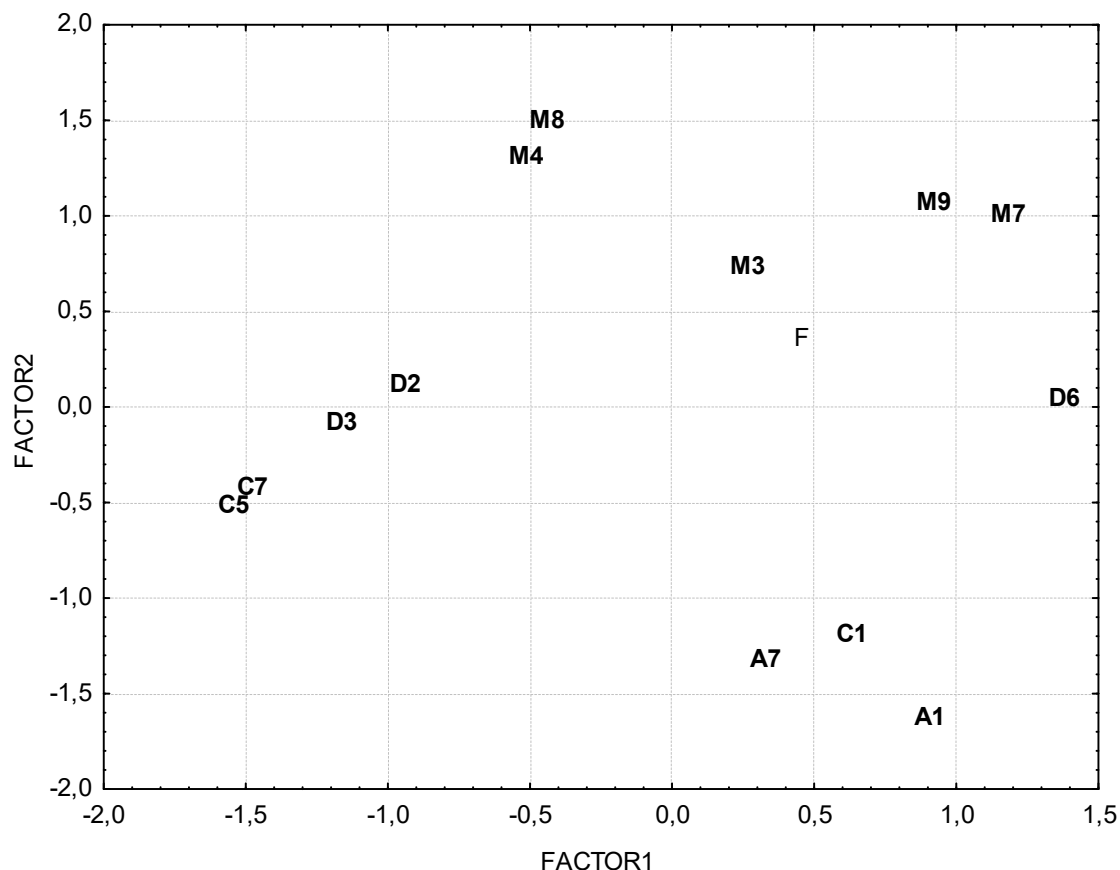


Figura 61. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 2) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

Prosseguindo a análise, confrontando o fator 3 e o fator 2, na Figura 62, observa-se que a única modificação foi o distanciamento entre os gêneros *Sorocea* e o gênero *Fatoua*. Pode-se atribuir essa distância às distintas características entre esses dois táxons: ao passo que *Sorocea* apresenta a totalidade das hidroxilas das suas micromoléculas, vindas do chiquimato desprotegidas, *Fatoua* exhibe metabólitos ricos em proteção, principalmente por metilação que é um componente do fator 3.

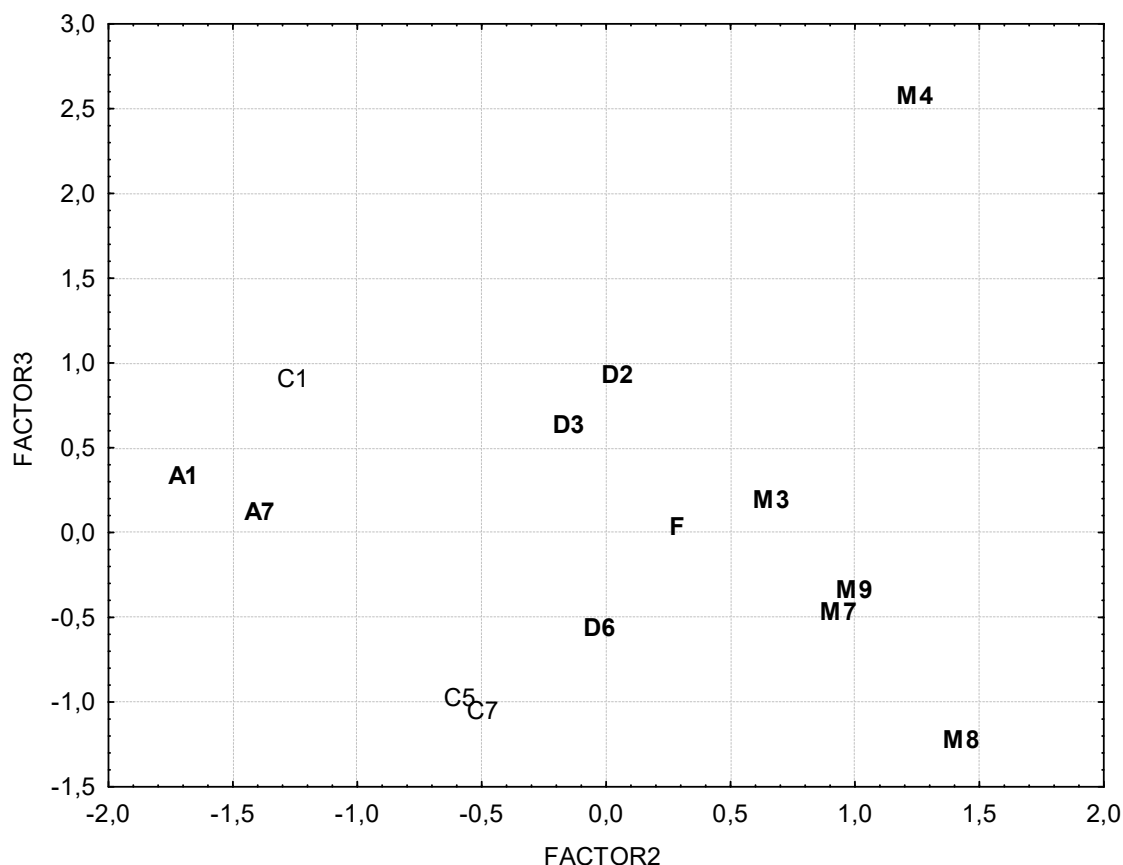


Figura 62. Diagrama bidimensional (Fator 2 x Fator 3) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

No diagrama da análise de *cluster* (Figura 63), pelo método de Ward, em que se pode observar que há a formação de dois grupos principais: o primeiro, formado pela associação dos gêneros de Artocarpeae e Castilleae, já o segundo grupo se subdivide em dois. Em um estão os gêneros de Moreae e no outro estão associados Ficeae e os gêneros de Dorstenieae.

Em um *cluster* se agrupam *Sorocea* e *Streblus*, e ainda o gênero *Morus*. A afilidade entre esses três gêneros pode ser conferida ao fato de nesses gêneros concernirem metabólitos com características de maior desproteção em

toda família Moraceae. Aliás, deve-se considerar que esses gêneros são caracterizados como dioicos e anemofílicos. Já *Fatoua* e *Broussonetia*, que possuem altos índices de proteção e divergem biogeograficamente da mesma origem (ZEREGA et al, 2005), se associam em um mesmo *cluster*. Juntos os gêneros da tribo Moreae, apesar da diversidade, estão reunidos em um único *cluster*.

Ficeae se agrupa com *Trilepisium*, pertencente à tribo Dorstenieae, em um *cluster*, devido à semelhança dos índices de AE_E . Além do mais, deve-se ressaltar que esses gêneros são monoicos e possuem inflorescências bissexuais (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004), enquanto *Dorstenia* e *Brosimum* se unem em um *cluster*, por ensejo de suas semelhanças relacionadas ao AE_O , à proteção de hidroxilas, suas características florais e afinidade filogenética.

No que tange ao *cluster* formado por *Naucleopsis* e *Maquira*, é importante destacar que ocorrem cumarinas desprotegidas em ambos os gêneros e, além disso, esses táxons possuem espécies entomofílicas, caracterizados por brácteas involucrais.

Já *Antiaris*, embora pertencente à Castilleae, forma um *cluster* unida a *Treculia* e *Artocarpus*, ambas pertencentes à Artocarpeae. Há congruência entre esses gêneros por possuírem metabólitos do chiquimato ricos em hidroxilas protegidas, ademais as espécies inseridas nesses táxons são caracterizadas por monoicismo e por possuírem inflorescências unissexuais (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004).

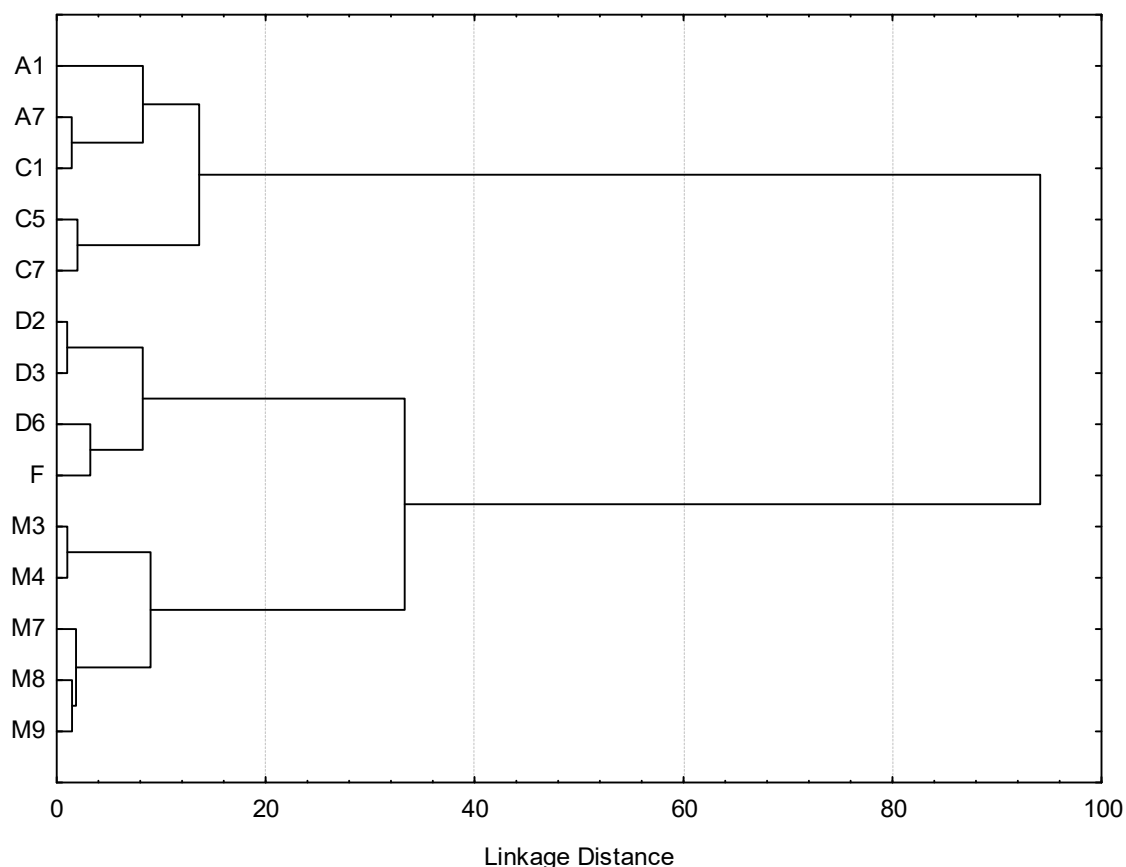


Figura 63. Dendrograma mostrando agrupamento dos gêneros da Família Moraceae (Método de Ward-Distâncias Euclidianas).

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

7.3.4) Análise quimiométrica dos parâmetros de avanço evolutivo e oxidativo dos metabólitos especiais da Família Moraceae

A exploração quimiométrica dos parâmetros de avanço evolutivo de especialização e de oxidação, das micromoléculas advindas da via mista e da via do chiquimato, consistiu em observar as semelhanças, entre os gêneros, por meio da análise fatorial e da análise de agrupamento.

A análise fatorial dos gêneros de Moraceae conferem ao Fator 1 os parâmetros de O-Glicosilação (Via Mista), O-Glicosilação (Via Chiquimato), O-

Desproteção (Via Chiquimato), enquanto o fator 2 é constituído de O-Prenilação (Via Chiquimato), O-Proteção Total (Via Chiquimato) e O-Prenilação (Via do Chiquimato). O fator 3 consiste na O-Prenilação (Via Mista), O-Proteção (Via Mista), O-Desproteção (Via Mista), O-Prenilação (Via Mista). Por fim, o fator 4 está pautado na classificação sistemática de gêneros e tribos, baseados em Dätwyler e Weiblen (2004).

Assim, o diagrama bidimensional, fator 1 x fator 2, (Figura 64) demonstra a análise de fatores dos 37 gêneros de Moraceae, mostrando que há dispersão entre os gêneros. Observa-se claramente que os gêneros para os quais não há NO de micromoléculas, desta via, estão sobrepostos entre -0,5 e -1,0.

Além disso, corroborando com as análises anteriormente discutidas, o gênero *Trilepisium* se encontra distante dos demais gêneros de Dorstenieae. E os gêneros da tribo Moreae, especialmente, nesse gráfico estão bastante espalhados, isto pode estar relacionado à sua alta variedade morfológica e floral, que propiciou uma grande variedade de metabólicos para os seus gêneros.

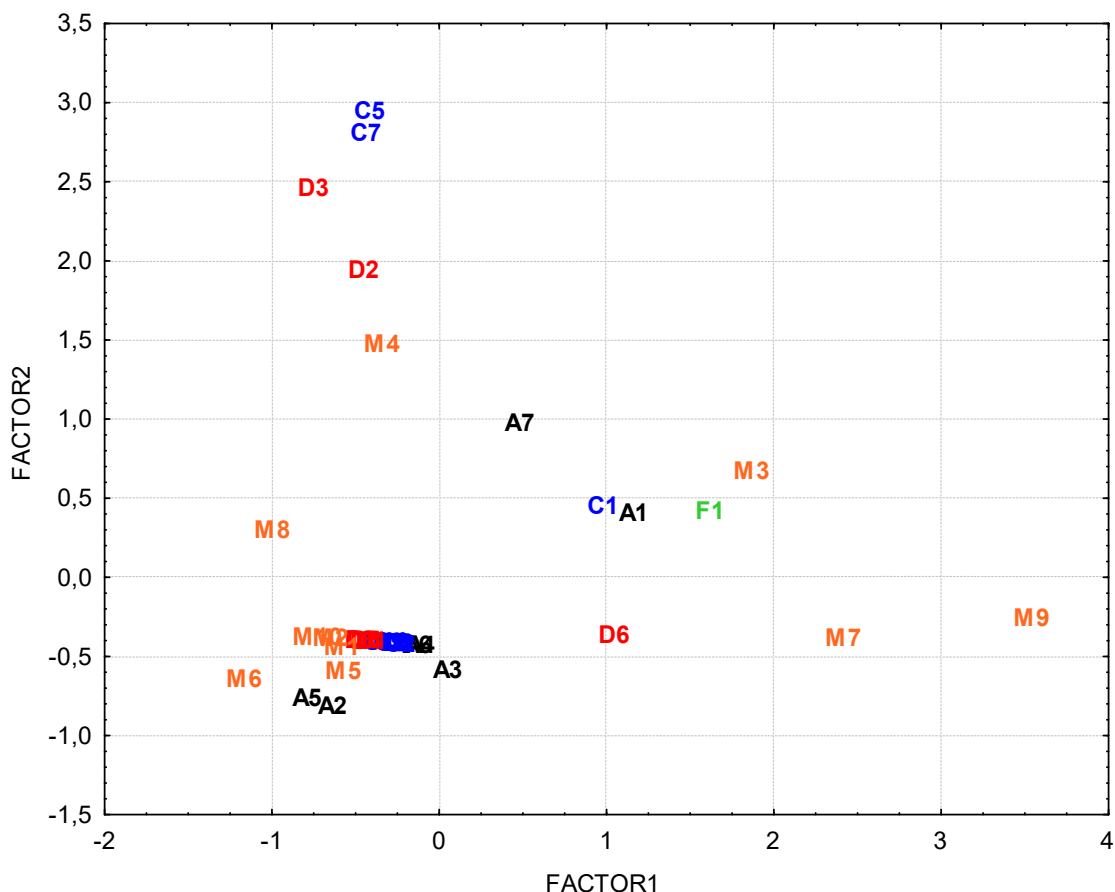


Figura 64. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 2) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

Em seguida contrapôs-se o fator 1 e o fator 3, na Figura 65, e os resultados foram muito semelhantes ao gráfico anterior (Figura 64). Há uma grande dispersividade entre os gêneros, bem como ocorre a sobreposição dos gêneros para os quais não há número de ocorrência de micromoléculas.

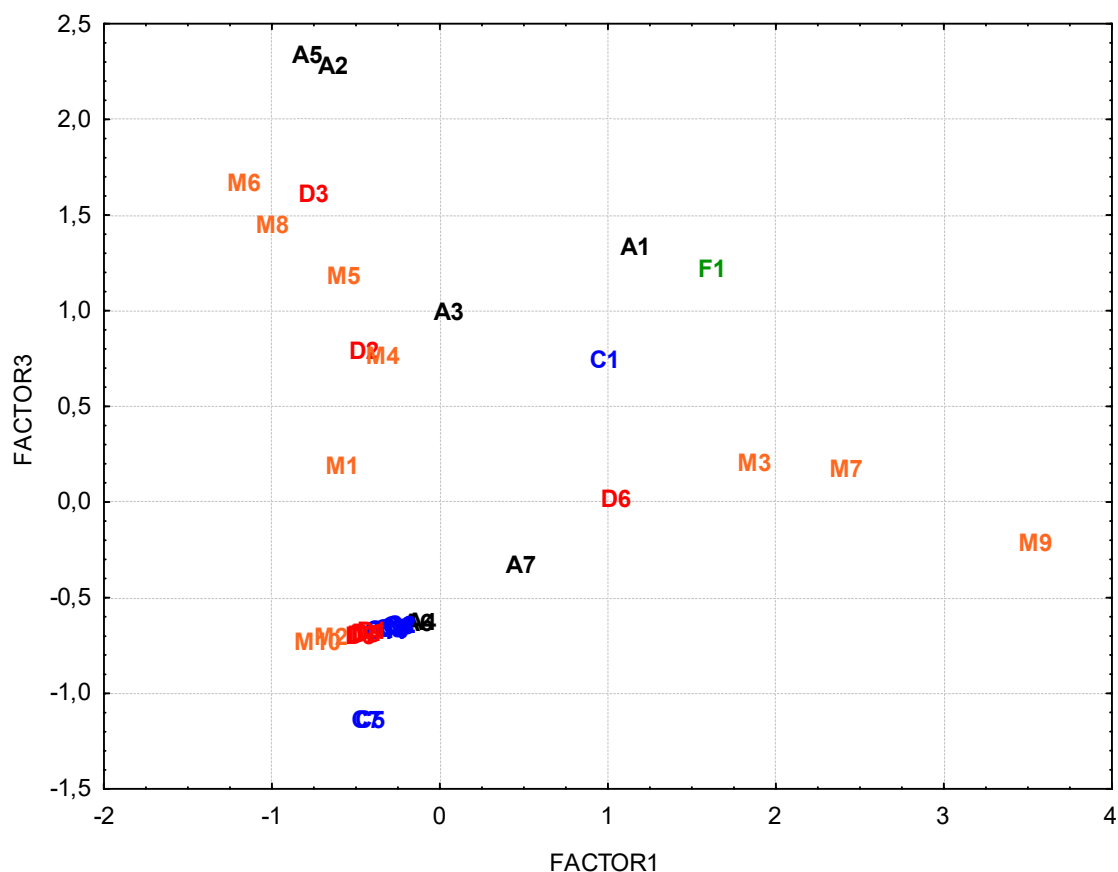


Figura 65. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 3) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

Já na confrontação entre os fatores 1 e 4 pôde-se observar que a separação dos gêneros ocorre em função das características referentes aos parâmetros de proteção. Desta forma, observa-se claramente a distância de *Trilepisium* de Dorstenieae, a formação de dois grupos entre os gêneros de Moreae. Além disso, a relativa proximidade entre os gêneros de Artocarpeae e Castilleae, conforme está ilustrado no diagrama da Figura 66.

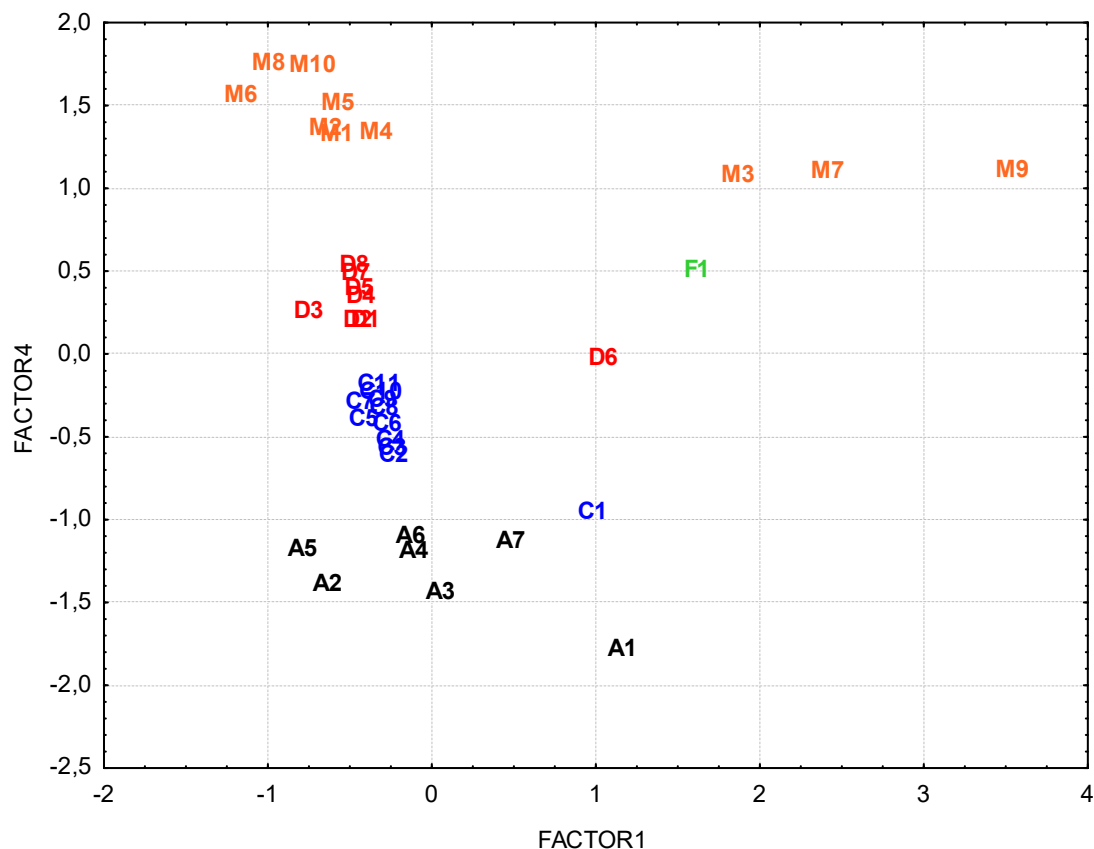


Figura 66. Diagrama bidimensional (Fator 1 x Fator 4) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

Por outro lado, na perspectiva dos fatores 2 e 4, Figura 67, observa-se a dispersão de Moreae, em função dos parâmetros desproteção, além da confirmação da similaridade entre os gêneros *Naucleopsis* e *Maquira* e a distinção de *Trilepisium* à Dorstenieae.

Além disso, podem ser identificados os gêneros de Artocarpeae em um mesmo grupo, com exceção de *Artocarpus* e *Treculia* que formam um grupo à parte juntamente com *Antiaris*.

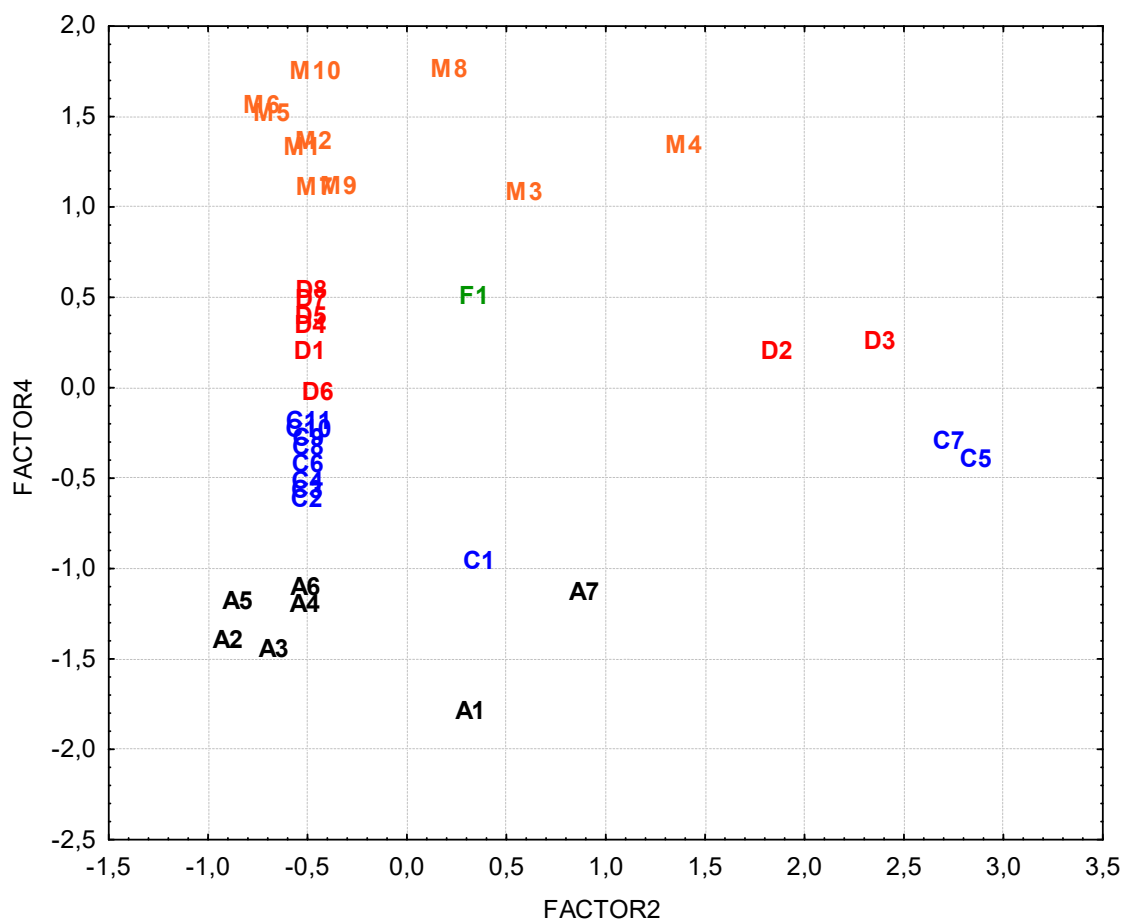


Figura 67. Diagrama bidimensional (Fator 2 x Fator 4) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

A análise da defrontação do fator 3 e do fator 4, ilustrado na Figura 68, mostra os gêneros mais dispersos, devido às características de proteção da via mista. Observa-se que não há formação de um agrupamento consistente

nessas inter-relações principalmente devido os parâmetros abarcados pelo fator 3: O-Prenilação (Via Mista), O-Proteção (Via Mista), O-Desproteção (Via Mista), O-Prenilação (Via Mista).

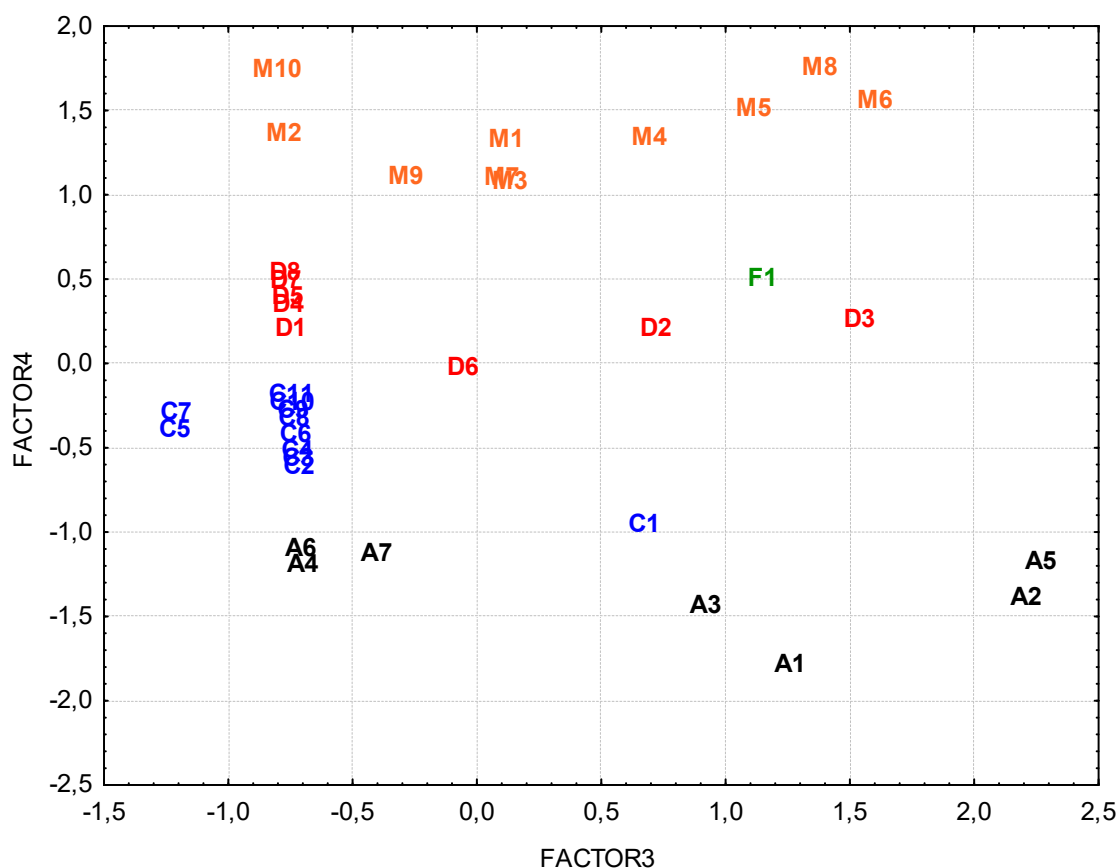


Figura 68. Diagrama bidimensional (Fator 3 x Fator 4) mostrando as inter-relações entre os gêneros da Família Moraceae.

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

A análise de agrupamento, Figura 69, pelo método de Ward's, permitiu observar que há a formação de dois grupos principais. O primeiro é subdividido em três subgrupos: dos gêneros de Artocarpeae, dos gêneros de Castilleae e dos gêneros de Dorstenieae. O segundo consiste no agrupamento dos gêneros de Moreae e Ficeae.

A partir dos dados quimiosistemáticos observa-se a organização no diagrama dos gêneros pertencentes à mesma tribo entre si. Já as tribos se relacionam devido à história biogeográfica ou características biológicas, sejam morfológicas ou de hábitos.

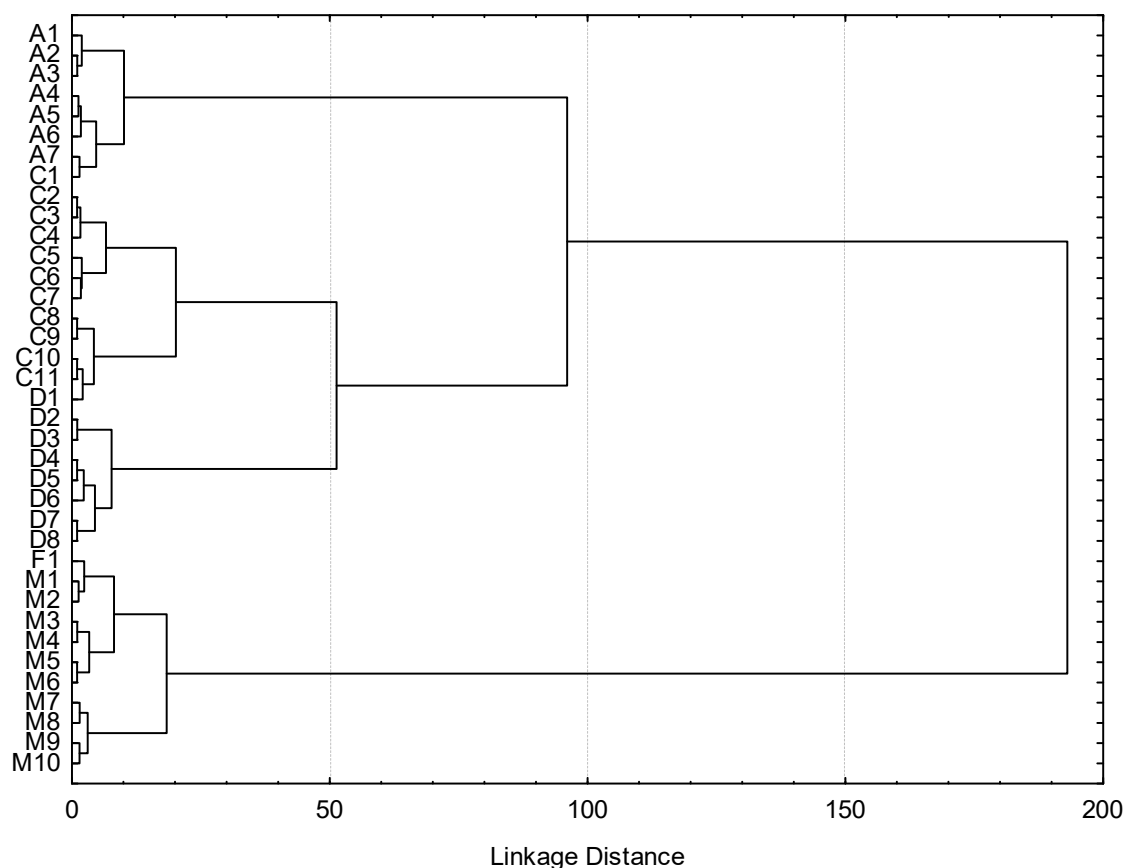


Figura 69. Dendrograma mostrando agrupamento dos gêneros da Família Moraceae (Método de Ward-Distâncias Euclidianas).

Identificação: A1: *Artocarpus*; A2: *Batocarpus*; A3: *Clarisia*; A4: *Hulletia*; A5: *Parartocarpus*; A6: *Prainea*; A7: *Treculia*; C1: *Antiaris*; C2: *Antiaropsis*; C3: *Castila*; C4: *Helicostylis*; C5: *Maquira*; C6: *Mesogyne*; C7: *Naucleopsis*; C8: *Perebea*; C9: *Poulsenia*; C10: *Pseudolmedia*; C11: *Sparratosyce*; D1: *Bosqueiopsis*; D2: *Brosimum*; D3: *Dorstenia*; D4: *Helianthostylis*; D5: *Scyphosyce*; D6: *Trilepisium*; D7: *Trymatococcus*; D8: *Utsetela*; F1: *Ficus*; M1: *Bagassa*; M2: *Bleekrodea*; M3: *Broussonetia*; M4: *Fatoua*; M5: *Maclura*; M6: *Milicia*; M7: *Morus*; M8: *Sorocea*; M9: *Streblus*; M10: *Trophis*.

VIII) CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento de dados químicos da literatura somados aos resultados quimiotaxonômicos, obtidos nessa análise, demonstram que a família Moraceae possui alta heterogeneidade de metabólitos especiais.

O estudo quimiosistemático da família Moraceae foi suficiente para organizar os gêneros e evidenciar as relações entre gêneros e tribos, a partir das informações obtidas, apesar da ausência de dados/estudos para todas as espécies e gêneros da família, uma vez que não há registro na literatura de dados de isolamento e identificação de metabólitos de todos os gêneros de Moraceae.

O metabolismo de Moraceae aparenta ser conspícuo na produção de metabólitos advindos da via mista (Acetato/Chiquimato) comparado às vias metabólicas do Acetato e do Chiquimato. A alta heterogeneidade exercida pelos derivados flavonoídicos corrobora com Dalghren (1980) em sua classificação para Angiospermas.

Observa-se em Moraceae, de modo geral, a substituição do caminho do chiquimato para a produção de metabólitos especiais aromáticos pela via do acetato, especialmente, as tribos Artocarpae e Moreae, como produtoras, majoritariamente, de metabólitos da via mista. As tribos Castilleae e Ficeae, por sua vez, possuem preferência pela via do acetato e a Dorstenieae que apresenta uma equidade entre as vias mistas, do acetato e do chiquimato.

Há uma maior frequência de derivados flavonoídicos desprotegidos do que protegidos. No entanto, deve-se observar que o principal mecanismo de proteção de hidroxilas é a prenilação. Apesar disso, este táxon possui algumas características basais na produção metabólica, como o alto índice de hidroxilas flavonoídicas desprotegidas. Já as micromoléculas fenólicas derivadas do ácido cinâmico possuem alta variedade de proteção de hidroxilas e cada gênero possui um comportamento particular.

Por outro lado, no âmbito da abordagem fenética, em geral, pode se dizer que os cálculos de AE_O e AE_E não são suficientes para separar os gêneros de Moraceae em grupos diferentes, pois os gêneros de Moraceae possuem características semelhantes tanto para a oxidação como para a especialização nas três vias estudadas. Mas um fato é claro, as micromoléculas bioproduzidas pelas espécies da família Moraceae, pela via

mista, são caracterizadas por altos níveis de especialização. Uma discrepância muito evidente é o alto índice de especialização do gênero *Trilepidium* em relação à família Moraceae, pois ele fica isolado de todos os demais táxons.

A partir da análise quimiométrica dos parâmetros quimiosistemáticos dos metabólitos contabilizados no inventário da família Moraceae, foi possível identificar as similaridades entre os táxons que incidem sobre as vias metabólicas do acetato, do chiquimato e a via mista e, nesse sentido, cabe ressaltar algumas observações.

Os dados quimiosistemáticos analisados revelaram, através das análises bidimensionais, haver forte similaridade entre gêneros, no entanto, há também algumas discrepâncias. Os resultados obtidos corroboram e, sobretudo, sustentam os estudos e apontamentos filogenéticos (SYSTMA *et al*, 2002; DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004; CLEMENT & WEIBLEN, 2009) e biogeográficos (ZEREGA *et al*, 2005) acerca da família Moraceae.

Entre os maiores destaques obtidos neste estudo, está a consolidação da certeza de que o gênero *Trilepidium* não pertence à tribo Dorsteneae, haja vista as discrepâncias entre esse táxon e os demais gêneros da tribo. O gênero *Trilepidium* possui micromoléculas com características de proteção de hidroxilas e de avanço evolutivo de oxidação e especialização distintas dos demais gêneros classificados em Dorsteneae. Nas três vias metabólicas estudadas, esse gênero apresentou-se distante de *Dorstenia* e *Brosimum*. Deve-se recordar nesse ponto que a posição de *Trilepidium* havia sido tida como incerta nos estudos de Dätwyler & Weiblen (2004).

Os resultados quimiosistemáticos vão ao encontro ao apontamento do distanciamento apresentado entre *Streblus* dos demais gêneros de Moreae, na análise das micromoléculas da via mista, uma vez que este táxon possui como peculiaridade a variação no processo de crescimento, na morfologia da inflorescência e em seu sistema reprodutor, constituindo-se um gênero polifilético (DÄTWYLER & WEIBLEN, 2004).

O gênero *Antiaris*, pertencente à Castilleae, é ponto de destaque nesse estudo quimiosistemático, uma vez que apresenta grande afinidade com gêneros da tribo Artocarpeae, *Naucleopsis* e *Maquira*, assim como já havia sido apresentado na classificação filogenética da família Moraceae por Clement e Weiblen (2009), em que esses gêneros estão classificados na tribo Castilleae.

Ressalta-se que, em comum, esses gêneros possuem o monoceísmo com inflorescências unissexuais.

Além disso, a discussão quimiosistemática corrobora com o pressuposto de *Paratocarpus* ter um *status* tribal, pois do ponto de vista químico é o gênero em que as hidroxilas das suas micromoléculas, vindas da via mista, são altamente protegidas por prenilação, o que vai de encontro com características florais singulares as quais esse táxon possui, como as inflorescências pistiladas e semeadas e a ausência de frutos.

Observa-se ainda a semelhança da tribo monofilética Ficeae com os gêneros da tribo Moreae, no que diz respeito à bioprodução de micromoléculas advindas do acetato e da via mista, resultado que está em consonância com os mecanismos utilizados por *Ficus* para proteção de hidroxilas. Por outro lado, em algumas análises, viu-se o seu agrupamento de Ficeae com os gêneros da Tribo Dorstenieae, em função de ambos produzirem diversos metabólitos derivados do chiquimato.

No entanto, corroborando com os estudos filogenéticos, cabe ressaltar que os metabólitos ocorrentes em Ficeae são semelhantes aos metabólitos ocorrentes em Castilleae, principalmente das vias do chiquimato e do acetato. Isso, certamente, está relacionado ao fato dessas tribos terem sido monofiléticas outrora (ZEREGA *et al*, 2005; DÄTWYLER & WEIBLEN 2004; CLEMENT & WEIBLEN, 2009).

O estudo quimiosistemático, através da análise quimiométrica, pôde contribuir abundantemente para a classificação intrafamiliar que ainda está em discussão entre os especialistas de Moraceae. Ademais, os resultados obtidos poderão colaborar para a identificação de sua origem cronológica e geográfica e, principalmente, para resolver as lacunas advindas dos mutualismos de suas espécies e divergências filogenéticas. Além disso, esses dados muito podem colaborar nos estudos de interação entre as espécies de Moraceae e insetos, e, sobretudo, nas relações de polinização.

IX) PERSPECTIVAS FUTURAS

Diante do arsenal químico estudado da família Moraceae deve ser questionado, ao fim do trabalho, quais conhecimentos que ainda não foram desvelados. Ou, até mesmo, de outra forma, quais metodologias dever-se-ia implementar para alcançar uma visão mais ampla e profunda que delinieie a história evolutiva biológica desse táxon.

Nesse ponto, têm-se a absoluta convicção que a avalanche de dados metabolômicos, a partir de análises espectrométricas avançadas acopladas às técnicas de separação sofisticadas, alterarão a nossa compreensão sobre as relações quimiosistemáticas da família Moraceae, principalmente quanto aos gêneros que não apresentam, até este momento, estudos químicos.

Por fim, outro ponto importante a partir dos estudos em Moraceae e a sua diversidade estrutural riquíssima é apontar para a necessidade da conservação da biodiversidade como patrimônio cultural, considerando que este representa um dos mais valiosos recursos da civilização humana que carecem de estudos e compreensão.

X) REFERÊNCIAS

Alston, R. E.; Turner, B. L.. **Biochemical Systematics**. Englewood Cliffs NJ.: Prentice Hall, 1963.

Alston, R.E.; Mabry, T. J.; Turner, B. L. Perspectives in Chemotaxonomy. Studies of secondary compounds in plant may provide knowledge of phylogenetic relationships. **Science**, v. 142, nº 3592, p. 1963. <http://dx.doi.org/10.1126/science.142.3592.545>

Alvarenga, S. A. V., Ferreira, M. J. P., Emerenciano, V. P., & Cabrol-Bass, D. Chemosystematic studies of natural compounds isolated from Asteraceae: characterization of tribes by principal component analysis. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 56, nº1, p. 27-37. 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-7439\(01\)00103-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-7439(01)00103-4)

Anholeti, M. C., Paiva, S. R. D., Figueiredo, M. R., & Kaplan, M. A. C. Chemosystematic aspects of polyisoprenylated benzophenones from the genus *Clusia*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.87, nº1, p.289-301, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201520140564>

APG I (Angiosperm Phylogeny Group). An ordinal classification for the families of flowering plants. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 85, p. 531-553, 1998. <http://dx.doi.org/10.2307/2992015>

APG II (Angiosperm Phylogeny Group). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 141, p. 339-436, 2003. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1095-8339.2003.t01-1-00158.x>

APG III (Angiosperm Phylogeny Group). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. Botanical. **Journal of Linnean Society**, v. 161, p. 105-121, 2009. <http://dx.doi.org/10.1111/boj.12385>

APG IV. (Angiosperm Phylogeny Group). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, n. 1, p. 1-20, 2016. <http://dx.doi.org/10.1111/boj.12385>

Berg, C. C. 2001. Moreae, Artocarpeae, and Dorstenia (Moraceae) with introductions to the family and Ficus and with additions and corrections to Flora Neotropica Monograph 7. Flora Neotropica, V. 83. New York: New York Botanical Garden.

Berg, C. C. Flora Malesiana precursor for the treatment of Moraceae 8: Other genera than Ficus. **Blumea**. v. 50, p. 535 - 550, 2005. <http://dx.doi.org/10.3767/000651905X622815>

Boeni, B. de O.; Singer, R. B. Synopsis of Dorstenia (Moraceae) in Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 2, p. 925-942, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201520140369>

Breitmaier, E. Terpenes: flavors, fragrances, pharmaca, pheromones. John Wiley & Sons, 2006.

Burn, M. J.; Mayle, F. E. Palynological differentiation between genera of the Moraceae family and implications for Amazonian palaeoecology. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 149, p. 187-201, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.revpalbo.2007.12.003>

Biswas, C.; Johri, B. M. **2013**. The gymnosperms. Springer Science & Business Media.

Bourgaud, F.; Grabot, A.; Milesi, S.; Gontier, E. Production of plant secondary metabolites: A historical perspective. **Plant Science**, 161(5): 839-851, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00490-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00490-3)

Carauta, J.P.P.; Sastre, C.; Romaniuc-Neto, S. Índice das Espécies Moráceas do Brasil. **Albertoa**, v. 4, n.7, p. 77-93, 1996. <http://kdb.kew.org/kdb/detailedresult.do?id=313842>

Carauta, J. P. P.; Valente, M. da C.. *Dorstenia* L. (Moraceae). Notas complementares IV. **Atas Sociedade Botânica do Brasil** (Rio de Janeiro) v.1, n.20, p. 111-23, 1983.

Carauta, J. P. P. Moraceae: Notas Taxonômicas. **Rodriguésia**. v. 32, n.53, p.109-116, 1980.

Carauta, J.P.P. Moráceas do Estado do Rio de Janeiro. **Albertoa**, v. 3, n. 13, p. 145-194, 1996 a.

Carauta, J.P.P.; SASTRE, C.; ROMANIUC-NETO, S. Índice das Espécies Moráceas do Brasil. **Albertoa**, v. 4, n. 7, p. 77-93, 1996 b.

Castro, R. M. (2006). Flora da Bahia – Moraceae. Feira de Santana: Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Estadual Feira de Santana. Dissertação de Mestrado em Botânica. UEFS – PPGBot.

Cipriani, F. A., Figueiredo, M.R., Soares, G.L.G., Kaplan, M.A.C. Implicações químicas na sistemática e filogenia de Bignoniaceae. **Química Nova**, v.35, n.11, p. 2125-2131, 2012.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012001100005>

Clement, W. L.; Weiblen, G.D. Morphological Evolution in the Mulberry Family (Moraceae). **Systematic Botany**, v. 34, n.3, p. 530–552, 2009.

<http://dx.doi.org/10.1600/036364409789271155>

Cronquist, A. (1988). The evolution and classification of flowering plants. New York, New York Botanical Garden.

Corner, E. J.H. The classification of Moraceae. The Gardens' bulletin, Singapore, v. 19, p. 187-252, 1962.

Cruaud, A., Cook, J., Da-Rong, Y., Genson, G., Jabbour-Zahab, R., Kjellberg, F., Pereira, R. A. S., Rønsted, Nina, Santos-Mattos, O., Savolainen, V., Ubaidillah, R., Noort, Simon van, Yan-Qiong, P., Rasplus, Jean-Yves (2011). Fig–fig wasp mutualism: the fall of the strict cospeciation paradigm. *Evolution of Plant–Pollinator Interactions*. Cambridge University Press, London, UK, 68-102.

<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139014113.005>

Cronquist, A. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. Columbia University Press, New York, 1981.

Dahlgren, R. M. T. A revised system of classification of the angiosperms. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.80, n.2, p. 91-124, 1980

<http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8339.1980.tb01661.x>

Dätwyler, S. L.; Weiblen, G. D. On the origin the fig: Phylogenetic relationships of Moraceae from NDH^F sequences. **American Journal of Botany**, v. 91, n.5, p. 767-777, 2004. <http://dx.doi.org/10.3732/ajb.91.5.767>

Dewick, P. M. Medicinal natural products: a biosynthetic approach. John Wiley & Sons, 2002.

Diaz, B. E; Carauta, J. P. P. (2001). *Ficus glabra* (Moraceae), figueira-brava, variação das folhas e estípulas. **Albertoa**, Rio de Janeiro, RJ (Brazil) ISSN 0103-4944.

Emerenciano, V de P.; Ferreira, Z.S; Kaplan, M.A.C; Gottlieb, O. R. A chemosystematic analysis of tribes of Asteraceae involving sesquiterpene lactones and flavonoids. **Phytochemistry**, v. 26, p. 3103-3115, 1987. [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)82452-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422(00)82452-8)

Emerenciano, Vicente de Paulo. Evolução química em Asteraceae. 1985. Tese (Doutorado em Química Orgânica) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/46/46135/tde-23082011-092957/publico/VicentePEmerenciano_Tese_v1.pdf

Facchini, P. J. Plant secondary metabolism: out of the evolutionary abyss. **Trends in Plant Science**, v. 4, n.10, p. 382-384, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S1360-1385\(99\)01476-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1360-1385(99)01476-4)

Fischbach, M. A; Clardy, Jon. One pathway, many products. **Nature Chemical Biology**, v.3, n.7, p. 353-355, 2007. <http://dx.doi.org/10.1038/nchembio0707-353>

Forzza RC, Leitman P.M, Costa A, Carvalho Jr AA, Peixoto AL, Walter BMT, Bicudo C, Zappi D, Costa DP, Lleras E, Martinelli G, Lima HC, Prado J, Stehmann JR, Baumgratz JFA, Pirani JR, Sylvestre L, Maia LC, Lohmann LG, Queiroz LP, Silveira M, Coelho MN, Mamede MC, Bastos MNC, Morim MP, Barbosa MR, Menezes M, Hopkins M, Secco R, Cavalcanti TB, Souza VC. [org.]. 2010.

Foucault, M., (1966), *Les Mots et les Choses. Une Arquéologie des Sciences Humaines*, (trad. port. de A. Ramos Rosa, "As Palavras e as Coisas. Uma Arqueologia das Ciências Humanas"), Lisboa: Portugal (s/d).

Friis, E. M.; Crane, P. R.; Pedersen, Kaj Raunsgaard. *Early flowers and angiosperm evolution*. Cambridge University Press, 2011.

Gobbo-Neto, L.; Lopes, N.P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n.2, p. 374-381, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000200026>

Gottlieb, O. R. **1982**. *Micromolecular evolution, systematics and ecology: an essay into a novel botanical discipline*: by. Springer, Berlin.

Gottlieb, O. R. Phytochemicals: differentiation and function. **Phytochemistry**, v.29, n.6, p 1715-1724, 1990. [http://dx.doi.org/10.1016/0031-9422\(90\)85002-W](http://dx.doi.org/10.1016/0031-9422(90)85002-W)

Gottlieb, O. R.; Kaplan, M. A. C.; Borin, M. R. de M. B. **1996**. *Biodiversidade: um enfoque químico-biológico*. Editora UFRJ, Rio de Janeiro.

Gottlieb, O. R., and Borin, M. R. M. B. Químico-biologia quantitativa: um novo paradigma? **Química Nova** v.35, n.11, p. 2105-2114, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012001100002>

Gottlieb, O. R.; Borin, M. R. de M. B.; Brito, N. R. S. de. Integration of ethnobotany and phytochemistry: dream or reality? **Phytochemistry**, v. 60, p. 145-152, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00088-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00088-2)

Gottlieb, O. R., and Borin, M. R. de M. B. Review Article Number 132 Evolution of Angiosperms via Modulation of Antagonisms. **Phytochemistry** v.49.n.1, p. 1-15, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422\(97\)00843-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422(97)00843-1)

Gottlieb, O. R., Borin, M. R. M. B., Pagotto, C. L. A. C., & Zocher, D. H. Biodiversidade: o enfoque interdisciplinar brasileiro. **Ciência & Saúde**

Coletiva, v.3, n.2, p. 97-102, 1998. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81231998000200009>

Gottlieb, O. R.; Kaplan, M. A. C.; Borin, M. R. DE M. B. **1996**. Biodiversidade: um enfoque químico-biológico. Editora UFRJ, Rio de Janeiro.

Giulietti, A. M.; Harley, R. M.; Queiroz, L. P. de; Wanderley, M. das G.L.; Berg, C. V. D. Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil. **Megadiversidade**, v.1, n. 1, p.52-61, 2005.

Hair, J. F. 2009. Análise multivariada dos dados Tradução de Adonai Schlup Sant'Ana. 6. Ed. Editorea Bookman.

Harborne, J. B.; Williams, C. A. Anthocyanins and other flavonoids. **Natural Product Reports**, v.18, p. 310-333, 2001. <http://dx.doi.org/10.1039/B006257J>

Harborne, J. B., and Mabry, T. J. The flavonoids: advances in research. Springer, 2013.

Heywood V.H. The role of chemistry in plants systematics. **Pure and Applied Chemistry**, v.34, p. 355-375,1973. <http://dx.doi.org/10.1351/pac197334030355>

Hughes, N. F. Palaeobiology of angiosperm origins: Problems of mesozoic seed-plant evolution. CUP Archive, 1982.

Harborne, J. B. Twenty-five years of chemical ecology. **Natural product reports**,v.18, n.4, p. 361-379, 2001. <http://dx.doi.org/10.1039/B005311M>

Harfouche, A.; Meilan, R.; Altman, A. Tree genetic engineering and applications to sustainable forestry and biomass production. **Trends in biotechnology**, v.29, n.1, p. 9-17, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2010.09.003>

Hartmann, T. Diversity and variability of plant secondary metabolism: a mechanistic view. **Entomologia Experimentalis et Applicata**,v. 80, n.1, p. 177-188, 1996. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1570-7458.1996.tb00914.x>

Heywood, V. H.. Ecological data in practical taxonomy. **Taxonomy and ecology**, p. 329-347, 1973.

Hegnauer, R. Phytochemistry and plant taxonomy—An essay on the chemotaxonomy of higher plants. **Phytochemistry**, v.25, n.7, p. 1519-1535, 1986. [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)81204-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422(00)81204-2)

Ibrahim, R.; Varin, L.; De Luca, V.; Romeo, J. (Eds.). (2000). Evolution of Metabolic Pathways (Vol. 34). Elsevier.

Joly, A. B. Conheça a vegetação Brasileira. Editora da Universidade de São Paulo e Polígono, São Paulo, 1970.

Kaplan, M. A. C. (Ed.). Abordagem quimiosistemática e evolução química de fanerógamas. Rio de Janeiro: Ed. da UFRRJ, ISBN 978-85-85720-82-7, 2010.

Kennedy, D.; Norman; C. What don't we know? **Science**. v.309, n.5731, p.75-75, 2005. <http://dx.doi.org/10.1126/science.309.5731.75>

Kliebenstein, D. J. Making new molecules—evolution of structures for novel metabolites in plants. **Current opinion in plant biology**, v.16, n.1, p. 112-117, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2012.12.004>

Kreps, J. A.; Kay, S. A.. Coordination of plant metabolism and development by the circadian clock. **The Plant Cell**, v.9, n. 7, p. 1235-1244,1997. <http://dx.doi.org/10.1105/tpc.9.7.1235>

Kutchan, T. Ecological arsenal and development dispatcher. The paradigm os secondary metabolism. **Plant Physiology**, 125 (1): 158-160, 2001. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.125.1.58>

Ludwiczuk, A.; Asakawa, Y. Fingerprinting of Secondary Metabolites of Liverworts: Chemosystematic Approach. **Journal of AOAC International**, v.97, n.5, p. 1234-1243, 2014. <http://dx.doi.org/10.5740/jaoacint.SGELudwiczuk>

Mazumdar, P. MH. Species and specificity: an interpretation of the history of immunology. Cambridge University Press, 2002.

Mello Filho, L. D., Neves, L. D. J., Carauta, J. P. P., & Diaz, B. E. Morfologia de certos sicônios de Ficus (Moraceae). **Albertoa**, ns. 3, 17-18, 2001.

Neilson, E. H.; Goodger, J. Q.D.; Woodrow, Ian E.; Møller, Birger Lindberg. Plant chemical defense: at what cost? **Trends in Plant Science**, v.18, n. 5, p.250-258, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2013.01.001>

Pavarini, D. P.; Pavarini, S. P.; Niehues, M.; Lopes, N. P. Exogenous influences on plant secondary metabolite levels. **Animal Feed Science and Technology**, v.176, n.1, p. 5-16, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.002>

Popova, T. N.; Carvalho, M. Â. A. Pinheiro de. Citrate and isocitrate in plant metabolismo. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v.1364, n.3, p. 307-325, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0005-2728\(98\)00008-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0005-2728(98)00008-5)

Pichersky, E.; Lewinsohn, E. Convergent evolution in plant specialized metabolism. **Annual review of plant biology**, v.62, p. 549-566, 2011. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103814>.

Pigatto, A. G.; Blanco, C. C., Mentz, L. A.; Soares, G. L. Tropane alkaloids and calystegines as chemotaxonomic markers in the Solanaceae. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n.4, p. 2139-2149, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201520140231>

Pirani, J. R. Sistemática: Tendências e desenvolvimento incluindo impedimentos para o avanço do conhecimento na área. (2005). Disponível em: <<http://www.cria.org.br/cgee/documentos/PiraniTextoSistemática.doc>>

Reynolds, T. The evolution of chemosystematics. **Phytochemistry**, v.68, n.22, p. 2887-2895, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.06.027>

Rhodes, M. J. C. Physiological roles for secondary metabolites in plants: some progress, many outstanding problems. **Plant molecular biology**, v. 24, n.1, p. 1-20, 1994. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00040570>

Ribeiro, C. V. C.; Kaplan, M. A. C. Tendências evolutivas de famílias produtoras de cumarinas em Angiospermae. *Química Nova*. v.25, n.4, p. 533-538, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422002000400004>

Rocha, M. E. do Nascimento; Figueiredo, M. R., Kaplan; M. A. C., Durst, T.,; Arnason, J. T. Chemotaxonomy of the Ericales. **Biochemical Systematics and Ecology**, v.61, p.441-449, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bse.2015.07.019>

Romaniuc-Neto S, Carauta J.P.P., Vianna Filho M.D.M., Pereira R.A.S., Ribeiro J.E.L.S., Machado A.F.P., Santos A., Pelissari G, Pederneiras L.C. 2014. Moraceae. Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

Romaniuc-Neto S.; Santos A.; Pelissari G; Pederneiras L.C.; Maurenza D.; Barros FSM, SFAIR JC, Bovini M.G. 2013. Moraceae. In: Martinelli G, Moraes MA (Eds), Livro vermelho da flora do Brasil. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 1a ed., 1100 p.

Romaniuc-Neto, S., Carauta, J. P. P.; Vianna-Filho, M. D. M.; Pereira, R. A. S., Ribeiro, J. E. L. S.; Machado, A. F. P.; Pederneiras, L. C. (2015). Moraceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

Romaniuc- Neto, S.; Carauta, J.P.P.; Vianna -Filho, M.D.M.; Pereira, R.A.S.; Ribeiro, J.E.L. S., Machado, A.F.P., Santos, A., Pelissari, G. Moraceae *in* Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

Rohwer. S. S.; Kubitzki, K.; Bittrich, V. Moraceae. The families and genera of vascular plants. K. Kubitzki. Springer-Verlag, Berlin, Germany, v. 2, p. 438-453, 1993. <http://dx.doi.org/10.1002/fedr.19981090315>

Rønsted, N., Weiblen, G. D., Savolainen, V., Cook, J. M. Phylogeny, biogeography, and ecology of *Ficus* section *Malvanthera* (Moraceae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 48, n.1, p.12-22, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ympev.2008.04.005>

Sambamurty, A. V. S. S. Taxonomy of angiosperms. IK International Pvt Ltd, 2005.

Scotti, M. T., Emerenciano, V., Ferreira, M. J., Scotti, L., Stefani, R., da Silva, M. S., & Junior, F. J. B. M. Self-organizing maps of molecular descriptors for sesquiterpene lactones and their application to the chemotaxonomy of the Asteraceae family. **Molecules**, v.17, n4, p. 4684-4702, 2012. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules17044684>

Sousa, A. L.; Almeida, C. M. S.; Kaplan, M. A. C.; de Oliveira, R. R. A Chemosystematic Study of the Moraceae Family: An Analysis of the Metabolites from the Biosynthetic Mixed Pathway (Acetate/Shikimate). **International journal of Sciences**, v. 5, <http://dx.doi.org/10.18483/ijSci.989>

Sporne, K. R. A re-investigation of character correlations among dicotyledons. **New Phytologist**, v.85, n.3, p. 419-449, 1980. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb03180.x>

Stace, C. A. Plant taxonomy and biosystematics. Cambridge University Press, 1991.

Sweetlove, Lee J.; and Ratcliffe, R. George. 2011. Flux-balance modeling of plant metabolism. **Frontiers in Plant Science**. v. 2, n.38, p:1-10. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2011.00038>

Stevens, P. F. The development of biological systematics: Antoine-Laurent de Jussieu, nature, and the natural system. Columbia University Press, 2013.

Stuessy, T.F. Plant taxonomy: the systematic evaluation of comparative data. Columbia University Press, 2009.

SINGH, G. Plant systematics: an integrated approach. 2^a ed. Enfield e Plymouth: Science. Publishers, p. 10-29, 2004.

Smejkal, K. Cytotoxic potential of C-prenylated flavonoids. *Phytochemistry Reviews*. v.13, p.245-275, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007%2Fs11101-013-9308-2>

Souza. G.S de. Notícia do Brasil, 1584 *apud* Franke, Carlos Roberto; Rocha, Pedro Luiz Bernardo da; Klein, Wilfried; Gomes, Sérgio Luiz. *Mata Atlântica e biodiversidade*. Edufba, Salvador, 2005.

Suzuki, S.; Umezawa, T. Biosynthesis of lignans and norlignans. **Journal of Wood Science**, v.53, n.4, p. 273-284, 2007.

Takashima, J.; Ohsaki, A. Brosimacutins A-I, Nine New Flavonoids from *Brosimum acutifolium*. **Systematic Botany**, v. 34, n.3, p. 530–552, 2009. <http://dx.doi.org/10.1021/np020241f>

Verpoorte, Robert. *Metabolic engineering of plant secondary metabolism*. Springer Science & Business Media, 2000.

Vogt, N. B. S. Modelling and Chemosystematics. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v.1, p. 213-231, 1987. [http://dx.doi.org/10.1016/0169-7439\(87\)80066-7](http://dx.doi.org/10.1016/0169-7439(87)80066-7)

Zappi, D. C., et al. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. *Rodriguésia*, v.66, n.4, p. 1085-1113, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201566411>

Zerega, N. J.C.; Mound, L. A.; Weiblen, G.D. Pollination in the New Guinea endemic *Antiaropsis decipiens* (Moraceae) is mediated by a new species of thrips, *Thrips antiaropsidis* sp. nov. (Thysanoptera: Thripidae). **International Journal of Plant Sciences**, v.165, n.6, p. 1017-1026, 2004. <http://www.jstor.org/stable/10.1086/423869>

Zerega, N. J.C; Supardi, N., Motley, T. J. Phylogeny and recircumscription of Artocarpeae (Moraceae) with a focus on *Artocarpus*. **Systematic Botany**, v.35, n.4, p.766-782, 2010. <http://dx.doi.org/10.2307/40985554>

Zerega, N. J.C.; Clement, W. L.; Dätwyler, S. L.; Weiblen, G. D. Biogeography and divergence times in the mulberry family (Moraceae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 37, p. 402-416, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ympev.2005.07.004>

Waterman, P. G. Diversity in secondary metabolism in plants. In: Henry, Robert J (Ed). Plant diversity and evolution: genotypic and phenotypic variation in higher plants (2005).

Weng, Jing-Ke; Philippe, Ryan N.; Noel, Joseph P. The rise of chemodiversity in plants. **Science**. v. 336, p. 1667-1670, 2012. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1217411>

Went, F. W. (1965). The Plants. Time-life.

Weiblen, G. D. Moraceae of Papua. p. 404-407 in A. J. Marshall and B. M. Beehler, Eds., The Ecology of Papua. Periplus Editions, Singapore, 2006.

Wink, M. Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. **Phytochemistry**, v. 64, n.1, p. 3-19, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00300-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00300-5)