

**Escola das Artes da Universidade Católica Portuguesa  
Mestrado em Conservação e Restauro de Bens Culturais**



**Madeiras usadas em escultura policromada.  
Revisão da metodologia e das técnicas histológicas  
necessárias à sua identificação**

**Escultura e Talha  
2014-2015**

*José Luís Silva*

Professor Orientador: Doutor José Carlos Patrício dos Santos Frade  
Professor Co-Orientador: Doutor José Joaquim Saraiva Pissarra

Julho de 2015

## Dedicatória

À Inês

## **Agradecimentos**

Aos meus pais

Ao Luís e Madalena Rosa

À Doutora Carolina Barata pela orientação, esforço, conselhos e apoio.

Ao Doutor José Pissarra pela orientação, saber e paciência.

Ao Dr. Álvaro Pinto Leitão pela disponibilização das esculturas alvo do estudo de caso e confiança.

Ao Dr. Arlindo Silva, por tudo, em particular por me ter ensinado o que é uma xilóteca

À técnica de laboratório Helena Moreira pela disponibilidade e apoio.

À Dra. Lília Esteves pelos ensinamentos, conselhos e entrevista.

À Doutora Raquel Carreras pelas informações, incentivo e entrevista.

À Doutora Eduarda Vieira pelo acompanhamento e apoio nos últimos cinco anos.

Ao Doutor Gonçalo de Vasconcelos pelas informações e acompanhamento.

Ao Doutor Luís Bravo por ter proporcionado o encontro com o Doutor José Pissarra.

Ao Doutor José Carlos Frade pelo apoio laboratorial e conselhos.

Ao Doutor Ferrão Afonso pelas revisões históricas.

Ao Doutor Vítor Teixeira pelas revisões iconográficas.

À Doutora Fernanda Bessa pela disponibilidade.

À Alexandra Santos pelas cavilhas para identificação.

À Ana Patrícia Monteiro pelas informações relativas à capela de Nossa Senhora da Piedade, do Claustro Gótico da Sé do Porto.

À Dra. Eulália Subtil pela disponibilidade, apoio e acompanhamento.

À Carla Ferreira pelos livros, apoio e conselhos.

Ao Stefan Alves pelo apoio fotográfico.

## Resumo

A identificação de madeiras constitui-se como uma disciplina que tem como área de inserção a Biologia, mas que é hoje vulgarmente requerida por áreas tão diversas como a Indústria madeireira, a Engenharia Civil e Estrutural, a indústria das Artes Decorativas, a Criminologia, a História da Arte, a Arqueologia e, no caso específico, a Conservação e Restauro, entre outras disciplinas.

A intervenção de conservação e restauro levada a cabo numa escultura sobre madeira policromada e dourada representando Santa Catarina de Alexandria, revelou-se um desafio quer pela qualidade da obra, quer igualmente pelas patologias que esta apresentava. Recorreu-se a testes químicos e a técnicas analíticas como a Microscopia ótica e a Espectrometria de fluorescência de raios-X dispersiva de energias, assim como à identificação da madeira constituinte, obtendo-se um melhor conhecimento acerca das técnicas e matérias utilizadas para a execução da obra.

A necessidade de identificação da madeira constituinte, assim como os processos e conhecimentos necessários para a sua obtenção, revelaram-se um ponto de particular interesse, tendo-se por isso tornado no estudo de caso da presente dissertação.

O estudo de caso focou-se na identificação da madeira constituinte de um grupo de cinco esculturas flamengas datadas dos séculos XV e XVI, exigindo para tal um amplo levantamento dos conhecimentos teóricos, práticos e materiais necessários à obtenção destas conclusões. Daqui resultou a identificação das obras como constituídas por *Castanea sativa*, *Juglans regia*, *Quercus* spp. e *Tilia* spp.

Partindo-se dos conhecimentos adquiridos durante o desenvolvimento do estudo de caso, concluiu-se que as mesmas técnicas e informações usadas pelos especialistas no âmbito da Biologia para a identificação de madeira, podem ser organizadas e especificadas, com o fim de constituírem dentro do âmbito da História da Arte uma metodologia de análise regular, a par das que são habitualmente aplicadas para a análise da policromia.

Com este trabalho objetiva-se a integração desta informação num sistema em que micro amostras de madeira obtidas, não de exemplares recentes e em bom estado de conservação mas, pelo contrário, de objetos que apresentem diferentes níveis de degradação ou que possam apresentar áreas de recolha muito restritas (pelo simples facto de se encontrarem total ou parcialmente revestidos de policromia), possam ser preparadas e analisadas, de forma a que a sua identificação seja mais correta e permita obter resultados mais concretos.

**Palavras-chave:** Identificação de Madeira; Escultura; Policromia; Amostras.

Madeiras usadas em escultura policromada.  
Revisão da metodologia e das técnicas histológicas necessárias à sua identificação.

## Índice de Conteúdos

<b>Dedicatória</b> .....	ii
<b>Agradecimentos</b> .....	iii
<b>Resumo</b> .....	iv
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 INTERVENÇÃO DE CONSERVAÇÃO E RESTAURO DE ESCULTURA DE SANTA CATARINA DE ALEXANDRIA</b> .....	4
2.1 INTRODUÇÃO .....	4
2.2 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO-ESTILÍSTICO .....	5
2.2.1 Proveniência .....	5
2.2.2 Autor .....	6
2.2.3 Período artístico .....	7
2.2.4 Descrição formal .....	8
2.2.5 Hagiografia .....	10
2.2.6 Iconografia .....	11
2.3 TÉCNICAS ANALÍTICAS .....	12
2.3.1 Microscopia ótica digital .....	12
2.3.2 Microscopia ótica com luz Polarizada (MO) .....	12
2.3.3 Espectrometria de fluorescência de raios-X dispersiva de energias – EDXRF .....	13
2.3.4 Teste microquímico .....	13
2.4 MATERIAIS E TÉCNICAS DE EXECUÇÃO .....	14
2.4.1 Análise organolética .....	14
2.4.2 Suporte .....	16
2.4.3 Camada de preparação .....	19
2.4.4 Bolo .....	20
2.4.5 Folha metálica .....	20
2.4.6 Camadas cromáticas .....	21
2.4.6.1 Carnações e cabelos .....	22
2.4.6.2 Vestes .....	24
2.4.6.3 Corpete .....	26
2.4.7 Intervenções posteriores ao original .....	28
2.5 ESTADO DE CONSERVAÇÃO .....	35
2.5.1 Levantamento Gráfico .....	35
2.5.2 Suporte .....	37
2.5.3 Camada de preparação .....	38
2.5.4 Bolo .....	39
2.5.5 Folha metálica .....	39
2.5.6 Camadas cromáticas .....	39
2.5.7 Intervenções posteriores ao original .....	41
2.6 TRATAMENTO EFECTUADO .....	42

2.6.1	Proteção prévia da superfície.....	42
2.6.2	Suporte .....	43
2.6.3	Policromia .....	45
2.6.4	Aplicação do verniz .....	50
2.7	LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO.....	51
2.7.1	Antes da intervenção .....	51
2.7.2	Após a intervenção .....	52
2.7.3	Pormenores após a intervenção.....	53
2.8	CONCLUSÃO .....	55
3	ESTUDO DE CASO .....	56
3.1	A ESCULTURA RELIGIOSA DOS SÉCULOS XV E XVI DA REGIÃO DA FLANDRES .....	57
3.1.1	Enquadramento Geográfico/ Características do Mercado Flamengo.....	57
3.1.2	Renascimento Flamengo .....	59
3.1.3	Karel van Mander e a formulação do cânone Flamengo.....	62
3.1.4	A escultura, o escultor e a madeira.....	62
3.2	ICONOGRAFIA DAS ESCULTURAS FLAMENGAS DO SÉCULO XV-XVI SELECIONADAS .....	65
3.2.1	<i>Salvator Mundi</i> (“Salvador do Mundo”) .....	65
3.2.2	São Bartolomeu .....	66
3.2.3	São João Evangelista .....	67
3.2.4	Virgem com Menino em Majestade.....	68
3.2.5	Nossa Senhora do Calvário .....	69
3.3	ENQUADRAMENTO DA IDENTIFICAÇÃO DE MADEIRAS.....	70
3.3.1	Introdução .....	70
3.3.2	A importância da identificação de madeira.....	70
3.3.3	Enquadramento histórico da identificação de madeira.....	71
3.3.4	Identificação de madeira – dificuldades e limites .....	74
3.3.5	Aplicação da identificação de madeira em obras de arte.....	74
3.3.6	A questão da qualidade das amostras .....	75
3.4	ORIGEM E DESENVOLVIMENTO DA MADEIRA .....	76
3.5	GENERALIDADES ACERCA DA MADEIRA.....	77
3.6	ESTRUTURA MACROSCÓPICA DO TRONCO .....	79
3.6.1	Fuste .....	79
3.6.2	Casca.....	79
3.6.3	Câmbio vascular .....	80
3.6.4	Xilema .....	81
3.6.5	Borne ou Alburno .....	81
3.6.6	Cerne ou Durame.....	82
3.6.7	Anéis de crescimento .....	83
3.6.8	Medula .....	85
3.6.9	Raios lenhosos.....	85
3.7	IDENTIFICAÇÃO MACROSCÓPICA DE MADEIRA.....	88
3.7.1	Densidade.....	88
3.7.2	Dureza .....	90
3.7.3	Textura.....	90
3.7.4	Desenho.....	91

3.7.5	Veio.....	91
3.7.6	Fio.....	92
3.7.7	Cor.....	93
3.7.8	Brilho.....	93
3.7.9	Cheiro.....	93
3.7.10	Sabor.....	94
3.8	ESTRUTURA MICROSCÓPICA DA MADEIRA.....	95
3.9	ANATOMIA DA MADEIRA DE CONÍFERAS (GIMNOSPÉRMICAS LENHOSAS).....	106
3.9.1	Xilema - Variações na estrutura da madeira.....	106
3.9.2	Elementos do Sistema Axial.....	108
3.9.2.1	Traqueídeos.....	108
3.9.2.2	Células de parênquima axial.....	112
3.9.3	Elementos do Sistema Radial.....	115
3.9.3.1	Traqueídeos radiais.....	116
3.9.3.2	Células de parênquima radial.....	118
3.10	ANATOMIA DA MADEIRA DE FOLHOSAS (ANGIOSPÉRMICAS LENHOSAS).....	121
3.10.1	Elementos do Sistema Axial.....	122
3.10.1.1	Elementos de vaso.....	122
3.10.1.2	Traqueídeos e Fibras.....	138
3.10.1.3	Parênquima Logitudinal.....	143
3.10.2	Elementos do Sistema Radial.....	153
3.10.2.1	Raios lenhosos.....	153
3.10.3	Outras estruturas anatómicas das madeiras de folhosas.....	161
3.10.3.1	Células com óleos ou mucilagens.....	161
3.10.3.2	Canais intercelulares.....	161
3.10.3.3	Tubos latíferos e taniníferos.....	163
3.10.3.4	Floema incluso.....	163
3.10.3.5	Inclusões minerais.....	163
3.11	IDENTIFICAÇÃO MICROSCÓPICA DE MADEIRA.....	168
3.11.1	Metodologia para a obtenção de preparações histológicas.....	170
3.11.2	Dissociação de madeira.....	172
3.11.3	Preparações histológicas definitivas.....	174
3.11.4	Corantes mais usados em técnicas histológicas da madeira.....	175
3.11.5	Principais meios de montagem.....	182
3.11.6	Principais Resinas de inclusão.....	184
3.11.7	Medição de elementos anatómicos em macro e microscopia.....	189
3.11.8	Chaves dicotômicas e tabelas Biométricas.....	189
3.11.9	Análise de amostras de madeira por microscopia.....	190
3.11.9.1	Microscopia ótica de luz refletida.....	190
3.11.9.2	Microscopia ótica de luz transmitida.....	190
3.11.9.3	Microscopia Eletrónica de Varrimento (SEM).....	191

3.12 DEFEITOS E CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL LENHOSO QUE PODEM INFLUENCIAR OU DIFICULTAR A SUA IDENTIFICAÇÃO.....	192
3.12.1 Defeitos morfológicos do tronco.....	192
3.12.2 Desenvolvimento cambial irregular .....	193
3.12.3 Conteúdo celular anormal .....	194
3.12.4 Disposição anormal das fibras .....	195
3.12.5 Deformação e constituição anormal dos tecidos em certas partes do lenho.....	195
3.12.6 Impregnação desigual de materiais corantes, óleos, gomas e resinas .....	197
3.12.7 Lenho de reação (compressão e tração) .....	198
3.12.8 Lenho de compressão.....	199
3.12.9 Lenho de tração .....	201
3.12.10 Feridas .....	203
3.12.11 Nós .....	203
3.12.12 Desenvolvimento irregular do cerne.....	205
3.12.13 Desenvolvimento do Entrecasco .....	206
3.12.14 Fendas anelares.....	207
3.12.15 Fendas radiais.....	207
3.12.16 Fendas pé de galinha .....	207
3.12.17 Danos provocados pela intervenção humana .....	207
3.12.18 Danos provocados pela intervenção animal.....	210
3.12.19 Danos provocados pela intervenção vegetal.....	211
3.12.20 Danos provocados por fenómenos meteorológicos anormais.....	212
3.13 SITUAÇÕES QUE DIFICULTAM A IDENTIFICAÇÃO / RECOLHA DE AMOSTRAS MADEIRA.....	215
3.13.1 Tamanho reduzido das amostras.....	215
3.13.2 Presença total ou parcial de revestimentos decorativos .....	216
3.13.3 Presença de ceras, resinas e polímeros .....	216
3.13.4 Infestação xilófaga .....	216
3.13.5 Podridão.....	217
3.13.6 Madeira esmagada .....	219
3.13.7 Madeira submersa .....	220
3.13.8 Madeira muito seca.....	220
3.13.9 Madeira carbonizada.....	220
3.14 TESTE DE SONDA DE PRESSLER COMO INSTRUMENTO PARA RECOLHA DE AMOSTRAS DE MADEIRA DE OBRAS DE ARTE .....	222
3.15 APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE MADEIRA NO GRUPO DE ESCULTURAS FLAMENGAS DO SÉCULO XV-XVI .....	223
3.15.1 Procedimentos para a recolha manual de amostras de madeira .....	223
3.16 METODOLOGIA USADA PARA A OBTENÇÃO DE PREPARAÇÕES HISTOLÓGICAS DAS AMOSTRAS OBTIDAS .....	224
3.16.1 Análise de amostras, secionamento e clareamento dos respetivos cortes de madeira .....	224
3.16.2 Coloração dos cortes de madeira .....	225
3.16.3 Desidratação dos cortes de madeira.....	226
3.16.4 Elaboração permanente das preparações histológicas.....	226

3.16.5 Início da análise dos cortes provenientes das amostras obtidas da escultura de Santa Catarina de Alexandria .....	227
3.16.6 Processo de inclusão de amostras de madeira em resina .....	227
3.16.7 Processo de inclusão das amostras em resina LRWhite .....	229
3.16.8 Seccionamento das amostras incluídas em resina LRwhite .....	230
3.16.9 Coloração dos cortes das amostras incluídas em resina LRwhite .....	233
3.16.10 Registo fotográfico dos cortes obtidos das amostras incluídas em resina .....	234
3.16.11 Identificação da madeira através de chave dicotómica .....	235
3.16.12 Seccionamento das amostras provenientes das esculturas flamengas incluídas em resina LRwhite .....	236
3.16.13 Inclusão de amostras de teste com resina Metacrilato (Historesin, Leica) .....	236
3.16.14 Secionamento .....	237
3.16.15 Coloração .....	238
3.16.16 Montagem .....	239
3.16.17 Conclusões do teste para a inclusão de amostras de madeira em resina Metacrilato (Historesin, Leica).....	239
3.17 DESCRIÇÃO E COMPARAÇÃO ANATÓMICA DOS CORTES OBTIDOS DAS AMOSTRAS RECOLHIDAS DO GRUPO DE ESCULTURA FLAMENGA .....	240
3.17.1 Nossa Senhora com o Menino em Majestade.....	240
3.17.2 Cristo Slavator Mundi.....	243
3.17.3 Nossa Senhora do Calvário .....	244
3.17.4 São Bartolomeu .....	247
3.17.5 São João Evangelista .....	250
3.17.6 Conclusões acerca das espécies e géneros identificados nas esculturas flamengas do século XV-XVI .....	252
4 CONCLUSÃO.....	253
Anexo A: Levantamento Fotográfico das obras selecionadas para o caso de estudo (Imagens do autor).....	254
Anexo B: Levantamento fotográfico do teste com <i>Sonda de Pressler</i> (Imagens do autor).....	269
Anexo C: Levantamento fotográfico da recolha das amostras de madeira das esculturas flamengas selecionada para estudo de caso. (Imagens do autor).....	271
Anexo D: Etapas do protocolo de inclusão de amostras de madeira em resina acrílica LRwhite “LRwhite Medium Grade Acrylin Resin 500g. London Resin Company Ltd” (Imagens do autor).....	273
Anexo E: Etapas do protocolo de inclusão de amostras de madeira em Metacrilato Historesin, Leica (Imagens do autor) .....	276
Anexo F: Cortes histológicos de amostras incluídas em Metacrilato Historesin, Leica. (Imagens do autor).....	278
Anexo G: Espécies predominantes no centro/norte europeu antes do século XVIII .....	281
Anexo H: Entrevistas.....	289

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do mestrado em “Conservação e Restauro de Bens Culturais – Especialização Escultura/Talha”, cuja área de estudo se foca sobre suportes lenhosos e tratamentos das respetivas superfícies policromas.

Subdivide-se em dois núcleos fundamentais, sendo que no primeiro se desenvolve a identificação, caracterização de materiais e técnica, diagnóstico e metodologias de tratamento de conservação e restauro de uma escultura em madeira representando Santa Catarina de Alexandria. No segundo núcleo desenvolve-se o caso de estudo em que se descreve a metodologia atual para a identificação de espécies de madeira em obras de arte bem como uma revisão da principal bibliografia, técnicas e materiais usados para a identificação de madeira.

O processo de análise, conservação e restauro da escultura de Santa Catarina de Alexandria teve por objetivo, consolidar competências em termos de diagnóstico, caracterização material e técnica, assim como de metodologias de tratamento aplicadas na área científica nuclear, desenvolvidas durante o primeiro ano curricular deste segundo ciclo de estudos.

O tratamento desta obra constitui um desafio, quer pela enorme qualidade artística da peça, quer pelo acentuado estado de degradação que a mesma apresentava. O seu estudo e tratamento permitiram contribuir para o conhecimento deste tipo de manifestação artística em Portugal e, simultaneamente, formular um conjunto de questões a que se pretendeu dar resposta através do desenvolvimento do estudo de caso.

A qualidade incomum da técnica escultórica utilizada, assim como a grande área de lenho exposto sem qualquer camada policroma, associadas a um crescente interesse pessoal pela madeira como matéria que tem vindo a ser desenvolvido ao longo dos últimos 10 anos, conduziu à necessidade de obter resposta para uma pergunta muito concreta: qual a madeira em que esta escultura foi entalhada?

As metodologias de análise habitualmente acessíveis, assim como os conhecimentos adquiridos ao longo da formação em conservação e restauro revelaram-se insuficientes para o esclarecimento deste aspeto em particular, pelo que o interesse e a curiosidade em redor do tema foram aumentando e a necessidade de obtenção de resultados concretos a este respeito foi-se tornando gradualmente mais premente. Desta necessidade surgiu a definição do caso de estudo da presente dissertação de mestrado.

A identificação de madeira baseada em metodologias científicas é pouco aplicada na área do Património Cultural, embora os meios técnicos e os conhecimentos necessários para o seu desenvolvimento sejam frequentemente usados na área da Biologia, destinando-se este conhecimento sobretudo aos setores da Indústria madeireira, da Engenharia Civil e Estrutural, Arqueologia e Criminologia. Perguntamo-nos então acerca do porquê desta situação, quais as principais limitações e quais os materiais, técnicas e conhecimentos científicos necessários para se obter uma identificação científica de madeira e, com isso, poder contribuir para o conhecimento obras de arte produzidas em Portugal ao longo dos diferentes períodos artísticos.

Para o desenvolvimento da segunda parte do projeto foi então necessário reunir um conjunto de obras que possuíssem uma relação entre si. Optou-se por estudar a natureza da madeira de um grupo de esculturas flamengas dos séculos XV e XVI selecionadas por um perito com base nas suas características estilísticas. Trata-se de esculturas que se inserem na região e

período histórico mais profundamente estudados no contexto da europeia e, por isso, passível de fornecer um maior conjunto de informações que pudessem constituir um ponto de partida suportado em termos bibliográficos.

O objetivo do estudo de caso foi o de conhecer as metodologias utilizadas na área da Biologia no que toca à identificação de espécies de madeira através da sua anatomia interna e adaptá-la às exigências e condicionantes específicas de obras policromadas e sujeitas à ação dos agentes de degradação ao longo do tempo.

Com base no conhecimento existente, apresenta-se uma revisão do que constitui o conjunto de saberes essenciais necessários para a identificação de espécies de madeira, exposta e estruturada de forma a ser facilmente descodificada por conservadores restauradores. Simultaneamente, demonstra-se a adaptação dessas metodologias às especificidades de bens patrimoniais em suporte de madeira, dos quais apenas uma quantidade muito reduzida de material pode ser recolhida.

Esta dissertação inicia-se com a descrição da escultura de Santa Catarina de Alexandria, seu enquadramento histórico, formal e iconográfico. Seguidamente descreve-se a aplicação das técnicas analíticas usadas para a sua caracterização material e respetivos resultados. Caracteriza-se em seguida o seu estado de conservação que justificou a intervenção de conservação e restauro. Por fim, descrevem-se as diferentes etapas do tratamento de conservação e restauro.

No caso de estudo faz-se o levantamento dos conhecimentos técnicos e teóricos necessários para a identificação da madeira constituinte do grupo de esculturas flamengas selecionadas. Este é iniciado com o enquadramento histórico-estilístico da escultura flamenga, passando para a iconografia das obras selecionadas seguindo-se a sua caracterização iconográfica.

A exposição dos conteúdos relacionados com as áreas da Biologia e Anatomia da madeira inicia-se por considerações gerais acerca da madeira, passando pela descrição macroscópica de um tronco e prosseguindo até à descrição microscópica dos distintos tipos celulares presentes em coníferas e folhosas. Apresenta-se em seguida um apanhado dos materiais, instrumentos, técnicas e procedimentos habitualmente aplicados na identificação de material lenhoso, assim como das características e defeitos da madeira e das limitações específicas inerentes às obras de arte que possam influenciar ou limitar a obtenção de resultados. Prossegue-se com a descrição de um teste com Sonda de Pressler como método para a recolha de amostras de madeira provenientes de obras de arte, assim como da aplicação de Metacrilato como material de inclusão de amostras de madeira. Enumeram-se em seguida as dificuldades inerentes à recolha de amostras de madeira nas obras de arte selecionadas e a descrição das distintas etapas e procedimentos usados para a manipulação, preparação e obtenção de amostras histológicas das amostras de madeira.

Termina-se o estudo de caso com a descrição dos cortes histológicos recolhidas e com a identificação das madeiras constituintes e respetivo cruzamento com as informações existentes acerca das madeiras mais comumente usadas em escultura flamenga dos séculos XV e XVI.

Conclui-se que a identificação de madeira constituinte de obras de arte pode ser um recurso habitual em estudos de bens patrimoniais, que em muito contribui para o aprofundamento do conhecimento acerca da origem, enquadramento histórico, social, técnico e estilístico das obras de arte.

Em trabalhos futuros pretende-se implementar esta metodologia na identificação sistemática de obras de arte portuguesas em materiais lenhosos, assim como a criação de uma base de dados passível de atualização periódica e acessível aos investigadores, como forma de contribuir para o traçar de uma perspetiva abrangente acerca das opções técnicas e materiais dos artistas que desenvolveram a sua atividade no nosso país ao longo do tempo.

## **2 INTERVENÇÃO DE CONSERVAÇÃO E RESTAURO DE ESCULTURA DE SANTA CATARINA DE ALEXANDRIA**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

A obra objeto de intervenção de conservação e restauro é uma escultura de vulto pleno entalhada em madeira, dourada e policromada representando Santa Catarina de Alexandria, com 100 cm de altura, 55 cm de largura e 46,5 cm de profundidade. O seu autor é desconhecido, assim como a sua data de execução.

A intervenção limitou-se ao estritamente necessário para lhe restituir a estabilidade física e química, assim como a sua fruição estética. Foram tidos em consideração os princípios de compatibilidade, reversibilidade e reconhecimento na escolha dos métodos e materiais de tratamento.

A obra é propriedade da Sé Patriarcal do Porto e atualmente pertence ao Retábulo da capela de Nossa Senhora da Piedade (ou de Santa Catarina), situada no Claustro Gótico da Sé do Porto.

## 2.2 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO-ESTILÍSTICO

### 2.2.1 Proveniência

A imagem de Santa Catarina de Alexandria está atualmente inserida no lado da Epístola do retábulo da Capela de Nossa Senhora da Piedade, ou de Santa Catarina (Figura 1) na ala sul do Claustro Gótico da Sé do Porto (Botelho: 2004). Pode-se conjecturar a sua colocação neste local posteriormente à execução do retábulo, uma vez que se trata de uma imagem de vulto pleno e com uma escala desproporcionada em relação às dimensões do nicho onde se insere (grande demais) e às restantes imagens do retábulo (Nossa Senhora da Piedade, ao centro, e São Caetano, no lado do Evangelho). Aspetos como estes (imagem de vulto pleno inserida num nicho e, dimensões desproporcionadas) são inúmeras vezes tidos em consideração na análise de proveniência e função original das obras, como é o caso da imagem de Santa Catarina de Alexandria pertencente ao Museu Nacional de Arte antiga, acerca da qual se considerou que "*É de admitir que esta peça pelo seu recorte, dimensão, (...) tenha tido outro uso que não o de elemento de um retábulo (...)*".<sup>1</sup>.



Figura 1 - Vista geral do retábulo da Capela de Nossa Senhora da Piedade, situado na ala sul do Claustro Gótico da Sé do Porto. In: <http://www.portopatrimoniomundial.com/se-catedral-do-porto.html> (2014.07.29; 11h).



Figura 2 - Vista de Santa Catarina de Alexandria no nicho do retábulo da Capela de Nossa Senhora da Piedade, situado na ala sul do Claustro Gótico da Sé do Porto. Imagem gentilmente cedida por Ana Patrícia Monteiro.

Em relação à encomenda da obra e à possível localização original não existe documentação conhecida, assim como é parca a informação sobre a capela onde se insere.

Partindo das pesquisas efetuadas por Ana Patrícia Monteiro, aluna do mesmo curso de Mestrado, na edição de 2012-2014, as informações existentes são inconclusivas no que se refere à datação da capela mas existem pistas que poderão ajudar a contextualizar a sua construção.

Sabe-se que a Sé do Porto começa a ser erigida nos finais do século XII, sob o bispado de D. Fernão Martins (Botelho: 2004). Cerca de um século depois (1385) é referida a oferta do

<sup>1</sup> Vd. "Alabastros Medievais Ingleses. Coleção do Museu Nacional de Arte Antiga, Lisboa, MNAA, 1977". In *Alabastros Medievais Ingleses. Dossier de Documentação No. 1*, Batalha, Museu do Mosteiro de Santa Maria da Vitória, 1981. *Apud* MATRIZNET – Ficha de Inventário. In: <http://www.matriznet.dgpc.pt/MatrizNet/Objectos/ObjectosConsultar.aspx?IdReg=246062&EntSep=3#gotoPosition> Vitória, 1981.

Bispo D. João III de “... mil pedras lavradas para o Claustro Gótico”, assim como uma “... doação de silhares, feita pela municipalidade.”<sup>2</sup>. Embora estas palavras não sejam alusivas à capela, sabe-se que o traçado do claustro já contempla a inclusão de capelas mais antigas<sup>3</sup>. A referência seguinte, que se julga aludir à Capela de Santa Catarina, surge nos Livros da Fábrica de Quinhentos, onde se menciona, em 1559, uma “capela de grades de ferro” que poderemos associar à capela em questão, visto ser a única que apresenta tais elementos.

O último elemento de associação que importa referir contempla o revestimento das paredes laterais da capela com azulejos, cuja implantação na arquitetura do espaço é perfeita, assim como o seu remate perante o retábulo. Isto sugere que foram encomenda específica para a capela onde se inserem. Este fator é da máxima relevância visto que o painel de azulejos do lado do Evangelho apresenta cena figurativa com a representação de São Caetano (como a escultura presente no mesmo lado do retábulo) e o painel oposto tem a representação de Santa Catarina de Alexandria, em concordância com a imagem retabular em estudo. Esta última empreitada terá sido realizada por António Vital Rifarto no ano de 1738, segundo os estudos de Flávio Gonçalves<sup>4</sup>. Podemos assim apenas conjecturar se a escultura em questão antecedeu os azulejos, sendo estes aí aplicados para reforço da invocação inicial ou o contrário.

Porém se presumirmos que a peça possa estar presente pelo menos desde a colocação dos azulejos, a sua manufatura será sempre anterior a 1738 o que, coincide com as investigações de carácter estilístico levadas a cabo e seguidamente expostas.

### 2.2.2 Autor

No que toca à escultura de Santa Catarina de Alexandria, não foi possível localizar qualquer registo de encomenda, aquisição ou doação que possa sugerir uma atribuição de autoria. A peça não ostenta quaisquer marcas que apontem para uma oficina ou data, sendo que a numeração situada no limite direito da roda presente no reverso da escultura não conduziu a qualquer informação adicional (Figura 3).



Figura 3 - Vista da numeração presente no reverso da obra.

<sup>2</sup> Vd. PEREIRA, Paulo, dir. – *História da Arte Portuguesa. O «Modo» Gótico (Séculos XIII-XV)*. Barcelona: Círculo de Leitores e Autores, 1995, vol. I, p. 384.

<sup>3</sup> IDEM, *Ibidem*, p. 384.

<sup>4</sup> GONÇALVES, F. – *A data e o autor dos azulejos do claustro da Sé do Porto*. In suplemento *Cultura e Arte de O Comércio do Porto* (8 de Fevereiro, 14 de Março, 11 de Abril e 11 de Julho de 1972).

### 2.2.3 Período artístico

Com base nas características estilísticas, nos elementos decorativos existentes e na linguagem escultórica, situa-se a obra entre os finais do século XVI e o início do século XVII.<sup>5</sup>

Uma interpretação dos aspetos estilísticos e formais sugere manufatura seiscentista. A expressão, o gesto e a linguagem escultórica revelam soluções do século XVII. No que diz respeito ao traje e aos adornos somos remetidos para exemplares anteriores, datados do século XVI. Para a definição da época deve ter-se em conta, no entanto, que a escultura portuguesa em madeira do século XVII constitui uma consolidação da expressão da escultura sobre pedra do século XVI, a qual possui uma clara linguagem italianizante (Pinto: 2006) a qual é identificável na escultura da Santa Catarina de Alexandria na sua expressão facial, na sua silhueta acentuada, assim como numa teatralidade contida. Para além disto, é importante ter a noção de que a moda talar em Portugal se manteve sempre “um passo atrás” da vanguarda internacional (Teixeira: 2005).

Durante a comparação de esculturas com linguagens semelhantes ou que, de forma mais ou menos profunda sugerissem uma relação estético formal com a peça em análise, destacou-se a obra de escultura de Frei Cipriano da Cruz (1645 – 1716) na qual, são evidentes pontos de ligação na linguagem física, no gesto, na expressão facial assim como na manipulação do volume e no seu movimento.

Acerca deste escultor Robert C. Smith escreve o seguinte:

*“ (...) corpos amplos e arredondados, como os seus rostos, vestem duplas mantas, à moda de seiscentos, ornadas de florões e folhas douradas sobre fundos azuis e verdes, com toques de vermelho e cor de rosa. Na cinta algumas usam fitas ou cintos, outros corpetes rematados por lambrequins, ou decorados com motivos geométricos em relevo, de vaga derivação maneirista (...) nos cabelos, que geralmente caem sobre os ombros, figuram joias em forma de placas ou cadeias (...).”*

(Smith: 1968, p. 61)

Face ao exposto cremos estar na presença de uma obra cujas soluções formais e estilísticas se aproximam às da escultura de final de seiscentos e início de setecentos, onde se denota uma discreta influência italianizante. Poderá ser estabelecida uma relação com o trabalho de Frei Cipriano da Cruz, embora as obras deste autor revelem menor sensibilidade e acuidade anatómicas. Salienta-se, no entanto a possibilidade de esta obra poder ser de produção mais tardia, ao gosto de uma época passada uma vez que se repetem elementos da moda talar do século XVI não coincidentes com as características escultóricas dessa mesma época em Portugal. Como exemplo destaca-se a verticalidade das composições que imprimem uma atitude ativa por volta do último quartel do século XVI muito reflexo da corte espanhola. Essa verticalidade é presente na composição pelo delgado das roupas, assim como na linha de simetria na decoração do corpete, peça esta bastante estruturada, terminando em ponta (Teixeira: 2005) e também ela característica desta época.

*“A rigidez que marcou as roupas masculinas na segunda metade do século XVI foi ainda mais pronunciada nas femininas. O corpete, que formava a frente da blusa, era endurecido com tela engomada ou papelão e mantido no lugar por barbatanas frequentemente feitas de madeira e, portanto, não-flexíveis.”*

(Laver: 1996, p.95)

---

<sup>5</sup> Este período foi corroborado pelo Prof. Doutor José Ferrão Afonso após troca de opiniões.

Outro exemplo é o manto. A sua representação surge em grande escala durante o Renascimento, reflexo de um gosto classicista, sendo uma das muitas referências a obra o *Casamento da Virgem* de Rafael. Em fontes escritas, existe a menção do seu uso já em finais do século XVI.<sup>6</sup>

Por último, o gosto desenvolvido durante a primeira metade do século XVI, pelos  
“ (...) veludos contra talhados, os brocados e os damascos tradicionais do século XV, usados, tanto nas vestes litúrgicas, como nas laicas. (...) No ritual eclesiástico, o fausto pelas vestes e pelos adornos preciosos não perdeu a sua importância nem mesmo com a renovação da liturgia que se seguiu ao concílio tridentino.”

(Marrucchi: 2006).

No entanto, estão já presentes na pintura portuguesa do século XV, os tecidos decorados com exuberantes adamascados, tendo como exemplo máximo os Painéis de São Vicente de Fora, atribuídos a Nuno Gonçalves.

#### 2.2.4 Descrição formal

A composição escultórica representa uma figura feminina com uma cabeça masculina a seus pés, ambas assentes numa base hexagonal de 50 cm de largura e 45 cm de profundidade (Figura 4 e 5).



Figura 4 – Vista do anverso da escultura de Santa Catarina de Alexandria antes da intervenção.



Figura 5 – Vista do reverso da escultura de Santa Catarina de Alexandria antes da intervenção.

Apresenta-se como uma mulher jovem, coroada e de pé em contraposto. A sua cabeça encontra-se ligeiramente inclinada para trás e para a sua esquerda. Possui faces rosadas e olhos verdes olhando em frente. Apresenta sobrancelhas finas e bem arqueadas. A boca surge entreaberta e os lábios são de um tom rosa escuro e quente. A sua face é ovalada e ligeiramente

<sup>6</sup> <http://www.museumofcostume.co.uk/>.

roliça, com a particularidade da representação de algum volume por debaixo do queixo. O cabelo castanho apresenta-se em madeixas onduladas que caem sobre o seu ombro esquerdo até ao peito. É preso à frente por um fio de perlados que ostenta contas douradas, de aproximadamente 4 mm de diâmetro e que envolve o cabelo da imagem em três voltas, no seu lado direito, e em duas no lado esquerdo. Assim disposto, poderemos caracterizá-lo como um adereço para prender o cabelo. Já a coroa, entalhada também em madeira, está centrada no topo da cabeça e caracteriza-se por ser aberta e de recorte simples. O diadema de orla emoldurada apresenta dois remates ao estilo de friso entrelaçado, tipo corda.

Veste corpete justo (que marca a cintura) e estruturado, terminando em bico na parte frontal e com decote redondo subido. A decoração do corpete é profusa em elementos vegetalistas estilizados e geometricamente organizados, de modo a criar uma estrutura vertical, ainda assim enfatizando os contornos da cintura. Revela simetria, com composição central dominante, assim como contrastes policromos nas pétalas das flores que ostenta, centradas em elementos de geometria simples ao estilo *cloisonné*. Esta decoração é igualmente visível nas costas, no lado superior direito que está descoberto pelo manto. Todos os elementos descritos são entalhados em alto-relevo e dourados (embora pouco reste da folha de ouro) e encontram-se sobre fundo liso vermelho.

Apresenta os braços fletidos para a frente (embora falte o antebraço esquerdo, existe uma sugestão de direção dada pelo braço) os quais envergam duas mangas em sobreposição. As mangas exteriores são mais curtas (terminam aproximadamente pelo cotovelo), estão ligadas ao corpete e têm um corte a todo o comprimento (na frente do braço) que se estende desde o ombro, por costura separada, até ao punho, ou seja, sempre aberta. Essa abertura é presa no interior do braço (cotovelo) por algo que se assemelha a um pequeno aro (anel), para voltar a abrir com um punho amplo, caído abaixo do cotovelo, que se estende aproximadamente até à anca. O interior destas mangas (forro) apresenta o mesmo tratamento que o fundo do corpete – aparência de laca vermelha - enquanto o seu exterior aparenta um estofado opaco de cor bege claro. São perceptíveis pequenos orifícios nas orlas de ambas as mangas, que se são resultado de pequenas tachas metálicas das quais restam ainda vinte e seis, e que serviriam provavelmente para a fixação de galão, renda ou tecido que serviria como debrum decorativo. A talha revela um panejamento pouco denso, com alguns vincos de direção.

Sob as mangas mais curtas é visível, desde o ombro, uma manga de camisa (?) mais comprida (só visível no antebraço direito por falta do esquerdo), relativamente ajustada ao braço e de tonalidade aparentemente verde (grande área de lacuna). Define-se por um drapeado largo, sugerindo um tecido espesso/denso.

A mão direita está incompleta, restando apenas os dedos polegar e indicador que seguram um fragmento de um atributo já perdido, no qual, resta uma reduzida área policromada de tonalidade verde, pelo que se supõe ter-se tratado de uma palma<sup>7</sup>. A mão apresenta carnação no mesmo tom rosado da face.

O braço esquerdo segura um fragmento de livro contra a cintura, livro este perceptível pelo perfil que revelam o miolo e a capa. Existe perda total do antebraço esquerdo, pelo que não é possível acrescentar dados à sua descrição.

O topo do braço esquerdo surge coberto por um manto que rodeia toda a figura na diagonal. É dobrado no ombro esquerdo e cai para trás das costas, abrindo quase na totalidade da sua largura e voltando a unir em torno da cintura, na frente da imagem. Aí agrupa-se com o

---

<sup>7</sup> Ver, Iconografia, p. 15.

outro extremo que cobre o seu braço esquerdo, deixando cair uma ponta até aos seus pés. Apresenta dois tons, sendo um laranja na parte exterior e um verde-escuro no seu interior (forro). Os drapeados que o constituem, são na sua maioria de direção diagonal e amplos, o que reforça a sensação de movimento imposta pela cabeça e joelho, dando com isto a impressão de um tecido pesado. É ainda perceptível nos debruns do manto a aplicação de tachas metálicas que aparentam terem tido a mesma função das anteriormente referenciadas e que se apresentam com espaçamento ritmado entre si (aplicações para prender tecidos, cobrindo os panejamentos originais?), sendo que são visíveis 23 tachas atrás, 2 na manga larga esquerda e uma na manga direita. No resto da representação só se encontram os orifícios das mesmas tal como referido anteriormente. Apresenta ainda um elemento em vidro (?) de cor esverdeada (translúcido) na dobra de trás do manto, junto aos pés, com função decorativa.

Sob o corpete surge uma sobre túnica (?) que se estende até aos joelhos e, sob esta, outra até aos pés, pregueada e em tom de verde. Esta sobre túnica revela pequenos orifícios com espaçamento fixo provocados pelas já referidas tachas metálicas perdidas. Apresenta um pregueado profundo como o da saia que se encontra por debaixo desta.

Aos pés da imagem (imperceptíveis) surgem dois fragmentos de roda (à frente e atrás). Este elemento está entalhado como fragmentado (conforme a hagiografia).

Sobre o pé direito da figura surge uma cabeça masculina, barbada, de expressão hostil e com volume de tom verde representando talvez parte de um manto. Encontra-se inclinada para a frente e para a direita, fitando o plano do chão. Possui carnação em tom semelhante ao da figura feminina. A sua face é angulosa e esguia. Os seus olhos são de tom castanho-escuro e as sobrancelhas estão franzidas e meticulosamente entalhadas para acentuar a expressão. A boca encontra-se cerrada e seus lábios são finos. Tanto a barba como o cabelo exibem um tom entre o castanho e o negro, ambos com fartos caracóis.

Sob todos estes elementos surge um plinto hexagonal de base retangular (prisma retangular reto), com as duas arestas frontais truncadas. O seu topo (plataforma) apresenta camada cromática numa variação de tons de verde, ao passo que as faces laterais exibem um marmoreado de tons de vermelho.

### 2.2.5 Hagiografia

A história da Santa Catarina de Alexandria está envolta numa certa polémica dada a falta de documentos que comprovem a sua existência. Não obstante, o relato dos seus feitos remonta ao início do século IV, na cidade de Alexandria (Egipto).

Filha dos governantes pagãos de Alexandria, Rei *Costus* e Rainha *Sabinella*, a princesa, descrita como de uma beleza e sabedoria ímpares, apresentou-se aos 18 anos de idade perante o Imperador Romano *Marcus Aurelius Valerius Maxentius Augustus* com o intuito de o convencer a cessar com as perseguições aos cristãos. Impressionado com a sua argumentação, o imperador reuniu uma série de filósofos e oradores pagãos sob o desígnio de demover a jovem da sua fé. Mas Catarina venceu o debate com os seus eloquentes argumentos e conseguiu ainda que muitos dos seus adversários se convertessem ao cristianismo nesse preciso momento, ato que lhes valeu a condenação à morte (Leonardi: 2000).

Consequentemente, Catarina foi açoitada e feita prisioneira. No seu cárcere, recebeu inúmeras visitas (incluindo a mulher do Imperador, que também se converteu ao cristianismo e foi também condenada à morte). Incrédulo com a perseverança da jovem, o Imperador tentou então uma abordagem mais compassiva, pedindo-a em casamento, ao que a jovem lhe

respondeu que já era casada com Jesus Cristo, a quem tinha consagrado a sua virgindade eterna. Ultrajado com tal resposta, o Imperador condenou-a à morte pela roda, a qual, em contacto com a jovem, se partiu milagrosamente. O Imperador, furioso com tal acontecimento, ordenou então a sua decapitação. A jovem sucumbiu mas refere-se que o seu corpo foi carregado por anjos até ao Monte Sinai onde foi erguido, em meados do século VI, um mosteiro que se diz atualmente ter sido construído em sua honra (Caraffa: 1996).

### 2.2.6 Iconografia

O atributo que melhor representa Santa Catarina de Alexandria é a roda. Trata-se de um instrumento de tortura (Caraffa: 1996) que é exclusivamente usado na representação iconográfica de Santa Catarina de Alexandria. No caso da imagem em estudo, a roda é apresentada em dois fragmentos<sup>8</sup>, embora possa também ser representada íntegra noutras representações da Santa.

Para além desta, surgem na imagem a coroa na sua cabeça, dada a sua condição de princesa.

Sabendo-se que a iconografia de Santa Catarina de Alexandria concebe a representação de um livro (atributo de sabedoria), poderemos sugerir que a imagem estaria a segurar um livro com a mão e braço esquerdos (Figura 6), apoiado na sua cintura, dado o perfil do fragmento ostentado (representa a capa mais saliente que o miolo<sup>9</sup>). Ainda se destaca o objeto empunhado na mão direita (Figura 7) que, dado só existir um fragmento, poderá ser um dos dois atributos que acompanham esta imagem: uma palma (símbolo dos santos mártires)<sup>10</sup> ou uma espada (objeto pelo qual a mártir sucumbiu). O modo como a figura segura o objeto sugere que este seria leve, pelo que se pensa ter-se tratado de uma palma. Além disso, na face frontal do fragmento observa-se um vestígio do que seria a sua policromia, a qual se apresenta num tom de verde esbatido.

Outra característica de Santa Catarina de Alexandria é a de ser, por vezes, representada com o martirizador a seus pés. Assim, na peça em questão é representada a efígie de *Marcus Aurelius Valerius Maxentius Augustus*, o seu perseguidor.

Como representação religiosa, salienta-se ainda o facto do seu cabelo se apresentar caído (solto), manifesto da sua condição de mulher solteira, virgem<sup>11</sup>.



Figura 6 - Vista de pormenor do perfil do livro.



Figura 7 - Vista de pormenor do fragmento da mão direita.

<sup>8</sup> IDEM, *Ibidem*, p. 966.

<sup>9</sup> Conjunto de folhas que constituem um livro excetuando a capa.

<sup>10</sup> Símbolo da vitória do espírito perante a carne logo, desde cedo associada aos mártires.

<sup>11</sup> Cfr . <http://www.newadvent.org/cathen/15321c.htm>.

## 2.3 TÉCNICAS ANALÍTICAS

A recolha de amostras, quando efetuada, foi levada a cabo de forma a preservar ao máximo a integridade da peça, tendo sido realizada, em lacunas, fissuras, estalados ou destacamentos. As amostras (com uma dimensão inferior a 1 mm<sup>2</sup>) foram recolhidas à lupa, com o auxílio de um bisturi cirúrgico e de um estilete e acondicionadas em lâminas de vidro côncavas.

### 2.3.1 Microscopia ótica digital

Recorreu-se a lupas manuais de 10 e 20 ampliações, assim como ao microscópio ótico digital (Dino-Lite AM 4000).

Este último equipamento constitui-se essencialmente como uma lupa com um sistema de aquisição de imagens digital.

Após observação da orientação do veio da madeira constituinte da obra, concluiu-se que o seccionamento da face inferior da base da peça forneceria um corte transversal em relação ao eixo do crescimento do exemplar arbóreo. Foi então efetuado um corte de 1 a 2 mm de profundidade com recurso a um formão, de forma a obter-se uma face limpa de partículas de sujidade, deformações e esmagamentos da madeira.

O recurso a estes equipamentos permite-nos uma identificação macroscópica (com ampliações de até 50x (Hoadley: 1990)) da madeira. Desta forma torna-se possível analisar e identificar conjuntos celulares como elementos de vaso, disposições de grupos de células de parênquima, assim como de fibras, entre outros, o que nos pode permitir identificações até ao género.<sup>12</sup>

### 2.3.2 Microscopia ótica com luz Polarizada (MO)

A observação da amostra de madeira foi efetuada com recurso a um microscópio ótico MICRO MOTIC BA310 equipado com uma ocular de 10 x e objetivas de 10 x, 20 x, 40 x e 100 x. As imagens dos cortes estratigráficos foram adquiridas através de uma câmara digital MOTICAM 2500 acoplada, sendo que o software usado foi o MOTIC Live Imaging Module.

Procedeu-se à recolha de uma amostra de madeira de uma das fissuras da face inferior da base da peça. Essa amostra, de cerca de 1 cm<sup>3</sup>, foi sujeita a submersão em água para hidratação. Em seguida procedeu-se à identificação da orientação dos elementos internos do lenho, seccionamento com recurso a micrótopo MICRON, modelo HM 400, com faca deslizante de aço, permitindo a obtenção de secções transversais, tangenciais e radiais com espessuras entre os 8 e os 16 µm. Posteriormente procedeu-se ao clareamento, coloração, desidratação e montagem permanente entre lâmina e lamela dessas secções de madeira e consequente análise e registo fotográfico da sua estrutura interna com diferentes ampliações.

Para se obter uma identificação microscópica de madeira é necessário recorrer a técnicas de histologia, as quais, através da análise das características microscópicas individuais das células que compõem o lenho, vão permitir não só a identificação do género a que a madeira pertence, possibilitando também a identificação da espécie<sup>13</sup>.

---

<sup>12</sup> Os seres vivos estão organizados por classes. No presente trabalho abordaremos apenas Espécies vegetais, as quais se inserem em Géneros, os quais por sua vez se inserem em Famílias. A título informativo apenas, as diversas Famílias vão-se inserir em Ordens, que se inserem em Clados os quais se organizam no Reino *Plantae*.

<sup>13</sup> Todos os procedimentos e técnicas utilizadas para se obter esta identificação de lenho, estão pormenorizadamente descritos no capítulo 3.15 do caso de estudo.

Para a observação dos cortes estratigráficos recolhidos da policromia utilizou-se um microscópio ótico OLYMPUS BX41 com luz refletida, equipado com uma ocular de 10 x e objetivas de 10 x e 20 x, com uma câmara digital OLYMPUS C-4040 Zoom acoplada. A preparação dos cortes estratigráficos envolveu a inclusão das amostras na resina acrílica TECHNOVIT 4004, que depois de polimerizada foi polida até se atingir a secção transversal das amostras. Este tipo de análise permite interpretar os cortes de amostras recolhidas ao microscópio através da observação da espessura e sequência das diferentes camadas, assim como do tamanho, forma e cor das partículas.

O objetivo da análise da policromia não foi o estudo exaustivo dos seus materiais constituintes mas apenas o de verificar se a sua estrutura e composição corresponde genericamente ao esperado com base nas fontes documentais e nos estudos laboratoriais publicados até ao momento. Optou-se então pela recolha de uma amostra de carnação, do tom bege do manto (que é o tom com maior área de aplicação) e do vermelho do corpete (em que aparenta ter sido usada uma laca). Paralelamente, pretendeu-se caracterizar uma área de repinte identificada no corpete.

### **2.3.3 Espectrometria de fluorescência de raios-X dispersiva de energias – EDXRF**

Foi utilizado um espectrómetro portátil de fluorescência de raios X, constituído por um tubo de raios-X com ânodo de prata; um detetor Si-PIN da AMPTEK, com 7 mm<sup>2</sup> de área efetiva, janela de berílio e uma resolução de 180 eV (FWHM) e um sistema multicanal MCA Pocket 8000A AMPTEK. Todos os espectros foram recolhidos diretamente da superfície da obra segundo as mesmas condições: energia de 25 keV; corrente de 9 mA; tempo de aquisição de 180 s.

Além da superfície policroma foram igualmente analisadas as ligas metálicas usadas nas tachas e escápula de olhal.

Os resultados da análise elementar foram confrontados com os da observação de cortes estratigráficos recolhidos das mesmas áreas.

### **2.3.4 Teste microquímico**

O teste microquímico realizado restringiu-se à intenção de detetar a presença de carbonatos nas camadas de preparação através da aplicação de solução de HNO<sub>3</sub> 5%, à gota, sobre uma amostra de preparação e acompanhamento da reação por microscopia ótica. Considerou-se que a ausência de dissolução acompanhada de efervescência permite eliminar a possibilidade de ter sido usado carbonato de cálcio.

## 2.4 MATERIAIS E TÉCNICAS DE EXECUÇÃO

### 2.4.1 Análise organolética

Feita uma análise organolética, auferiu-se que o entalhe da imagem foi feito em bloco único não vazado, com a orientação do veio no sentido longitudinal. No entanto registam-se os seguintes elementos assemblados:

- A coroa: peça de entalhe único que se revela fixado à cabeça pela presença de um prego;
- A mão direita e o fragmento que segura: peça de entalhe de bloco único que se revela adicionado pela orientação do veio não coincidente com a do corpo da imagem e foi fixado provavelmente através de um adesivo já que não foi possível identificar qualquer outro elemento de fixação (Figura 8).



Figura 8 - Vista de pormenor da mão direita como fragmento do atributo.

- Fragmento de roda na frente da imagem: peça de entalhe único que se revela fixada ao corpo pela presença de dois pregos (Figura 9).



Figura 9 - Vista de pormenor da secção da roda.

Embora não seja possível caracterizar a área de madeira relativa ao antebraço esquerdo, podemos concluir que este faria parte do bloco original do corpo, visto a disposição das fibras presentes na lacuna se apresentarem muito irregulares. Esta irregularidade das fibras caracterizada pela ondulação longitudinal e latitudinal é reflexo da forma como estas se organizam e dispõem no lenho, característica esta que só é possível observar que a madeira for partida ao invés de cortada. Desta forma conclui-se que a peça alvo de um acidente (provavelmente queda) que levou à quebra do elemento.

Foram identificadas perfurações do lenho em múltiplas localizações da obra que não aparentam ter qualquer relação com a técnica de execução e que sugerem pelo contrário, ser o resultado de múltiplas intervenções *a posteriori* com objetivos de restauro. Como tal procedeu-se ao levantamento pormenorizado da localização dos elementos metálicos oxidados, assim como de cavidades que sugeriam a existência prévia de cavilhas de madeira, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 1 – Número de elementos metálicos oxidados e de cavidades no lenho.

<b>Elementos metálicos</b>	<b>Cavidades de prováveis cavilhas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Parte da roda no anverso da peça: 2</li><li>• Face lateral esquerda da base: 1</li><li>• Antebraço direito: 6</li><li>• Mão: 2</li><li>• Área do antebraço esquerdo perdido: 6</li><li>• Coroa: 4</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mão: 1</li><li>• Parte da roda no anverso da peça (face inferior): 1</li><li>• Parte da roda no reverso da peça (face inferior): 1</li><li>• Área do antebraço esquerdo perdido: 1</li></ul>

Após a observação dos elementos metálicos, assim como da sua localização, conclui-se que estes se destinaram exclusivamente à fixação de elementos constituintes da obra, que a um determinado momento se separaram do corpo da peça, provavelmente em resultado de quedas, impactos ou manipulações incorretas. De forma semelhante, as cavidades que foram aparentemente ocupadas por cavilhas, destinar-se-iam também elas à fixação de elementos destacados, permanecendo a dúvida se algumas destas não terão sido aplicadas aquando da execução da obra, em particular a correspondente à área do antebraço esquerdo perdido.

#### 2.4.2 Suporte

Com recurso ao microscópio ótico digital Dino-Lite AM 4000 procedeu-se à análise do lenho.

Esta análise baseou-se na descrição dos elementos presentes na secção transversal do lenho e que se enumeram de seguida (Figura 10 e 11):

- Clara distinção entre anel de primavera e anel de outono.
- Porosidade anelar.
- Lenho de primavera: poros amplos, oblíquos e isolados, rodeados de tecido mais claro e com densas paredes celulares.
- Lenho de outono: poros gradualmente mais reduzidos em sentido radial, muito numerosos, organizados radialmente ou com disposição dendrítica.
- Raios invisíveis com a ampliação usada.



Figura 10 - Macrofotografia da área planificada. Ampliação de 20x.

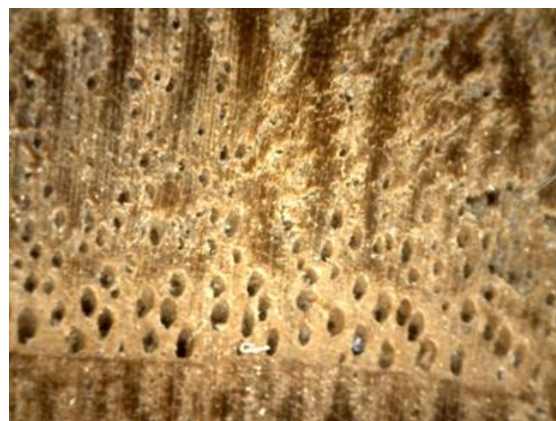


Figura 11 - Microfotografia da área planificada. Ampliação de 50x.

Através da análise dos elementos do lenho presentes e após o cruzamento desta informação com a bibliografia consultada, a madeira analisada sugere tratar-se de um exemplar pertencente à família *Fagaceae*, género *Castaneae*.

Com recurso a técnicas de histologia procedeu-se à identificação da espécie lenhosa através da amostra recolhida da face inferior da base da escultura de Santa Catarina de Alexandria.

Essa identificação baseou-se na descrição dos elementos constituintes do lenho presentes no corte transversal, tangencial e radial observados com recurso a microscopia ótica de luz transmitida e que se enumeram de seguida e que poderão ser observados nas figuras 14 a 19:



Figura 12 - Vista do anverso da escultura de Santa Catarina de Alexandria



Figura 13 - Amostras recolhidas de fissura da face inferior da base da escultura de Santa Catarina de Alexandria

#### **Corte transversal (Figuras 14 e 19):**

- Porosidade anelar a semi difusa.
- Anéis geralmente amplos.
- Poros isolados ou em múltiplos de 4 com organização oblíqua a dendrítica e em número superior a 40 mm<sup>2</sup>.
- Tiloses no lenho de primavera e presentes no lenho de outono.
- Parênquima apotraqueal, difuso ou em bandas, ocasionalmente paratraqueal vasocêntrico.



Figura 14 - Montagem de cinco captções de cortes histológicos formando um anel anual.

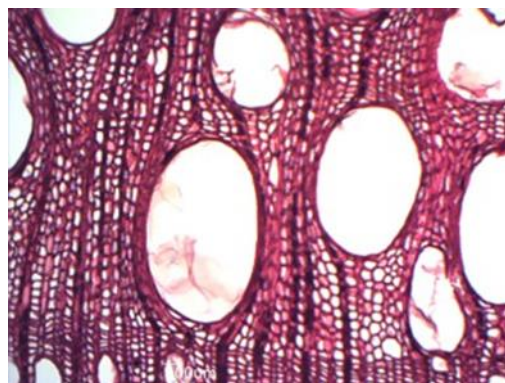


Figura 15 - Captção de corte histológico com ampliação de 40x.

#### **Corte tangencial (Figuras 16 e 17):**

- Raios geralmente unisseriados, raramente bisseriados e ainda mais raramente trisseriados, com altura média de 10 a 30 células e entre 4 a 12 por mm<sup>2</sup>.
- Pontuações intervasculares simples e alternas de diâmetro tangencial superior a 5µm.
- Fibras septadas.

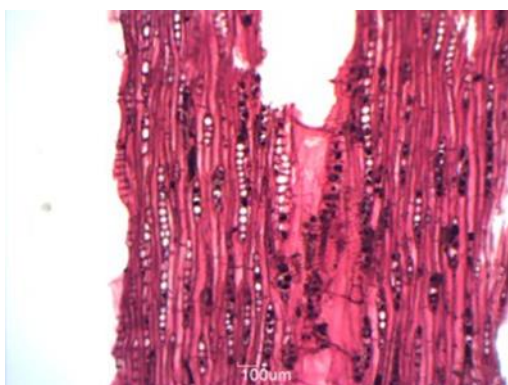


Figura 16 – Captação de corte histológico com ampliação de 20x.

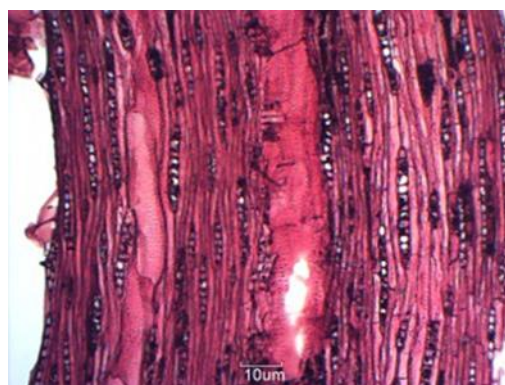


Figura 17 – Captação de corte histológico com ampliação de 40x.

**Corte radial** (Figuras 18 e 19):

- Raios homogêneos com células exclusivamente procumbentes.
- Ocasionalmente alinhamentos de células quadradas.
- Pontuações entre vaso e raio alargadas, de arredondadas a ovais.
- Placas de perfuração geralmente simples, ocasionalmente escalariformes em elementos de vaso do lenho de outono.
- Fibras liberiformes presentes.
- Fibrotraqueídeos ausentes.
- Traqueídeos vasicêntricos presentes.
- Cadeias axiais de cristais em células septadas de fibras, células eretas de parênquima radial ou no parênquima axial e em idioblastos no parênquima radial e axial.

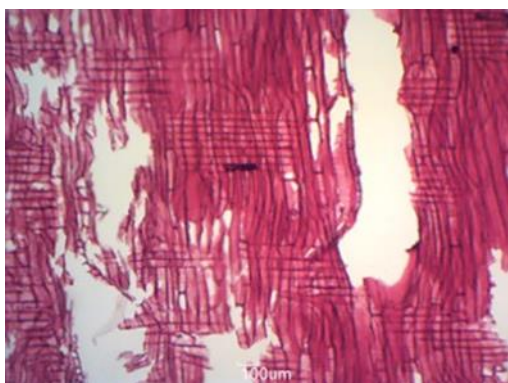


Figura 18 – Captação de corte histológico com ampliação de 20x.

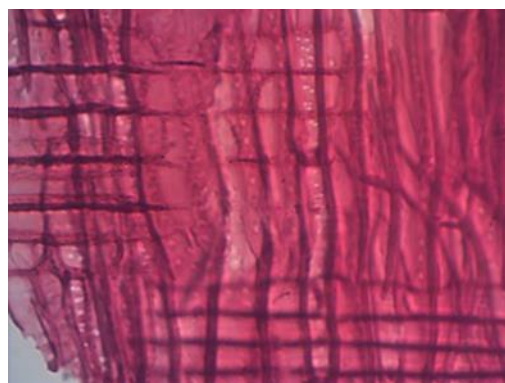


Figura 19 – Captação de corte histológico com ampliação de 100x.

### Caraterísticas definidoras:

- Porosidade anelar.
- Poros em disposição dendrítica radial.
- Traqueídeos vasicêntricos.
- Raios homogêneos unisseriados.

Através da análise dos elementos constituintes do lenho e após o cruzamento dos dados com as chaves dicotômicas selecionadas, conclui-se que a espécie constituinte da amostra analisada corresponde a *Castanea sativa*<sup>14</sup>.

A análise de amostras histológicas com recurso à microscopia ótica com luz transmitida permite o reconhecimento, diferenciação e exame dos múltiplos tipos celulares que constituem um corte histológico e, conseqüentemente a sua descrição e cruzamento com chaves dicotômicas, o que reverte sempre na identificação do género e, com frequência, na identificação da espécie a que a amostra pertence.

#### 2.4.3 Camada de preparação

Apresenta camada de preparação provavelmente à base de sulfato de cálcio, conclusão obtida após a sujeição de uma pequena percentagem de preparação a ácido nítrico sobre uma amostra de preparação da qual não resultou qualquer tipo de efervescência. Esta camada é de espessura fina, branca, opaca e homogênea, não sendo detetáveis partículas de tonalidade diferente ou com volumes que sugiram descontinuidade. A sua aplicação (pelos vestígios encontrados em áreas de lacuna) cobriria a totalidade da peça, a qual, conseqüentemente seria totalmente policromada (Figura 20).



Figura 20 – Microfotografia de corte estratigráfico da amostra 4 correspondente ao manto, com pormenor da camada de preparação.

Segundo Barata (2008) a aplicação das camadas de preparação subdividia-se em duas fases: as primeiras camadas consistiam na aplicação do chamado gesso grosso (sulfato de cálcio anidro) e as finais do chamado gesso fino (sulfato de cálcio diidratado), de modo a criar uma superfície lisa e compacta. O aglutinante seria uma cola proteica como recorrentemente abordado em tratados e contratos coevos da época, onde se recomenda o uso de peles de animais para extração da cola proteica usada nesta camada (IDEM, *Ibidem*).

Nas áreas de carnação, é observável uma camada mais escura sobre a camada de preparação (Figura 27), a qual corresponderá provavelmente a uma camada de

<sup>14</sup> A *Castanea sativa* é discernível de *Quercus* spp. pela ausência de amplos raios multisseriados. Pode ser confundida com *Quercus* spp. imaturo em que os amplos raios multisseriados típicos do lenho maduro sejam reduzidos em tamanho e número.

impermeabilização de óleo ou cola animal<sup>15</sup>, para garantir uma melhor aderência da camada cromática da carnação, geralmente oleosa (López de Letona: 2006).

#### 2.4.4 Bolo

A sua aplicação corresponde exclusivamente à área destinada à aplicação da folha de ouro, excluindo-se os cabelos e carnações. O recurso a este material é habitual para a aplicação do ouro brunido, aplicado a água, pois a finura das partículas de hábito lamelar da argila é ideal para criar uma superfície lisa e passível de ser brunida (Barata: 2008), com especial profusão nas artes da talha e escultura (Cruz: 2006). A identificação do bolo e sua perceção estão comprometidas pela sujidade aderida, sendo no entanto identificada esta camada de tom laranja através dos cortes estratigráficos, provavelmente aglutinada com a mesma cola proteica usada na camada de preparação (Figura 21).



Figura 21 - Microfotografia de corte estratigráfico da amostra 2 correspondente à pétala da flor azul, com pormenor da camada de bolo.

#### 2.4.5 Folha metálica

Tal como já referido anteriormente, as vestes eram integralmente douradas, definindo-se seguidamente as áreas em que este material não apresenta vestígios de ter sido aplicado:

- Carnações de ambas as figuras.
- Cabelos de ambas as figuras.
- Manto (?) em redor do pescoço da figura masculina.
- Base da escultura.
- Ambas as parcelas da roda.

A colagem da folha era normalmente feita com uma cola animal mais diluída (douramento a água), aplicada na superfície a receber o ouro, o que se comprova pela sua sensibilidade a testes com soluções aquosas. Após a aplicação e depois de totalmente seco procedia-se ao brunimento da folha metálica, que neste caso se apresenta brunida em toda a extensão da obra (Barata: 2008) (Figura 22).

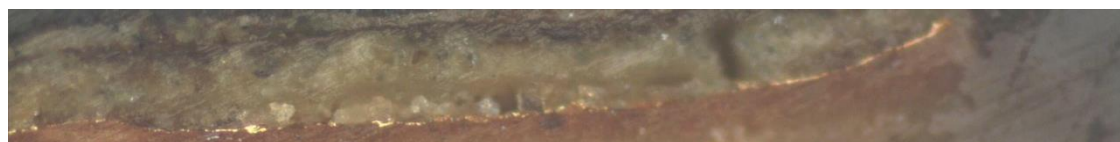


Figura 22 - Microfotografia de corte estratigráfico da amostra 4 correspondente ao manto, com pormenor da folha de ouro, a qual é claramente identificável apenas através do uso de filtros Polarizadores em Planos Paralelos (Figura 33, 41, 44).

A única provável exceção corresponde às pérolas que envolvem o cabelo da santa. Estes elementos apresentam uma superfície irregular que aparenta ser resultado da utilização de um óleo secativo como adesivo para a aplicação da folha de ouro a mordente (Barata: 2008), sem

<sup>15</sup> Substancia orgânica coloidal. Adesivo constituído principalmente colagénio invariavelmente associado a outros materiais proteicos como a queratina, elastina, entre outros (Michelin: 1990).

ser claro se isto tinha como objetivo promover a diferenciação destes elementos em relação às restantes áreas douradas, ou se simplesmente foi aplicado no seguimento da preparação da área do cabelo para ser restante policromado a tinta de óleo.

Trata-se de uma escultura que se destinava a ter um elevado impacto decorativo, visto todas as áreas correspondentes às vestes estarem revestidas de folha de ouro, de modo a criar efeitos de texturas através do uso de unção e um contraste com as camadas de tinta aplicadas sobre o ouro (descritas no ponto seguinte).

As técnicas de texturização patentes na peça são aplicadas a punção (ponta circular) em toda a superfície dourada.

#### **2.4.6 Camadas cromáticas**

Como indicam os vestígios de preparação, a superfície da peça terá sido totalmente policromada. Foram utilizadas a técnica a têmpera nas áreas de vestes (estofado) e a óleo nas carnações e cabelos. Os efeitos de estofado terão sido conseguidos através do uso de um estilete<sup>16</sup>, o qual foi usado na totalidade da área policromada de forma a criar o efeito presente na totalidade das vestes através da raspagem da tinta aplicada sobre o ouro.

---

<sup>16</sup> Ferramenta de ponta, usada para imprimir um pequeno sulco na superfície onde é pressionado.

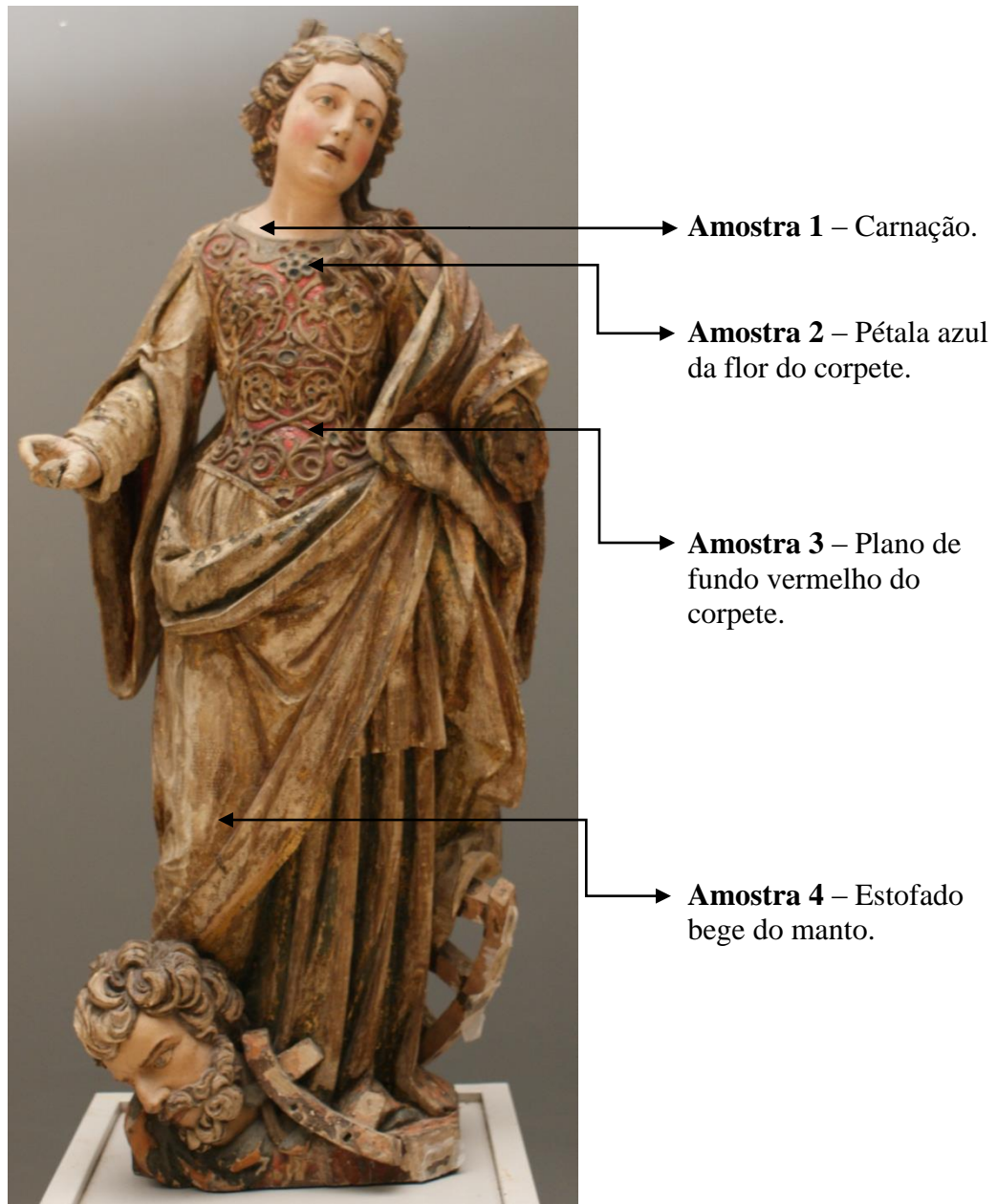


Figura 23- Localização das áreas de recolha de amostras das superfícies policromadas para análise através de Microscopia ótica e Espectrometria de fluorescência de raios-X dispersiva de energia

#### 2.4.6.1 Carnações e cabelos

Ambas as distintas áreas policromadas são apresentadas conjuntamente por não haver dados específicos para a camada cromática correspondente ao cabelo e por serem ambas policromadas com recurso a pigmentos aglutinados em óleo. As carnações da face e pescoço das imagens (Figura 24 e 25), assim como da mão direita da imagem, terão sido executadas com recurso a pigmentos aglutinados num óleo secativo. Esta técnica permite que a superfície policromada seja polida de modo a que fique o mais lisa possível, dando o acabamento brilhante que a caracteriza. Outra característica desta técnica é a sua resistência à humidade, o que se

confirmou pelos testes efetuados e, por consequência, a sua conservação ao longo do tempo comparativamente com o que se observa na restante superfície dourada e pintada a têmpera.

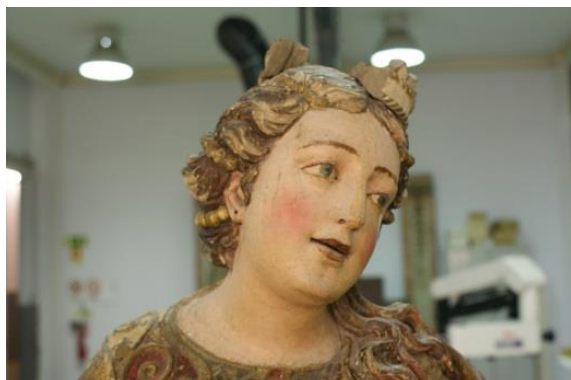


Figura 24 – Vista de pormenor da carnação da santa anterior à intervenção.



Figura 25 – Vista de pormenor da carnação do imperador anterior à intervenção.

Segundo López de Letona (2006) *apud* Francisco Pacheco (1649) e Sánchez Mesa (1971), as áreas de carnação polida eram iniciadas por uma aplicação de base em tom de “carne” à base de branco de chumbo e vermelhão, aglutinados com óleo de linho ou nozes e, por vezes, com adição de um verniz para uma secagem mais rápida, banindo os secativos para evitar estalados. As camadas de tinta, ainda frescas, eram então submetidas a uma pressão exercida por uma bexiga humedecida envolta no dedo (por vezes com saliva para deslizar melhor) e o movimento iria fundir as camadas e poli-las ao mesmo tempo, criando assim um efeito de gradação/esfumado entre cores.

No corte estratigráfico da amostra recolhida da área de carnação podemos reconhecer:



Figura 26 – Localização do ponto de recolha da amostra 1, situado no lado direito do pescoço da imagem e de tom carne.

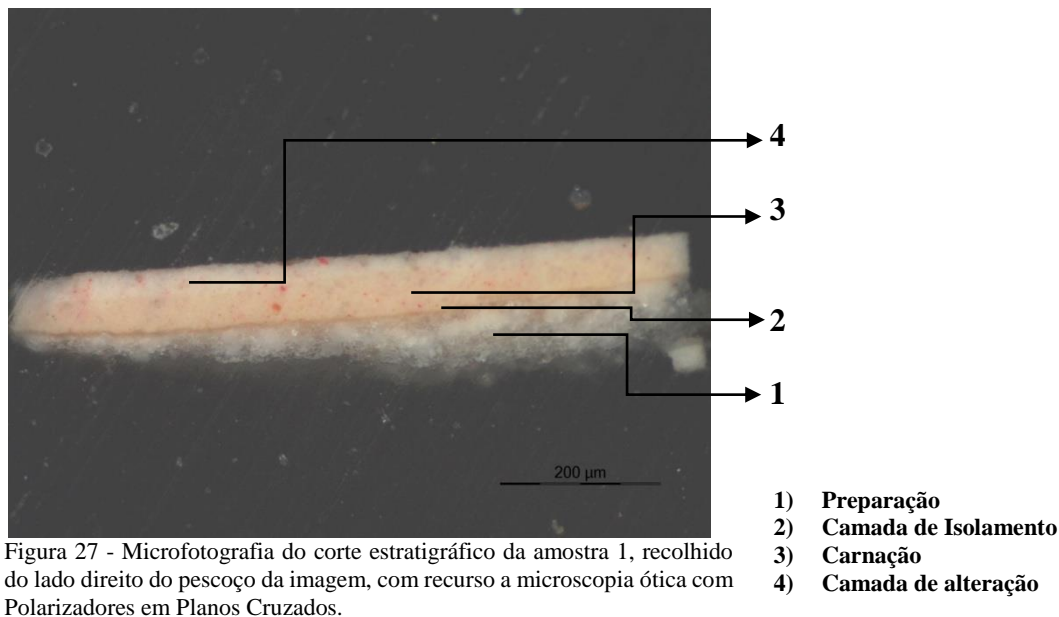


Figura 27 - Microfotografia do corte estratigráfico da amostra 1, recolhido do lado direito do pescoço da imagem, com recurso a microscopia ótica com Polarizadores em Planos Cruzados.

A camada escura (2) aplicada sobre a preparação aparenta tratar-se de uma camada de óleo ou cola animal que teria como fim promover a impermeabilização da superfície. Sobre este isolamento foi aplicada a carnação de tom rosa, com grãos de pigmento vermelhos de tamanho variado (3). Esta camada apresenta uma ligeira diferença tonal à superfície (4) a qual, após a exposição da amostra a filtros de bloqueamento de onda visível (que “imitam” a sujeição da amostra à luz ultra violeta) não revelou qualquer divisão entre camadas, o que pode sugerir que esta diferença tonal não é devida à aplicação de uma nova camada cromática, mas antes o resultado da degradação promovida pela exposição a agentes de degradação como a luz, humidade excessiva, abrasão ocorrida em operações de limpeza anteriores, entre outros.

As áreas dos cabelos de ambos os personagens e da barba do imperador aparentam ter sido policromadas também a óleo. Sabe-se que em muitos casos se usava a mesma técnica das carnações, embora com menor número de camadas (Barata: 2008), sem que houvesse nestes casos a necessidade de polimento, resultando numa finalização mais mate ou ligeiramente acetinada.

No caso em estudo, o tom dos cabelos de ambas as figuras assim como da barba do elemento masculino, é o mesmo, ou seja, castanho-escuro.

#### 2.4.6.2 Vestes

A têmpera é uma técnica de base aquosa que se caracteriza pela dispersão de pigmentos numa emulsão aquosa à base de ovo ou cola animal (Barata: 2008), com adição (ou não) de fel de boi de modo promover uma melhor aderência ao substrato (Calvo: 1997).

Na obra em análise, surge aplicação nas vestes segundo duas técnicas distintas:

a) Camada de tinta plana: aplicação da cor sem tratamentos de finalização (polimentos ou texturização) sobre o manto que envolve o pescoço da figura masculina aos pés da santa, de cor verde-escuro e a base da escultura com um marmoreado de tons laranja.

b) Estofado: aplicação da cor sobre a folha de ouro brunida, seguida de raspagem parcial, com estilete ou outra ferramenta incisa, revelando o ouro que estava por debaixo mediante um dado padrão. As palavras de Filipe Nunes descrevem o processo como ele deveria ocorrer:

*“Depois de dadas estas mãos de Alwayade que fique a figura muito alva, ide então colorindo o damasco, ou tella, ou ramos, ou passarinhos, ou o que quizerdes, que então servem aqui as cores da iluminação com esta composição da gema de ovo & servem os realços todos, depois de tudo lavrado ao pinzel, & enxuto ide então risquando, & abrindo a pintura com hum estilo de pao, ou de prata, ou hum ponteiro duro do que quizerdes, & ficareis descobrindo o ouro aonde vos parecer bem....”<sup>17</sup>*

Na obra, é a técnica com maior área de cobertura podendo-se distinguir diferentes decorações nas áreas que em seguida se identificam:

- Mangas exteriores: estofado com motivos vegetalistas e representações florais. Apresenta dois tons, sendo um vermelho e um rosa-claro. Este dado revela uma técnica de várias cores que conferiam maior dinamismo e erudição à composição;
- Mangas interiores: apresenta estofado vegetalista de cor verde, plana.
- Sobre túnica: Apresenta estofado vegetalista com motivos florais em vermelho, rosa-claro e verde (Figura 28);
- Saia: apresenta estofado vegetalista (Figura 29) bastante semelhante ao do interior do manto, quer no desenho quer nos tons de verde.
- Manto: apresenta estofado vegetalista bege, casca de ovo e tons de rosa no anverso (Figura 30) e um estofado com os mesmos motivos mas em tom verde no reverso (forro) visível nas dobras que ele contém.



Figura 28 – Vista da sobre-túnica (pormenor) onde são visíveis os tons vermelho, rosa e verde.



Figura 29 – Vista da saia (pormenor) onde é visível o tom verde do estufado.



Figura 30 – Vista do manto (pormenor), anverso, onde é visível o predominante tom bege.

A análise do corte estratigráfico da amostra recolhida da face frontal da coxa direita da imagem (Amostra 4) revelou que esta camada cromática se constitui como um repinte, sendo os resultados apresentados na no ponto **2.5.7** (Figura 43 e 44).

<sup>17</sup> NUNES, Filipe – *Arte da pintura. Symmetria, e perspectiva*. Porto: Editorial Paisagem, 1982, p.101. Apud FERREIRA-ALVES, Natália Marinho - *O douramento e a policromia no Norte de Portugal à luz da documentação dos séculos XVII e XVIII*. Revista da Faculdade de Letras. Ciências e Técnicas do Património. - Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Departamento de Ciências e Técnicas do Património. I Série, vol. III, p. 92.

### 2.4.6.3 Corpete

A recolha nesta área justifica-se por ser possível à vista desarmada verificar a existência de folha de ouro subjacente, não através de qualquer efeito de estufado, mas através da transparência do tom vermelho, o que sugere que poderemos estar na presença de uma camada de garança<sup>18</sup> aplicada sobre o plano de fundo do corpete.

A garança é um produto que se obtém a partir da raiz de uma planta herbácea *Rubia tinctorum* e que se caracteriza pela sua boa resistência aos efeitos nocivos da luz (Perusini: 1994). Tem como principais componentes duas antraquinonas: a alizarina e a purpurina. A técnica de aplicação do corante sobre um pigmento branco ou transparente baseia-se em mordentes como hidróxidos de alumínio (dos quais se obtém um tom vermelho claro), chumbo (do qual resulta um tom vermelho acastanhado), cobalto (do qual se obtém um tom violeta), entre outros (Calvo: 1997).



Figura 31 - Amostra 3 - Localização do ponto de recolha da amostra situado plano de fundo do corpete da imagem.

Através da análise do corte estratigráfico (Figuras 32 e 33) obtido da amostra removida à peça pode observar-se, que sobre a folha de ouro (3) sobre a qual surge uma camada de tom vermelho que, pela sua espessura poderia sugerir tratar-se de pigmento (4). No entanto, e como verificado à vista desarmada, a transparência do tom vermelho era muito evidente, tornando notório o brilho da folha de ouro subjacente.

---

<sup>18</sup> Granza ou garança.

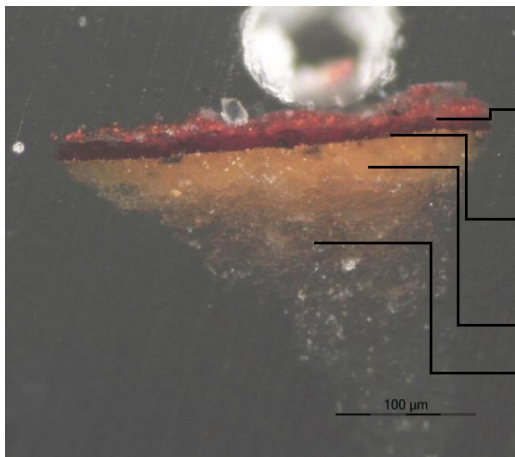


Figura 32 – Microfotografia do corte estratigráfico da amostra 3 recolhido do plano de fundo do corpete da imagem, com recurso a microscopia ótica com Polarizadores em Planos Cruzados.

- 1) Preparação
- 2) Bolo
- 3) Folha de ouro
- 4) Camada de corante

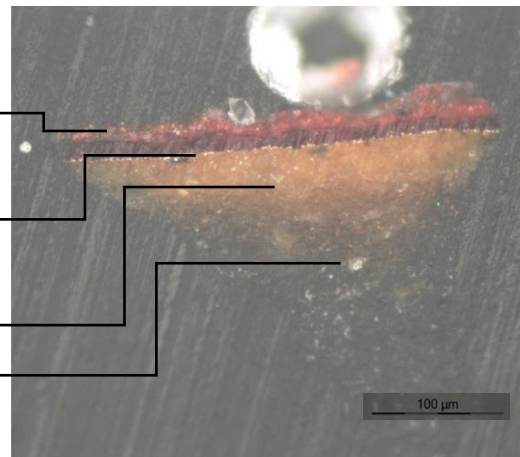
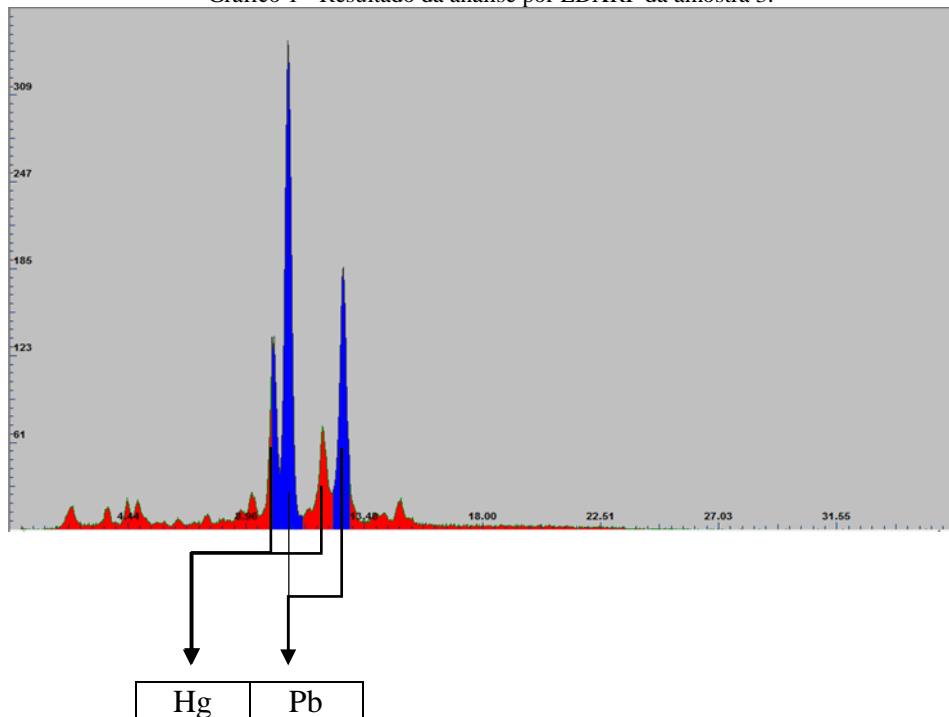


Figura 33 - Microfotografia do corte estratigráfico da amostra 3 recolhido do plano de fundo do corpete da imagem, com recurso a microscopia ótica com Polarizadores em Planos Paralelos.

O espectro de EDXRF permite identificar o chumbo (Pb) e mercúrio (Hg) como elementos principais, o que sugere que o material utilizado como mordente para a aplicação desta garança terá sido o chumbo (Pb).

Gráfico 1 - Resultado da análise por EDXRF da amostra 3.



Podemos a partir deste resultado supor que o material utilizado como mordente para a aplicação desta garança terá sido o chumbo (Pb).

Os compostos identificados assim como a organização que apresentam as diferentes camadas, correspondem aquilo que é esperado para esta tipologia escultória cruzando estas informações com a bibliografia correspondente.

#### 2.4.7 Intervenções posteriores ao original

São perceptíveis intervenções feitas ao nível das camadas de preparação e de algumas camadas cromáticas.

Revelam-se pelo uso de um pigmento ocre alaranjado (Figura 34) aglutinado em técnica aquosa, dada a sua solubilidade quando em contacto com água. Esta aplicação está presente em variadas áreas da peça. Destaca-se a área do manto (?) em redor do pescoço da figura masculina, onde se observam várias áreas “manchadas” de laranja. Supõe-se que tal aplicação deverá ter sido feita para reduzir o contraste em zonas de lacuna, conferindo-lhes assim um pretenso tom “neutro”.

Detetaram-se ainda repintes na carnação da santa, mais concretamente no nariz (cana e narina esquerda – (Figura 35), lábios, na parte exterior da sobrancelha esquerda, abrangendo a pálpebra e em ambas as íris dos olhos, os quais, neste caso, tinham como objetivo eliminar a perceção dos destacamento de policromia presentes nesta área.



Figura 34 – Vista de pormenor do tom laranja aplicado no manto que envolve a cabeça masculina.

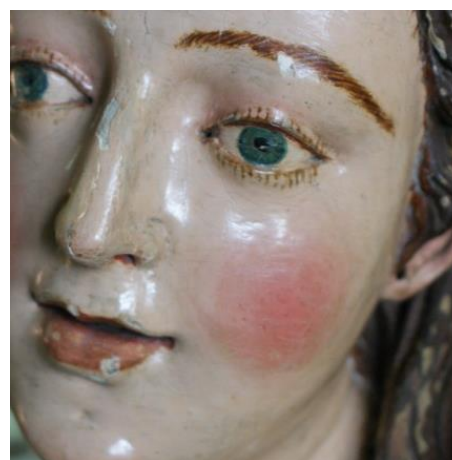


Figura 35 - Vista de pormenor evidenciando repintes na face da imagem feminina particularmente relevantes no nariz

Um elemento que terá sido colocado *a posteriori* é o conjunto de camarão e escápula de olhal (Figura 36) em liga de ferro (como indicado pela identificação do elemento Ferro (Fe) através da análise por EDXRF) cravado na dobra superior do manto nas costas da santa.



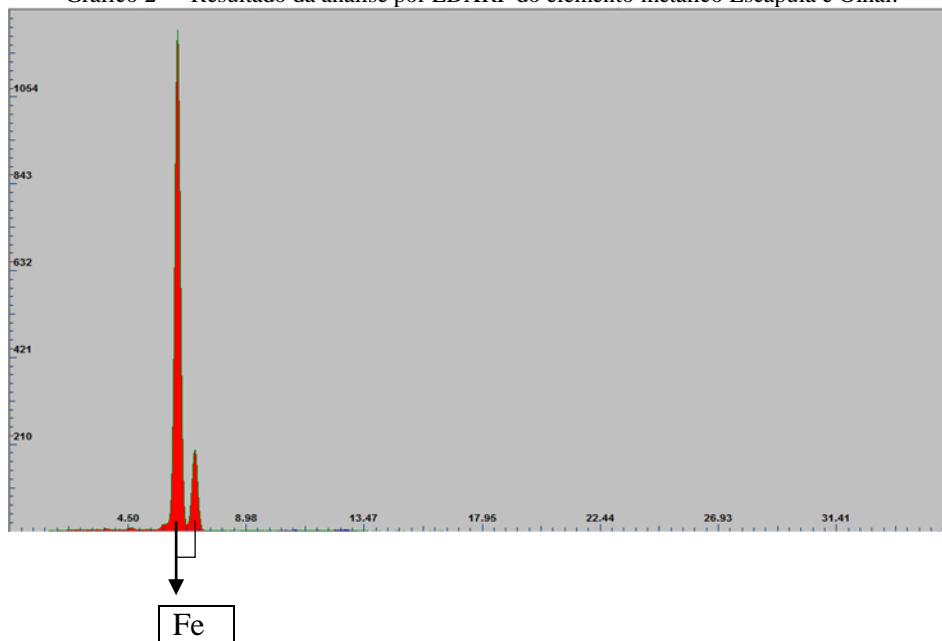
Figura 36 – Vista da escápula de olhal situada no terço superior das costas da imagem.

Este elemento sugere-se como uma colocação posterior pelo facto de estar descentrado e bastante evidenciado o que reforça a ideia de que a imagem não foi feita para o retábulo onde agora se encontra. A evidência traduz-se também no facto de esta ser uma peça de vulto pleno, em que é dada igual atenção a todos os pormenores, incluindo as costas da imagem.

A qualidade de entalhe e a função de culto são sempre evidenciados em detrimento de elementos de função secundária. Os elementos fragmentados (e perdidos) poderão justificar a aplicação destes elementos metálicos, medida presumivelmente adotada de modo a evitar novos acidentes.

Tal como referido, a análise por EDXRF resultou na identificação da liga como Ferro (Fe) muito pura.

Gráfico 2 -- Resultado da análise por EDXRF do elemento metálico Escápula e Olhal.



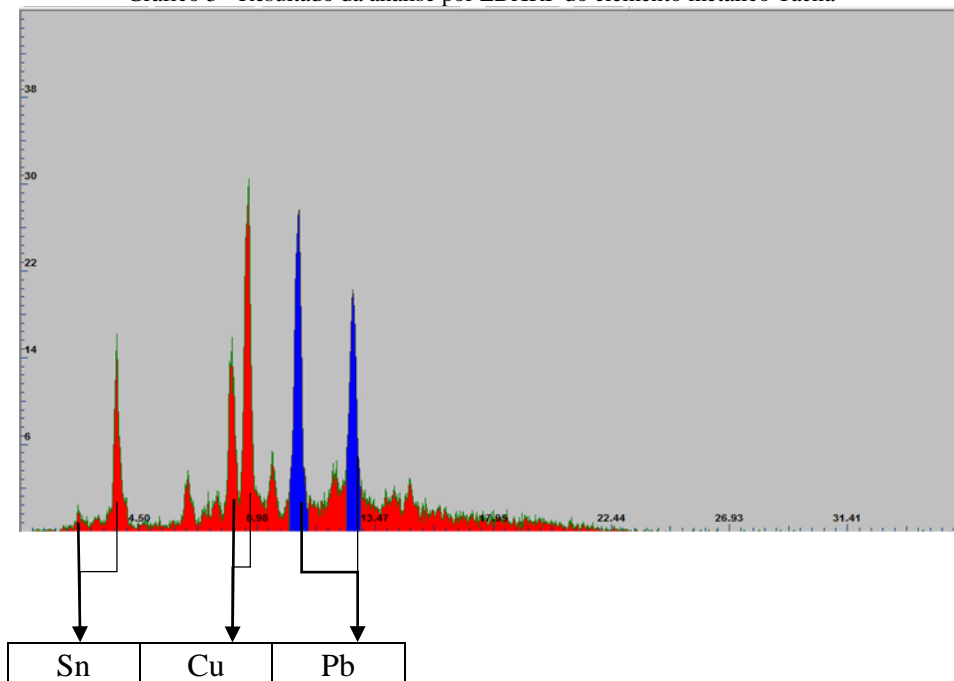
Já no caso das tachas localizadas na obra (Figura 38), estas deverão igualmente constituir-se como uma aplicação posterior à execução a obra. Esta afirmação fundamenta-se

na inexistência de qualquer carácter decorativo destes elementos, o que os circunscreve como somente um método de fixação de outro elemento hoje desaparecido, provavelmente um galão ou renda com função decorativa.



Figura 37 - Localização do elemento metálico analisado situado na dobra do manto do lado esquerdo do reverso da imagem.

Gráfico 3 - Resultado da análise por EDXRF do elemento metálico Tacha



Através do espectro de EDXRF foram identificados como principais elementos o Pb (Chumbo), Sn (Estanho) e Cu (Cobre), concluindo-se estarmos perante uma liga de Bronze.

Quanto às camadas cromáticas, e tal como referido anteriormente, a recolha de amostra da pétala da flor azul presente no frontal do corpete da imagem justificou-se por esta área apresentar um aspeto que a distinguiu claramente de toda a restante policromia presente na obra.

Falamos da aparência empastada da tinta, da sua irregularidade e presença desta para além dos limites do elemento decorativo, o que sugeriu a presença de um repinte.

Através da análise do corte estratigráfico obtido observa-se sobre a folha de ouro (3) uma densa camada de pigmento azul aglutinado em óleo com grãos de pigmento de tom muito escuro, tamanho regular e uniformemente distribuídos (4). Pela comparação com referências bibliográficas, supõem-se que o pigmento em questão seja Azul-da-Prússia provavelmente misturado com Branco-de-Chumbo. Através do espectro de EDXRF identificam-se Pb (Chumbo), Fe (Ferro) e o Sb (Antimónio).

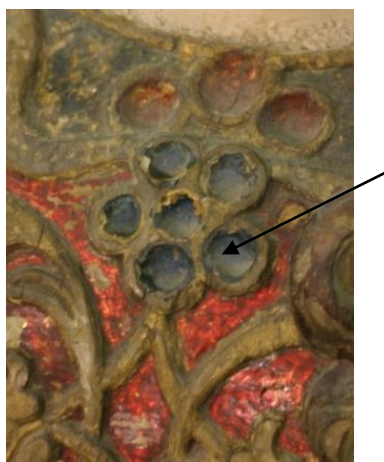


Figura 38 - Amostra 2:Localização do ponto de recolha da amostra situado na pétala esquerda da flor azul do topo do corpete da imagem.

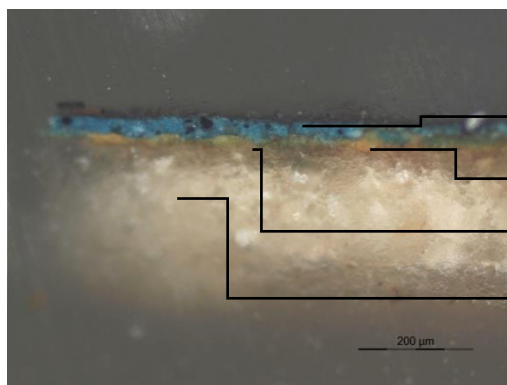


Figura 39 – Microfotografia do corte estratigráfico da amostra 2 recolhido da pétala esquerda da flor azul do topo do corpete da imagem, com recurso a microscopia ótica com Polarizadores em Planos Cruzados.

- 1) Preparação
- 2) Bolo

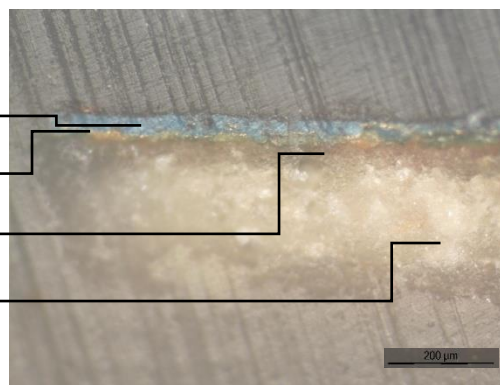
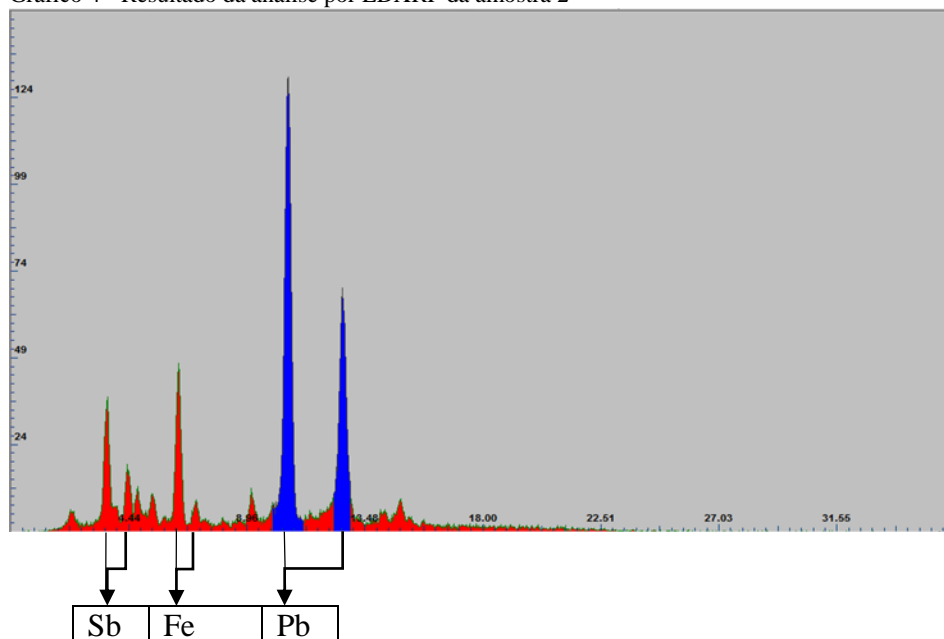


Figura 40 - Microfotografia do corte estratigráfico da amostra 2 recolhido da pétala esquerda da flor azul do topo do corpete da imagem, com recurso a microscopia ótica com Polarizadores em Planos Paralelos.

- 3) Folha de ouro
- 4) Camada cromática

Gráfico 4 - Resultado da análise por EDXRF da amostra 2



O pigmento Azul-da-Prússia foi sintetizado em 1704 por Heinrich Diesbach. A área em questão terá sido alvo de uma repolicromia, a qual só poderá ter ocorrido posteriormente à referida data de 1704 o que suporta a datação da escultura dentro intervalo de tempo proposto anteriormente.

Como única informação inesperada quanto às informações disponibilizadas por cada área cromática analisada, surge a análise do corte estratigráfico da amostra obtida da face frontal da coxa direita da imagem evidencia (Figura 42, amostra 4).

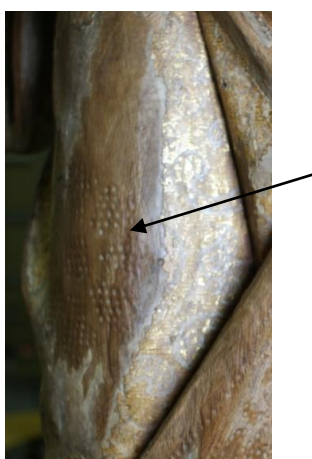


Figura 41 - Localização do ponto de recolha da amostra 4, situado na face frontal da coxa direita da imagem e de tom bege.

A análise do corte estratigráfico permitiu verificar que sobre a folha metálica surge uma camada de cromática de cor bege (4). Seguidamente surge uma camada ocre, a qual poderá

constituir uma película de verniz oxidado ou deposição de sujidades (5), finalizando-se com nova camada (6) de tom bege e que sugere constituir-se como a camada de estofado.

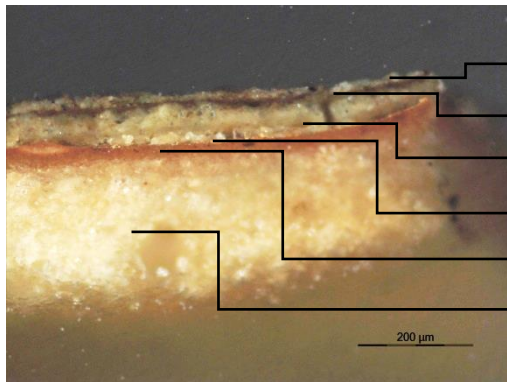


Figura 42 – Microfotografia do corte estratigráfico da amostra 4 recolhido da área do manto, localizado sobre o joelho direito, com recurso a microscopia ótica com **Polarizadores em Planos Cruzados**.

- 1) **Preparação**
- 2) **Bolo**
- 3) **Folha de ouro**
- 4) **Camada de cor bege**
- 5) **Provável camada de verniz oxidado ou sujidade.**
- 6) **Camada de cor bege**

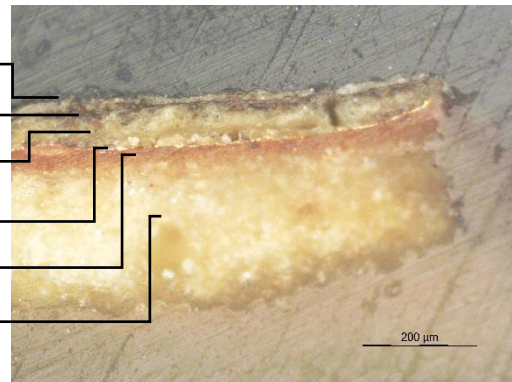
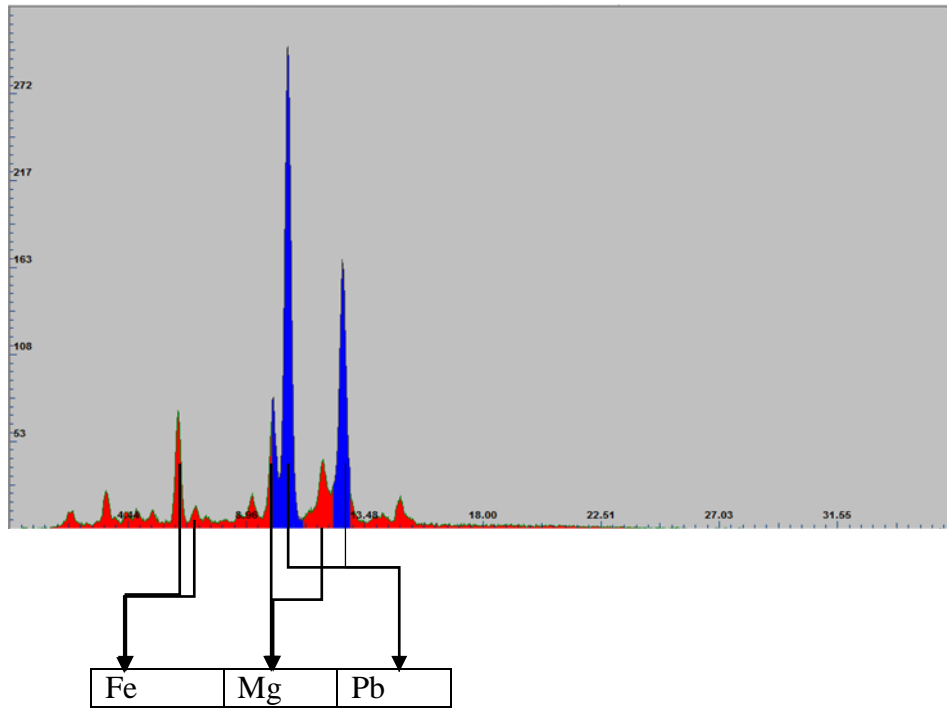


Figura 43 - Microfotografia do corte estratigráfico da amostra 4 recolhido da área do manto, localizado sobre o joelho direito, com recurso a microscopia ótica com **Polarizadores em Planos Paralelos**.

Esta camada (5) sugere a possibilidade de a camada (6) se tratar de um repinte já que a sua presença cria um momento em que sobre a camada (4) foi aplicada uma camada de verniz (substancia que por principio não se aplica sobre camadas cromáticas estufadas) ou, por outro lado, esta esteve exposta o tempo suficiente para que sobre ela se deposita-se uma claramente identificável camada de detritos. De qualquer forma, conclui-se que a camada (6) se constitui como uma repolicromia.

Através do espectro de EDXRF correspondente identificam-se o Pb (Chumbo), Mg (Mercúrio) e Fe (Ferro), o que sugere o uso de branco-de-chumbo ao qual foram adicionados outros pigmentos, provavelmente vermelhão e pigmentos terra, à base de óxidos de ferro, para assim se obter a tonalidade final desejada.

Gráfico 5 - Resultado da análise por EDXRF da amostra 4.



## 2.5 ESTADO DE CONSERVAÇÃO

### 2.5.1 Levantamento Gráfico

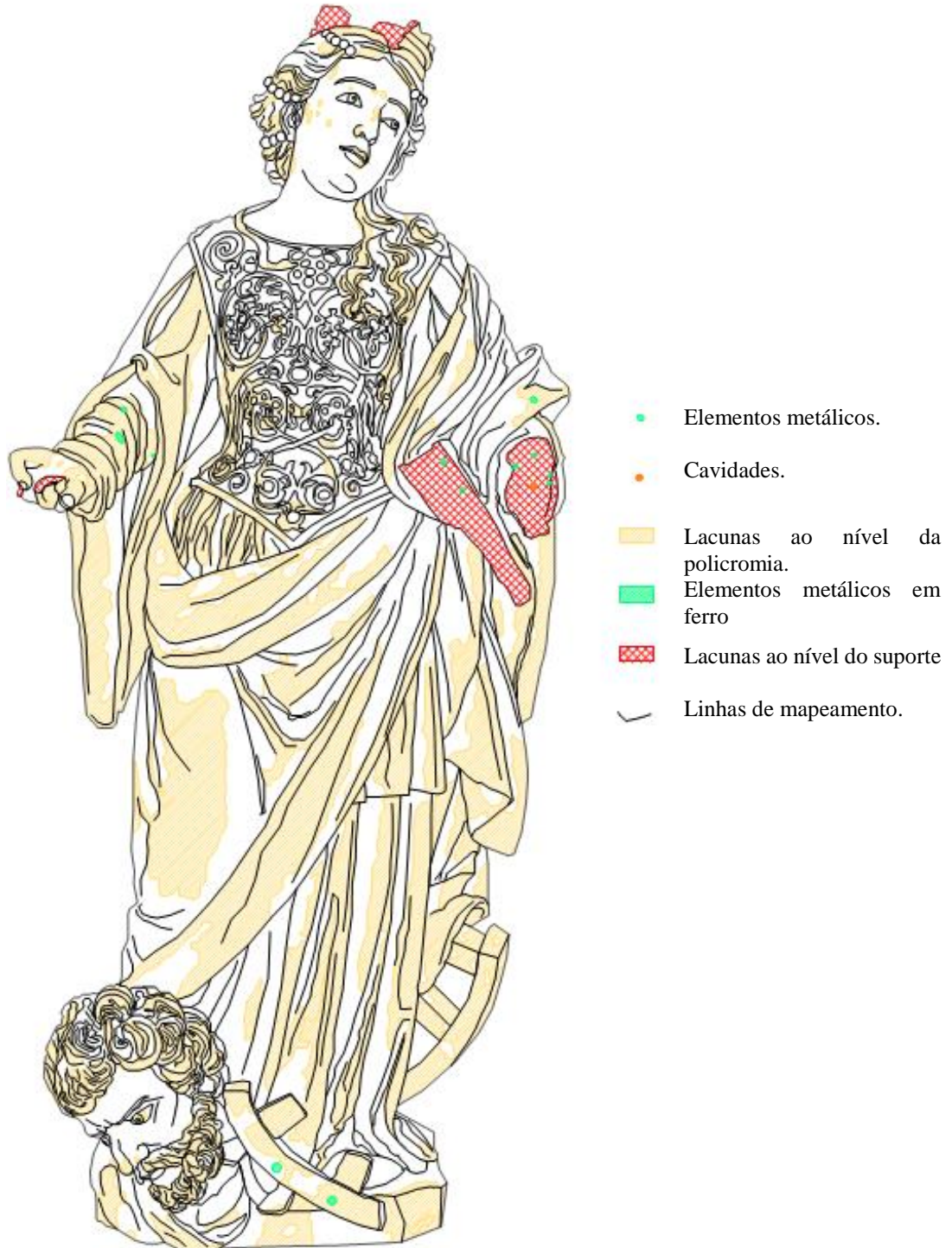


Figura 44 - Mapeamento do anverso.

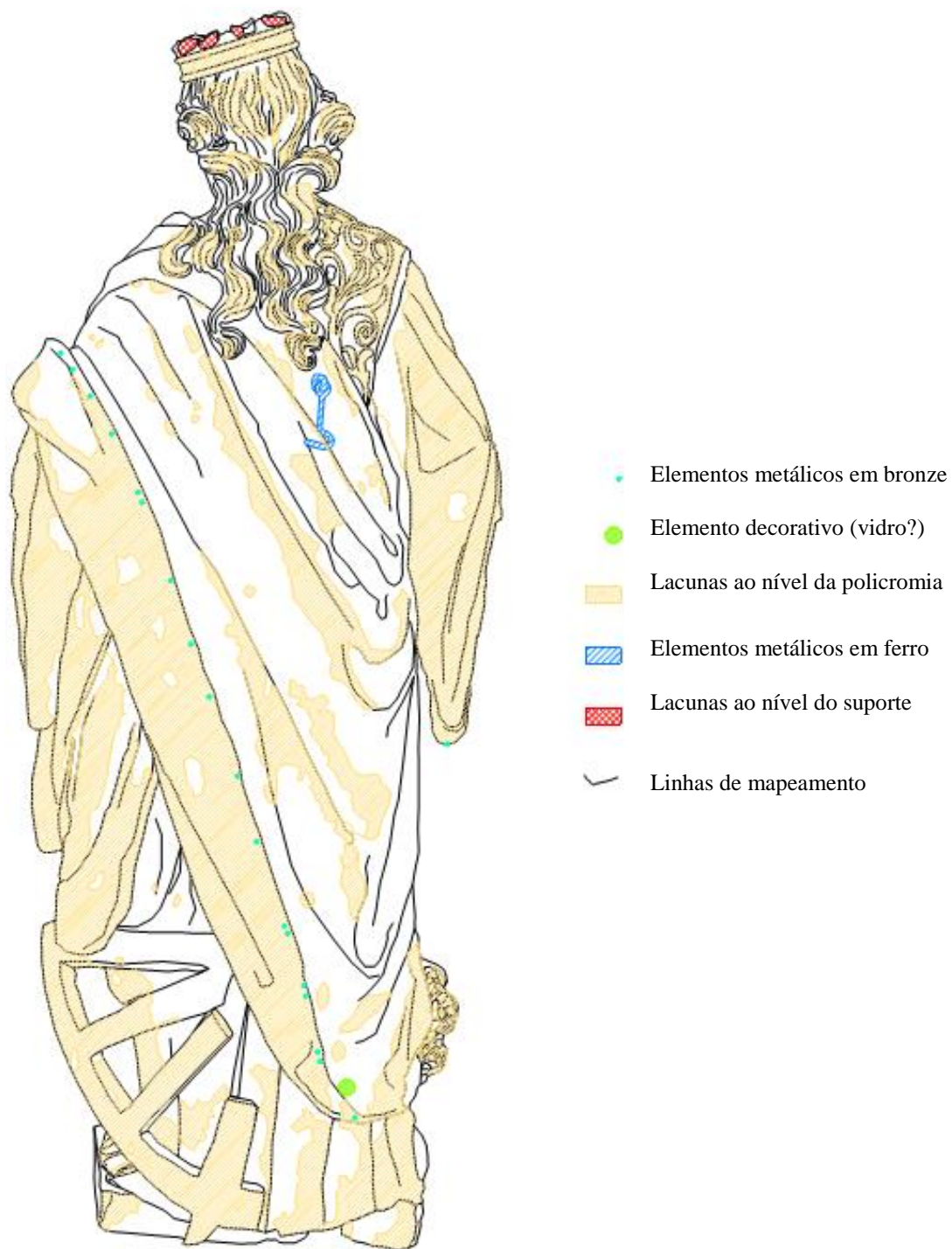


Figura 45 - Mapeamento do reverso.

## 2.5.2 Suporte

Encontrava-se relativamente estável, com áreas pontuais de maior fragilidade.

As áreas que se definiram como mais sensíveis foram a base, mais propriamente a face inferior que apresenta fissuras (Figura 47) e o ombro direito, cuja madeira se encontrava esponjosa e ligeiramente lixiviada (Figura 48). Julga-se que estas patologias (fissuras e lixiviação) terão sido resultado da presença acentuadas de humidade. A primeira poderá ter sido provocada pela perda rápida da água de impregnação, visto que “*A sua saída provoca a aproximação das fibras e das micelas, provocando a retração da madeira (...)*” (Cruz: 2008, p. 8). Não apresenta sinais de podridão e também não se poderá excluir a hipótese das fissuras terem sido resultado de uma possível queda.

A lixiviação pode ser associada a uma exposição a água no estado líquido, que levou à degradação dos seus principais constituintes (lenhina e celulose), o que se revela na perda de massa no espaço correspondente aos anéis de primavera (mais brandos).

Destacam-se ainda as grandes lacunas que limitam a leitura da obra, tendo sido provavelmente causadas pela queda da peça o que conduziu à quebra do antebraço esquerdo, do objeto segurado pela mão direita e respetivos dedos médio, anelar e mindinho, assim como o quarto direito frontal da coroa.

Associado à quebra do antebraço esquerdo encontram-se galerias de inseto xilófago na área exterior do cotovelo (Figura 49). A infestação xilófaga poderá também ter sido uma das causas da fratura do braço, mas sempre associada ao choque mecânico, dado o perfil irregular da superfície de fratura anteriormente descrita.

O suporte revela ainda a presença de diversos elementos metálicos oxidados usados como elementos de ligação, os quais apresentam produtos de oxidação de tom ocre vermelho e negro (indicadores de liga ferrosa do elemento metálico) e que, na frente da obra, se situam no braço direito, cotovelo esquerdo e na parcela de roda à esquerda da cabeça masculina.



Figura 46 – Vista da face inferior da base onde são visíveis quatro fissuras à esquerda da imagem e o que aparenta ser uma fratura à direita da imagem.



Figura 47 - Vista do reverso do ombro direito onde é visível o destacamento das camadas policromas.



Figura 48 – Vista do braço esquerdo e livro onde é visível a lacuna volumétrica deixada pela perda do livro assim como o resultado da infestação xilófaga no cotovelo da imagem.

### 2.5.3 Camada de preparação

A camada de preparação existente encontra-se estável nas áreas em que se mantém aderente ao suporte. Registam-se, no entanto, grandes áreas de lacuna de douramento e pintura a têmpera associadas ao uso de adesivos aquosos (Figura 50 e 51). Além destas lacunas, há a salientar a presença pontual de bolsas, as quais, todas de pequenas dimensões, se apresentam aleatoriamente dispersas por toda a superfície. O destacamento destas pequenas áreas resume-se à camada preparatória em relação à madeira, dado que as camadas subsequentes se mantêm coesas sobre a preparação.

A perda de aderência poderá estar associada à variação acentuada de humidade que causou o destacamento por sensibilização do aglutinante, assim como à sujeição a escorrência de água líquida. A exposição aos agentes de degradação (humidade relativa, temperatura, acumulação de sujidade e poluentes, assim como a ação microbiológica) altera a natureza do aglutinante, promovendo a desagregação de toda a sequência de camadas devido à perda das suas capacidades adesivas e coesivas, soltando-se assim do suporte.

Nos relevos do corpete e áreas de entalhe fino, a perda da camada cromática pode estar associada também à manipulação incorreta da peça, por se tratarem de elementos salientes e, por isso, mais sujeitos a desgaste por abrasão. Outro fator de degradação nestes elementos poderá estar relacionado com a anisotropia da madeira que, ao ser entalhada possui uma menor superfície estrutural, o que poderá representar uma maior suscetibilidade a movimentos por parte do lenho, com consequências em todas as camadas suprajacentes.



Figura 49 – Vista das lacunas da camada cromática no lado esquerdo da metade inferior da imagem.



Figura 50 – Vista das lacunas da camada cromática no lado direito da metade inferior da imagem.

#### 2.5.4 Bolo

Os vestígios de bolo são residuais e apresentam uma camada de sujidade aderida, pelo que se conclui que este segue o padrão de degradação descrito na camada de preparação. Pela sua natureza higroscópica, o bolo tem uma maior tendência para absorver a humidade ambiente e com ela a sujidade que se deposita na sua superfície. Entende-se ser esta a razão para a sua difícil perceção, para além de se tratar de uma camada de fina espessura.

#### 2.5.5 Folha metálica

Nas áreas em que está presente, a folha de ouro encontra-se estável no que diz respeito à sua aderência às camadas subjacentes. Apresenta sujidade de natureza variada e fortemente aderida, mantendo porém áreas (particularmente as que estão viradas para baixo) com o brilho que é espetável quando se trata de ouro brunido. Este é inexistente em todas as áreas que sofreram destacamento das múltiplas camadas preparatórias, sendo que poderemos assinalar ainda destacamentos pontuais junto às margens de algumas destas lacunas, resultando isto na exposição das camadas preparatórias aos agentes de degradação e às consequências anteriormente descritas. (Figura 52 e 53)



Figura 51 – Vista de pormenor do averso do manto onde é visível o ouro brunido.



Figura 52 – Vista do averso do manto é são visíveis múltiplas áreas com ouro brunido.

#### 2.5.6 Camadas cromáticas

Pode-se caracterizar o estado de conservação das camadas cromáticas das carnações como estáveis, excetuando casos pontuais em que o destacamento e lacuna se deveram a problemas específicos (prováveis choques mecânicos ou associados a anomalias dos suporte ou das camadas subjacentes) e circunscritos a pequenas áreas, surgindo na bochecha direita da imagem (duas lacunas de 2 a 3 mm de diâmetro) e na ponta do nariz (sensivelmente 1 mm de diâmetro). Salienta-se uma rede de estalados de desenho ortogonal por toda a face da imagem, apresentando-se mais profunda na testa e face direita. Estes estarão associados a movimentos bruscos do suporte visto corresponderem aos anéis de crescimento da madeira. Estas redes poder-se-ão ter formado consequentemente devido à espessura fina da camada de preparação na face, a qual não se revelou suficientemente espessa para atenuar as movimentações referidas. De referir igualmente a presença de sujidade de natureza indefinida e fortemente aderida à superfície.

Nas carnações da mão direita não se observam as redes de estalados acima referidas, mas o destacamento nos dedos indicador e polegar é extenso, correspondendo a grande área de lacuna nas superfícies correspondentes às falanges média e distal. Algumas destas lacunas estendem-se até à mão, embora se restrinjam à área de fronteira com os dedos. Pode-se conjecturar que estas terão sido causadas pela queda que a peça terá sofrido, na sequência da qual se terão perdido os dedos em falta. A restante carnação da mão encontra-se bem aderida.

Como se lê em López de Letona (2006, p. 88) a estabilidade geral das carnações deve-se ao aglutinante oleoso e ao seu processo de polimerização.

*“La encarnación a pulimento sin embargo requiere de un mayor tecnicismo y unos pasos de ejecución más complejos, se trata de una técnica que aporta un alto grado de estabilidad en su conservación, (...) La encarnación a pulimento sólo puede efectuarse con pintura al óleo, la encontramos a partir de la primera mitad del siglo XVI, y aparece y desaparece fruto de las tendencias artísticas que se dan en cada momento.”*

(López de Letona: 2006)

Quanto à pintura a têmpera, as áreas estáveis, bem como aquelas em que se registam destacamentos, coincidem com o que foi descrito para a folha de ouro, ou seja, as principias áreas de ausência concentram-se junto às margens de lacuna das camadas preparatórias.

*“Las sustancias nutritivas más importantes son los aglutinantes. Los primeros en ser atacados son la cola de glutina y el temple de caseína, seguidos del temple de huevo, el temple de emulsión, el azeite y finalmente el damar, la almáciga, la colofonia y las resinas sintéticas.”*

(Nicolaus: 1999, p. 204-207)

Face a isto, entende-se que um ataque microbiológico poderá ter constituído um dos fatores que promoveram a degradação da camada cromática e com isto, facilitaram o seu posterior destacamento.

A sua degradação relaciona-se sobretudo com o desenvolvimento de microrganismos que atacam as substâncias nutritivas presentes nos aglutinantes proteicos, sendo os óleos menos sensíveis a este fator de degradação.

Há a registar, além disso, um acentuado desgaste por abrasão das superfícies mais salientes provavelmente resultante de má manipulação, além de fatores externos como flutuações de humidade relativa e temperatura, as quais resultam na gradual fragilização das camadas cromáticas e facilitação do seu posterior destacamento, ou de agentes poluentes que além da sua deposição sobre a camada cromática e conseqüente diminuição da fruição da obra, podem igualmente resultar em relações químicas que promovam a degradação da estrutura química da camada cromática.

O aspeto lixiviado da superfície das carnações, bem como a extensa área de lacuna no estofado, poderá ainda ter sido decorrente de limpezas desadequadas.

### **2.5.7 Intervenções posteriores ao original**

As reintegrações na face da imagem feminina apresentam algum destacamento e fragilidade. Este estado de conservação justifica-se pela desadequação da técnica empregue para a reintegração, dado que é perceptível à vista desarmada a sua excessiva retração e enrugamento, assim como uma modificação tonal em relação à policromia envolvente. Esta modificação tonal tanto pode ser resultado de uma degradação do material como resultar da incapacidade técnica do executante, isto porque a reintegração efetuada não teve o intuito de ser diferenciada, constituindo-se pelo contrário por uma camada única de um só tom, sugerindo uma tentativa de reintegração mimética.

As restantes reintegrações na área do manto de Santa Catarina, base da peça e manto do imperador são ainda mais evidentes para o observador, encontrando-se no entanto com maior estabilidade que as anteriores.

A presença de elementos ferrosos oxidados no reverso da peça limita-se ao camarão e escápula de olhal nas costas da composição. Detetaram-se ainda produtos de oxidação de tom verde (indicador de liga de cobre) à superfície das tachas provavelmente usadas para a fixação de elementos de tecido decorativos. Estes estão presentes no limite de uma das dobras do tecido que provêm do ombro e que se estendem obliquamente no reverso até à base da peça.

Nas cavidades anteriormente referidas, supõem-se o uso de cavilhas em madeira, as quais formam um grupo de 4 perfurações. Não presenciamos a existência de nenhum elemento metálico, fragmentos de um ou mesmo qualquer produto de corrosão no interior de nenhuma das cavidades. Porém e embora seja de difícil perceção, supõem-se a presença de fragmentos de madeira em várias das cavidades mapeadas.

## 2.6 TRATAMENTO EFECTUADO

### 2.6.1 Proteção prévia da superfície

Todas as etapas da intervenção foram alvo de registo fotográfico geral e pormenorizado com o objetivo de auxiliar a compreensão das diferentes etapas levadas a cabo durante o tratamento.

Antes do transporte da obra para a oficina iniciou-se o processo de tratamento *in situ* pela fixação da camada cromática em risco de destacamento com recurso *facing* aplicado com recurso a cola animal em dispersão aquosa, com adição do antifúngico *Nipagin<sup>TM</sup>A*<sup>19</sup> numa concentração de 1:10 e papel japonês (Figura 54).



Figura 53 – Facing.

Já na oficina procedeu-se à remoção do *facing* com recurso a compressas de algodão embebidas em água destilada aquecida a 45 °C (Figura 55 e 56) e posterior limpeza da área pré-fixada com água destilada embebida em cotonete de algodão, aquecida a 60 °C para remoção do adesivo remanescente sem risco de levantamento de fragmentos. As temperaturas definidas justificam-se por a cola animal se dispersar em água a temperaturas entre os 35 e os 60 °C, sendo que os 45 °C iniciais objetivam apenas a reativação do adesivo e a remoção do *facing* e os 60 °C resultarão na remoção do adesivo remanescente sobre a camada policroma.

---

<sup>19</sup> Constitui-se como um Para-hidroxibenzoato de metilo ou E218 e é usado como antifúngico na indústria alimentar, cosmética e igualmente em património.



Figura 54 - Compressa algodão humedecida em água aquecida a 46 °C.



Figura 55 – Remoção do *facing* após reativação do adesivo.

Seguidamente iniciou-se a revisão e fixação de todas as áreas anteriormente em risco de destacamento com recurso a cola de coelho dispersa em água destilada numa concentração de 1:13, com adição de fungicida *Nipagin<sup>TM</sup>A* e aquecida a 45 °C aplicada a pincel.

A fixação das bolsas fez-se com recurso a espátula quente (após a aplicação do adesivo) interposta por folha de poliéster (*Melinex<sup>20</sup>*), de modo a assentar a camada policroma na sua posição original. A ação do calor amolece o adesivo das camadas de preparação originais, tornando-as mais flexíveis (logo de manipulação mais controlada), evitando assim a quebra das mesmas. É de referir porém que algumas das bolsas apresentaram pequenas fissuras após a sua fixação, mas sem qualquer destacamento identificável.

## 2.6.2 Suporte

Procedeu-se então à remoção mecânica dos produtos de corrosão dos elementos metálicos, a qual foi levada a cabo com recurso a broca de ponta de diamante e um mini-berbequim (Figura 57), seguido de aspiração. Posteriormente, os elementos metálicos foram revestidos com um conversor de óxidos à base de ácido tânico<sup>21</sup>, a fim de se criar uma camada de passivação. Este conversor constitui-se como dispersão vinílica-acrílica, ao qual é adicionado ácido tânico que, em contacto com o óxido de ferro forma um complexo organometálico estável, de cor negra, criando-se uma película protetora resistente à água que impede a evolução da oxidação<sup>22</sup>. A título preventivo, aplicou-se um filme de resina acrílica *Paraloid B-72<sup>23</sup>* diluído em acetona<sup>24</sup> numa concentração de 6% (Figura 58). A rápida

<sup>20</sup> Película de politereftalato de etilenoglicol que possui um ponto de fusão: 265 °C. *In*: <http://www.professionalplastics.com/pt/MelinexPETFilmDupont.html>

<sup>21</sup> Converte óxidos de ferro em tanato de ferro estabilizando desta forma o suporte. *In*: <https://5cidade.files.wordpress.com/2008/05/conservacao-de-um-canhao-de-campo.pdf>

<sup>22</sup> *In*: [http://www.robialac.pt/folder/produto/itc/9\\_013-0150\\_\\_05-1.pdf](http://www.robialac.pt/folder/produto/itc/9_013-0150__05-1.pdf)

<sup>23</sup> Copolímero de etilmetacrilato e metilacrilato. Após dissolvido permite uma resina muito durável, não amarela e é compatível com outros materiais que formam filmes, tais como vinílicos derivados de celulose, borrachas cloradas, silicões, e pode ser combinada com os mesmos para produzir películas com larga variedade de transparência. Forma filmes claros bastante flexíveis que não estão sujeitos à fragilidade sob baixa humidade (Michelin: 1990).

<sup>24</sup> É uma cetona alifática, também conhecida como Dimetilcetona e utilizada como solvente de produtos orgânicos, agente de limpeza e eliminação de resíduos de consolidantes como, por exemplo, o poli (acetato de vinilo). Possui uma taxa de evaporação de 2.1 (ABNT) (Michelin: 1990).

evaporação do solvente resulta numa rápida secagem do filme, evitando assim impregnação no suporte e camadas adjacentes.



Figura 56 – Remoção de oxidação de elemento metálico presente no braço esquerdo da imagem.



Figura 57 – Camarão e Escápula de olhal após tratamento com ácido tânico.

Terminada esta etapa, iniciou-se o processo de desinfestação do suporte com o princípio ativo à base de cipermetrinas dissolvidas em hidrocarbonetos de cadeia alifática, recorrendo-se para tal ao desinfestante comercial Axton©<sup>25</sup>. Foi feita dupla aplicação (garantindo uma impregnação total) com recurso a trincha na base, a pincel nas áreas que se apresentavam em madeira exposta nas áreas policromadas e com a seringa e agulha na área do braço esquerdo, de modo a impregnar a única área de ataque de inseto xilófago visível na peça. A opção por esta marca fundamentou-se na não alteração da cor ou do aspeto do objeto sujeito à aplicação do produto.

Após a evaporação do desinfestante líquido durante 48 horas, procedeu-se à aplicação de uma camada de protetivo final sobre toda a obra, o ombro direito cuja madeira se encontrava ligeiramente esponjosa e o antebraço esquerdo onde é evidente a presença de galerias de inseto xilófago, mais concretamente na área exterior do cotovelo, foram sujeitas a duas aplicações de *Paraloid B72* diluído em tolueno em percentagens de 5% e 10% respetivamente. Com isto objetiva-se a consolidação destas áreas de lenho fragilizado, contribuindo assim para a sua preservação futura. As diferenças de concentração são explicadas pela necessidade de promover uma profunda penetração da resina no lenho, daí esta se encontrar em baixa percentagem no solvente para que tenha assim o máximo de tempo para ser absorvida pela madeira. Seguidamente, a maior concentração de resina endureceu o lenho degradado apenas o suficiente para contribuir para a sua estabilidade mecânica.

<sup>25</sup> Desinfestante composto por Cipermetrina: 0.1%, Propiconazol: 0.15%, Tebuconazol: 0.05%, 3-iodo-2-propinilbutil carbamato (IPBC): 0.05%, Disolventes y Excipientes c.s.p.100%

### 2.6.3 Policromia

Para a remoção da sujidade depositada sobre a obra e fortemente aderida à sua superfície, houve necessidade de se proceder a testes de solubilidade, uma vez que a natureza da sujidade era desconhecida e as condições ambientais particularmente desadequadas (a área de exposição de origem da peça é uma capela aberta ao exterior, conseqüentemente sujeita à deposição de partículas poluentes). Desta forma, levou-se em consideração que a maior parte da camada cromática presente se constitui por uma técnica a têmpera a qual é naturalmente higroscópica. Esta higroscopicidade está igualmente presente nos detritos existentes no ar, em particular, na área onde a obra está exposta, o que por sua vez resulta numa quase aderência dos detritos à camada cromática. Apesar destas condicionantes, o objetivo foi a remoção da maior quantidade possível destes agentes de degradação de forma a devolver a estabilidade química e física assim como, a leitura e correta interpretação dos seus elementos decorativos.

Embora a sujidade fosse extensível a toda a obra, a sua acumulação em áreas mais claras, como é o caso das carnações, tornava esta sujidade mais contrastante, logo com maior impacto visual.

a) Limpeza mecânica da camada policroma: efetuada com recurso a bisturi e auxiliada por lupa binocular com grande ampliação, circunscrita às carnações, por revelarem manchas pontuais e minúsculos pontos circunscritos aparentemente com volume. Este tratamento revelou-se pouco eficaz, dado que as manchas apresentavam uma espessura muito fina, pelo que o uso de uma lâmina demonstrou ser demasiado impreciso para a sua remoção.

Pôs-se de parte este tipo de limpeza para as restantes áreas da peça pela mesma razão acima referida.

b) Limpeza química da superfície policroma: efetuada mediante os valores de pH e de condutividade medidos nas diferentes áreas segundo a cor e estado de conservação, baseada nas metodologias desenvolvidas por Wolbers (2000).

A opção por esta metodologia de limpeza teve por objetivo remover a sujidade aderida, sensível à água, e levou em conta a não deteção de qualquer verniz presente na obra. Porém, foi igualmente considerada a hipótese de a sujidade presente sobre a camada cromática poder “mascarar” essa mesma camada de verniz. Segundo os valores de pH e condutividade, as soluções foram preparadas de forma a tornarem-se isotónicas em relação às superfícies.

A adição de trietanolamina e ácido acético permitiu a obtenção de soluções tamponadas adequadas aos diferentes valores de pH medidos e diluídas até se obterem valores de condutividade que permitissem obter soluções isotónicas em relação à superfície.

*“Usados corretamente, os medidores de pH são ferramentas valiosas, permitindo que tratamentos químicos intrinsecamente perigosos possam ser controlados e realizados com eficácia e segurança.”*

(Moncrieff: 1992, p.102) (tradução livre).

Para a obtenção dos valores de pH e de condutividade das diferentes áreas policromadas da obra usou-se um medidor de pH *Cardy Twin pH Meter*, da marca *Horiba* e um medidor de Condutividade *B-171 Twin Conductivity/Salinity Pocket Tester* da mesma marca. Seguindo as instruções do fabricante quanto à metodologia a usar.

Os valores medidos são apresentados na tabela que se segue:

Tabela 2 - Resultado da análise por EDXRF da amostra 4.

	<b>pH</b>	<b>Condutividade (mS/cm)</b>
<b>Laca vermelha (corpete)</b>	6.8	0.46
<b>Verde da saia</b>	5.9	0.29
<b>Ouro, perto do joelho direito</b>	7.3	1.80
<b>Face da santa</b>	5.3	159
<b>Azul da flor no corpete</b>	6.1	13
<b>Testa do imperador</b>	5.9	150
<b>Cabelo da santa</b>	6.4	78
<b>Cabelo do imperador</b>	5.6	166

Assim sendo, prepararam-se as seguintes soluções:

- - 100 mL de água destilada + 0.5 mL de Trietanolamina + 1 mL de ácido acético, para preparação de uma solução de pH 5,5 e de condutividade de 7.2 mS, a qual foi usada nas superfícies que apresentaram os seguintes valores de pH: 5.3, 5.6, 5.9, 6.1.
- - 100 mL de água destilada + 1.7 mL de Trietanolamina + 1 mL de ácido acético para preparação de uma solução de pH 6.5 e de condutividade de 7.6 mS, a qual foi usada nas superfícies que apresentaram os seguintes valores de pH: 6.1, 6.4, 6.8.
- - 100 mL de água destilada + 2 mL de Trietanolamina + 1 mL de ácido acético para preparação de uma solução de pH 7 e de condutividade de 7.8 mS, a qual foi usada na superfície que apresentava o valor de pH de 7.3.

Todas as superfícies sujeitas a estas soluções apresentaram resultados de limpeza satisfatórios, já que as áreas sujeitas a limpeza se tornaram mais claras e com os seus elementos decorativos mais definidos sem, no entanto, se verificar a remoção de material policromo. Constituiu uma exceção as áreas de carnações (Figura 59), as quais não apresentaram qualquer alteração.



Figura 58 – Pormenor da face antes da limpeza, com sujidades aderidas que comprometem a superfície e tornam a carnação mais opaca.

Optou-se então pela utilização de solventes orgânicos nas áreas de carnação, baseando-nos para tal nas metodologias desenvolvidas por Cremonesi (2000) que se baseiam nos parâmetros de solubilidade de solventes orgânicos voláteis e de baixa toxicidade.

A partir dos testes de solubilidade desenvolvidos por Feller et al. (1985) Cremonesi (2000) desenvolveu tabelas onde se relacionaram solventes que apesar de possuírem parâmetros de solubilidade semelhantes aos propostos por Feller, se apresentam como menos tóxicos para o utilizador.

Este sistema tira partido dos parâmetros de solubilidade definidos para cada solvente. Estes parâmetros são definidos a partir das forças intermoleculares existentes no solvente (líquido) e no soluto (sólido): Ligações de hidrogénio – fH, ligações de Van der Waals – fD e ligações polares – fP. Uma solução é tanto mais eficaz quanto mais os seus parâmetros de solubilidade se assemelham aos parâmetros de solubilidade da substância a ser removida.

Para tal, usaram-se solventes com poder de retenção moderada e baixo nível de toxicidade.

Iniciou-se a remoção das sujidades aderidas com a aplicação de ligroína<sup>26</sup>. Como esta não apresentou qualquer poder de remoção dos materiais aderidos à obra, prosseguiu-se com uma solução de ligroína com acetona numa proporção de 9:1. Como não houve alteração, os testes subsequentes basearam-se no aumento progressivo da concentração de acetona em intervalos de 10 mL, até se atingir uma proporção de 1:9 respetivamente, o que continuou a não apresentar resultados satisfatórios.

Passou-se então para uma solução de ligroína com etanol numa proporção de 9:1. Como não houve alteração, os testes subsequentes procederam ao aumento progressivo da concentração de etanol em intervalos de 10 mL, até se atingir uma proporção de 1:9 respetivamente, o que continuou a não apresentar resultados satisfatórios.

---

<sup>26</sup> É uma mistura de hidrocarbonetos (hexano e pentano), também conhecido como Éter de Petróleo ou Benzina de Petróleo. Possui um ponto de ebulição de 60 °C e um ponto de fusão de 70 °C. Usado na remoção de adesivos, gorduras e na indústria (Michelin: 1990).

Procedeu-se então à aplicação de uma solução de acetona e etanol<sup>27</sup> numa proporção de 9:1 respetivamente com o objetivo de remover as substâncias mais sensíveis a agentes polares. Como não houve alteração, os testes subsequentes procederam ao aumento progressivo da concentração de etanol em intervalos de 10 mL, até se atingir uma proporção de 1:9 respetivamente, o que continuou a não apresentar resultados satisfatórios.

De modo a não correr o risco de lixiviar a superfície policroma com ensaios químicos de natureza mais agressiva retornou-se aos ensaios de limpeza mecânica. Desta vez recorreu-se a massa comercial *Modostuc* usada neste caso como micro abrasivo. Esta pasta é constituída por uma base de carbonato de cálcio com pequenas quantidades de sulfato de bário com um copolímero de acetato de polivinilo como aglutinante<sup>28</sup> e foi aplicada para a remoção de sujidades unicamente nas carnações. A massa foi diluída em água destilada e a sua aplicação foi feita com recurso a cotonete, com movimentos suaves, curtos e circulares. De modo a não danificar a superfície a limpar, esta limpeza foi feita com recurso a lupa binocular (com ampliações de até 60x) sem que se insistisse repetidamente no mesmo local (Figura 60). Terminada a limpeza de pequenas áreas, o produto foi imediatamente removido com cotonete limpo e humedecido em água destilada e etanol numa proporção de 8:2 respetivamente. A opção pela adição de etanol à água destilada tem como justificação o aumento da velocidade de evaporação da solução da superfície policromada.



Figura 59 – Durante a limpeza mecânica por micro abrasão, com auxílio da lupa binocular.

Após a conclusão da limpeza de todas as superfícies da obra, procedeu-se à revisão da aderência de todas as camadas policromas, em particular das áreas previamente sujeitas a fixação.

Com recurso a cotonete com água destilada à temperatura ambiente, procedeu-se à limpeza das áreas de madeira crua que apresentavam vestígios pulverulentos e desagregados de preparação, ficando desta operação excluídas todas as áreas de camada de preparação visíveis que se apresentassem com boa aderência ao substrato e com unidade visual.

<sup>27</sup> Etanol ou álcool etílico é um solvente orgânico alifático com um ponto de ebulição 78,5 °C e um ponto de fusão: -117.03 °C/-114.0 °C. É utilizado puro ou em soluções para eliminação de vernizes e repintes, também como agente acelerador de evaporação e para diminuir a tensão superficial (tensioativo). *In*: <http://www.novacana.com/etanol/>

<sup>28</sup> *In*: <http://www.talasonline.com/photos/msds/modostuc.pdf>

Com o objetivo de isolar as camadas policromas presentes dos subsequentes procedimentos de conservação e restauro, aplicou-se à trincha sobre toda a superfície uma solução de *Paraloid B-72* diluído em tolueno<sup>29</sup> numa concentração de 10%. A opção por esta resina justifica-se pela sua estabilidade ao longo do tempo, quer química, quer esteticamente, sendo que o tolueno foi opção por ser menos polar do que a acetona, permitindo uma melhor uniformização do brilho resultante da sua aplicação.

Seguidamente procedeu-se à aplicação de massas de preenchimento nas lacunas da camada cromática presentes na carnação das faces de ambas as figuras (Figura 61), excluindo-se desta operação, as lacunas da mão direita. Esta opção justifica-se pela pequena área das lacunas referidas e pelo seu pouco impacto na leitura da peça.



Figura 60 – Após a limpeza mecânica e já com massas de preenchimento.

Para tal, aplicou-se uma encolagem de cola de coelho dispersa em água numa proporção de 1:10. Após a secagem aplicou-se a primeira camada de preparação, a qual se constituiu por Carbonato de Cálcio<sup>30</sup> e a mesma cola de coelho usada na encolagem. A opção por esta carga justifica-se pelo propósito de diferenciar o material usado para preenchimento das áreas de lacuna do original, o qual, segundo o resultado do teste microquímico, resultou na identificação da presença de Sulfato de cálcio. Este processo ficou concluído após a aplicação de quatro camadas sucessivas, com tempos de secagem de cerca de 24h entre aplicações para, desta forma, permitir a completa secagem de cada camada e, com isto, a sua firme fixação ao suporte ou à camada anterior.

Estas camadas de preparação foram seguidamente niveladas até ficarem coincidentes com a camada cromática adjacente, com recurso a lâmina de bisturi.

<sup>29</sup> Hidrocarboneto aromático com uma taxa de evaporação de 4,5. *In*: [http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha\\_completa1.asp?consulta=TOLUENO](http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=TOLUENO).

<sup>30</sup> É um sal com características básicas e existe na natureza como calcite, aragonite e vaterite. É usado como carga e abrasivo em soluções aquosas e aplicado em neutralização e alcalinização em procedimentos de conservação e restauro de documentos. *In*: <http://sec.sbq.org.br/cdrom/32ra/resumos/T1050-2.pdf>

Para a reintegração das respetivas massas de preenchimento usaram-se guaches da marca *Winsor & Newton* aos quais foi adicionada goma-arábica<sup>31</sup> com o objetivo de reduzir a diferença tonal que sucederá nas áreas reintegradas aquando da aplicação do filme de verniz de proteção final. Esta goma foi diluída em água numa proporção de 1:10. Optou-se por uma reintegração diferenciada, recaindo a escolha na técnica do *Tratteggio*, a qual resultou numa reintegração da área em questão sem no entanto comprometer o seu reconhecimento como uma área não “original”.

Dado o impacto visual que as camadas de preparação das áreas das vestes apresentaram após a conclusão da limpeza e aplicação do filme de *Paraloid B72*, optou-se igualmente pela sua reintegração. Neste caso específico, esta reintegração não teve como fim uma reprodução da cor e das formas presentes nas camadas circundantes, mas apenas uma subtil diminuição do seu impacto visual. Assim, optou-se pela criação de uma trama de traços verticais e oblíquos, levada a cabo com guache da marca *Winsor & Newton*, ao qual foi adicionada goma-arábica diluída em água. Esta trama foi obtida com recurso a um único tom, *Terra de Sombra Queimada*, o qual permitiu uma aproximação ao tom apresentado pela madeira à vista. Desta forma e resultando numa técnica de reintegração claramente diferenciada, obteve-se uma sólida redução do impacto visual de todas as áreas de preparação visíveis (Figuras 72 a 75).

#### 2.6.4 Aplicação do verniz

Com o intuito de promover a proteção das camadas policromas existentes assim como a preservação no tempo da limpeza a que a obra foi sujeita e da própria reintegração cromática efetuada, procedeu-se à aplicação de uma camada final de verniz de proteção final com recurso a *Paraloid B72* diluído em tolueno na concentração de 7%. Além da já referida proteção da camada cromática original assim como da reintegração efetuada, objetivou-se igualmente com esta aplicação, o equilíbrio de brilhos em toda a peça. Este equilíbrio foi apenas homogeneamente conseguido após uma segunda aplicação após completa evaporação do solvente do primeiro, de modo a diminuir brilhos excessivos. Desta última aplicação foram excluídas as carnações de ambas as figuras que já apresentavam intensidade de brilho adequada. Pretendeu-se assim portanto manter esta característica da obra.

A escultura de Santa Catarina de Alexandria apresenta uma riqueza e profundidade de tons una, assim como um brilho semi mate uniformemente distribuído por toda a peça, com exceção das carnações das figuras, as quais se apresentam brilhantes como pretendido.

As áreas de madeira fragilizada apresentam-se firmes ao toque e esteticamente enquadradas.

As áreas alvo de reintegração estão perfeitamente integradas nas múltiplas tonalidades presentes e são impercetíveis a uma distância de cerca de 1 metro aproximadamente, sendo que, tal como pretendido, a curta distância são perfeitamente identificáveis graças aos métodos de reintegração diferenciada usados.

---

<sup>31</sup> É uma resina natural composta por polissacarídeos e glicoproteínas extraída da *Acacia senegal* e *Acacia seyal*. É usada na fabricação de colas, como espessante e estabilizante. In: <http://www.gomaarabica.com.br/goma-arabica/tudo-sobre-gomas.html>

## 2.7 LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO

### 2.7.1 Antes da intervenção



Figura 61 – Vista geral do Anverso.



Figura 62 – Vista geral do Reverso.



Figura 63 – Vista geral do perfil direito.



Figura 64 – Vista geral do perfil esquerdo.

### 2.7.2 Após a intervenção



Figura 65 – Vista geral do anverso.



Figura 66 – Vista geral do reverso.



Figura 67 – Vista geral do perfil direito.



Figura 68 – Vista geral do perfil esquerdo.

### 2.7.3 Pormenores após a intervenção.

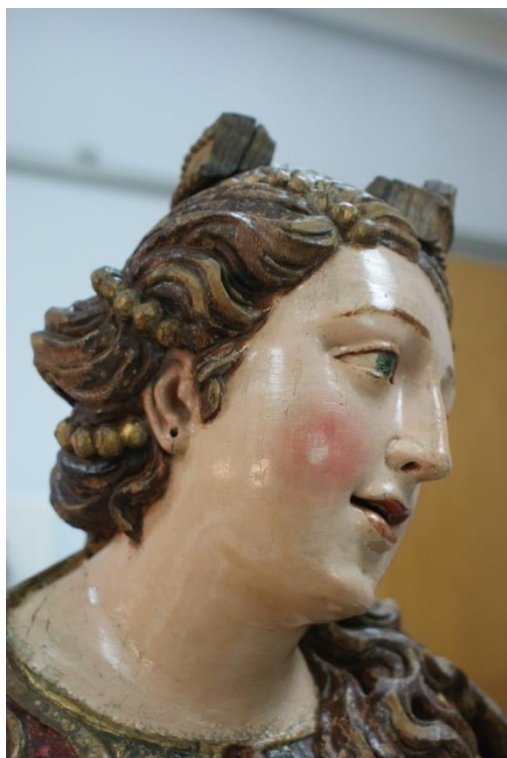


Figura 69 – Vista a 3/4 da face direita do rosto de Santa Catarina de Alexandria, após a intervenção.



Figura 70 – Vista a 3/4 do perfil esquerdo do rosto de *Marcus Augustus*, após a intervenção.



Figura 71 – Pormenor da técnica de reintegração diferenciada numa madeixa de cabelo situada nas costas da imagem.



Figura 72 – Pormenor da técnica de reintegração diferenciada numa área do corpete nas costas da imagem.

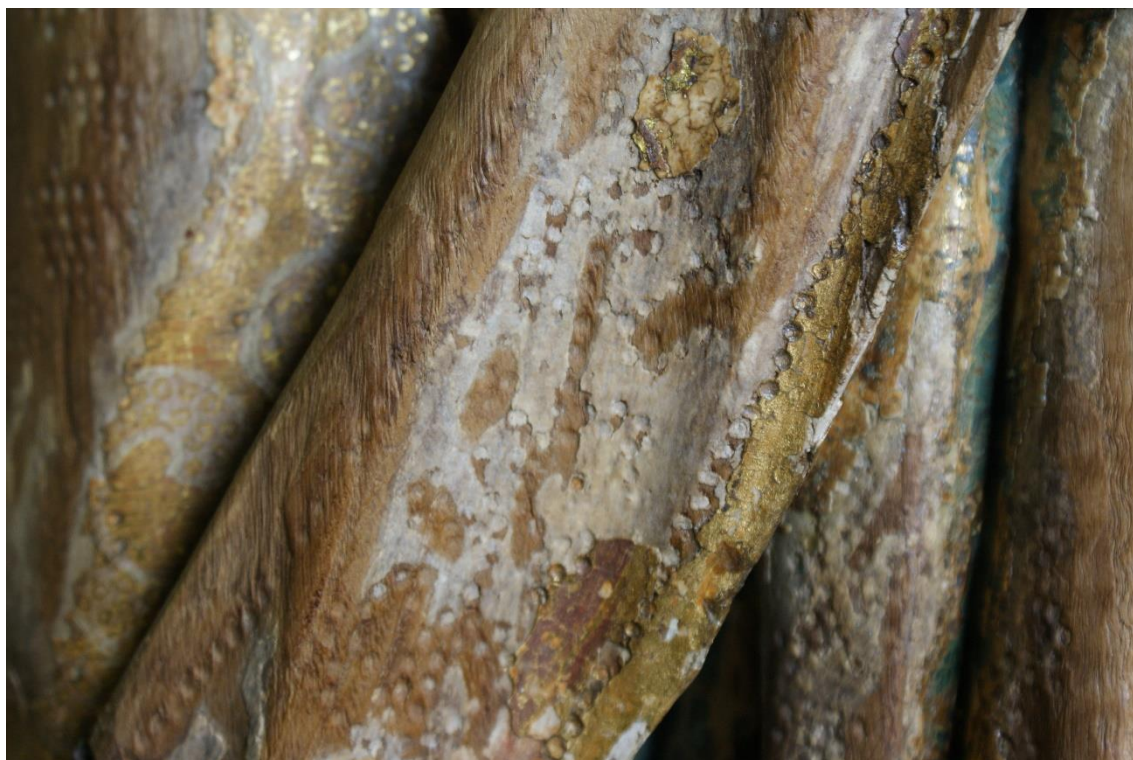


Figura 73 – Área do manto, com camada de preparação visível, situada abaixo do joelho direito da imagem, antes da reintegração com técnica diferenciada.

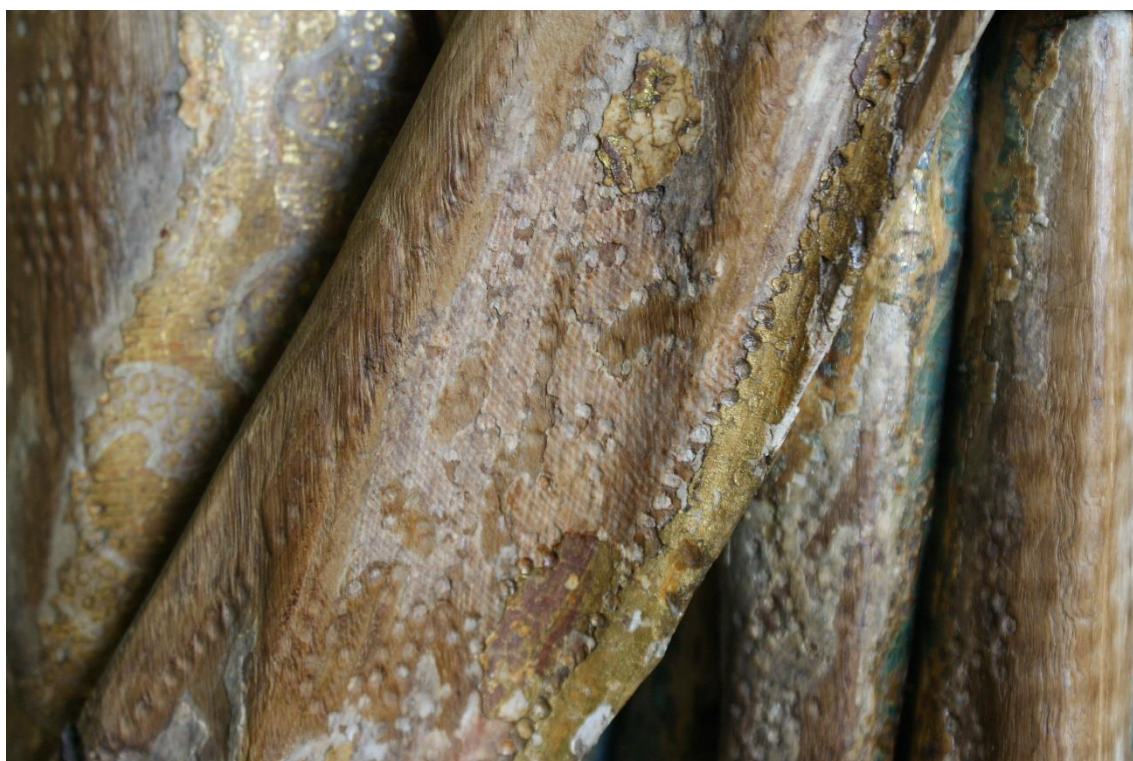


Figura 74 - Área do manto, com camada de preparação visível, situada abaixo do joelho direito da imagem, após a reintegração com técnica diferenciada.

## 2.8 CONCLUSÃO

A escultura de Santa Catarina de Alexandria enquadra-se na linguagem estético-formal da escultura dos séculos XVI e XVII, conclusão corroborada pelas análises da policromia cujos resultados sugerem que as técnicas e materiais usados correspondem aos habituais segundo documentos históricos e os estudos laboratoriais publicados, assim como pela identificação do material lenhoso. Genericamente, a escultura e mesmo mobiliário datado do século XV e anteriores em Portugal, é apresentada quanto à identificação do lenho como constituída por carvalho (*Quercus* spp.), ao passo que, do século XVI em diante, a identificação de castanho (*Castanea sativa*) é quase omnipresente, carecendo esta informação de estudo e confirmação.

Como única exceção detetada, identifica-se a presença do pigmento sintético Azul-da-Prússia, o qual deverá corresponder a um processo de reintegração, posterior ao início do século XVIII.

O tratamento efetuado teve por objetivo a estabilização física e química dos materiais presentes na peça e a sua conservação face às exigências específicas do seu local de exposição.

A identificação do material lenhoso e todos os processos, metodologias e conhecimentos que levaram à sua identificação, conduziram à definição do tema do estudo de caso.

### 3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso centrou-se na análise e identificação de um grupo de esculturas flamengas datadas dos séculos XV e XVI e provenientes de uma coleção particular.

As obras estão identificadas como pertencendo a este período, região e linguagem estética pelo Dr. Álvaro Sequeira Pinto (ver Anexo 1).



Figura 75 – Anverso da escultura de Nossa Senhora do Calvário.



Figura 76 - Anverso da escultura de Nossa Senhora com o Menino em Majestade.



Figura 77 - Anverso da escultura de São Bartolomeu.



Figura 78 - Anverso da escultura de Cristo *Salvator Mundi*.



Figura 79 - Anverso da escultura de São João Evangelista.

### 3.1 A ESCULTURA RELIGIOSA DOS SÉCULOS XV E XVI DA REGIÃO DA FLANDRES

Quando se fala em arte flamenga pensa-se de imediato em pintura a óleo sobre madeira. Porém, a escultura foi, lado a lado com a pintura, outro dos grandes fatores de disseminação e troca comercial de arte flamenga. A definição do que é arte flamenga, assim como das suas nuances e características, tem hoje, em particular com a multiplicidade de informação e de divulgação de obras de arte, uma importância crescente.

Cruzando referências geográficas, características do seu mercado à época, a análise do seu Renascimento assim como de um possível cânone flamengo, procura-se oferecer um contributo para a clarificação desta tipologia artística basilar na história da arte europeia.

#### 3.1.1 Enquadramento Geográfico/ Características do Mercado Flamengo

Durante o século XV e mesmo posteriormente, a região conhecida hoje como Países Baixos e que inclui a Holanda, a Bélgica e o Luxemburgo, era uma área designada simplesmente como Flandres.

Neste período, este território, sob o domínio dos Duques da Borgonha, incluía ainda áreas do Norte de França como a Picardia e Artois<sup>32</sup>. Através de acordos selados por casamentos reais, este território foi absorvido pelo império dos *Habsburgo* e, desta forma, administrado pela coroa espanhola (Pimentel: 1993).

Apesar de todos os esforços por parte da coroa, quer para unir efetivamente as diversas províncias, todas elas muito ciosas dos seus interesses, quer para impor o Catolicismo, o resultado obtido foi o desenvolvimento de uma revolta que deu origem à famosa Guerra dos Oitenta Anos e que se prolongou entre 1568 e 1648 (Bray, 2009).

Com o término do conflito, a região acabou por se dividir, mantendo-se apenas o Sul sob o domínio espanhol.

Os séculos XV e XVI correspondem ao período dos Descobrimientos Portugueses. No entanto, é importante esclarecer que as ligações entre Portugal e a Flandres são já existentes desde muito antes desta data, sendo possível que sejam mesmo anteriores ao século XIII, através da comercialização de sal. Além disso, é igualmente relevante o facto de a nossa primeira dinastia ser proveniente de Borgonha (Simões: 1933).

Nos séculos XV e XVI Portugal exercia um relativo domínio comercial naquela região baseado no açúcar (proveniente da região da Madeira) e depois nas especiarias que vinham do Oriente. A importância e a solidez desta relação torna-se clara pela instalação entre 1508 e 1549, da chamada Feitoria de Antuérpia ou Feitoria da Flandres, a qual administrava o comércio e a distribuição dos produtos vindos de Oriente.<sup>33</sup>

Esta região, à data sob domínio do Ducado da Borgonha, dispunha-se no centro de importantíssimas rotas marítimas que ligavam esta província aos portos do Báltico, desde Copenhaga e Riga, passando por Hamburgo, Kiel e Danzig e ainda a Inglaterra.

Esta centralidade geográfica resultou na transformação da “Flandres” numa placa giratória de produtos, novidades, contactos, negócios e trocas de conhecimentos e experiências. Serviu também para que os seus próprios produtos, ou seja, tudo o que fosse produzido ou transformado localmente, usufrísse de uma enorme exposição e facilidade de distribuição para virtualmente todo o território europeu. Foi precisamente tirando partido, à época, da enorme

<sup>32</sup> [http://www.mba.tours.fr/index.php?idtf=5189&TPL\\_CODE=TPL\\_COLLECTIONPIECE&PIECENUM=145](http://www.mba.tours.fr/index.php?idtf=5189&TPL_CODE=TPL_COLLECTIONPIECE&PIECENUM=145)

<sup>33</sup> <http://digitarq.dgarq.gov.pt/details?id=4229516>

afluência de pessoas a esta área relativamente reduzida, onde pululavam compradores, vendedores e simples viajantes, que a sua produção artística se deu a conhecer e viajou para os locais de origem destes compradores, nomeadamente os da emergente classe dos comerciantes<sup>34</sup>.

Este território caracterizou-se por providenciar aos artistas da região um fluido ritmo de comissões e encomendas, em particular por parte da Igreja, da Nobreza e de altos cargos de instituições públicas como, por exemplo, magistrados, o que manteve Antuérpia como o mais relevante centro de produção artística na Europa da época.

A atual Holanda ou por outras palavras, o Norte, da região flamenga, definiu-se como independente do Império Espanhol, assim como do Catolicismo, adotando conseqüentemente o Calvinismo como visão religiosa dominante. É, porem, relevante que esta visão se tenha caracterizado por uma certa tolerância religiosa, o que veio a resultar num incentivo à imigração e num conseqüente e gradual aumento do dinamismo económico.

Esta atividade económica crescente alimentou um progressivo e lucrativo comércio em cidades como Amesterdão, o qual veio permitir que membros da classe baixa e média enriquecessem, tornando-se conseqüentemente burgueses endinheirados que se tornaram patronos das artes e grandes encomendantes de obras. Desta forma, temos o Norte da Flandres em que as encomendas por parte da Igreja e da aristocracia se reduzem a percentagens quase residuais, tendo conseqüentemente os artistas de adaptar-se, quer a novos temas e formatos, quer a novas características das obras a produzir, as quais tinham que corresponder aos gostos e exigências de indivíduos com uma visão diferente das tradicionais classes encomendantes de arte.

Estes clientes exigiam, para a decoração das suas casas, muito mais do que os tradicionais temas de natureza secular religiosa, o que resultou, por parte dos artistas da época, numa seleção temática e técnica que estes reconheceram como sendo mais vendável e lucrativa, chegando mesmo a disponibilizar as suas obras em feiras através de negociantes de arte ou mesmo a usar os seus ateliês como área de receção de clientes, galeria e mesmo leiloeira.

Ao contrário do que era norma anteriormente, ao invés de limitarem o seu trabalho a encomendas específicas, popularizou-se a produção de obras que eram depois expostas nos ateliês ou salas preparadas para esse fim e que eram, posteriormente, visitadas por clientes que se dirigiam aí para ver o que se encontrava disponível para venda naquele momento específico. Esta mudança de paradigma, em paralelo com uma feroz competição entre os artistas, resultou numa tendência para a especialização, muitas vezes dentro de uma categoria específica, o que levou a que um tema popular e muito vendável continuasse a ser reproduzido em série (Pimentel: 1993).

---

<sup>34</sup> <http://www.fcsh.unl.pt/cham/eve/content.php?printconceito=1149>

### 3.1.2 Renascimento Flamengo

Quando se pensa no artista renascentista, pensa-se no Homem que abriu a sua visão para o mundo e não apenas para as regras prévias e determinadas por dogmas religiosos. Esta brecha na estrutura artística do Norte Europeu deu-se em meados de 1500 quando os artistas que até aí se mantinham, conscientemente ou não, imunes às influências do resto da Europa, foram invadidos pelas ideias do Renascimento Italiano. Foi este acontecimento que deu início ao fim do Gótico no Norte da Europa, o qual, no entanto, se manteve sempre muito presente, deixando apenas de ser a força artística dominante (Janson: 1998).

Porem, será inapropriado separar o humanismo renascentista de toda a estrutura religiosa e mesmo intelectual dos séculos XV e XVI. Esta nova matriz intelectual trouxe, talvez e antes de tudo, um interesse pelo que até aí era apenas tema de raciocínio do pensador religioso, do doutor da igreja que, partindo de determinismos sólidos e em grande medida pouco flexíveis, definiam com contida exatidão o que era o Homem, o saber, a relação deste com o mundo e com Deus.

Este século trouxe a procura da verdade e do saber para as mentes e, posteriormente, para as mãos dos artistas. Estes artistas quiseram, lentamente, deixar de se ver como artesãos sem opinião ou vontades, para se tornarem também eles contribuidores do saber geral, da sensibilidade às pequenas nuances do mundo, da natureza, do homem e das verdades pelas quais este se devia reger.

Exemplo disto é o realce que *Erwin Panofsky* dá, na sua biografia de *Albrecht Dürer*, às constantes dificuldades de relacionamento entre este e a sua esposa *Agnes*:

*“Agnes Frey pensou que o homem com quem se tinha casado era um pintor no sentido medieval, um honesto artesão que produzisse pinturas como um alfaiate produz casacos e fatos; mas para sua infelicidade, o seu marido descobriu que a arte era, simultaneamente, um dom divino e uma conquista intelectual, que requeria uma aprendizagem humanística, o conhecimento de matemática e as realizações gerais da “cultura liberal”. Dürer simplesmente ultrapassou o nível intelectual e esfera social da sua esposa e, nenhum dos dois pode ser culpado de se sentir desconfortável. Ele adorava a companhia de estudiosos e cientistas, tornou-se próximo de Bispos, Nobres e Príncipes numa atmosfera de quase equidade e preferia geralmente, ao ambiente doméstico, a atmosfera daquilo a que se poderia chamar clubes (Stuben), estúdios e livrarias. Ela não conseguia compreender porque é que ele a deixava sozinha em casa e saía para discutir mitologia ou matemática com os seus amigos sábios e porque é que passava horas sem fim a escrever tratados acerca da teoria das proporções humanas ou sobre geometria descritiva, ao invés de fazer o que ela chamava trabalho prático.*

(Brandl: 1986, p. 51)

Daqui se compreende, em parte, porque é que quando um pensador como *Tzvetan Todorov* decide perguntar-se quando é que se fundou o mundo moderno, se foque na reflexão sobre a arte flamenga em geral e na sua pintura em particular. Este filósofo encontra aqui as raízes da modernidade e os mais válidos e concretos elementos que configuram o Homem de hoje. Na sua obra “O Elogio do Indivíduo. Ensaio sobre a pintura Flamenga do Renascimento”, descreve como no século XV, nessa pequena região do Norte da Europa, na qual o Homem luta constantemente contra os elementos e ganha espaço ao mar, o indivíduo descobre que deve tomar as rédeas do seu mundo.

Emerge a representação do Homem real do seu tempo, do mundo físico e concreto em que as suas vidas se desenrolam. Este realismo flamengo é hoje visto como aquele que fez com

que a matéria terrena se tenha tornado digna de representação, sem necessitar, para tal de uma simbologia espiritual.

A estas determinações são igualmente incontornáveis fatores sociais, espirituais e filosóficos como é exemplo o movimento religioso *Devotio moderna* que surge nos Países Baixos no século XIV. Este fundamenta-se num renovado interesse na vida espiritual e, em particular, na vida interior do indivíduo através da meditação metódica. Teve, entre outros referenciais, um tremendo impacto sobre a arte flamenga (Bray: 2009).

Esta perspetiva do percurso de vida do indivíduo materializou-se numa conceção artística em que tanto a alegria como a tristeza tomaram corpo e presença. Visão esta que deu corpo e solidez a muito do que é a arte medieval do Norte Europeu (Bruneau: 2006).

Devemos, além disso, levar em conta a opção pela representação do elemento até ao seu mais ínfimo pormenor. Num primeiro relance, esta opção só é possível graças às possibilidades técnicas providenciadas pela pintura a óleo. Porém, a sua aplicação não se limitou à pintura, sendo igualmente clara a sua presença na escultura. Para que esta opção se tenha materializado, foi equitativamente necessária uma mudança espiritual mais profunda, a qual está relacionada com uma nova conceção da posição que ocupamos no mundo e que abre caminho ao Homem contemporâneo<sup>35</sup>.

*“Sangue, lágrimas, expressões de agonia, um realismo extremo. ... No entanto, do que muita gente não está plenamente consciente (...) é que esta tendência artística de mostrar o sofrimento extremo, provém do que à época se denominava de Países Baixos, ou seja, o que é hoje em dia a Bélgica, Holanda e algumas zonas do Norte de França.”*

(Bray: 2009, p. 250)

O maior estandarte artístico desta nova visão do mundo centrou-se na pintura e nos seus autores. O escultor da Flandres foi, em muito maior medida que o pintor, o autor desconhecido do seu tempo e ao contrário dos pintores deste período, uma grande percentagem mantém-se ainda hoje pouco conhecida (Bruneau: 2006).

A relação entre o escultor e o pintor era próxima e, provavelmente, estes viam-se como artistas equivalentes e merecedores do mesmo mérito, já que a grande maioria da escultura que se fez neste período por toda a Europa era toda ela policromada. Em primeiro lugar era o escultor o principal responsável pelos enormes retábulos povoados de esculturas que eram objeto de exportação frequente à época (Bray; 2009), como é exemplo o retábulo da Paixão, executado em Bruxelas e exportado para a catedral de Strängnäs na Suécia (*Idem*). Em segundo, porque existe documentação que prova que pintores de referência como Van der Weyden, policromaram esculturas em várias ocasiões (Bray: 2009: *apud* Campbell: 1988). Da mesma forma, escultores como Michael Pacher e Veit Stoss assumiram a policromia da Anunciação de São Lourenço em Nuremberga, apesar da possibilidade de processos judiciais por parte dos diferentes grémios (Bruneau: 2006).

No entanto, podemos interpretar o escultor como alguém que seria por ventura, tido mais como o verdadeiro artesão, como o homem da manualidade e que por esta mesma manualidade se aproximava mais do trabalhador, do “simples” entalhador, do que propriamente do artista, “o artista-artesão” como refere Bruneau (2006, p. 499).

---

<sup>35</sup> BARÓN, Xavier et al. – *La senda española de los artistas flamencos*. Madrid: Fundación Amigos del Museo del Prado, 2009. p. 15.

Tudo isto não deve no entanto fazer crer que na atualidade, o conhecimento que se tem dos grandes escultores flamengos é nulo ou mesmo residual. Quando se fala deste período da escultura do Norte da Europa, salientam-se nomes como:

1401-1450

- **Jean Delemer**, ativo em meados do século XV, em Tournai e Bruxelas.

1451-1500

- **Adam Dircksz**, entalhador flamengo ativo em meados de 1500, no sul da Holanda.
- **Michael Erhart**, escultor alemão ativo entre 1469 e 1522 em Ulm, no sul da Alemanha.
- **Nicolaus Gerhaert van Leyden**, escultor flamengo ativo entre 1462 e 1473.
- **Daniel Mauch**, escultor alemão ativo entre 1490 e 1530, no sul da Alemanha e Bélgica.
- **Erasmus Grasser**, escultor Alemão ativo entre 1450 e 1518, em Munique, sul da Alemanha.
- **Tilman Riemenschneider**, escultor alemão ativo entre 1480 e 1525 na Alemanha.
- **Veit Stoss**, escultor alemão ativo entre 1470 e 1530, em Nuremberga, França e Polónia.
- **Adriaen van Wesel**, escultor flamengo ativo entre 1417 e 1499, em Utrecht.

1501-1550

- **Hendrick Douverman**, entalhador flamengo, ativo entre 1490 e 1543, em Kalkar, Alemanha.
- **Arnt van Tricht**, escultor flamengo, ativo entre 1530 e 1570.
- **MASTER of Elsloo**, escultor flamengo ativo entre 1510 e 1530, em Limburg, Holanda.
- **Veit Wagner**, escultor alemão ativo entre 1492 e 1520, em Strasbourg.

1551-1600:

- **Alexander Colyn**, escultor flamengo ativo entre 1526 e 1612.
- **Cornelis Floris**, escultor flamengo ativo entre 1514 e 1575, em Antuérpia.
- **Hubert Gerhard**, escultor holandês/alemão ativo entre 1550 e 1620, em Munique.
- **Guillielmus Paludanus**, escultor flamengo ativo entre 1530 e 1579, em Antuérpia.
- **Johann Gregor van der Schardt**, escultor flamengo ativo entre 1530 e 1581, em Nuremberga.
- **Willem Danielsz van Tetrode**, escultor flamengo ativo entre 1525 e 1587, em Delft.<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> <http://www.wga.hu/tours/sculptor/>

### 3.1.3 Karel van Mander e a formulação do cânone Flamengo

Karel Van Mander, um artista, poeta e teórico de arte nascido em Meulebeke - Bélgica em 1548 e falecido em Amesterdão em 1606, é reconhecido hoje, como aquele que mais próximo esteve de conseguir criar um cânone técnico e temático, definidor do que hoje se classifica de Arte Flamenga.

A sua obra *Schilderboeck* ou “Livro de Pintura” teve como função primeira esclarecer, iluminar e incentivar os pintores do Norte do País. Porém, o seu impacto e popularidade foi muito para além desta região, tendo-se propagado por toda a área que é hoje definida como pertencendo à região da Flandres.

Este autor baseou-se maioritariamente em duas fontes referenciais para cumprir a sua intenção de estabelecer um padrão para a produção artística do Norte da Flandres. Primeiramente, baseou-se na obra de Giorgio Vasari “A Vida dos mais Excelentes Pintores, Escultores e Arquitetos” (1568), sendo a segunda influência, de acordo com uma recente reavaliação da obra de Van Mander, uma série de retratos de mestres do Norte, organizada por Domenicus Lampsonius (1532 – 1599) e Hieronymus Cock (1510 – 1570).

Esta obra salienta-se porque, para além de fornecer a biografia de múltiplos artistas, possui sugestões, informações e instruções práticas para artistas em início de carreira. Um bom exemplo disto é o facto de se incentivar os jovens artistas holandeses a praticar diligentemente o desenho de figuras para que o trabalho dos artistas do Norte, não continuasse a ser visto como inferior ao dos Italianos. No entanto, o seu gosto artístico não se limitava à pintura histórica, área onde o desenho da forma humana é essencial. Ele salienta que nem todos os artistas têm de ser igualmente talentosos, sendo que aqueles em que a capacidade não permita a perfeição na pintura histórica, se devem concentrar naquilo que fizerem melhor, seja pintura de género, paisagens, naturezas-mortas ou retratos (Pimentel: 1993).

Mas a criação de um “estilo” não pode, nem sequer por aproximação, ser atribuída a apenas um indivíduo, ou mesmo a um seletivo número de artistas referenciais. Na realidade, a mobilidade que hoje se reconhece aos artistas medievais, favoreceu o “cruzamento” de ideias e visões que, invariavelmente, instigaram a contaminação de estilos e concepções locais. Esta ação permitiu que métodos de trabalho, assim como novas abordagens temáticas e estilísticas se disseminassem por grandes áreas. Exemplo disso é a identificável presença de ecos do *Schöne Stil* (Estilo-Bonito) praticado em Praga por volta de 1400, em localizações tão distantes como Estrasburgo e Polónia. Da mesma forma, Niclaus Gerhaert (ou Nikolaus Gerhaert) (1420 – 1473) estudou provavelmente com Noel Sluter em Dijon, antes de trabalhar em Mainz, Strasbourg, Constance e Viena (Chapuis: 2000).

### 3.1.4 A escultura, o escultor e a madeira

No século XV, oficinas independentes vieram substituir as grandes oficinas dos edifícios religiosos. Os grêmios, nos quais estas oficinas independentes se agruparam, tinham regras explícitas e muito firmes.

Este mestre artesão era geralmente assistido por um ou dois outros artesãos qualificados e por um ou dois aprendizes porém, os artesãos mais famosos possuíam oficinas muito maiores e com mais trabalhadores. Exemplo disso é o caso do escultor Tilman Riemenschneider que, entre 1501 e 1517 trabalhava na sua oficina de Wurzburg com doze aprendizes e vários oficiais (Bruneau: 2006).

À semelhança de muitas outras profissões da época, era frequente que o ofício fosse passado de pai para filho, sendo de destacar ainda, a formação de verdadeiras dinastias de famílias de artesãos de diferentes áreas, como ensambladores, escultores, pintores e douradores, os quais viviam geralmente perto uns dos outros, juntando-se de forma a poder assumir grandes obras, criando relações estáveis de trabalho, as quais resultavam muitas vezes em casamentos entre os filhos destes (Bruneau: 2006).

De uma forma geral, os escultores e entalhadores não obtinham grandes somas pelo seu trabalho, como não possuíam particular estatuto social. As raras exceções pertencem a figuras como Tilman Riemenschneider que, entre 1520-1521, foi Burgomestre (representante máximo da cidade) de Wurzburg e Olivier Le Loergan que foi nobilitado em 1469 por Francisco II Duque da Bretanha. A questão da falta de conhecimento acerca destes artistas pode ter como explicação, numa primeira abordagem, o usual costume medieval de não assinar as obras, sendo no entanto conhecidas diversas peças com a assinatura dos seus autores. Como exemplo de um escultor que assinou diversas das suas obras, podemos citar Jan van Steeffeswert. Porém, não são incomuns os exemplos, em particular em colaborações, em que temos os nomes ou assinaturas do pintor, do ensamblador ou do arquiteto, não existindo qualquer referência ao escultor (Bruneau: 2006).

A crescente fama das obras produzidas na Flandres, assim como uma procura que aumentava em paralelo com essa popularidade, fez com que a produção de painéis de altar (únicos ou trípticos) entalhados e pintados se tenha tornado abundante, sendo a sua produção, organização e conceção extremamente organizada e mesmo algo standardizada. Esta evolução justificou-se pela prolífica exportação que se fazia destas peças escultóricas para França, Península Ibérica, ilhas Canárias e Baleares, Alemanha e países Escandinavos. Antuérpia e Bruxelas eram os dois principais centros de produção desta tipologia escultórica, destacando-se Malines na manufatura de estatuetas (Bruneau: 2006). Segundo o mesmo autor, as espécies lenhosas maioritariamente utilizadas para estas peças eram o carvalho (*Quercus* spp.), a nogueira (*Juglans* spp.) e algumas espécies frutíferas.

No que toca aos painéis retabulares na Alemanha, estes eram no sul do País geralmente executados em tília (*Tilia* spp.), recaindo a opção pelo pinho (*Pinus* spp.) nas zonas alpinas (Bruneau: 2006).

A escolha da espécie de madeira tinha muito que ver com o fim a que esta se destinava, sendo que as madeiras de melhor qualidade se destinavam à peça propriamente dita, ao passo que as de menor qualidade eram utilizadas para peças menos importantes, como peanhas (López, et al.: 2002).

Segundo López, et al. (2002) referindo-se já à escultura barroca, na Bélgica esta é na sua maioria realizada em madeira de tília contrariamente ao que ocorria em épocas anteriores, em que se utilizava maioritariamente o carvalho. O mesmo autor justifica esta opção por a tília ser uma espécie muito abundante, mais branda, fácil de esculpir e por permitir a execução de obras de grandes dimensões através da assemblagem de várias peças.

Tirava-se igualmente partido da cor natural da madeira. É o caso de obras de autores como Veit Stoss, Daniel Mauch e Tilman Riemenschneider, os quais praticavam uma semipolicromia partindo da cor natural da tília. Estes aplicavam uma velatura ligeira com recurso a uma goma, à qual adicionavam taninos e, em localizações específicas como olhos, lábios, cabelos e barbas intensificavam com pigmentos (Bruneau: 2006).

Segundo Murette (1961), que levou a cabo a identificação microscópica de mais de 1800 amostras de madeira provenientes de obras de arte de grande parte da Europa, concluiu que após uma minuciosa análise dos suportes numa mesma escola ou região, são encontradas as mesmas variedades de madeira. (ver Anexo G).

A utilização de madeiras locais é comum a várias localizações europeias. Exemplo disso é o facto de estruturas retabulares espanholas, com claras influências flamengas e norte europeias, serem levadas a cabo com espécies como a nogueira e o carvalho (espécies de utilização comum na arte Norte Europeia) assim como o castanho (*Castanea* spp.), choupo (*Populus* spp.), pinho (*Pinus* spp.), cedro (*Cedrus* spp.) e cipreste (*Cupressus* spp.). Além da encomenda das obras do Norte da Europa, as espécies tipicamente utilizadas por esses artistas podiam também ser encomendadas do Norte da Europa (Bruneau: 2006), embora seja dedutível que, se estivessem disponíveis localmente, fossem recolhidas na zona e posteriormente trabalhadas por artistas norte europeus que viajavam para países como Portugal e Espanha, como confirmado em documentação da época.

Segundo Jacquot C. *In* Murette (1961) em geral verifica-se que o único critério para a escolha das madeiras por parte dos artistas era a sua facilidade de aquisição, pelo que é surpreendente que espécies que são parte de associações florestais locais raramente estejam representadas, como é o caso do ulmeiro (*Ulmus* spp.), sorveira (*Sorbus* spp.), amieiros (*Alnus* spp.), bétulas (*Betula* spp.) ou bordos (*Acer* spp.), mesmo quando estas madeiras têm as qualidades necessárias. Assim, serão as espécies mais abundantes na floresta as mais utilizadas, sendo que as espécies menos comuns só muito excepcionalmente se apresentam em objetos fabricados.

As espécies mais comuns no coberto florestal constituíram por esse motivo toda a madeira utilizada. Assim, o artista tira partido do que está disponível na sua indústria local, não cedendo ao desejo de procurar madeiras mais raras, mesmo que possuam algumas propriedades que as fizessem mais adequadas ao fim pretendido (Jacquot C. *In* Murette (1961)).

Este estudo dá também as indicações exatas acerca da introdução de espécies exóticas como a nogueira (*Juglans* spp.) (Jacquot C. *In* Murette (1961)).

### 3.2 ICONOGRAFIA<sup>37</sup> DAS ESCULTURAS FLAMENGAS DO SÉCULO XV-XVI SELECIONADAS

#### 3.2.1 *Salvator Mundi* (“Salvador do Mundo”)

Nesta representação, Cristo surge como salvador do mundo (*Salvator Mundi*). Apresenta-se com a mão direita erguida em sinal de bênção, enquanto a esquerda ampara um *globus cruciger* (globo crucífero, ou seja, representação simbólica do planeta Terra encimado pela cruz), resultando na leitura do poder de Cristo na Terra.

Embora a cruz não se encontre no globo, é presente o orifício de encaixe. Trata-se de uma iconografia que radica na visão de Constantino (século IV) mas com maior incidência representativa a partir do século V e principalmente na Idade Média, com destaque para o Românico.



Figura 80 – Anverso da escultura de *Salvator Mundi*.

---

<sup>37</sup> Informações iconográficas revistas pelo Prof. Doutor Vítor Teixeira a quem agradecemos.

### 3.2.2 São Bartolomeu

Tido como um dos Doze Apóstolos, os seus feitos não são mencionados nos Evangelhos nem nos Atos do Apóstolos. No entanto é na hagiografia que se reconhece a sua vida e conseqüentemente os atributos que lhe são designados.

Identifica-se na representação analisada de São Bartolomeu a presença do demónio acorrentado a seus pés, sendo este o elemento de identificação (nesta imagem) dada a ausência/lacuna dos atributos que seguraria com as mãos<sup>38</sup>: a faca ou cutelo, pretenso instrumento (segundo a tradição) do seu martírio (despelado com faca) e o livro, símbolo dos Apóstolos, portadores da “nova lei”. O demónio acorrentado aos pés é atributo também de S. Bernardo de Menton e de S. Bernardo de Claraval, mas no caso, não ostentando vestes monásticas próprias desses santos e seus atributos, a figuração da imagem aponta para S. Bartolomeu, Apóstolo.



Figura 81 – Anverso da escultura de São Bartolomeu.

---

<sup>38</sup> Os atributos mais comuns de São Bartolomeu são a faca e/ou a sua pele resultado do seu martírio no qual foi esfolado (Vd. RÉAU, Louis – *Iconografía del arte cristiano. Iconografía de los santos: De la A a la F.* 2ª ed. Barcelona: Ediciones del Serbal, SA. 2000, p. 181.) ou ainda com um livro (Vd. *Enciclopedia dei Santi. Bibliotheca Sanctorum. Secondo volume.* 3ª ed. Roma: Città Nuova, 1998, p. 863.).

### 3.2.3 São João Evangelista

Sendo um dos Apóstolos reunidos por Jesus Cristo<sup>39</sup> e o mais jovem, São João Evangelista está retratado enquanto jovem, imberbe, empunhando um cálice do qual se ergue um demónio.

Esta representação bastante comum nos ciclos dos Apóstolos está relacionada com um episódio em que, tendo abençoado um copo de vinho que tinha sido envenenado, eliminou os efeitos do veneno e não sofreu qualquer mal ao beber o conteúdo. Por isto, os artistas ao longo dos tempos adotaram a simbologia de uma pequena áspide alada, figura que terá sido abandonada por volta do século XVII<sup>40</sup>.

A mão direita está em pose de bênção, como que a expulsar o demónio (veneno) com o valor simbólico e exorcista do gesto.



Figura 82 – Anverso da escultura de São João Evangelista.

<sup>39</sup> Vd. Fonck, Leopold. *St. John the Evangelist. The Catholic Encyclopedia*. Vol. 8. New York: Robert Appleton Company, 1910. In <http://www.newadvent.org/cathen/15321c.htm>. (2015.07.15, 10h.)

<sup>40</sup> Vd. RÉAU, Louis – *Iconografía del arte cristiano. Iconografía de los santos: De la G a la O*. Tomo 2/vol. 4 2ª ed. Barcelona: Ediciones del Serbal, SA. 2001, p. 190.

### 3.2.4 Virgem com Menino em Majestade

Trata-se de uma representação da Virgem sentada num trono, com o Menino ao seu colo, de posição frontal. A Virgem olha na direção do Menino enquanto este fixa um plano exterior à composição.

Constitui-se como um tipo de representação muito comum na Baixa Idade Média, sendo que transita para o Renascimento com algumas adições como a “*sacra conversazione*”, em que a Virgem e o Menino surgem rodeados de anjos, santos e doadores<sup>41</sup>. Refere-se este fator dada a posição das figuras, uma perante a outra e em relação ao espaço que as rodeia. Este poderá ser um indício de uma composição maior, com elementos destacados que formariam um conjunto.



Figura 83 – Anverso da escultura de Virgem com o Menino em Majestade.

---

<sup>41</sup> Vd. CASSANELLI, Roberto; [et al.] - *Iconografia e arte cristiana*. Milano: Edizioni San Paolo s.r.l., 2004, p. 857.

### 3.2.5 Nossa Senhora do Calvário

Por associação, por osmose ou por erro, atribui-se-lhe muitas vezes a vinculação à invocação de Nossa Senhora das Dores, por estar inclusa na iconografia do Calvário, mas faltam-lhe os atributos daquela representação mariana. Assim, apesar da imagem não apresente os atributos que lhe são característicos, como o coração trespassado por uma ou sete espadas, a sua postura de dor e isolamento<sup>42</sup>, assim como as mãos cruzadas ao peito, em reverência e dor, podem aludir à iconografia em questão, e principalmente o direcionamento do seu olhar para o alto, como que para a Cruz.



Figura 84 – Anverso da escultura de Nossa Senhora do Calvário.

---

<sup>42</sup> Vd. CASSANELLI, Roberto; [et al.] - *Iconografia e arte cristiana*. Milano: Edizioni San Paolo s.r.l., 2004, p. 862.

### 3.3 ENQUADRAMENTO DA IDENTIFICAÇÃO DE MADEIRAS

#### 3.3.1 Introdução

A importância económica, comercial, social e ecológica que a exploração de madeira tem na atualidade, assim como a enorme variedade de espécies e as suas diversas propriedades, fazem com que a identificação, controlo e caracterização ecológica e tecnológica deste material, seja cada vez mais necessária.

A identificação de madeira através da sua anatomia interna é uma tarefa de complexa, demorada, dispendiosa e, por vezes, com resultados taxonómicos só até ao género.

Trata-se de uma disciplina que tem como área de inserção a Biologia, mas que é hoje vulgarmente requerida por áreas tão diversas como a Indústria madeireira, a Engenharia Civil e Estrutural, a indústria das Artes Decorativas, a Criminologia, a História da Arte, a Arqueologia e, no caso específico, a Conservação e Restauro, entre outras disciplinas.

Partindo destes pressupostos, assume-se que as mesmas técnicas e informações usadas pelos especialistas na identificação, quer macroscópica quer microscópica de madeira, possam ser, dentro do âmbito da Conservação e Restauro, organizadas e especificadas.

Com isto objetiva-se a sua integração num sistema em que pequenas amostras de madeira obtidas, não de exemplares recentes e em bom estado de conservação mas, pelo contrário, de objetos que apresentem diferentes níveis de degradação ou que possam apresentar áreas de recolha muito restritas (pelo simples facto de se encontrarem total ou parcialmente revestidos por policromia), possam ser preparadas e analisadas para que a sua identificação seja mais correta e com resultados mais concretos.

#### 3.3.2 A importância da identificação de madeira

O comércio envolvendo madeiras em geral e madeiras tropicais em particular, tem já uma elevada e, acima de tudo, crescente importância económica e conservacionista a nível mundial (Bessa: 2009). Economicamente, falamos de uma indústria que movimenta enormes quantias monetárias, envolvendo múltiplas etapas desta atividade que se estendem desde a indústria, ao abate, transporte, transformação, *design*, marketing, comercialização de objetos, etc. e que, por tudo isto, possui consequentemente um elevado impacto social em todas as pessoas que, direta ou indiretamente, trabalham na indústria madeireira.

*“Este comércio tem registado um crescimento continuado. Por exemplo, entre 1991 e 2001, as exportações de rolaria aumentaram de África de 4,06 para 5,35 milhões de m<sup>3</sup>, do Brasil de 70 para 574 mil m<sup>3</sup>, da Indonésia de 136 mil para 5,5 milhões de m<sup>3</sup>. Neste período, as importações da União Europeia cresceram de 32,8 para 54,1 milhões de m<sup>3</sup>.”*

(Bessa: 2009, p. 51)

O caráter conservacionista, por seu lado, pode-se definir hoje em dia como óbvio, já que falamos de uma matéria, a madeira, que tem como única proveniência possível povoamentos florestais ou florestas naturais.

Ao nível da sustentabilidade futura, é nas florestas naturais que fatores como a desflorestação em grande escala e o abate ilegal de exemplares ou de espécies protegidas, exige controlo e vigilância, assim como certezas quanto à espécie e proveniência física do exemplar em questão.

*“A CITES (Convenção sobre o comércio internacional das espécies da fauna e da flora selvagem ameaçadas de extinção), uma convenção internacional em vigor desde 1975 e subscrita por 157 países (entre os quais Portugal), restringe o comércio de diversas espécies consideradas em risco de extinção. São exemplos o pau-santo, o pau-preto, os mognos americanos ou o sândalo vermelho entre muitas outras.”*

(Bessa: 2009, p. 55)

Por esta razão, a existência de Xilotecas, sejam físicas ou virtuais, reveste-se de cada vez maior utilidade e importância para a Biologia que desenvolve uma investigação com caráter ambiental, para as organizações policiais que desenvolvem um trabalho criminal, para a indústria que carece de comprovativos do que compra e do que vende, para a história da arte que procura a comprovação da proveniência de uma obra ou a sua autenticação e, no caso específico, para o conservador-restaurador que requer o mesmo tipo de madeira para o tratamento de determinada obra (Hoadley: 2000).

Este conhecimento permite, então, a disponibilização de informação técnica e científica a entidades públicas e privadas assim como à indústria, particularmente à indústria da madeira, a qual, como já referido, se estende desde a exploração florestal às múltiplas etapas da comercialização nacional e internacional desta matéria.

Um conhecimento mais profundo e de mais fácil acesso a este saber, permitiria uma maior certeza quanto às espécies utilizadas, quer no presente, quer no passado e suas características distintas.

*“A identificação de madeiras é um trabalho especializado, dada a enorme diversidade de espécies existentes (nas regiões temperadas, subtropicais e tropicais), a semelhança que ocorre entre algumas espécies e a multiplicidade de nomes vernáculos e comerciais que nem sempre correspondem à mesma designação científica e que são causa de frequentes litígios. Muitos dos conflitos que ocorrem entre clientes, industriais de madeira e importadores são devidos a questões de identificação das madeiras, frequentemente relacionadas com a nomenclatura.”*

(Bessa: 2009, p. 39)

### **3.3.3 Enquadramento histórico da identificação de madeira**

O estudo da anatomia da madeira iniciou-se na Grécia antiga através de pensadores como Aristóteles (348-322 a.C.) que compilou a informação disponível à época sobre espécies vegetais de diferentes origens. Teofrasto de Éfeso (372-287 a.C.) aprofundou o tema ao comparar na sua *Historia Plantarum* o tecido animal e vegetal e nomeando nos vegetais, elementos como as fibras, veias e carne. Pedânio Dioscórides (40-90 a.C.), por seu lado, focou-se nas propriedades medicinais de mais de 600 plantas e suas raízes.

Em Roma, Caio Plínio Segundo (23-79 a.C.) descreve pela primeira vez cerne e borne, faz referência aos óleos essenciais, assim como às fibras e nós. Outros grandes investigadores se destacaram, porém focaram-se maioritariamente nas virtudes medicinais das plantas e não na sua anatomia.

Sem dúvida a figura fundamental da Idade média para o conhecimento da madeira, é o teólogo, cientista e filósofo alemão Alberto Magno (1206-1280 d.C.). Na sua obra *De vegetalis plantis* (1250) refere questões relacionadas com a fisiologia vegetal e faz pela primeira vez a diferenciação entre espécies de monocotiledóneas e de dicotiledóneas.

Foi, porém, necessário esperar pelo surgimento do microscópio para que se possa falar realmente de anatomia da madeira. A primeira referência a este instrumento data de 1595 e é atribuída ao holandês Jansen.

Mas foi necessário esperar pelo século XVII para que o italiano Marcello Malpighi (1628-1694) abrisse o caminho à anatomia e fisiologia moderna com as suas descobertas. Em 1675 publica *Anatomia plantarum* e em 1686 *Opera omnia*, onde trata da anatomia dos vegetais nos quais se inclui a descrição da madeira, de elementos vasculares como os vasos, da casca e dos estomas das folhas.

Em 1665 surge a obra *Micrographia* do inglês Robert Hooke, a qual se torna a obra referencial deste período no que à microscopia diz respeito. Entre muitas outras descrições, descobre a célula vegetal através da observação microscópica da cortiça.

No ano de 1671, o fisiólogo vegetal inglês Nehemia Grew publica *The anatomy of plants* na qual, através dos seus desenhos, se pode reconhecer, por exemplo, o tecido parenquimático.

O século XVIII é pouco frutífero para a anatomia vegetal, destacando-se apenas o francês Duhamel (1700-1781) que na sua obra *La physique des arbres* descreve pela primeira vez o câmbio e o inglês J. Hill (1716-1775) que pela primeira vez estabelece a relação entre lenho de primavera e de verão e os anéis de crescimento anual, na sua obra *The construction of timber*.

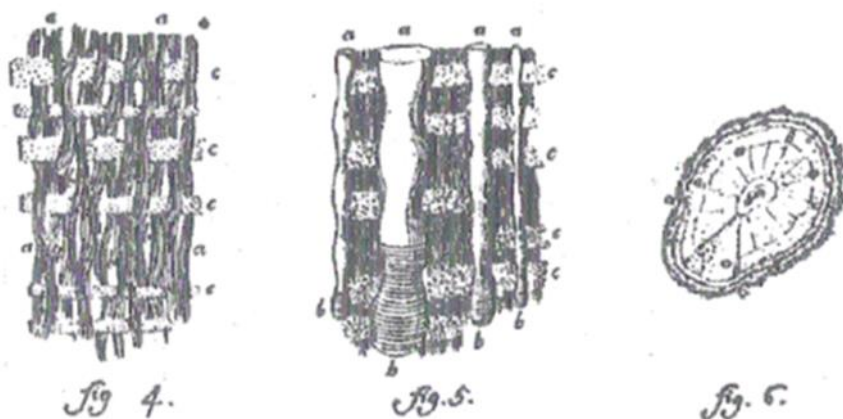


Figura 85 - Interpretação da estrutura da madeira apresentada no final do século XVIII pelo Pe. Theodoro de Almeida (1796) - (Moreira: 2010 p: 61).

O século XIX trouxe novos e mais potentes microscópios, assim como relevantes avanços nas técnicas de preparação microscópica, maceração e corte. Isto resultou em avanços como os de Johan J. Paul Moldenhawer (1766-1827) que prova que cada célula possui a sua própria parede celular e que as suas cavidades e lumens estão separados por duas paredes unidas, além de ter desenvolvido a técnica da maceração que permitiu pela primeira vez a observação dos elementos anatómicos isolados. Johann Jacob Bernardi (1774-1850) estuda e expõem a distribuição dos elementos vasculares, a formação das paredes, suas pontuações e espessamentos.

O século XX trouxe a tecnologia de transformação industrial de madeira, a qual vai levantar novas questões e necessidades.

Surgem as chaves de identificação abertas que contêm, além dos caracteres anatómicos, propriedades físicas e mecânicas como a cor, cheiro, peso e dureza. Exemplo disso é a chave realizada por E.H.F. Swain *Queensland Forest Service Universal Wood-Index* (1927).

Mas a evolução mais importante foi o surgimento das chaves de entrada múltipla, as quais vieram permitir o acesso a enormes bases de dados e a facilitação do trabalho do investigador.

O holandês Bianchi estabelece o método das fichas perfuradas em 1931 que contêm todas as espécies com as características procuradas. Em 1937 o inglês S. H. Clarke institui a variante de atribuir uma ficha perfurada a cada espécie, metodologia que se manteria ativa até ao surgimento dos computadores.

Grandes instituições e organizações vieram estruturar, resumir, aprofundar e pôr em contacto numerosos especialistas, facilitando, entre outras coisas, o acesso às suas investigações e publicações. Falamos de organizações como o *Forest Products Research Laboratory, The Princes Risborough*, Inglaterra, o *Centre Technique Forestier Tropical*, França e a IAWA (*International Association of Wood Anatomists*) entre outras.

O surgimento dos computadores teve enormes implicações para o estudo da anatomia da madeira assim como para as restantes disciplinas científicas. Os programas de análise de imagem vieram facilitar enormemente o trabalho de medição e observação das secções, aplicando as tabelas biométricas de forma quase automática, assim como o surgimento de chaves dicotómicas *online* que reduziram em muito o tempo dispensado para cada identificação (Esteban et al.: 2003).

Com o objetivo de melhorar o controlo do comércio de madeiras originárias de abates ilegais, têm sido desenvolvidos métodos anatómicos, químicos e de “fingerprinting” genético para identificar a madeira e, sempre que possível, o seu local de origem. Os resultados obtidos destes métodos, assim como a sua credibilidade e limitações, têm sido muito discutidos (Bessa: 2009).

Apesar de estes testes genéticos poderem ser usados isoladamente, deverão ser um elemento complementar à informação obtida através dos métodos anatómicos e físicos. A anatomia da madeira e o seu estudo não devem ser excluídos mesmo em situações em que se utilizam novas tecnologias, visto que continua a ser uma técnica essencial para a identificação e material lenhoso (Bessa: 2009 *apud* Richter: 2001).

### 3.3.4 Identificação de madeira – dificuldades e limites

A identificação científica de material lenhoso, tal como se descreve posteriormente, rege-se pela análise dos elementos que constituem aquilo a que chamamos madeira. Estes elementos variam em forma, tamanho, disposição, organização etc. consoante a família, o género e, por vezes, a espécie.

Porém, é transversal à bibliografia consultada a dificuldade maior na identificação de madeira.

Falamos da semelhança que existe na anatomia de diferentes géneros e, em particular, de um grande número de espécies. Esta proximidade anatómica terá, entre outras, uma justificação evolutiva que não se desenvolverá neste trabalho. No entanto, isto resulta por vezes em níveis de semelhança que, mesmo após anos de estudo e análise por parte dos maiores especialistas da área, resultam na impossibilidade de conseguir a distinção entre espécies e, mais raramente, entre géneros.

*” O aspeto que talvez mais complique a identificação de madeiras é o facto de as diferenças entre espécies serem muito menores a nível da sua anatomia interna do que a nível do seu hábito enquanto vivas. Isto resulta muitas vezes na conclusão de que, em particular quando se procura a Espécie, ou até mesmo o Género, a estrutura da madeira pode apresentar-se tão uniforme, que nenhuma diferença consistente é detetável.” (tradução livre)*

(Esau: 1977, p. 102)

Já Hather é mais específico na descrição desta dificuldade, quando escreve:

*” Ocasionalmente, dois géneros separados são difíceis de diferenciar, sendo exemplo disso Larix e Picea, ambos Pinaceae, e mesmo espécies de famílias diferentes como Lonicera xylosteum (Caprifoliaceae) e o Ligustrum vulgare (Oleaceae). Quando uma madeira é identificável ao nível da espécie, pode ter como justificação o facto de esta ter características específicas que a diferenciam de outras espécies do mesmo género. Outras vezes por ser a única espécie dentro do seu género, sendo que se outra espécie do mesmo género proveniente de outra região estiver presente, pode não ser possível diferenciá-las. Isto é verdade para Juniperus communis quando este ocorre na Europa do Norte, a Norte da distribuição natural de Juniperus sabina e de Alnus glutinosa na Inglaterra, onde Alnus incana não é nativo. Para ambos os casos a sua distinção por meio anatómico não é possível.” (tradução livre)*

(Hather: 2000, p. 12)

### 3.3.5 Aplicação da identificação de madeira em obras de arte

A identificação de madeira em objetos artísticos fundamenta-se, antes de mais, na obtenção de informações adicionais àquelas que se conhecem sobre a obra em questão. Muitas vezes, estas informações podem confirmar o que já se sabia sobre a peça em análise, como podem igualmente, ser um ponto de viragem quando os resultados da identificação apontam para uma origem ou conclusões diferentes das esperadas.

Exemplo disto é o caso exposto por (Hoadley: 1990) em que a identificação de um ícone russo, de origem presumivelmente russa e presumivelmente também constituído por Pinho Europeu ou por uma espécie frutífera, se revelou constituído por uma espécie da família das *Podocarpaceae*, família de árvores e arbustos maioritariamente concentrada no hemisfério sul, com algumas espécies estendendo-se até África e Mediterrâneo.

*“Da mesma forma, coleções etnográficas podem datar apenas de um passado recente, mas a identificação dos componentes em madeira desses artefactos pode fornecer valiosa informação para a compreensão da sua manufatura e usos.”*

(Hather: 2000, p. 14)

Tal como se salienta à frente, a identificação da madeira de obras de arte, além das dificuldades já expostas, tem, ainda como limitações o volume que é possível recolher da obra, o que se fundamenta em questões de ordem ética e a área de recolha, para que a mesma não tenha um impacto visual, estrutural ou mesmo emocional.

*“No caso das obras de arte, como geralmente não se pode retirar amostras, ou a madeira se encontra muito danificada, este é o método (identificação macroscópica) mais utilizado, dando-nos geralmente uma identificação ao nível do género.”*

(Esteves: 2001, p. 28)

### **3.3.6 A questão da qualidade das amostras**

Tal como Esteves (2001) evidencia, a qualidade das amostras obtidas pode ser um ponto fulcral quando se pretende uma identificação.

Acerca deste ponto escreve:

*“Em muito casos, a separação de espécie dentro de um género é possível apenas através de amostras bem preservadas, (...) ou amostras de grandes escalas, de forma a que muitos elementos individuais de uma determinada característica possam ser observados.”*

(Hather: 2000, p. 11)

Chega-se portanto à conclusão de que a identificação de material lenhoso em obras de arte possui ainda um amplo espectro de exploração e investigação, para que as limitações enumeradas sejam ultrapassadas e resultados mais conclusivos sejam obtidos.

### 3.4 ORIGEM E DESENVOLVIMENTO DA MADEIRA

Como todas as plantas, as árvores produzem nas suas folhas as substâncias necessárias ao seu desenvolvimento através do processo de fotossíntese. Este processo consiste numa cadeia de reações químicas deveras complexas e de difícil pormenorização, sendo que, de forma genérica, se pode definir como o processo em que, através da luz solar, as plantas obtêm a energia necessária para que a assimilação do carbono, a partir do dióxido de carbono presente no ar, resulte na formação dos hidratos de carbono necessários ao seu funcionamento e desenvolvimento com a libertação de oxigénio da água proveniente do solo (Rivery: 1997).

Parte destas reações químicas depende da clorofila (pigmento fotossintético, presente nos cloroplastos que dá a característica cor à folhagem da maior parte das plantas do planeta). O dióxido de carbono penetra diretamente nas folhas através de micro aberturas, às quais se dá o nome de estomas. Porém, a água tem ainda de fazer todo o percurso desde o solo até às folhas onde ocorrem as reações químicas em questão.

A penetração da água no corpo da planta dá-se através dos pêlos radiculares nas partes jovens das raízes, por um processo de osmose (processo segundo o qual a água se move do local com maior potencial de água que é, neste caso, o solo, para o local com menor potencial de água (menor concentração deste soluto), como o existente nas células que constituem o raizame (Taiz et al. 2015). A esta solução de água e sais minerais dá-se o nome de seiva bruta e esta flui através dos elementos condutores do xilema (do Grego *xylon*, o qual significa literalmente, madeira) até alcançar as folhas.

Os hidratos de carbono provenientes das reações químicas e constituindo aquilo a que se chama a seiva elaborada, fazem o percurso inverso desta vez através dos elementos condutores do floema. Estes hidratos de carbono vão distribuir-se pelo corpo da planta e ser armazenados durante um período variável ou imediatamente utilizados nos locais de metabolismo ativo e formação de novos tecidos (Taiz et al. 2015).

A estes dois tecidos com funções de condução de água, sais minerais e de compostos foto assimilados, respetivamente, o xilema e o floema, dá-se a designação geral de tecidos vasculares (Bessa: 2009).

### 3.5 GENERALIDADES ACERCA DA MADEIRA

A madeira é o tecido lenhoso dos vegetais superiores, constituindo a maior parte do xilema de raízes, tronco e ramos, exceção feita à casca, através do qual se movimenta a água e sais minerais, assim como fornece igualmente o suporte necessário à disposição aérea da planta (copa) (Esau: 1977).

Estes vegetais superiores ou, mais comumente, vegetais lenhosos, têm portanto de apresentar as seguintes características para serem considerados como tal:

- Serem plantas vasculares. Possuem xilema e floema, tecidos especializados de condução de compostos;
- Possuir um caule principal que persiste de um ano para outro, sendo que no caso das árvores se designa-se por tronco. Os arbustos podem ser multicaules;
- Apresentar um crescimento secundário, ou seja, mostrar um crescimento em diâmetro independente do crescimento longitudinal;
- Quando se referem vegetais lenhosos comercialmente viáveis, estes enquadram-se entre as gimnospérmicas e as angiospérmicas, sendo que, no que toca ao primeiro grupo, este apenas inclui as espécies inseridas nas coníferas, ao passo que, no segundo grupo, apenas as espécies que se incluem dentro das dicotiledóneas lenhosas que possuem relevo, isto porque a maioria das espécies pertencentes às monocotiledóneas não possui crescimento secundário. O crescimento secundário é uma característica comum a todas as gimnospérmicas e à maioria das angiospérmicas (Bowes: 1996).

O xilema que se forma durante o crescimento primário de caules e raízes designa-se por “xilema primário”, sendo que com a contínua divisão de células no câmbio, situado entre a face externa do xilema e a face interna do floema forma-se o “xilema secundário”, que dá origem àquilo que se reconhece como madeira (Bowes: 1996).

A madeira, quando vista sem qualquer ampliação adicional às capacidades normais do olho humano, assemelha-se na maioria dos casos a um material homogéneo, algo que, na realidade, não poderia estar mais longe da realidade. A madeira é constituída por vários conjuntos de células que desempenham funções distintas:

- Condução de seiva;
- Transformação e armazenamento dos seus produtos vitais;
- Sustentação do vegetal.

A heterogeneidade da madeira, que em algumas espécies se pode verificar macroscopicamente, a par da anisotropia e higroscopicidade, reflete-se nas propriedades físicas e é a justificação para alguns dos seus defeitos e vantagens (Esteban et al.: 2003; Bessa: 2009).

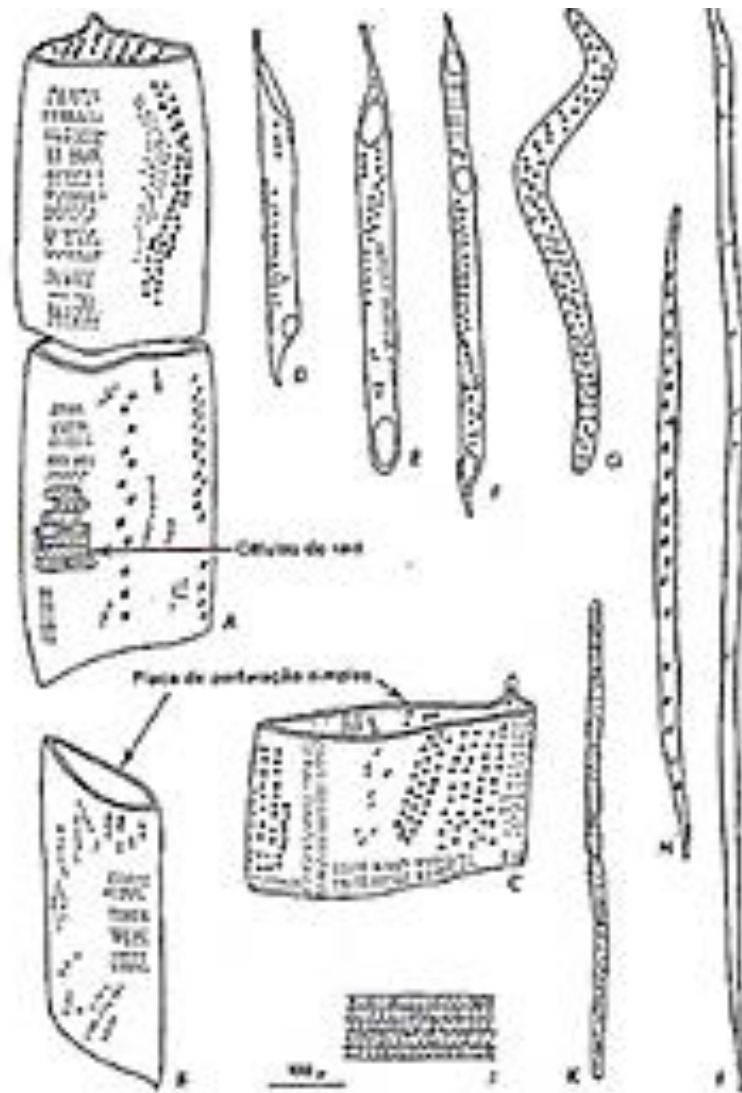


Figura 86 - Tipos de células componentes do xilema secundário. A – C elementos de vaso largos; D – F elementos de vaso estreitos; G traqueídeo; H fibrotraqueídeo; I fibra liberiforme; J célula de parênquima do raio; K feixe de parênquima axial (Bessa: 2009 p: 7).

Além disso, partindo deste princípio assume-se que a madeira de cada espécie se caracteriza por determinadas particularidades e singularidades, consoante a natureza e a disposição das células que a constituem (Rivery: 1997).

Descreve-se em seguida a estrutura de um caule do tipo tronco.

### 3.6 ESTRUTURA MACROSCÓPICA DO TRONCO

#### 3.6.1 Fuste

O fuste constitui a porção de caule livre de ramos - o tronco “aproveitável”<sup>43</sup>.



Figura 87 - Fuste de *Ulmus glabra* – Viana do castelo (imagem do autor).

#### 3.6.2 Casca

Divide-se em dois constituintes completamente distintos.

O Ritidoma, cuja face externa, Suber ou Felema, se caracteriza por ser, normalmente, mais rugosa e colorida, resulta da acumulação de sucessivas peridermes que se formam a partir do felogénio. Tem como função permitir as trocas gasosas. Em algumas espécies tem mesmo capacidades fotossintéticas (*Ceiba* spp.)<sup>44:45</sup> mas primordialmente, destina-se à proteção do tronco contra infeções e agressões mecânicas.



Figura 88 - Ritidoma – *Quercus ilex* (imagem do autor).

<sup>43</sup> <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:SqFV9Q9tQbsJ:www.icnf.pt/portal/florestas/gf/gloss-tec+&cd=1&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=pt>

[http://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/jqomarcelo/BF/BF\\_AsArvores.pdf](http://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/jqomarcelo/BF/BF_AsArvores.pdf)

<sup>44</sup> <http://www.botgard.ucla.edu/html/botanytextbooks/generalbotany/barkfeatures/a1196tx.html>

<sup>45</sup> <http://www1.nii.res.in/pdf/Floss-silk%20tree.pdf>

O Entrecasco ou Floema constitui a face interna da casca e, a par do felogénio, da zona de câmbio e do borne (ou alburno), são as únicas áreas fisiologicamente ativas de um tronco (Esau: 1977; Moreira: 2010).

É também descrito como o sistema de condução de fotoassimilados e é um tecido bem menos conhecido e entendido do que o xilema (Cutter: 1978).

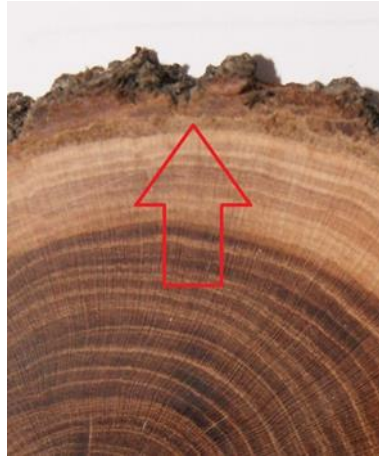


Figura 89 - Entrecasco – *Prunus dulcis* (imagem do autor).

### 3.6.3 Câmbio vascular

O câmbio vascular, ou zona de câmbio não é visível a olho nu, já que é constituído por poucas camadas de células e é a área responsável pelo crescimento em largura do espécimen. As células do xilema secundário são depositadas na face interior desta camada celular obrigando-a, em consequência, a avançar para o exterior (Cutter: 1978; Mauseth: 1988; Bowes: 1996).

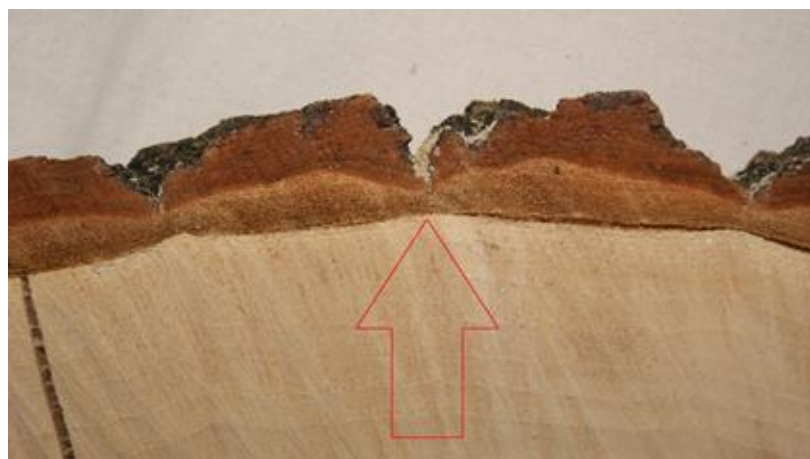


Figura 90 - Área do lenho onde se situa a zona de câmbio. *Populus* spp. (imagem do autor).

#### 3.6.4 Xilema

O xilema, ou aquilo a que na realidade chamamos madeira, é estrutural e funcionalmente um tecido complexo e comporta em si todos os tipos celulares que constituem o lenho (Mauseth: 1988).



Figura 91 - Xilema – *Populus* spp. (imagem do autor).

Constitui o sistema de condução de água, já que é por este tecido que circula a seiva bruta - água com sais minerais dissolvidos absorvida pela raiz (Cutter: 1978).

O xilema divide-se, antes de mais, em xilema primário e xilema secundário.

Dentro do xilema primário distingue-se ainda entre protoxilema e metaxilema.

O protoxilema corresponde ao xilema formado no início do desenvolvimento do caule, sendo que o metaxilema se desenvolve de seguida, mas ainda antes do desenvolvimento do xilema secundário. A distinção entre os dois é dúbia, já que a transição é gradual.

As células de protoxilema são sujeitas a *stress* e geralmente colapsam em virtude do alongamento do caule e pressão das células adjacentes. De qualquer forma, os seus elementos condutores são de menores dimensões do que aqueles que se desenvolvem no metaxilema.

O metaxilema é mais complexo do que o anterior e pode conter fibras, além dos elementos condutores e células de parênquima. Estas células de parênquima podem surgir dispersas entre os elementos condutores ou dispor-se em fileiras radiais. Em corte longitudinal apresentam-se como células de parênquima axial (Esau: 1977, Cutter: 1978; Cutler: 1978; Mauseth: 1988).

O xilema secundário (aquele que se reveste de maior importância no presente trabalho) encontra-se basicamente organizado em dois sistemas de células dispostas ortogonalmente entre si:

Sistema axial e sistema radial – As células do sistema axial apresentam os seus eixos orientados longitudinalmente no tronco, sendo que o sistema radial é composto por conjuntos de células dispostas perpendicularmente ao eixo do tronco (Esau: 1977).

É dentro de ambos estes sistemas gerais que se distribuem e organizam os restantes elementos constituintes do xilema.

#### 3.6.5 Borne ou Alburno

A diferenciação entre o borne e o cerne dentro do xilema é apenas visível (e ainda menos, claramente visível) em algumas espécies e corresponde, em geral, ao processo de

impregnação e obliteração por compostos secundários, os quais contribuem para a sua mudança de cor e densidade (Esau: 1977; Bowes: 1996).



Figura 92 - Borne - *Prunus dulcis* (imagem do autor).

O borne constitui a área de xilema mais externa do tronco e é, por esta zona que se dá o transporte de seiva bruta. É também a região do lenho com mais nutrientes, sendo por isso igualmente a mais atacada por parasitas (Esteves: 2001).

Pode apresentar-se com um tom mais claro do que o da área que corresponde ao cerne (que se descreve a seguir) e é, também geralmente, menos denso, duro e pesado. Possui os seus elementos condutores desobstruídos e em pleno funcionamento, ou seja, livres de depósitos ou Tiloses. Com o contínuo crescimento do exemplar e desenvolvimento de novos anéis de crescimento, as áreas que eram anteriormente a face externa do borne (anéis de crescimento mais recentes), vão ficando internalizadas e perdendo sistematicamente as suas funções condutoras (Esau: 1977; Cutler: 1978).

Já Esteban et al. (2003) acrescentam que, em situações pontuais como no caso de geadas intensas, pode ocorrer a inibição dos processos metabólicos do borne, necessários para que este se torne parte do cerne. Esta circunstância faz com que dentro do cerne, possamos encontrar uma zona anelar sem a coloração presente nos anéis anteriores e posteriores, à qual se dá o nome de borne duplo. De uma maneira geral, a madeira do borne pode definir-se como sendo mais branda, menos dura e menos pesada e, em alguns casos, também menos valiosa do que a do cerne.

### 3.6.6 Cerne ou Durame

A formação do cerne representa modificações anatómicas e químicas importantes.

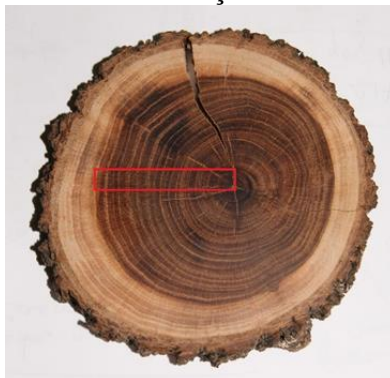


Figura 93 - Cerne - *Prunus dulcis* (imagem do autor).

No caso específico de espécies de angiospérmicas, surgem tiloses que resultam numa maior ou menor obstrução dos elementos de vaso e na sua conseqüente inutilização. Os fenómenos químicos que se sucedem durante a formação do cerne são, nestas espécies, semelhantes aos que ocorrem nas coníferas, sendo que, no caso das primeiras, aqueles fenómenos se podem considerar mais complexos.

A presença de substâncias solúveis em água, como sendo taninos e materiais corantes, é acompanhada pela presença frequente de substâncias minerais como o carbonato de cálcio, oxalato de cálcio e dióxido de silício. Já no caso das coníferas, o cerne pode apresentar-se notoriamente mais colorido, já que contem muitas mais resinas e óleos, os quais penetram pelos interstícios da parede celular, o que resulta na diminuição, quer da expansão, quer da retração da mesma, assim como da capacidade de penetração de líquidos.

Além destes fatores, a questão da coloração é também influenciada e intensificada pela presença de substâncias solúveis, como sendo, hidratos de carbono, polissacáridos, alcaloides e taninos que, ao oxidarem, promovem o seu tom escuro.

A formação do cerne resulta numa proteção da madeira contra elementos externos como os fungos, isto pelo tamponamento das pontuações e pela impregnação das células com substâncias que possuem um determinado valor antisséptico.

Podemos, portanto, definir a madeira do cerne como sendo mais densa, mais dura e pesada, mais resistente ao ataque de fungos e insetos, além de, geralmente, mais escura do que a do borne.

O que são, então, características positivas para o seu emprego na indústria ou produção artística, constituem desvantagens quando se trata de sujeitar a madeira do cerne a processos de impregnação ou tratamentos com produtos químicos (Esteves: 2001; Esteban et al.: 2003; Moreira: 2010).

### **3.6.7 Anéis de crescimento**

Em geral, um anel de crescimento corresponde às quatro estações do ano dos climas temperados da zona Boreal (anel anual), ou à quase estação única nas espécies das zonas tropicais (anel sazonal).

Quando em corte transversal é possível, com maior ou menor dificuldade, distinguir dentro de um único anel a madeira formada durante a primavera (lenho de primavera nos anéis anuais e lenho inicial nos anéis sazonais), da formada durante o outono (lenho de outono nos anéis anuais e lenho final nos anéis sazonais) (Bowes: 1996; Esteban: et al. 2003; Moreira: 2010).

Na zona boreal, consideram-se três períodos de desenvolvimento distintos que atravessam as quatro estações anuais:

Repouso vegetativo, o qual se estende desde as primeiras temperaturas baixas até ao início da primavera.

O período de crescimento, que corresponde à mais intensa formação celular do ano e que resulta na criação de células de grandes dimensões em secção transversal e paredes finas.

Por fim, a terceira e última fase, a qual é resultado da diminuição dos níveis de água disponíveis e do aumento da temperatura e que encerra o ciclo anual. Esta última fase caracteriza-se por células gradualmente mais pequenas e com paredes mais espessas (Bessa: 2009 *apud* Sharp: 2004).

A formação dos anéis de crescimento assim como a sua largura, demarcação e contorno, está dependente de fatores ambientais como a humidade disponível, temperatura ambiente, período vegetativo, tipo de solo, níveis de luminosidade, competição entre espécimenes, entre outros, mas de igual forma, de determinações genéticas (Chamberlain: 1932 *apud* Chowdhury: 1934; Burger & Richter: 1991).

Nas coníferas, a diferença entre lenho de primavera e lenho de outono é marcada maioritariamente pela cor, o que é reflexo da densidade com que os elementos do lenho se organizam (Schweingruber: 2007).



Figura 94 - Lenho de madeira de conífera (imagem do autor).

Nas folhosas<sup>46</sup>, a cor deve-se essencialmente ao agrupamento e distribuição dos vasos, assim como do parênquima terminal no anel, existindo sempre uma diferença tonal mais ou menos marcada.

Nos anéis sazonais a diferença entre lenho inicial e lenho final, a ser visível, deve-se à distribuição dos vasos, às células de parênquima e à espessura das paredes das fibras, fatores que variam consoante sejam formadas durante a estação seca ou a estação chuvosa da área geográfica em questão. Não é porém incomum que, neste tipo de espécies, a própria distinção entre os anéis seja de difícil observação (Esteban et al.: 2003) pois o crescimento do espécimen pode ser contínuo (Bessa: 2009). Quando visíveis, porém, os anéis podem não representar verdadeiros anéis anuais mas sim o resultado de abrandamentos ou paragens de crescimento por fatores ambientais como períodos de seca ou de chuva, sendo a formação destas células posteriormente reativada, dando assim origem a células radialmente comprimidas e com paredes espessadas (Carlquist: 1988; Esteves: 2001; Bessa: 2009<sup>47</sup>) o que torna a distinção entre anéis anuais e flutuações na densidade do lenho uma tarefa impossível de atingir (Schweingruber: 2007).

---

<sup>46</sup> Folhosas – termo utilizado para designar de uma maneira geral as angiospérmicas arbóreas.

<sup>47</sup> BESSA, 2009 *apud* BUTTERFIELD, 2006, VAGANOV et al. 2006, SCHWEINGRUBER, 2007.

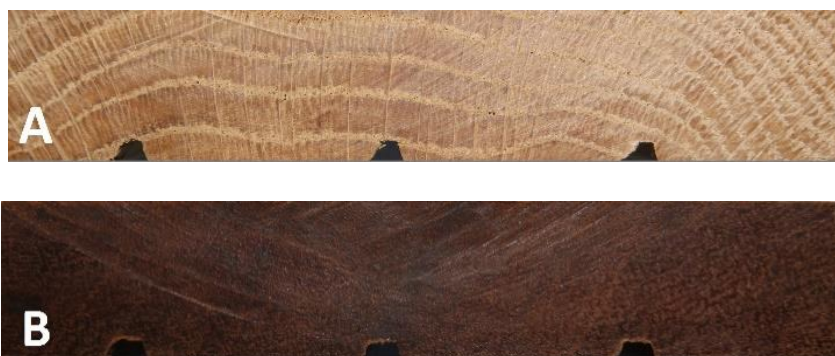


Figura 95 - (A) Lenho de madeira de folhosa, *Quercus* spp. (B) Lenho de madeira de exótica, *Manilkara* spp. (imagens do autor).

Esau (1977) acrescenta ainda, que é possível que condições ambientais específicas possam induzir o desenvolvimento de vários anéis de crescimento no período de um só ano.

### 3.6.8 Medula

A Medula é em geral de pequenas dimensões e de pouca importância no que toca às diversas utilizações que se podem dar à madeira. Pode apresentar-se com forma circular, poligonal ou estrelada. É geralmente desperdiçada aquando da preparação da madeira, pelas suas características físicas e mecânicas geralmente deficientes (Esteves: 2001; Esteban et al.: 2003).

### 3.6.9 Raios lenhosos

Num corte transversal podem observar-se tanto os anéis de crescimento como os raios xilémicos ou lenhosos, que se podem apresentar mais escuros ou mais claros se possuem uma tonalidade diferente do restante tecido envolvente. Dentro das espécies Ibéricas, os raios xilémicos são particularmente visíveis em espécies dos géneros *Quercus* (que ostenta os maiores, mais espessos e mais escuros), *Fagus* e *Ilex*, sendo invisíveis em coníferas e em muitas folhosas, como espécies do género *Betula* e *Populus*, por se apresentarem extremamente delgados e com grande proximidade tonal.

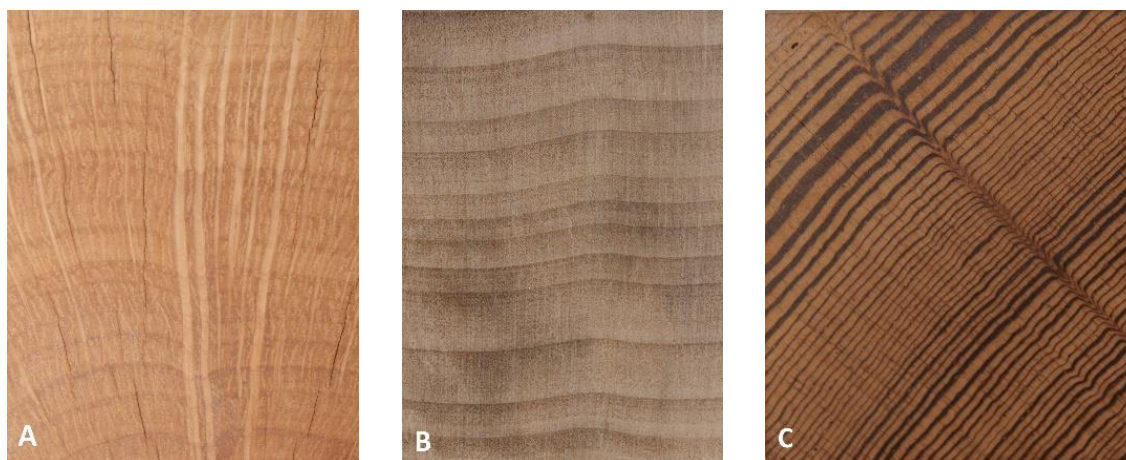


Figura 96 - (A) Sistema radial em *Quercus ilex*. (B) Sistema radial em *Tilia* spp. (C) Sistema radial em *Pinus sylvestris* (imagens do autor).

Em secção tangencial, os raios lenhosos são visíveis quando se apresentam com tonalidade diferente e espessura suficiente, assim como as estrias que produzem quando de grande diâmetro. O tecido parenquimático é igualmente uma estrutura que se apresenta visível em algumas espécies, como sendo o caso das espécies do género *Ulmus* e em muitas espécies tropicais (Esteban et al.: 2003).



Figura 97 - Vista tangencial de *Quercus robur* (imagem do autor).

Os raios, que como já referido nem sempre são visíveis, têm uma clara importância no que toca à identificação de madeiras, assim como, em parte, às suas propriedades de contração. A descontinuidade no tecido lenhoso que estes representam é mais declarada nas folhosas do que nas coníferas, isto simplesmente por as primeiras os terem em geral mais desenvolvidos. Assim, a resistência à fissuração no sentido radial é inferior à que existe no sentido tangencial, sendo esta diferença tanto mais marcada quanto mais desenvolvido for tipo de raio na espécie em questão. No sentido contrário, no que toca à compressão, a presença de raios desenvolvidos aumenta grandemente a resistência à compressão radial, como é o caso em *Quercus* spp. (Esteban et al.: 2003).

A madeira, como material de origem natural, sofre toda uma miríade de processos de degradação que influenciam grandemente no seu estado de conservação. Falamos de processos de degradação biológica, física e ambiental, os quais, através de diferentes meios e sistemas, vão alterar a sua estrutura, estabilidade, aspeto entre outros fatores. Esta realidade levou a que, desde tempos remotos, este material tenha sido sujeito a múltiplas metodologias de tratamento, com vista a prolongar a sua estabilidade e, tanto quanto possível, garantir a sua conservação (Ribery: 1997).

Quando se pensa em alterações na estabilidade da madeira, pensa-se, geralmente, no fator humano. Porém, a natureza providencia igualmente um largo espectro de fatores de degradação, sejam eles por interação dos seus compostos com substâncias minerais e orgânicas, ou por meio de organismos biológicos.

Embora os fatores que nos são relevantes neste caso, sejam aqueles que resultam num processo de degradação que tenha impacto na estrutura do elemento lenhoso, existem outros que apenas se refletem numa alteração da aparência estética do material, ocorrência esta que foi usada desde a Antiguidade como elemento decorativo. Exemplo disto são as madeiras verde-azuladas usadas na marchetaria do *Studiolo Palazzo Ducale di Gubbio*, em Perugia, Itália; as madeiras que ostentam esta coloração não são provenientes de nenhuma espécie em particular que tenha como característica esta tonalidade do lenho ou resultado da aplicação de qualquer

tipo de corante ou pigmento mas antes, como foi comprovado através de estudos científicos, são madeiras de *Populus* spp., que sofreram a ação do fungo *Chlorociboria* e madeiras de *Quercus* spp., cujo prévio enterramento em solos pantanosos ricos em ferro resultou na interação natural do ferro presente no solo com os ácidos tânico contidos na madeira.

Estas, entre muitas outras patologias, conduzem à necessidade de tratamento artificial da madeira com o objetivo de lhe prolongar a durabilidade e estabilidade. A maior ênfase nestes processos poderá ser dada aos tratamentos químicos nos quais a madeira é exposta a substâncias que reagem com os seus componentes ou, mais frequentemente, enchem e solidificam os espaços vazios que existem nos seus tecidos e paredes celulares (Ribery: 2006).

### 3.7 IDENTIFICAÇÃO MACROSCÓPICA DE MADEIRA

A identificação macroscópica de madeira rege-se naturalmente por metodologias e princípios díspares dos usados quando se leva a cabo uma identificação microscópica de material lenhoso.

Esta metodologia de identificação é útil e, por ventura, até involuntária quando se tem acesso ao objeto a identificar e não apenas a uma amostra de pequenas dimensões, já que a avaliação de fatores como a cor, textura, grão, fio, brilho, figuras, peso etc. da madeira analisada pode, em casos concretos, permitir senão a identificação pelo menos a exclusão de um grande número de famílias ou géneros.

A identificação macroscópica, apesar da sua validade, pode no entanto originar conclusões erróneas já que se baseia em princípios muito variáveis e de difícil inclusão dentro de determinada espécie, tais como:

#### 3.7.1 Densidade

Define-se segundo a quantidade de massa por unidade de volume, sendo expressa geralmente em g por cm<sup>3</sup> ou kg por m<sup>3</sup>. Sendo a madeira um material heterogéneo, estes referenciais apenas nos dão uma densidade média, ou seja, uma massa volúmica.

A maior ou menor densidade decorre do volume das paredes celulares em relação aos espaços vazios correspondentes ao lúmen das células, da presença de espaços intercelulares, da espessura da parede celular e da quantidade de extrativos presentes na amostra.

As madeiras mais densas caracterizam-se por apresentarem maior dureza, maior retração e intumescimento, maior durabilidade, menor permeabilidade com uma conseqüente maior dificuldade de impregnação, assim como maior dificuldade de secagem, colagem e menor aptidão para receber tintas e vernizes.

A densidade relativa a 12% das folhosas das regiões temperadas oscila geralmente entre 0,35 e os 0,78 g cm<sup>3</sup>, variando nas coníferas entre 0,34 e 0,62 g cm<sup>3</sup>. As tropicais por seu lado, apresentam uma amplitude maior da sua escala de densidade, variando desde os 0,1 g cm<sup>3</sup> da balsa (*Ochroma* spp.) até valores superiores a 1,00 g cm<sup>3</sup> do ébano (*Diospyros* spp.) (Bessa: 2009).

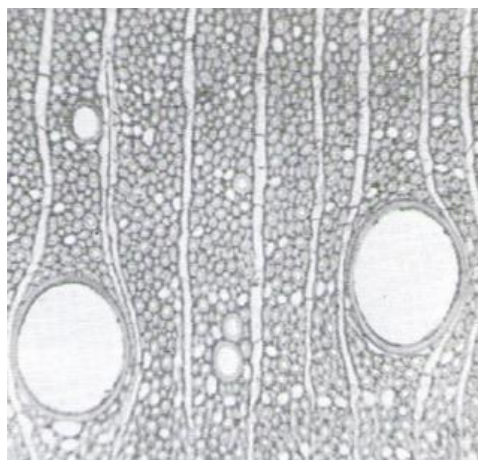


Figura 98 - Secção transversal de *Guaiacum officinale*. Destaque para as numerosas fibras de parede grossa e parênquima escasso. Imagem obtida com recurso a microscopia ótica (Cutler: 1978, p. 72).

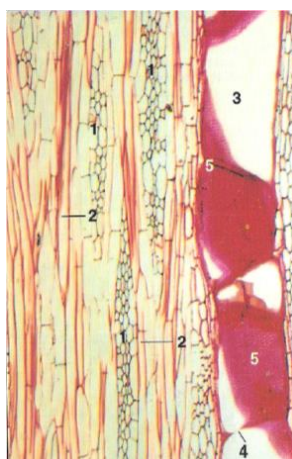


Figura 99 - Secção tangencial do xilema secundário de *Ochroma lagopus* (balsa). 1 – raios grandes e abundantes; 2 – fibras de parede fina; 3 – elementos de vaso relativamente escassos e de parede fina; 4 – placa de perfuração; 5 – pontuações alternas no elemento de vaso (Bowes: 1996, p. 80).

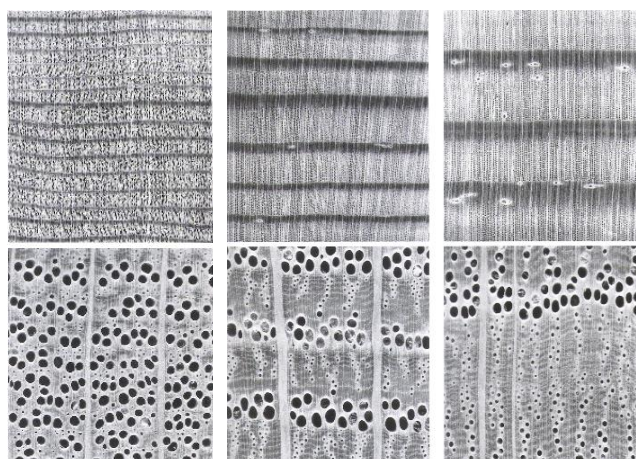


Figura 100 - As duas imagens do centro representam a frequência típica dos anéis destas espécies. As da esquerda representam um crescimento extremamente lento, sendo que as da direita mostram um desenvolvimento extremamente rápido, influenciando isto a densidade do lenho. Imagens de cima – *Pseudotsuga menziesii*. Imagens de baixo – *Quercus rubra* (Hoadley: 1990, p. 10-11).

Tabela 3 - Classificação da densidade da madeira.

CLASSE DE DENSIDADE	DENSIDADE (g/ cm <sup>3</sup> )
Extremamente leve	< 0,30
Muito leve	0,30 – 0,40
Leve	0,40 – 0,50
Moderadamente leve	0,50 – 0,60
Moderadamente pesada	0,60 – 0,75
Pesada	0,75 – 0,90
Muito pesada	0,9 – 1,50
Extremamente pesada	> 1,50

(Esteves: 2001)

### 3.7.2 Dureza

Define-se como a resistência que a madeira opõe à penetração de um objeto. Esta está dependente da espessura das paredes celulares e do conseqüente tamanho do lúmen, assim como do arranjo estrutural dos elementos constituintes do xilema.

Este fator possui uma relação direta com a densidade, pois depende igualmente da quantidade de matéria e da sua composição. Além destes fatores salientam-se outros menos constantes mas que possuem igual influência no grau de dureza, como sendo, por exemplo, a humidade que diminui a dureza, ao passo que a presença de resina a aumenta (Esteves: 2001).

Mecanicamente uma madeira dura pode ser mais difícil de trabalhar pela resistência que oferece mas permite, por outro lado, um resultado mais pormenorizado, resistente e duradouro.

### 3.7.3 Textura

Também chamada de grão (termo tecnológico) (Esteves: 2001) é o reflexo do tamanho, organização e densidade das diferentes tipologias de elementos que constituem o material lenhoso (Burger & Richter: 1991) quando apreciado em corte transversal (Esteves: 2001). Este referencial pode dividir-se segundo os seguintes parâmetros, os quais têm como unidade de medida o micrómetro ( $\mu\text{m}$ ):

*Tabela 4 – Tipos de textura.*

Textura muito fina	Diâmetro de vasos < 50 $\mu\text{m}$
Textura fina	Diâmetro de vasos de 50 a 100 $\mu\text{m}$
Textura medianamente fina	Diâmetro de vasos de 100 a 150 $\mu\text{m}$
Textura medianamente grosseira	Diâmetro de vasos de 150 a 200 $\mu\text{m}$
Textura grosseira	Diâmetro de vasos > 200 $\mu\text{m}$

(Esteves: 2001)

Pode ainda dividir-se em:

Madeira uniforme – madeiras homogéneas em que não há diferença entre lenho de primavera e lenho de outono;

Madeira desigual – madeiras heterogéneas em que o contraste entre lenho de primavera e lenho de outono é marcado;

### 3.7.4 Desenho

É um fator que reflete principalmente a presença, tamanho e disposição de elementos como os raios, parênquima, nós, entre outros, assim como a variação de cor entre o borne e o cerne. Consoante o seu aspeto, o desenho é designado como espelhado, floreado, mosqueado, olho-de-perdiz entre outras designações.



Figura 101- (A) Desenho floreado em *Quercus ilex*. (B) Olho-de-perdiz provavelmente em *Erica arborea* (imagens do autor).

Alguns fungos podem igualmente impor à madeira um desenho diferente.

### 3.7.5 Veio

Observa-se na secção radial, tangencial ou num corte intermédio ou, segundo Esteves (2001), na secção longitudinal das camadas de crescimento.

Este pode ser definido segundo as seguintes designações:

- Veio reto (ou direito) – típico nas espécies resinosas. Sem desenho característico;
- Veio ondeado (ou ondulado) – camadas com secção ondeada;
- Veio espinhado – as camadas apresentam secção em V;
- Veio mosqueado (ou irregular) – aparenta elevações irregulares na superfície;
- Veio olho de perdiz – resulta da presença de nódulos ou gomos;
- Veio espelhado – numa secção tangencial, os raios formam superfícies espelhadas;
- Veio flor – um tipo de veio espelhado, característico do género *Quercus*. (Esteves: 2001).

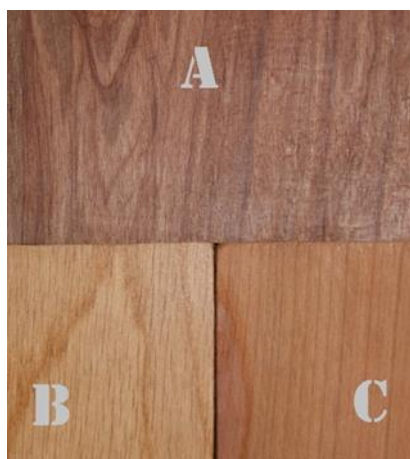


Figura 102 – (A) – Veio de *Calycophyllum spruceanum*. (B) – Veio de *Quercus* spp. (C) – Veio de *Prunus avium*.  
(imagens do autor).

### 3.7.6 Fio

O fio resulta do alinhamento dos elementos fibrosos em corte longitudinal. Pode ser definido como:

- Fio reto (ou direito) – fibras dispostas paralelamente ao eixo;
- Fio entrecruzado (contrafio, reverso, reverso, torcido) – fibras que mudam alternadamente de direção de uma camada de crescimento para outra;
- Fio torcido (em hélice) – fibras dispostas helicoidalmente em relação à medula. É considerado um defeito;
- Fio ondeado (ondulado ou mareado) – as fibras dispõem-se em ondas;
- Fio diagonal (inclinado ou oblíquo) – as fibras apresentam-se inclinadas devido ao tronco torcido ou cónico. É um defeito;
- Fio irregular – disposição irregular da fibra, sem correspondência com nenhuma das anteriores (Esteves: 2001).

Estes fatores em conjunto têm a maior preponderância quando se pretende, por exemplo, entalhar madeira. Segundo Cutler (1978) é pela uniformidade da sua textura e alinhamento do grão que madeiras de tília (*Tilia* spp.) e de pereira (*Pyrus* spp.) permitem o entalhe em qualquer direção, ao passo que madeiras de freixo (*Fraxinus* spp.) e hickory (*Carya* spp.), que apresentam fio reto e são particularmente duras, são mais indicadas para cabos de ferramentas que sofram grandes impactos, como machados e martelos.

Outro exemplo da variabilidade de propriedades como o fio, dureza, densidade entre outras, é o facto de madeiras com paredes celulares de espessura média (geralmente menos densas e mais leves) que são mais resilientes, recuperarem mais facilmente a sua forma anterior ao impacto do que madeiras densas, sendo exemplo disso a madeira de *Salix alba* var. *caerule* que é a madeira de eleição para tacos de críquete.

### 3.7.7 Cor

Embora sendo um elemento de avaliação geralmente subjetivo é a par da aparência superficial e do desenho, a característica que mais realce tem na madeira.

As diferentes tonalidades naturais de uma madeira devem-se à impregnação de várias substâncias nas células e paredes celulares, sendo exemplo disso os polifenóis e os taninos presentes nas folhas que influenciarem fortemente a cor da madeira, particularmente do cerne (Bessa: 2009 *apud* Walker: 2006).

Tal como Burger & Richter (1991) salienta, para o fim de identificação da espécie a que a madeira pertence, a cor é um valor subjetivo por ser muito suscetível a alteração quando sujeita a fatores como a humidade, exposição ao ar, radiação solar, contacto com determinados metais ou a infestações fúngicas ou bacterianas.

Esteves (2001) realça ainda, que as madeiras podem ser definidas como pálidas ou coradas, sendo que as espécies intensamente coradas detêm usualmente uma maior quantidade de substâncias conservantes naturais.

A questão da cor para a identificação de madeira é tão importante como o facto de certas madeiras de menor valor comercial serem pintadas para se aproximarem do tom das espécies que tentam imitar, sendo exemplo disso a escala de algumas guitarras, a qual deveria ser em Ébano por uma série de razões técnicas, sendo porém sujeita à técnica do “vieux chêne” e purpurina negra para imitar aquela madeira (Bessa: 2009 *apud* Bessa: 2000) ou, como o caso das madeiras que são vendidas como mogno desde que o tom se aproxime do que se pensa ser a cor típica deste género (Bessa: 2009).



Figura 103 - Variação de cor de apenas algumas espécies de Dicotiledóneas. (imagem do autor).

### 3.7.8 Brilho

Trata-se de uma propriedade que varia consoante o grau de reflexão da luz e da textura da madeira. Geralmente, a secção radial possui um brilho mais intenso do que a secção tangencial (Esteves: 2001).

### 3.7.9 Cheiro

Certas madeiras possuem um odor tão característico que pode, em ocasiões específicas, ser um fator importante na indicação da madeira em questão. A quantidade e qualidade das

substâncias voláteis que se depositam na madeira (produtos de infiltração), formadas pela ação de fungos ou outros microrganismos, através da decomposição dos produtos de reserva no parênquima, provocam o cheiro.

O odor é geralmente mais intenso no borne do que no cerne.

#### **3.7.10 Sabor**

Este elemento de avaliação está associado ao anterior e é originado pelas mesmas substâncias.

Um bom exemplo da dificuldade e da probabilidade de erro da identificação de madeira, em particular quando esta se baseia simplesmente no seu aspeto visual, é o desafio lançado pelo artesão Norte-americano Eric Meier no seu sítio <http://www.wood-database.com/wood-articles/the-truth-behind-wood-identification/> que propõe a identificação de um grupo de madeiras, muito usadas na indústria e, conseqüentemente muito comuns, pela sua aparência.

### 3.8 ESTRUTURA MICROSCÓPICA DA MADEIRA

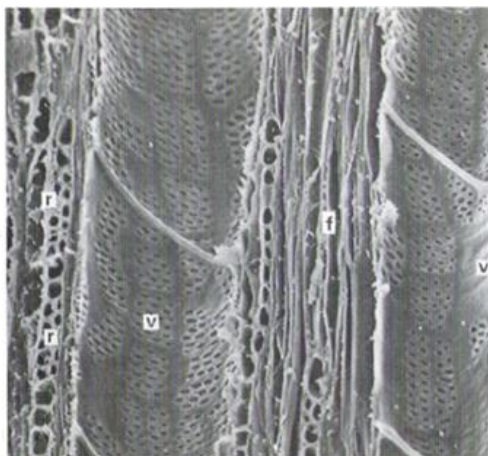


Figura 104 - Imagem de secção tangencial do xilema secundário de *Juglans* spp. V elemento de vaso; F fibras; R raio. Imagem obtida com recurso a microscopia eletrônica de varrimento (Cutter: 1978, p. 146).

#### Parede celular

A parede celular que delimita as células mas estabelece continuidade com as células adjacentes, dá estrutura ao tecido e, deste modo, serve de suporte mecânico aos órgãos da planta, particularmente quando se trata de paredes grossas e rígidas. Para além disso, as paredes celulares participam em diversos processos fisiológicos como absorção, limitação da transpiração, translocação de metabolitos e secreção (Bowes: 1996).

O principal composto da parede celular é a celulose ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> e as suas moléculas são constituídas por cadeias lineares de glicose, as quais podem atingir 4µm de comprimento.

Na parede celular, a celulose está associada a outros polissacarídeos tais como hemicelulose e substâncias pécnicas. A lenhina, por seu lado, impregna-se nas paredes celulares e funciona como um endurecedor e isolante da parede.

Cada célula engrossa a parede celular de fora para dentro, pelo que a camada mais antiga de determinada parede celular é a que se encontra na face mais exterior e, a par da Lamela mediana (descrita em seguida), está impregnada de lenhina, diminuindo este elemento em quantidade nas diferentes camadas que se sobrepõem em direção ao interior da célula (Esteves: 2001). A camada formada primeiro constitui a parede primária, sendo que, em muitos tipos de células, novas camadas de parede celular são depositadas formando a parede secundária. As paredes secundárias podem ser múltiplas, ou seja, podem existir 3 ou 4 camadas de parede secundária numa determinada célula (Bowes: 1996). O desenvolvimento da parede secundária só se dá depois de a célula ter completado o seu crescimento em comprimento ou alongamento (Cutter: 1978).

A área onde duas paredes primárias de duas células adjacentes se tocam, chama-se Lamela mediana (*Middle lamella*, *intercellular lamella* ou, *intercellular substance*) e é constituída essencialmente por hemicelulose. É dificilmente identificável mesmo com microscópio eletrónico, sendo mais visível nos cantos entre as células, onde a sua espessura é maior (Esau: 1977).

Em elementos não vivos como elementos de vaso, fibras e esclereídeos a parede celular surge organizada em camadas relativamente distintas: a lamela mediana, a parede primária e as

três camadas da parede secundária que, no seu todo, providenciam estrutura mecânica à parede celular.

O desenvolvimento das distintas camadas da parede secundária dá-se através da deposição de microfibrilas de celulose que se dispõem com orientação distinta nas diferentes camadas que constituem a parede celular (Cutter: 1978; Bowes: 1996).

A parede primária e as paredes secundárias diferem física e quimicamente, sendo exemplo disto o facto de a maioria dos elementos patogénicos das plantas terem muito menos capacidade de degradar as paredes secundárias (Cutter: 1978).

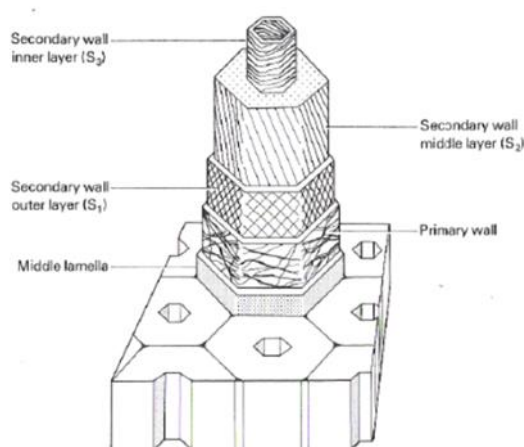


Figura 105 - Representação gráfica exemplificando a organização das fibrilas nas diferentes camadas de uma fibra ou traqueídeo no xilema (Cutter: 1978, p. 57).

## Parênquima

De uma maneira geral, as células de parênquima têm por função o armazenamento de nutrientes e água e são geralmente mais abundantes nas folhosas do que nas coníferas (Esau: 1977; Cutter: 1978). São células vivas, com capacidade de crescimento e divisão e distribuem-se maioritariamente no sentido radial, formando assim os raios (parênquima radial), mas igualmente no sentido vertical, como estreitos alinhamentos de células (parênquima axial). A sua distribuição e organização é muito importante na identificação de madeira (Bessa: 2009 *apud* Butterfield: 2006).

Nos tecidos vasculares, as suas paredes são geralmente primárias, salientando-se porém que paredes secundárias não são invulgares (Esau: 1977) Mauseth (1988) define-as estritamente como células de parede primária.

A forma das células de parênquima é muito variável (Mauseth: 1988). Além da sua função de armazenamento podem igualmente ser estruturas especializadas na secreção e excreção de substâncias (Esau: 1977).

O parênquima forma um *continuum* que se estende desde o córtex das raízes até às folhas, sendo que, no xilema e no floema, se distribui individualmente ou em grupos de células.

As células de parênquima possuem capacidade de mudar de função consoante a presença ou não de um protoplasto completo no seu interior e do tipo e quantidade de componentes presentes neste. Estas células podem, portanto, retomar atividade merismática, a

qual é responsável pela cicatrização de feridas, regeneração, união de enxertos, etc. (Esau: 1977; Cutter: 1978; Mauseth: 1988; Bowes: 1996).

### **Parênquima xilémico**

De uma maneira geral, as células de parênquima armazenam amido, óleos e outras substâncias ergásticas<sup>48</sup>, assim como compostos taniníferos e cristais, os quais, segundo o seu tipo, forma e disposição, podem ser decisivos para a identificação de determinada espécie.

No xilema secundário, temos a clara divisão entre o parênquima axial e o parênquima radial.

As paredes celulares de ambos os tipos de parênquima são geralmente finas, porém com espessamentos secundários e lenhificadas. No caso de as paredes secundárias estarem presentes, as pontuações podem apresentar-se nos seus três tipos, ou seja, pontuações simples, pontuações areoladas e pontuações semi areoladas.

As células de parênquima radial dividem-se em dois tipos principais consoante a sua forma e disposição. Falamos, neste caso, de células eretas e células procumbentes (deitadas).

Resumidamente, a diferença entre ambas reduz-se ao facto de as células eretas surgirem tipicamente no topo e na base do raio, mais altas do que largas (quando vistas em corte radial), ao passo que as células procumbentes apresentam-se todas da mesma altura, mais largas do que altas, o que é claramente visível em corte tangencial e radial.

No caso de apenas uma destas tipologias constituir a estrutura celular de um determinado raio, este é classificado como um raio homocelular (claramente o menos comum). No entanto, é vulgar que ambos os tipos surjam na mesma estrutura radial, qualificando-se, nesse caso, o raio como um raio heterocelular.

Este raio pode ainda apresentar-se como um raio unisseriado, ou seja, quando visualizado num corte tangencial apresenta-se constituído por apenas uma fileira de células alinhadas verticalmente, ou multisseriado, quando, por possuir várias células de largura, se apresenta mais ou menos ovalado (Esau: 1977; Cutter: 1978, Cutler: 1978).

### **Distribuição do parênquima axial**

A distribuição das células do parênquima axial (células de forma retangular ou fusiforme) no xilema mostra vários níveis de transição e mistura nos seus padrões (Esteves: 2001). De acordo com as suas relações espaciais com os elementos de vaso, pode ser dividido em dois padrões maioritários.

Parênquima apotraqueal – sem qualquer relação com os vasos. Este pode ainda ser dividida em múltiplos tipos consoante a sua localização, disposição, agrupamento, organização etc.

Parênquima paratraqueal – intimamente associado com os elementos de vaso. Também estas células de parênquima se dividem em múltiplos tipos, relacionadas com a forma como se apresentam em redor do vaso, localização, extensão etc.

As células de parênquima que possuam uma relação fisiológica distinta com os elementos de vaso chamam-se células de contacto (Esau: 1977; Carlquist: 1988; Mauseth: 1988).

---

<sup>48</sup> Materiais protoplasmáticos que se encontram no interior da célula e que são expelidos por esta (CUTTER, 1978).

### **Parênquima radial**

É constituído por células que se dispõem radialmente no tronco. Mais concretamente são o principal elemento celular na constituição dos raios lenhosos (Esteban et al.: 2003; Moreira: 2010).

Na continuação deste trabalho (ponto **3.9.2**) as suas posições, fisionomias e aspeto serão descritas com maior pormenor.

### **Esclerênquima**

O esclerênquima, tecido constituído por células mortas na maturidade que se forma no corpo primário das plantas, é composto por dois tipos celulares (por vezes formando massas contínuas ou distintas):

Esclereídeos – células curtas e ou ramificadas e que se classificam consoante a sua forma, a qual é muito variável. São raras ou mesmo inexistentes e a sua presença em número não tem impacto no xilema secundário (Cutter: 1978; Mauseth: 1988).

Fibras – células muito longas, muito estreitas, com extremos pontiagudos, de lúmen muito reduzido e espessas paredes secundárias nas quais se distinguem pontuações. São destituídas de ramificações e podem por sua vez dividir-se em:

- Fibras xilémicas – originadas no Procâmbio ou no Câmbio;
- Fibras não xilémicas – originadas no Meristema fundamental;
- Fibras floémicas – também originadas no procâmbio ou no câmbio (Esau: 1977; Cutter: 1978; Cutler: 1978).

São células longas, referindo Mauseth (1988) valores desde 6 cm em *Linum usitatissimum* e 55 cm em *Boehmeria nivea*. Possui paredes secundárias e geralmente lenhificadas com espessuras variadas mas, geralmente, mais espessas do que as dos traqueídeos na mesma amostra.

Do ponto de vista evolutivo as fibras especializaram-se como elementos de sustentação, ao passo que a condução fica a cargo dos elementos traqueais, como é o caso dos elementos de vasos (Esau: 1977).

Identificam-se igualmente fibras septadas, as quais possuem finas paredes transversais e que podem conter protoplasma vivo durante longos períodos (Cutter: 1978).

### **Elementos traqueais**

Os elementos com maior especialização do xilema e relacionados com a condução de água e das substâncias em si dissolvidas são os elementos traqueais.

São células mais ou menos alongadas, mortas quando adultas, possuindo paredes lenhificadas com espessamentos secundários e vários tipos de pontuações.

Dividem-se em dois tipos diferentes de células, os traqueídeos e os elementos de vaso.

**Traqueídeos** – São células de suporte e de condução sem perfurações nos seus extremos. São as células essenciais das resinosas já que podem constituir cerca de 95% do lenho, surgindo igualmente em algumas folhosas (Esteves: 2001). Nestas células, a passagem de água de célula para célula é feita maioritariamente através dos pares de pontuações que se dispõem ao longo das suas paredes (Esau: 1977; Cutter: 1978; Cutler: 1978).

**Elementos de vaso** – constituem-se como elementos vasculares nos quais as células que os formam morrem, mantendo-se no entanto a forma tubular, sendo que, em secção transversal

se assemelham a orifícios de forma circular ou elípticos, aos quais se dá o nome de poros (Esteves: 2001; Esteban et al.: 2003; Moreira: 2010). Os elementos de vaso surgem justapostos, unidos entre si topo a topo e com as extremidades semi ou completamente abertas, formando estrutura tubulares a que se dá o nome de vasos. O comprimento dos vasos pode variar de apenas duas células até 1 mm ou mais (Cutter: 1978). À região de contacto entre dois elementos de vaso justapostos com porções de parede hidrolisada ou mesmo sem a parede de topo dá-se o nome de placa de perfuração. Nas paredes laterais e como já referido, surgem pontuações que permitem a circulação lateral de água entre vários elementos do xilema.

Os elementos de vaso são um elemento exclusivo da maioria das folhosas e permitem a condução da seiva bruta através do xilema (Esteves: 2001).

As perfurações dos elementos de vaso podem classificar-se em perfurações simples quando não há parede nos topos das células (são completamente abertas), ou multiperfurada quando as paredes de topo apresentam vários orifícios.

As pontuações nas paredes laterais do vaso podem ser simples, areoladas ou semi areoladas e estão presentes tanto nas paredes secundárias dos traqueídeos como dos elementos de vaso, sendo que, o seu número e disposição é altamente variável, mesmo em diferentes faces da mesma célula, isto porque, o tipo de pontuações depende do tipo de célula contígua com essa face em particular.

Normalmente, quando dois elementos traqueais são contíguos, ocorrem numerosos pares de pontuações.

- Elementos traqueais contíguos a fibras apresentam poucos ou nenhuns pares de pontuações.
- Elementos traqueais contíguos a células de parênquima apresentam pares de pontuações simples ou semi areoladas, sendo que, no caso das pontuações semi areoladas, o bordo arqueado está do lado da célula traqueal (Esau: 1977).

### Pontuações

A comunicação entre as células vivas ocorre através dos plasmodésmios (Plasmodesmata) que são micro aberturas que permitem a continuidade citoplasmática de célula para célula (Cutter: 1978; Bowes: 1996).

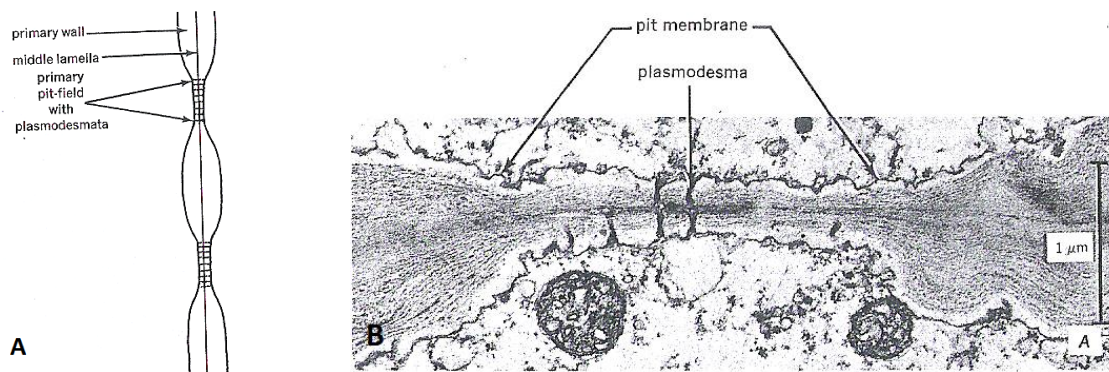


Figura 106- (A) Representação gráfica da localização e organização dos plasmodésmios no desenvolvimento da parede primária. (B) Secção longitudinal em que são visíveis os plasmodésmios (Esau: 1977, p. 50).

Nas regiões de parede com numerosos plasmodésmios – campos primários de pontuações – não ocorre deposição de parede secundária dando origem à “membrana” da futura pontuação. As pontuações são, assim, como que buracos na parede celular secundária, o qual vai facilitar a troca transversal de fluidos entre células.

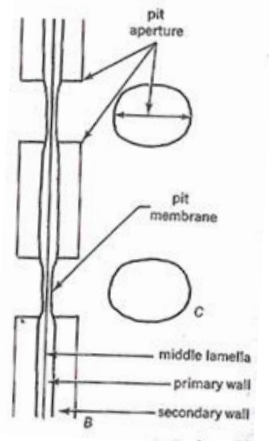


Figura 107 - Representação gráfica do corte transversal de pontuações simples (Esau: 1977, p. 50).

Este elemento pode ser então também descrito como um canalículo que se forma como consequência de um engrossamento desigual da parede celular secundária (Esteban et al.: 2003).

Geralmente, as pontuações de duas células contíguas estão alinhadas entre si formando um par de pontuações.<sup>49</sup>

Estas pontuações estão separadas entre si por uma fina estrutura constituída pela lamela mediana e paredes primárias de cada uma das células adjacentes, à qual se dá o nome de membrana da pontuação.

A membrana da pontuação pode, ainda, possuir no seu centro um espessamento que se denomina torus.

O torus pode apresentar uma forma circular, mais ou menos hexagonal, estrelada ou uma mistura de ambas, como é o caso em *Cedrus* spp., onde surge hexagonal estrelado, ou em *Juniperus* spp., onde se apresenta ovalado, ao passo que nas restantes coníferas este ostenta uma forma circular (Esteban et al.: 2003).

A restante membrana que o rodeia denomina-se margo. Esta película (margo) é flexível, movendo-se em ambas as direções dentro da pontuação. Porém, quando com mudanças súbitas de pressão ou outros fatores de stress, esta pode deslocar-se numa das direções e fixar-se aí, fechando a abertura da pontuação e inutilizando-a conseqüentemente. Neste caso, dá-se o nome de pontuação aspirada (Cutler: 1978; Mauseth: 1988).

As pontuações dividem-se em três grupos principais:

**Pontuações simples** - apresentam-se com a sua parede secundária a terminar abruptamente, mantendo a cavidade aproximadamente o mesmo diâmetro em toda a sua extensão. É mais comum em células de parênquima. Cutter (1978) acrescenta que estas pontuações, particularmente quando presentes em paredes espessas de esclereídeos, podem

<sup>49</sup> As pontuações são geralmente aos pares, por isso se deve falar de Pares de Pontuações sendo que, por uma questão de comodidade, se diz somente Pontuações. Caso isto não aconteça e não exista outra pontuação na célula anexa, dá-se o nome de Pontuações Cegas.

apresentar ramificações na cavidade, mantendo porém a abertura simples. Estas pontuações designam-se como pontuações simples ramiformes (ou ramificadas);

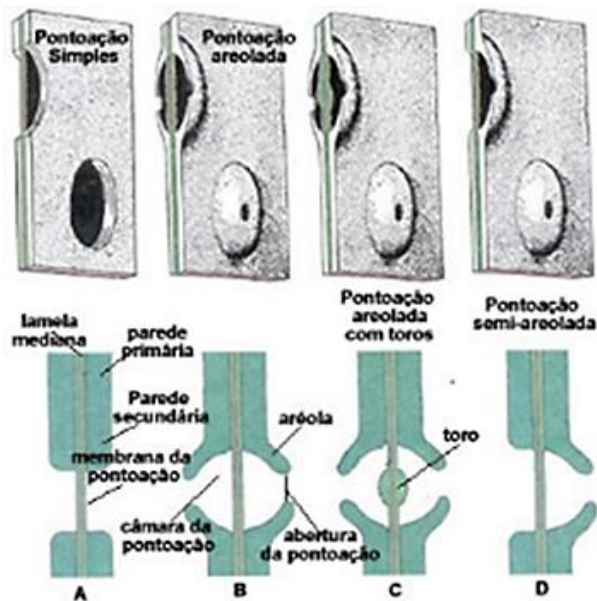


Figura 108 - Esquema de pares de pontuações simples, areoladas e semi areoladas. In: <http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br/parededeCelular/>

**Pontuações areoladas** - consistem numa pontuação com uma bordadura arqueada da parede celular e possuem sempre outra pontuação areolada na célula anexa. São mais comuns entre traqueídeos, elementos de vaso e fibras (Esau: 1977; Cutter: 1978). Estas pontuações quando presentes em angiospérmicas, não apresentam torus (Moreira: 2010), por seu lado, Carlquist (1988)<sup>50</sup> afirma que foram reportados torus nas pontuações de elementos de vasos de algumas dicotiledóneas;

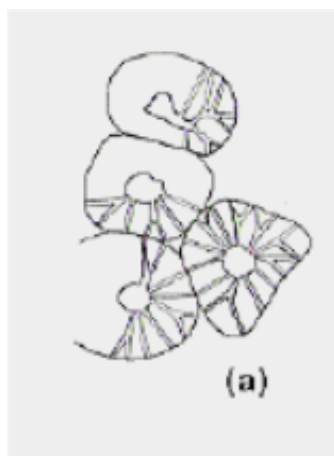


Figura 109 - Representação gráfica de uma pontuação simples ramiforme (Cutter: 1978, p. 80).

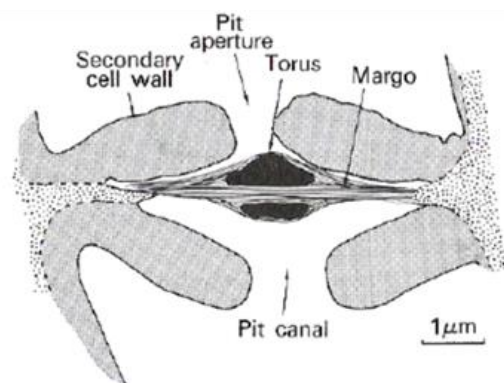


Figura 110 - Representação gráfica de um corte transversal de um par de pontuações areoladas com torus e margo (Cutter: 1978, p. 66).

<sup>50</sup> CARLQUIST, 1988 *apud* OHTANI&ISHIDA, 1978; PARAMESWARAN&GOMES, 1981; WHEELER, 1983.

A bordadura arqueada das pontuações areoladas apresenta-se geralmente lisa, podendo porém surgir estriada. Além disso, pode ainda ser classificada como pontuação areolada distendida se o ângulo da abertura circular superar longitudinalmente o diâmetro da própria bordadura, ou como, pontuação areolada fechada, se o seu limite superior não superar em diâmetro o limite exterior da bordadura (Esteban et al.: 2003).

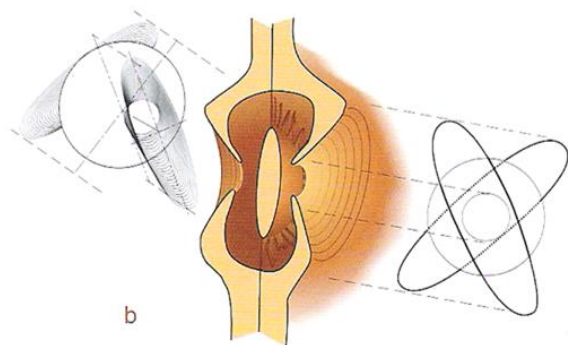


Figura 111 - Representação gráfica de pontuação areolada distendida (Esteban et al.:2003, p. 53).

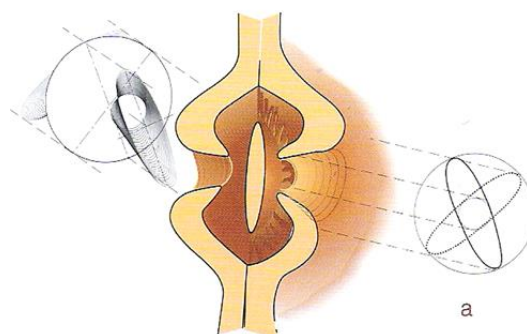


Figura 112 -- Representação gráfica de pontuação areolada fechada (Esteban et al.:2003, p. 53).

Este tipo de pontuações tem, ainda, como característica apresentar-se de forma constante nas paredes radiais da célula e, em espécies específicas, nas paredes tangenciais.

Quando as pontuações se apresentam nas paredes radiais, podem-se dispor em uma, duas ou mais linhas verticais, sendo que, quando a sua distribuição se realiza em mais do que uma fila, a sua distribuição dentro da parede do traqueído pode ser de dois tipos:

- Em disposição oposta, ou seja, seguindo linhas horizontais paralelas;
- Em disposição alterna, quando se intercalam entre si (Esteban et al.: 2003).

Contudo a organização e disposição destas pontuações muda durante o crescimento e desenvolvimento do espécimen (Cutter, 1978).

**Pontuações semi areoladas** – na realidade é um par de pontuações constituído por uma combinação entre uma pontuação simples de uma das células e a pontuação areolada da célula anexa com uma bordadura claramente visível. Quando vistas lateralmente estas pontuações apresentam-se como se possuíssem uma dupla abertura. As pontuações simples possuem, por norma, um diâmetro superior ao das pontuações areoladas. São mais comuns entre células de parênquima e traqueídeos ou vasos. No caso das pontuações semi areoladas, que ocorrem nas paredes dos traqueídeos e células de parênquima de coníferas, não se desenvolve torus.

### Estrutura dos raios

Em contraste com os raios predominantemente unisseriados das coníferas, nas folhosas os raios podem apresentar-se tanto unisseriados como multisseriados e possuir desde a altura de uma célula apenas, como estender-se até aos três centímetros ou mesmo mais.

Os raios multisseriados possuem frequentemente margens unisseriadas.

Pode também acontecer que, raios pequenos se agrupem de tal modo que podem ser confundidos com um raio de maiores dimensões. A este tipo chama-se raios agregados.

À semelhança das coníferas, também nas folhosas surgem os raios homocelulares constituídos por um tipo de célula apenas, sejam estas eretas (fila de células mais altas do que largas no topo e na base do raio) ou procumbentes (células da mesma altura em toda a extensão do raio) e os raios heterocelulares, onde existem em simultâneo os dois tipos de células eretas e procumbentes.

Todo o sistema radial de determinada madeira pode consistir num só tipo de raio ou na combinação de ambos. Partindo daqui, o sistema radial é classificado como homogéneo se os raios forem constituídos exclusivamente por células procumbentes, ou heterogéneo, se os raios forem heterocelulares, ou combinação de homocelulares e heterocelulares (Esau: 1977; Carlquist: 1988).

### **Tiloses**

Em muitas espécies, o parênquima axial e radial localizado próximo dos elementos de vaso, forma excrescências para o lúmen do elemento de vaso através das cavidades das pontuações, o que pode fazer com que estes se tornem inativos. A estas excrescências dá-se o nome de tiloses.

As tiloses, que também podem ocorrer no xilema primário, podem desenvolver paredes secundárias ou mesmo diferenciar-se em esclereídeos e, aparentemente, só se podem desenvolver se a cavidade da pontuação possuir mais de 10µm de largura. Podem igualmente ser originadas por feridas e infeções (Esau: 1977).

A tilose bloqueia o interior do elemento de vaso e reduz, assim, a permeabilidade da madeira, o que vai influenciar o seu tratamento com consolidantes, desinfetantes etc. A presença de tiloses é mais importante para a transformação e uso da madeira do que para a sua identificação (Esteves: 2001).

As tiloses são comuns em espécies do género *Quercus*, *Robinia*, *Vitis*, *Morus*, *Catalpa* etc. (Esau: 1977), sendo que Esteban et al. (2003) generalizam conceitos como o de estas células de preenchimento (tiloses) serem muito abundantes nas espécies de folhosas com vasos agrupados, ao passo que nas espécies com vasos dispersos, as tiloses são muito escassas ou mesmo inexistentes.

### **Cristais**

Os cristais que se acumulam nos tecidos das plantas são constituídos por vários compostos, sendo o oxalato de cálcio o mais comum. Os cristais possuem uma multiplicidade de formas que variam consoante a espécie em que surgem. É por esta razão que a análise e catalogação dos cristais presentes em amostras de xilema pode ser determinante na identificação de determinada espécie botânica (Esau: 1977; Cutler: 1978).

### **Canais intercelulares e cavidades**

Os canais/cavidades assemelham-se nas folhosas, aos canais resiníferos das gimnospermas. São vulgarmente classificados como canais de goma, embora possam, na verdade, conter resinas. Ocorrem tanto no sistema axial como no radial (Esau: 1977).

### **Distribuição dos vasos**

Os vasos quando vistos em secção transversal designam-se de uma maneira geral como poros.

Existem três padrões básicos de arranjo dos poros numa secção transversal que se baseiam na distribuição, densidade e tamanho dos poros presentes numa amostra de madeira.

- Porosidade em anel - Poros distintamente mais largos e concentrados na madeira de Primavera.
- Porosidade semi difusa - Poros algo concentrados na madeira de Primavera, assim como com um tamanho maior. Gradual diminuição da escala e da quantidade em direção à madeira de Outono.
- Porosidade difusa - Poros de tamanho, densidade e distribuição muito semelhante em todo o anel de crescimento.

Porém, à semelhança de quase todo o resto em anatomia da madeira, estas definições são apenas uma sugestão, já que não é invulgar a inter-relação entre estes três patamares de catalogação. Exemplo disto é a definição de 25 tipos de anéis de crescimento consoante a disposição, tamanho e organização dos seus diferentes elementos, em particular os poros (Carlquist: 1988).

Focando-nos nos poros, de uma forma simplificada estes podem ser classificados como:

- Solitários - quando se encontram completamente rodeados por outro tipo de células.
- Multiporos - quando se encontram dois ou mais poros anexos.

Neste caso podem organizar-se radialmente ou como um aglomerado de poros com uma organização mais ou menos irregular (Esau: 1977; Mauseth: 1988).



Figura 113 - Porosidade difusa A - *Calycophyllum spruceanum*. Porosidade semi difusa B – *Prunus avium*. Porosidade em anel C – *Quercus* spp. (imagem do autor).

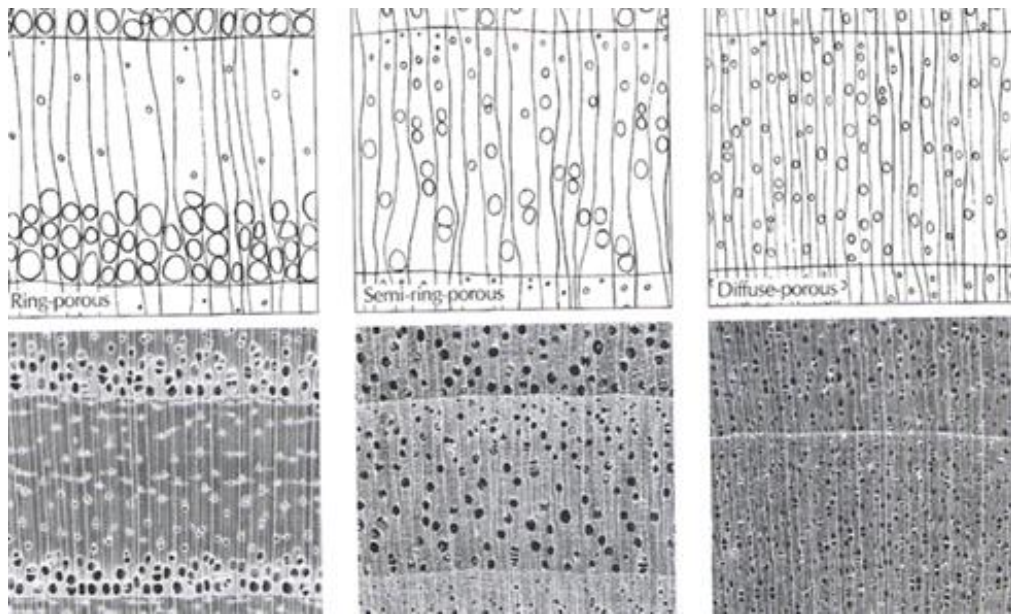


Figura 114 - Exemplo fotográfico e gráfico dos três tipos de porosidade. Da esquerda para a direita: Porosidade em anel; Porosidade semi difusa; Porosidade difusa (Hoadley: 1990, p. 32).

### 3.9 ANATOMIA DA MADEIRA DE CONÍFERAS (GIMNOSPÉRMICAS LENHOSAS)

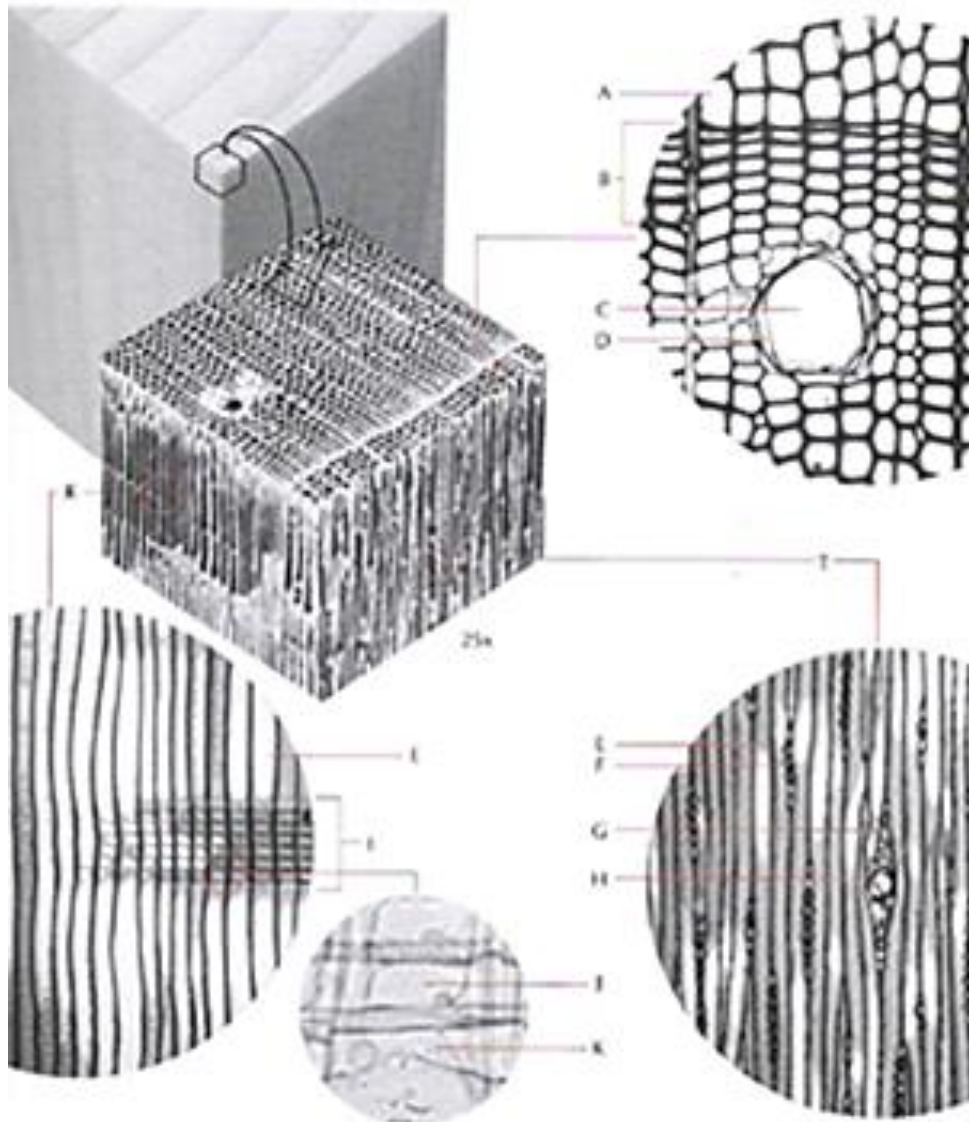


Figura 115 - Esquema da estrutura de uma conífera (*Pinus strobus*). (Secção transversal) A – tecido composto maioritariamente por traqueídeos. B – lenho de Outono composto por traqueídeos de diâmetro inferior e paredes mais espessas. C – canal resinífero. D – células epiteliais a rodear o canal. (Secção tangencial) E – traqueídeo. F – raios unisseriados. G – raio fusiforme. H – canal resinífero horizontal. (Secção radial) E – traqueídeo. I – raio composto por traqueídeos radiais e parênquima radial. J – pontuação do campo de cruzamento fenestriado. K – a fiada de células radiais do topo e base do raio constitui-se por traqueídeos (Hoadley: 1990, p. 15).

#### 3.9.1 Xilema - Variações na estrutura da madeira

As madeiras são geralmente divididas entre madeiras macias – soft woods (coníferas) e madeiras duras – hard woods (folhosas) (Esau: 1977).

As variações estruturais no xilema de determinada madeira conseguem, em casos específicos e com níveis de dificuldades variáveis, indicar-nos se a amostra analisada é de uma espécie conífera ou, pelo contrário, se é de uma espécie folhosa. Esta diferença estrutural que pode ser reconhecida macroscopicamente tem como justificação a presença ou inexistência de determinados elementos e a organização de uma multiplicidade de diferentes conjuntos celulares, os quais são apenas reconhecíveis e identificáveis a escalas microscópicas.

Porém, podemos, antes de mais, enumerar os dois tipos fundamentais de células que distinguem aqueles tipos de madeira.

### Traqueídeos

Constituem a massa fundamental do lenho das coníferas. São células muito compridas, fusiformes e filiformes, firmemente unidas entre si pelos seus limites pontiagudos de paredes espessas e com pouco ou nenhum conteúdo protoplasmático.

### Células de Parênquima

Células mais ou menos isodiamétricas, de paredes finas, não lenhificadas e de protoplasma parietal.

É a partir do estudo microscópico deste tipo de células que poderemos, por um lado, definir se a madeira em questão pertence às gimnospérmicas ou às angiospérmicas e, ainda, determinar a que Família, Género ou mesmo Espécie pertence.

Tomamos então como ponto de partida os elementos microscópicos diferenciadores que se podem enumerar entre as coníferas e as folhosas.

- As coníferas não possuem vasos (Esau: 1977), sendo o transporte de água e nutrientes, a par da função de suporte, assegurado pelos traqueídeos (Cutler: 1978).
- As folhosas destacam-se pela presença de vasos. Porém, algumas folhosas incluídas em alguns géneros das *Magnoliaceae*, não os apresentam (Esteban et al.: 2003).



Figura 116 - Secção tangencial do xilema secundário de *Drimys winteri*. Esta Dicotiledónea primitiva não desenvolve elementos de vaso, mas antes abundantes traqueídeos (1). Apresenta tanto raios unisseriados (2) como multisseriados (3) (Bowes: 1996, p. 82).

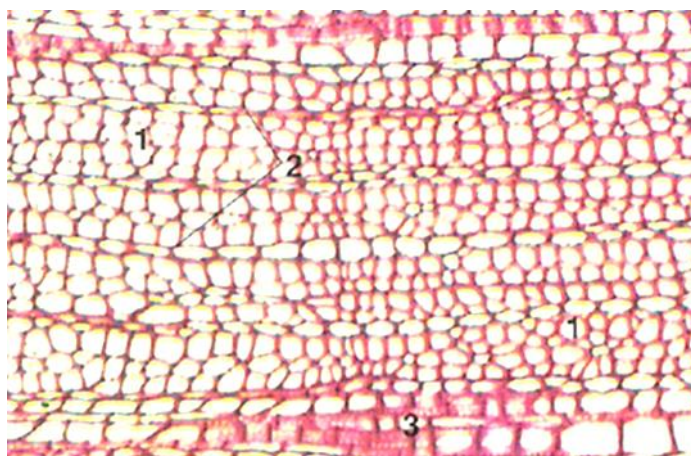


Figura 117 - Secção transversal da mesma espécie. Não apresenta elementos de vaso, sendo os traqueídeos (1) de diâmetro bastante uniforme. Tanto raios unisseriados (2) como multisseriados (3) estão presentes (Bowes: 1996, p. 83).

- As coníferas possuem raios lenhosos unisseriados, com exceção das espécies em que a presença de canais resiníferos radiais ampliam a largura do raio (Moreira: 2010).
- As folhosas possuem quer raios unisseriados quer vários tipos de raios multisseriados (Esteban: et al. 2003).
- A estrutura das coníferas é muito mais homogénea, simples e menos complexa do que a das folhosas (Esteves: 2001).
- As folhosas apresentam uma estrutura muito mais diferenciada e são mais ricas em células de parênquima (Esau: 1977).
- Nas coníferas os elementos traqueais são imperfurados, maioritariamente traqueídeos (Esau: 1977).
- Nas coníferas a presença de células de parênquima é normalmente pouco abundante e a de fibras é mesmo rara (Cutler: 1978).

### 3.9.2 Elementos do Sistema Axial

#### 3.9.2.1 Traqueídeos

Os traqueídeos constituem os elementos mais frequente na madeira de coníferas, formando cerca de 90% do volume total do xilema.

A sua forma geral é a de um prisma alongado, com as suas extremidades cortadas obliquamente em forma de bisel. Unem-se longitudinalmente por meio destes planos, formando em conjunto alinhamentos paralelos ao eixo do tronco (Cutler: 1978).

Os traqueídeos têm um processo de diferenciação celular muito rápido e após formarem as paredes celulares perdem o seu conteúdo por um processo de morte celular programada. Transformam-se assim em células muito longas, ocas, de parede lenhificada que cumprem quer a função de transporte de líquidos assegurada pela presença de pontuações areoladas nas suas paredes que permitem a circulação de líquidos de célula para célula, quer a função de

sustentação<sup>51</sup>. Além da função de sustentação, são também um sistema alternativo de condução (Carlquist: 1988), sendo, porém, este sistema pelo tipo de células e orientação destas, mal adaptado para o armazenamento de carboidratos ou minerais, tratando-se além disso de um sistema extremamente ineficiente no que toca à condução transversal de água e nutrientes, ficando esta a cargo dos raios (Mauseth: 1988).

Os traqueídeos ostentam ainda diferenças morfológicas consoante são formados no início ou final do período vegetativo. Desta forma, no início do anel os traqueídeos são amplos, com um formato poligonal em secção transversal, de paredes finas e com abundantes pontuações areoladas, ao passo que no final do anel surgem pequenos, com um formato aproximadamente retangular, de paredes espessas e com um número reduzido de pontuações.



Figura 118 - O número de pontuações areoladas nas paredes radiais dos traqueídeos do lenho de primavera possuem algum valor de diagnóstico. Na *Picea* spp. à esquerda surge muito raramente mais do que uma pontuação. Já no *Larix* spp. estas surgem geralmente aos pares, sendo que na *Sequoia sempervirens* podem surgir até quatro pontuações (Hoadley: 1990, p. 19).

Traqueídeos normais – são células não perfuradas, com paredes celulares lenhificadas, com pontuações areoladas. Geralmente as pontuações nestas células, se concentram-se na face radial, sendo que, na tangencial, a existirem, se reúnem no lenho final (Esau: 1977; Cutler: 1978).

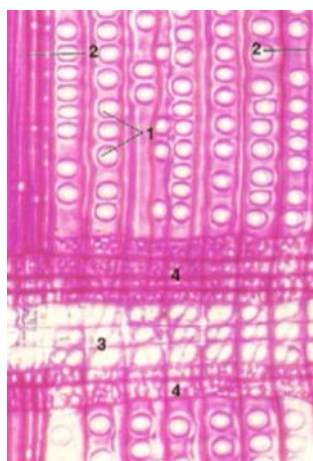


Figura 119 - Secção radial de *Pinus ponderosa*. Grandes pontuações areoladas numa única fiada (1) nas paredes radiais de traqueídeos do lenho de primavera. Em ambos os limites da imagem traqueídeos do lenho de inverno (2), parênquima radial (3) e traqueídeos radiais (4) (Bowes: 1996, p. 77).

<sup>51</sup> Informação oral transmitida pelo Prof. Doutor José Pissarra, a quem agradecemos.

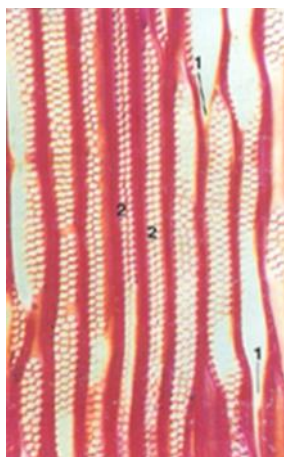


Figura 120 - Secção radial do xilema secundário de *Araucaria angustifolia*. Os traqueídeos possuem terminações afuniladas (1) com organização interdigitada mas sem serem perfurados. A água move-se através das numerosas pontuações areoladas (2) com organização alterna nas paredes radiais (Bowes: 1996, p. 77).

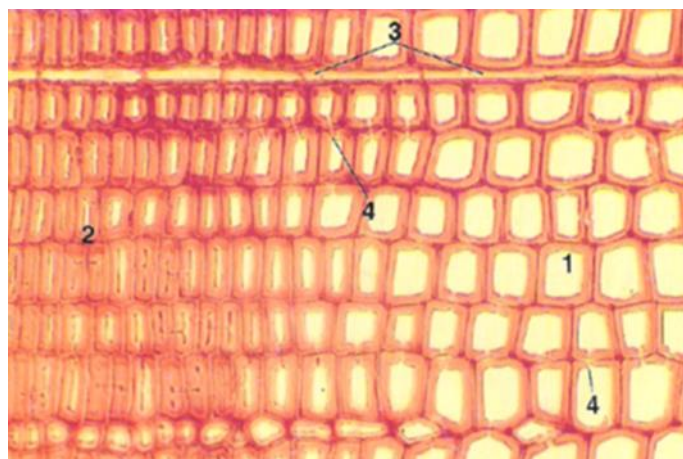


Figura 121 - Secção transversal de *Thuja* spp. (1) O lúmen amplo dos traqueídeos do lenho de Primavera contrasta com o lúmen exíguo (2) dos traqueídeos do lenho de Outono. (3) raio unisseriado. (4) pontuações nas paredes radiais dos traqueídeos (Bowes: 1996, p. 79).

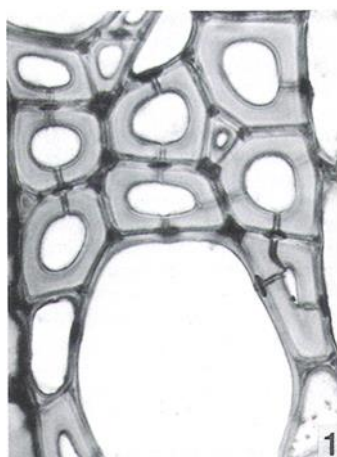


Figura 122 - Secção transversal em *Pentaphylla arborea* onde são visíveis traqueídeos com pontuações areoladas. Poro amplo na base da imagem (Carlquist: 1988, p. 117).

Os traqueídeos nas coníferas apresentam um aspeto e forma característicos, com pontuações grandes e areoladas, geralmente unisseriadas e com um comprimento entre os 1000 e 4000  $\mu\text{m}$ , podendo chegar até aos 10.000  $\mu\text{m}$  nos géneros *Araucaria* e *Agathis*. Nas

*Taxodiaceae* e nas *Pinaceae*, os traqueídeos de Verão podem possuir duas ou três fileiras de pontuações em disposição oposta, enquanto noutras coníferas como *Taxus* os traqueídeos podem possuir espessamentos helicoidais, além da parede secundária com pontuações (Esau: 1977).

Nos traqueídeos das coníferas surge ocasionalmente um tipo de fissuração em forma de Cruz de Santo André, que pode ser confundido com os típicos engrossamentos de determinadas espécies. Origina-se como consequência de uma secagem anormal ou pela formação de madeira de compressão (Esteban et al: 2002).

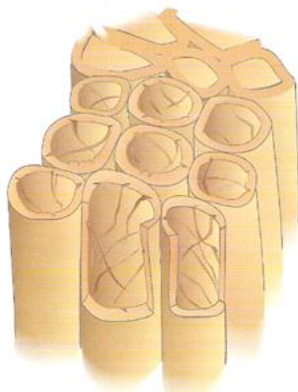


Figura 123 - Representação gráfica de fissura em cruz de Santo André sobre um traqueídeo axial (Esteban et al:2003, p. 54).

Além disto, surge ocasionalmente aquilo a que se dá o nome de trabécula e que se compõe como uma barra cilíndrica de material da parede secundária (Carlquist: 1988) que atravessa o interior do traqueídeo a partir das paredes tangenciais do mesmo. O seu surgimento sugere uma anomalia cambial temporária (Carlquist: 1988). Embora raramente, esta característica pode apresentar-se em todas as espécies de coníferas e não é usada como valor referencial para identificação.

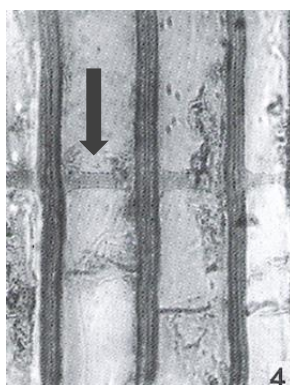


Figura 124 - Secção radial em *Kohleria elegans* com trabéculas em múltiplas fibras liberiformes (Carlquist: 1988, p. 140).

Traqueídeos resinosos – são na realidade traqueídeos normais que apresentam apenas inclusões de resina, como consequência do processo de duramização (processo de diferenciação celular que leva à formação do duramen (cerne)<sup>52</sup>. Dispõem-se como bandas em corte

<sup>52</sup> <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:32II93JQk-UJ:www.genoscope.cns.fr/spip/Juglans-regia-walnut-tree.html+&cd=1&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=pt>

transversal ou como massas compactas nas secções radiais. Quando em cortes histológicos para análise, apresentam-se negras ou avermelhadas e amorfas no corte transversal. Este tipo de traqueídeos é particularmente abundante em espécies como *Pinus canariensis* e *Pinus oocarpa*, surgindo igualmente em algumas espécies dos géneros *Agathis* e *Dacrydium*.

Traqueídeos em cadeia – constituem-se como células que perdem o seu protoplasma rapidamente e que se distingue dos traqueídeos normais por serem muito mais curtos e por apresentarem paredes transversais normais em relação às suas paredes longitudinais. Tanto estas divisórias como as próprias paredes longitudinais possuem pontuações areoladas de menores dimensões do que as presentes nos traqueídeos normais. São comuns em *Larix* spp. (Esteban et al.: 2002).

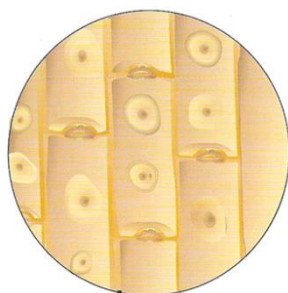


Figura 125 - Representação gráfica de traqueídeos em cadeia (Esteban et al: 2003, p. 55).

### 3.9.2.2 Células de parênquima axial

As células de parênquima servem no borne, enquanto vivas, como elemento de condução e armazenamento. Contudo, à medida que o câmbio continua o seu movimento centrífugo, estas células vão perdendo o seu conteúdo e vitalidade, acabando por se integrarem no tecido que fornece ao elemento arbóreo a sua resistência mecânica e sustentação.

Distinguem-se dois tipos de células de parênquima longitudinal:

- a) **Parênquima longitudinal ou axial** propriamente dito (Bessa: 2009) – nas coníferas, as células de parênquima axial apresentam-se em forma de longas colunas, no sentido do eixo do caule.

Numa secção transversal, as células são mais ou menos retangulares, de paredes mais finas do que as dos traqueídeos, não lenhificadas e com um conteúdo escuro que pode constituir-se por grãos de amido (Bessa: 2009).

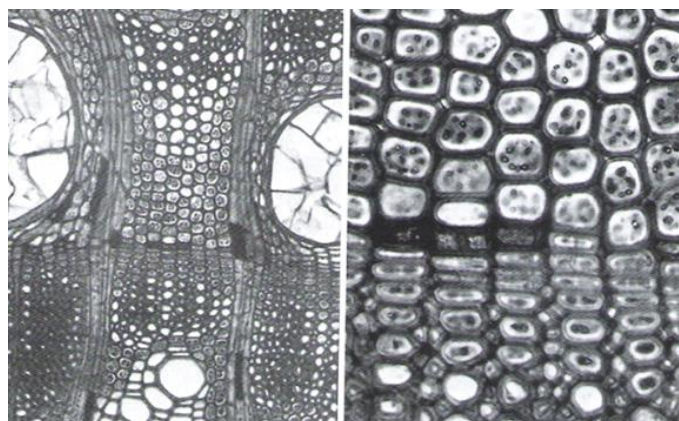


Figura 126 - Parênquima terminal em secção transversal de *Populus grandidentata*. Aspetto das células de parênquima com conteúdo de amido no anel de crescimento (Carlquist: 1988, p. 32).

Esau (1977) salienta que as células de parênquima longitudinal podem ou não estar presentes na generalidade das coníferas; no entanto, nas *Podocarpaceae*, *Taxodiaceae* e nas *Cupressaceae*, o parênquima longitudinal é proeminente, sendo escasso nas *Araucariaceae*, *Pinaceae* e *Taxaceae*. Em alguns géneros pode encontrar-se associado às bolsas de resina, como nos géneros *Pinus*, *Picea*, *Larix* e *Pseudotsuga* designando-se nesse caso parênquima axial epitelial (Bessa: 2009 *apud* Chattaway: 1955).

A observação do parênquima nas coníferas pode ser um processo laborioso, sobretudo em secção longitudinal pela sua situação dispersa, limítrofe e metatraqueal e por se apresentar, em geral, em bandas de muito poucas células de espessura. Contudo, quando é possível a sua observação nas secções radial e tangencial apresenta-se com o aspeto de células retangulares, de paredes finas com conteúdo celular, de parede inferior ou superior horizontais lisas ou noduladas, diferenciando-se assim rapidamente dos traqueídeos normais.

As paredes das células de parênquima longitudinal apresentam pontuações simples quando estas estão adjacentes a outras células de parênquima, ou semi areoladas quando adjacentes a traqueídeos normais, surgindo a bordadura na parede do traqueídeo. As suas pontuações simples distinguem estes elementos dos traqueídeos em cadeia, com os quais poderiam ser confundidos em alguns casos (Esteban et al.: 2002).

Distinguem-se três tipos de parênquima longitudinal segundo a sua disposição no anel de crescimento:

- Parênquima limítrofe - quando se concentra no limite do anel de crescimento;
- Parênquima metatraqueal - quando se dispõem em bandas ou faixas, podendo situar-se no interior do anel ou no seu limite;
- Parênquima difuso - quando se apresenta distribuída irregularmente em células mais ou menos isoladas por toda a área do anel.

O parênquima longitudinal apresenta-se constantemente entre outros géneros em *Juniperus*, *Tetraclinis* e *Cupressus*, sendo muito escasso ou mesmo ausente nos géneros *Cedrus* e *Abies* (Esteban et al.: 2002).

- b) **Células epiteliais dos canais resiníferos** – estas células delimitam um espaço intercelular para onde secretam resina. Estas distinguem-se anatomicamente das células de parênquima axial normal ao apresentarem-se mais curtas, mais hexagonais e por conterem um núcleo grande e citoplasma denso enquanto vivas, salientando-se ainda assim que esta distinção nem sempre é clara (Burger & Richter: 1991). Os canais resiníferos podem formar um sistema vertical e horizontal de veras complexo além de se poderem apresentar ramificados, como por exemplo em *Pinus halepensis* (Cutter: 1978).

As células epiteliais dos canais resiníferos distinguem-se, por sua vez, em dois tipos:

- De paredes grossas, as quais apresentam resistência ao corte com o micrótomo e, por conseguinte, surgem com toda a nitidez nas preparações histológicas.
- De paredes finas, as quais, pelo contrário, se rasgam com a realização do corte.

Ao primeiro grupo pertencem espécies dos géneros *Larix*, *Picea*, *Pseudotsuga*, *Cathaya* e *Keteleeria*, sendo que ao segundo pertencem as espécies do género *Pinus*.

O diâmetro dos canais longitudinais é sempre superior ao dos canais transversais e a sua distribuição tende a concentrar-se nas zonas que correspondem ao lenho de outono ou de transição, embora existam espécies que os albergam no lenho de primavera.

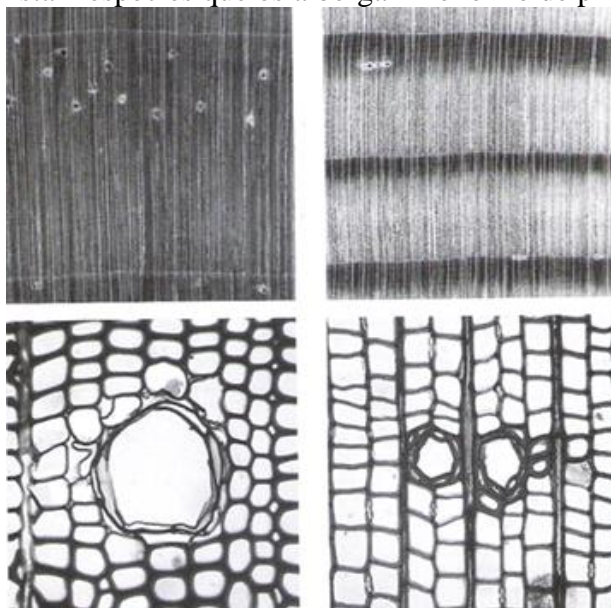


Figura 127 - Secções transversais de canais resiníferos. Nos *Pinus* spp. (imagens da esquerda) os canais resiníferos são normalmente largos, numerosos, solitários e homogeneamente distribuídos, sendo que as células epiteliais (200x) apresentam paredes finas. Em *Pseudotsuga menziesii* (imagens da direita) os canais resiníferos são geralmente menos numerosos, mais pequenos, solitários ou em grupos com disposição tangencial de quatro ou mais e distribuídos erraticamente pelo anel. As suas células epiteliais (200x) apresentam paredes grossas – imagens de baixo obtidas com recurso a microscopia ótica (Hoadley: 1990, p. 20).

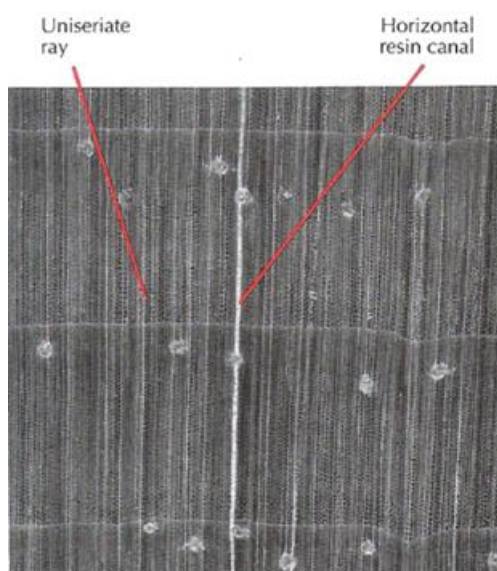


Figura 128 - Canal resinífero horizontal – secção transversal com raio fusiforme em *Pinus strobus* (Hoadley: 1990, p. 23).

Apenas as espécies do género *Keteleeria* não possuem os canais resiníferos horizontais (radiais). Nas restantes espécies situam-se sempre nos raios lenhosos sendo responsáveis pelo engrossamento do raio, apresentando-se portanto em secção tangencial fusiformes. Apesar do carácter multisseriado destes raios é raro a área mais larga superar, ainda assim, três ou quatro células.

Os canais resiníferos no xilema conforme a sua origem distinta podem ser considerados canais resiníferos fisiológicos normais, ou seja, os que fazem parte da estrutura normal da madeira de alguns géneros como os *Pinus*; ou canais resiníferos traumáticos, sendo estes produzidos em resposta a feridas ou outras causas externas e podendo estar presentes em géneros que de outra forma não os apresentariam.

A diferença entre ambos radica na constância da sua presença, sendo que os canais resiníferos fisiológicos se apresentam em todos os anéis de crescimento enquanto os canais resiníferos traumáticos surgem apenas em um ou mais anéis (Cutler: 1978; Burger & Richter: 1991; Esteban et al.: 2002).

Quanto à sua validade na identificação de madeiras Esteban et al. (2002) defendem que a sua disposição não deve ser assumida como um sinal diferenciador entre espécies, já que numerosos estudos enquadram esse arranjo em prováveis razões relacionadas com as diferentes estações do ano. Porém Bessa (2009)<sup>53</sup> designa-os como um importante elemento de diagnose por estarem sempre presentes em determinadas madeiras (*Pinus* spp., *Picea* spp., *Pseudotsuga* spp., *Larix* spp.), ao passo que noutras se encontram sempre ausentes (*Sequoia* spp., *Araucaria* spp.). Já Esteves (2001) acrescenta que, além da sua existência, também a sua localização e tamanho variam de espécie para espécie.

### 3.9.3 Elementos do Sistema Radial

Quando se trata de coníferas o sistema radial é constituído exclusivamente pelos raios lenhosos. A sua constituição anatómica é exatamente igual à do sistema axial, ou seja, na sua forma mais complicada apresenta traqueídeos radiais, células de parênquima e células secretoras de canais resiníferos (Cutler: 1978; Mauseth: 1988).

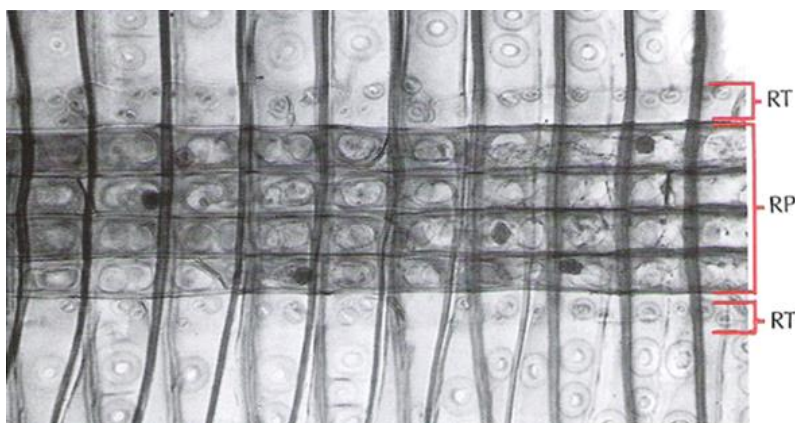


Figura 129 - Secção radial de *Pinus strobus* com raio apresentando (RT) traqueídeos radiais e (RP) parênquima radial (250x) (Hoadley: 1990, p. 24).

<sup>53</sup> BESSA, 2009 *apud* VENET, 1986; RICHTER, 1991; HATER, 2000; SHARP, 2004; IAWA, 2004.

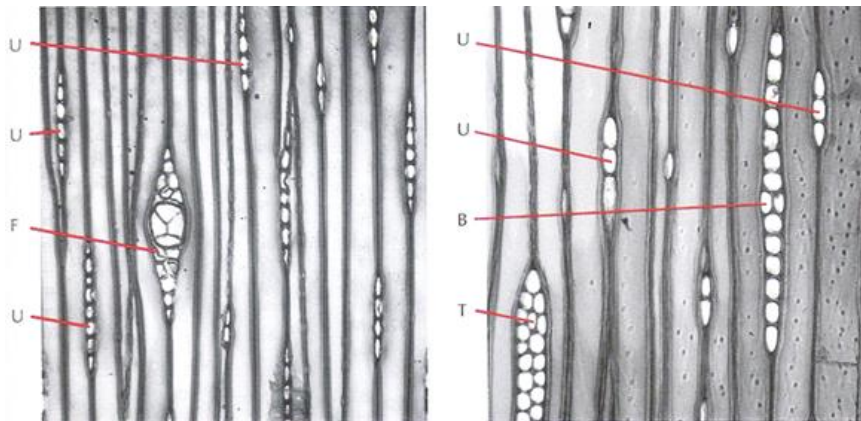


Figura 130 - Secção tangencial de espécie conífera. U – raios unisseriados. B – raio com células bisseriadas. T – raio com células trisseriadas. F – raio fusiforme pela presença de canal resinífero (Hoadley: 1990, p. 24).

### 3.9.3.1 Traqueídeos radiais

Os traqueídeos radiais distinguem-se das restantes células do raio lenhoso pela presença de pontuações areoladas, as quais estão igualmente presentes nos traqueídeos axiais. Os traqueídeos radiais diferem destes últimos em parte pela sua morfologia e pelo tamanho mais reduzido das pontuações. São igualmente mais irregulares, de paredes terminais menos afuniladas. As suas paredes podem apresentar-se lisas, com engrossamentos mais ou menos marcados, ou dentadas, sendo que, se for este o caso, estes “dentes” se classificam das seguintes formas (Cutler: 1978):

- Dentes obtusos – bem marcados e com extremos largos;
- Dentes agudos – bem marcados e com extremos pontiagudos;
- Dentes concrecentes – dentes que se encontram ligados entre si por engrossamentos que chegam a alcançar a mesma altura que o dente (Esteban et al.: 2002).

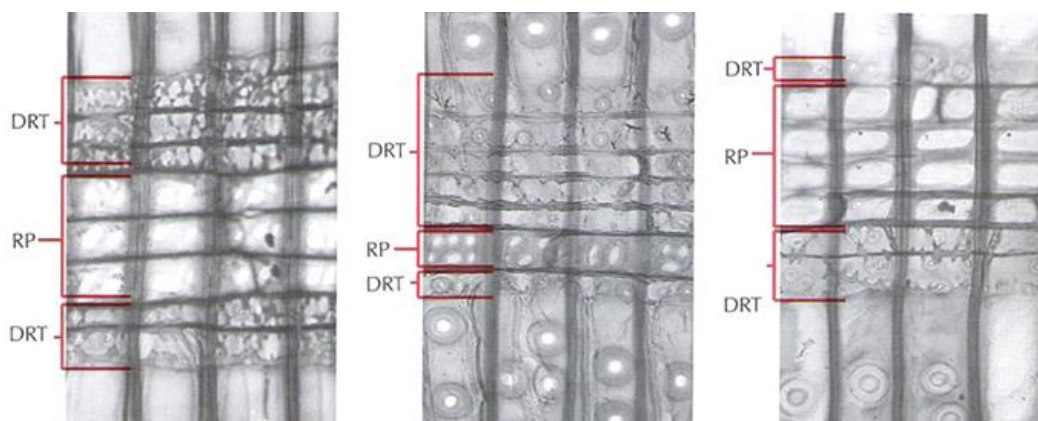


Figura 131 - Células radiais dentadas (DRT) e parênquima radial (RP) em (esquerda) *Pinus* subgénero *strobos*, (centro) *Pinus ponderosa*, (direita) *Pinus resinosa* (Hoadley: 1990, p. 148).

Os traqueídeos radiais dividem-se ainda, consoante a sua disposição no raio, em:

- Traqueídeos radiais marginais – quando surgem unicamente nos limites do raio;
- Traqueídeos radiais disseminados – quando se dispõem alternados entre fileiras de parênquima radial (Esteban et al.: 2002).

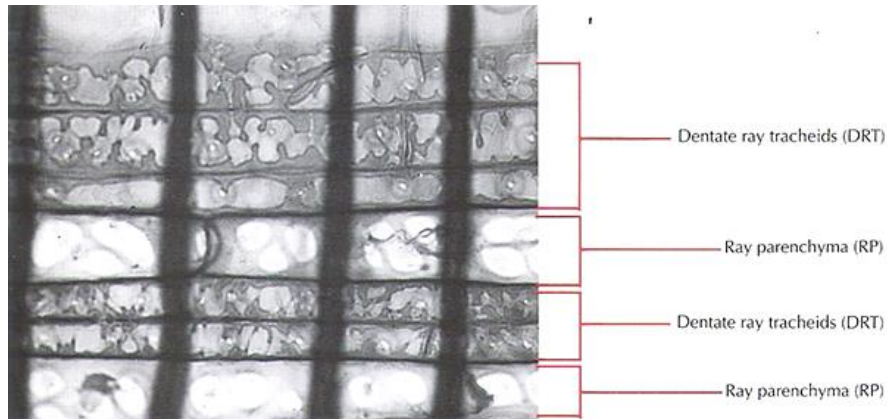


Figura 132 - Traqueídeos radiais disseminados (RP) em *Pinus palustris* entre fiadas de traqueídeos radiais dentados (DRT) (600x) (Hoadley: 1990, p. 25).

Em virtude da natureza das suas paredes, da sua localização no raio entre outros fatores, os traqueídeos são de grande valor analítico (Esteban et al.: 2002). Este valor é ampliado pela presença vulgar de inclusões de taninos e cristais e pelo seu tipo e disposição (Bessa: 2009).

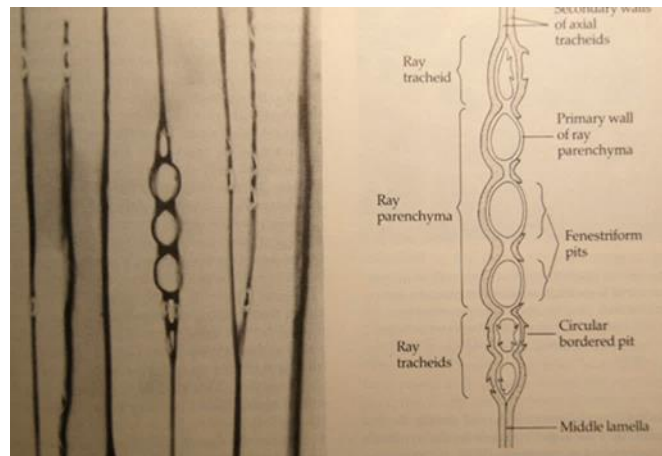


Figura 133 - Representação gráfica de raio de *Pinus strobus* exemplificando as características das suas pontuações. A célula do topo e as duas da base são traqueídeos com três células de parênquima ao meio com pontuações de campo de cruzamento fenestriiformes (Mauseth: 1988, p. 323).

### 3.9.3.2 Células de parênquima radial

Neste ponto, deter-nos-emos apenas nas características definidoras das células do parênquima radial, já que as células epiteliais dos canais resiníferos radiais são análogas às dos canais resiníferos axiais.

As células do parênquima radial distinguem-se pelo tipo das suas pontuações, pela existência de restos protoplasmáticos que se tingem de escuro, pelas suas paredes laterais (no sentido do raio) lisas ou ponteadas e, pelas paredes terminais lisas ou noduladas.

#### 3.9.3.2.1 Campos de Cruzamento

Um dos elementos de maior importância para a diferenciação de espécies de coníferas é o chamado campo de cruzamento que consiste na área em que os elementos transversais entram em contacto com os elementos axiais (Esau: 1977; Cutter: 1978; Cutler: 1978) ou, mais especificamente, na área que é limitada pelas paredes horizontais das células de parênquima radial e pelas paredes dos traqueídeos axiais. As pontuações nos campos de cruzamento são muito específicas e têm como característica comum serem semi areoladas com a bordadura sempre do lado do traqueídeo. Estas variam em número e disposição e são de grande valor analítico (Esau: 1977).

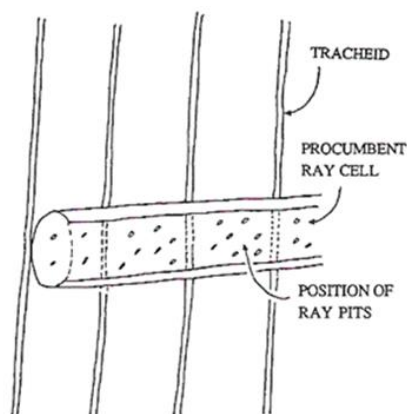


Figura 134 - Representação gráfica da localização do campo de cruzamento na área de contacto entre a fiada de células radiais e células axiais (Hather: 2000, p. 6).

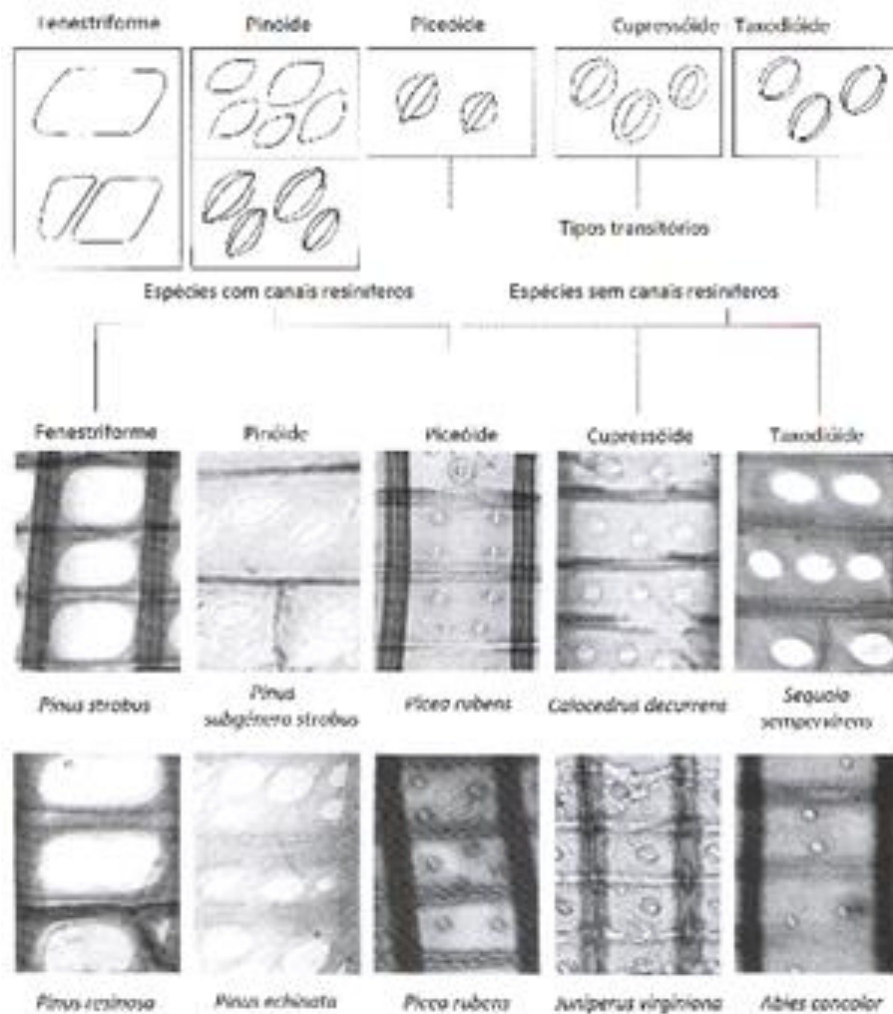


Figura 135 - Principais tipos de pontuações de campo de cruzamento e espécies onde são presentes (Hoadley: 1990, p. 26).

É de grande importância a observação dos nódulos presentes na parede axial ou terminal das células de parênquima radial, assim como das paredes horizontais as quais se podem apresentar lisas ou com pontuações simples.

Como referido, no campo de cruzamento surgem cinco tipos distintos de pontuações que passamos a nomear:

- Tipo I, pontuações Fenestriforme ou Pinóide I de Beverluis (Bessa: 2009 *apud* Phillips: 1948) - São pontuações que ocupam a quase totalidade do campo de cruzamento, ostentam uma forma retangular praticamente sem rebordos e surgem vulgarmente solitárias ou em grupos de duas;

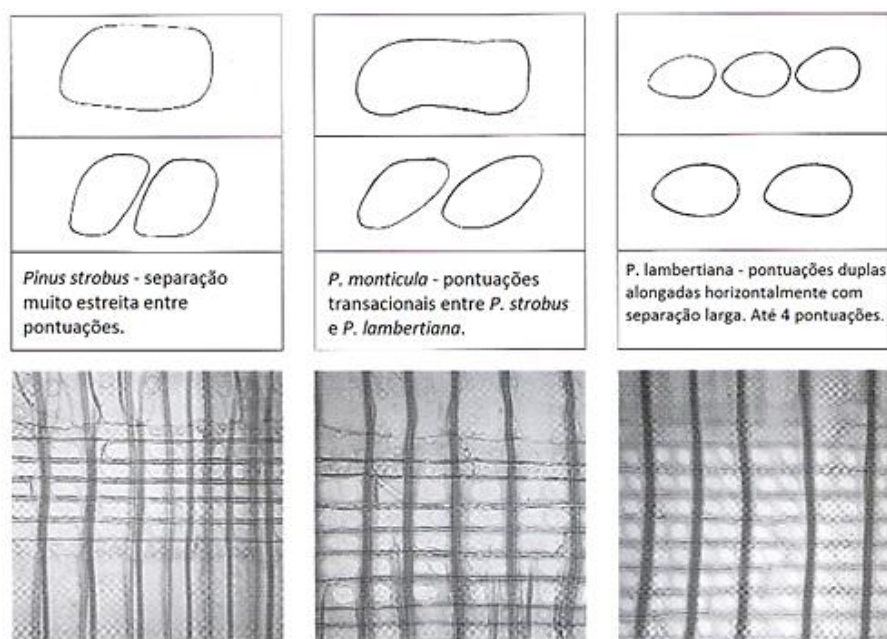


Figura 136 - Variação das pontuações de campo de cruzamento Fenestriforme (Hoadley: 1990, p. 146).

- Tipo II, pontuações Pinóides ou Pinoide II de Beverluis - Apresentam uma forma arredondada/elíptica, sem rebordos e podem chegar às cinco pontuações por campo.

É importante referir que nestes dois tipos (I e II) o canal da pontuação é limitado por um cilindro reto ou obtuso pouco pronunciado;

- Tipo III, pontuações Piceóides - Pontuações com uma forma ovalada com abertura, tamanho e forma bastante variável, podendo ser muito estreita, larga ou oblíqua e ultrapassando os seus extremos. Esta variação levou alguns autores a subdividirem-nas em Araucarióide, Abietóide e Piceóide consoante o tamanho da sua abertura e forma mais ou menos elíptica. Ostentam bordadura e o seu número por campo é muito variável;
- Tipo IV, pontuações Cupressóides - Pontuações com forma ovalada, com bordadura, sendo que a sua abertura não ultrapassa os limites da mesma;
- Tipo V: pontuações Taxodióides - As aberturas surgem entre circulares e elípticas e chegam aos limites da mesma. Surge com bordaduras.

Ocasionalmente, as células de parênquima radial albergam nas proximidades das paredes axiais, umas discretas fendas que se situam sobre as paredes horizontais e que possuem, também elas com grande valor analítico, já que a sua presença é específica. A estes elementos dá-se o nome de fendas radiais e, pela sua diminuta escala, a sua observação requer grandes ampliações (Esteban et al.: 2002).

Burger & Richter (1991) salientam ainda, que ocasionalmente podem surgir raios constituídos exclusivamente por traqueídeos radiais, constituindo-se assim como homocelulares.

### 3.10 ANATOMIA DA MADEIRA DE FOLHOSAS (ANGIOSPÉRMICAS LENHOSAS)

A distinção entre gimnospérmicas e angiospérmicas fundamenta-se, antes de mais, por estas últimas possuírem as suas sementes (do Latim *sperma* = semente) cobertas por um invólucro (do Grego *Aggeion* = vaso/vascular) (Esteban et al.: 2003).

As angiospérmicas dividem-se tradicionalmente entre monocotiledóneas e dicotiledóneas; a distinção entre ambas baseia-se em primeiro lugar na morfologia das suas folhas e do seu sistema radicular assim como na organização dos seus tecidos vasculares (Moreira: 2010). De uma maneira geral as espécies monocotiledóneas caracterizam-se por terem feixes vasculares fechados, sem câmbio. Nas dicotiledóneas, os feixes vasculares são abertos e o crescimento secundário fruto da atividade do câmbio resulta em dois grandes sistemas condutores: o xilema, por onde circula a seiva bruta, e o floema, por onde circula a seiva elaborada (Esau: 1977; Cutter: 1978).

Segundo Esau (1977) nestas espécies, a secção transversal do xilema secundário mostra uma organização seriada mais ou menos alterada pela presença dos vasos, os quais, geralmente de grande escala em relação aos restantes elementos, vão pressionar, deformar e deslocar a estrutura celular circundante.

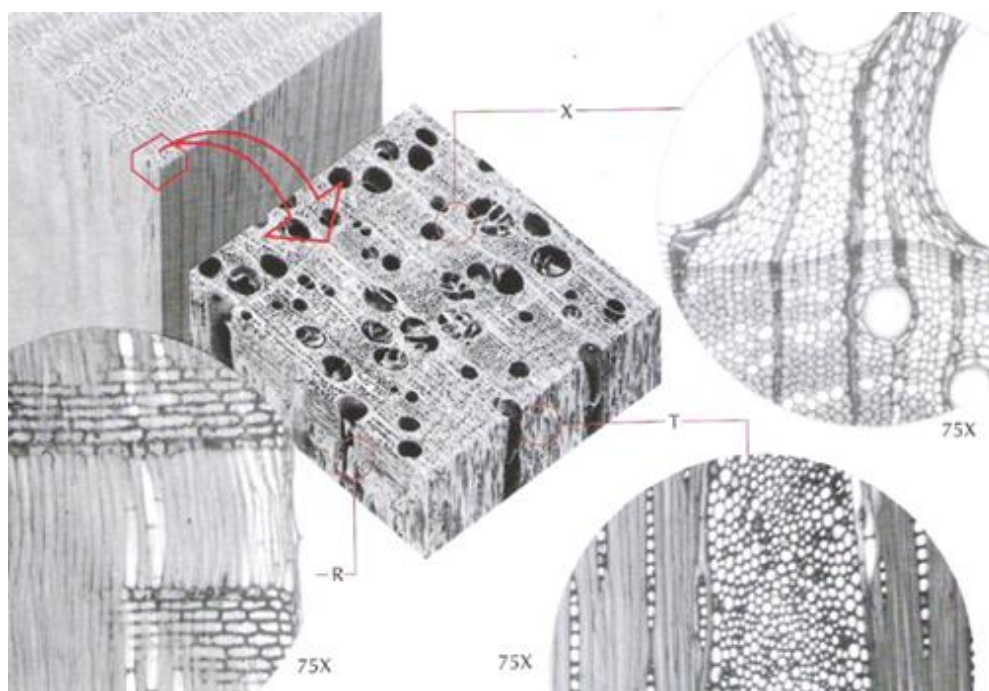


Figura 137 - Esquema da estrutura de uma folhosa em *Quercus rubra*. (Secção transversal) X. (Secção tangencial) T. (Secção radial) R (Hoadley: 1990, p. 30).

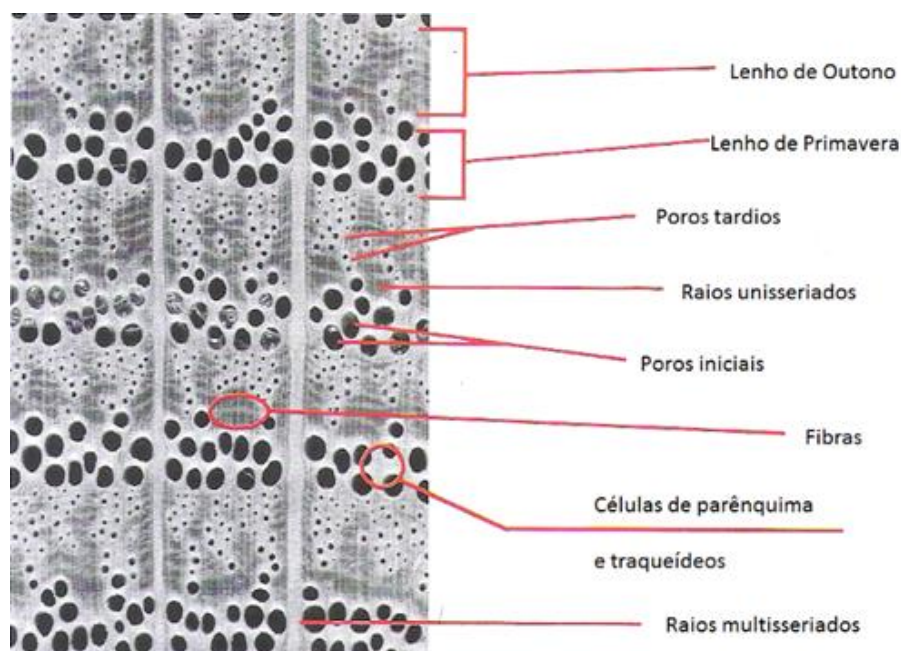


Figura 138 - Estrutura do lenho em *Quercus rubra* (Hoadley: 1990, p. 29).

### 3.10.1 Elementos do Sistema Axial

Os elementos de vaso ou segmentos de vaso (Carlquist: 1988) são as células que se formam a partir dos elementos fusiformes do câmbio, sendo que, quanto à forma, estes elementos podem variar desde o formato de tubo ao de barril, passando por formas afuniladas, mas sempre com os extremos perfurados. Quanto às dimensões variam desde curtos e largos até estreitos e muito compridos (Carlquist: 1988; Mauseth: 1988).

A distinção entre estes diferentes elementos pode ser difícil por se poderem dispor obliquamente em relação ao eixo da planta, não ficando em consequência, por exemplo, presente qualquer placa de perfuração e serem, muitas vezes, de dimensões diminutas. Por esta razão, Carlquist (1988) ressalta que o uso da dissociação de madeira para a sua identificação e estudo é altamente recomendada.

Nas Angiospérmicas os elementos vasculares e de suporte são basicamente de cinco tipos principais:

- **Elementos de vaso;**
- **Traqueídeos vasculares;**
- **Traqueídeos vasicentricos**
- **Fibrotraqueídeos;**
- **Fibras liberiformes.**

#### 3.10.1.1 Elementos de vaso

Estas células, frequentemente designadas por poros quando vistas em secção transversal são o primeiro fator de caracterização para a identificação das espécies dentro das angiospérmicas.

A variação existente no seu tamanho, frequência, disposição, agrupamento, perfurações, pontuações, comprimento, apêndices terminais e espessura da parede, são essenciais para a

identificação da espécie em questão (Bessa: 2009 *apud* IAWA: 1989). Este tipo de células, apesar de ser o primeiro elemento definidor de uma espécie folhosa, não é no entanto omnipresente dentro deste grupo vegetal, sendo que, como já referido anteriormente (ponto 3.8.3), existem algumas famílias de dicotiledóneas que não apresentam vasos, sendo o seu xilema constituído inteiramente por traqueídeos e parênquima. Distinguem-se das coníferas pela presença de raios multisseriados. Falamos das seguintes famílias: *Amborellaceae*, *Tetracentraceae*, *Trochodendraceae*, *Winteraceae* (Esteban et al.: 2003) e *Pseudowintera* (Bessa: 2009)<sup>54</sup>.



Figura 139 - Representação gráfica de elemento de vaso (Carlquist: 1988, p. 56).

#### 3.10.1.1.1 Padrões de disposição de porosidade

A distribuição dos elementos de vaso no xilema é, na maior parte dos casos, identificável a olho nu ou com recurso a uma pequena ampliação de 10x a 25x. Esta distribuição varia consoante o género, a espécie e também consoante a idade da planta e as condições ambientais em que esta se desenvolve (Bessa: 2009). Este padrão de distribuição é sumariamente agrupado em três tipos distintos os quais se apresentam, porém, frequentemente interligados:

- Porosidade em anel - Quando o diâmetro dos vasos de primavera é distintamente maior do que o apresentado pelos vasos de primavera. Comum em espécies como *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Ulmus americana*;
- Porosidade semi difusa - Quando o diâmetro dos vasos de primavera decresce de forma progressiva até à madeira de primavera. Comum em espécies como *Juglans regia*, *J. nigra*, *Pterocarpus indicus*, incluindo (Bessa: 2009 *apud* IAWA: 1989) nesta categoria o género *Swietenia* spp;

<sup>54</sup> BESSA, 2009, *apud* IAWA, 1989; CARLQUIST, 2001; SCHWEINGRUBER, 2007.

- Porosidade difusa - Quando o diâmetro dos vasos de primavera é praticamente igual ao dos vasos de primavera. Comum em *Acer* spp., *Populus* spp., *Swietenia* spp. (Esau: 1977; Esteban et al.: 2003).

É relevante salientar que outras designações podem ser encontradas na literatura especializada, resultando estas de organizações intermédias dos elementos de vaso (Carlquist: 1988). Algumas espécies que normalmente apresentam vasos isolados em regiões áridas podem apresentar agrupamento de vasos noutras latitudes (Carlquist: 1988 *apud* Carlquist: 1984).

Além da organização dos vasos, também a sua densidade, número de vasos por mm<sup>2</sup> em qualquer área do anel é reconhecível macroscopicamente além de ser, igualmente, outro fator distintivo tido em conta nas chaves de identificação.

Por ser altamente variável nas diferentes espécies, foram definidos valores padrão que são posteriormente aplicados como fatores de identificação. Os limites mais comuns são:

- Vasos em número menor ou igual a 5;
- Vasos em número entre os 5 e os 20;
- Vasos em número entre os 20 e os 40;
- Vasos em número entre os 40 e os 100;
- Vasos em número maior ou igual a 100 (Carlquist: 1988; Esteban et al.: 2003).

A sua dimensão média é igualmente um elemento de caracterização, definindo-se como valores médios:

- Vasos estreitos (apenas discerníveis à lupa) – < 25 µm;
- Vasos médios (difíceis de observar à vista desarmada) – entre 25 e 200 µm;
- Vasos grandes (facilmente identificáveis à vista desarmada) – entre 200 e 300 µm;
- Muito grandes – > 300 µm (Esteves: 2001).

#### 3.10.1.1.2 Placas de perfuração

Quando se fala de vasos, fala-se na realidade de verdadeiros tubos para a condução de água e sais minerais dissolvidos ao longo do corpo da planta e sendo formados pela união longitudinal de células individuais os elementos de vaso. (Carlquist: 1988; Mauseth: 1988).

Os elementos de vaso comunicam entre si pelos topos através de regiões das paredes terminais que são parcial ou totalmente hidrolisadas no decurso da diferenciação. A estas paredes terminais parcial ou totalmente hidrolisadas dá-se o nome de placas de perfuração. (Carlquist: 1988; Mauseth: 1988).

As placas de perfuração são um valioso elemento de distinção entre espécies e apresentam-se nos seguintes tipos:

**Placas de perfuração simples** – são as mais vulgares. A sua parede terminal é completamente degradada, resultando uma comunicação completamente livre entre os elementos vasculares (Esau: 1977). Apresentam uma bordadura (Carlquist: 1988), exceção feita a *Ehretia armata* (Frost: 1930). Estas placas de perfuração estão presentes em *Populus* spp., *Salix* spp., *Fraxinus* spp., *Acer* spp., *Entandrophragma* spp., *Pterocarpus* spp. entre outros. Na *Castanea sativa* este tipo de perfuração surge nos vasos do lenho de primavera;

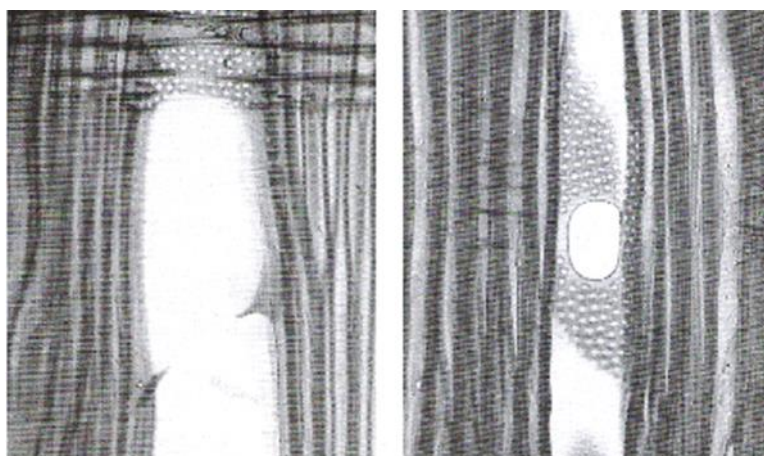


Figura 140 - Placa de perfuração simples em *Acer* spp. (esquerda) vista tangencial. (direita) vista radial (Hoadley: 1990, p. 36).

**Placas de perfuração escalariformes** – enquadram-se tal como as seguintes nas placas de perfuração multiperfuradas (Esau: 1977) e são, dentro destas as mais comuns (Bessa: 2009)<sup>55</sup>.

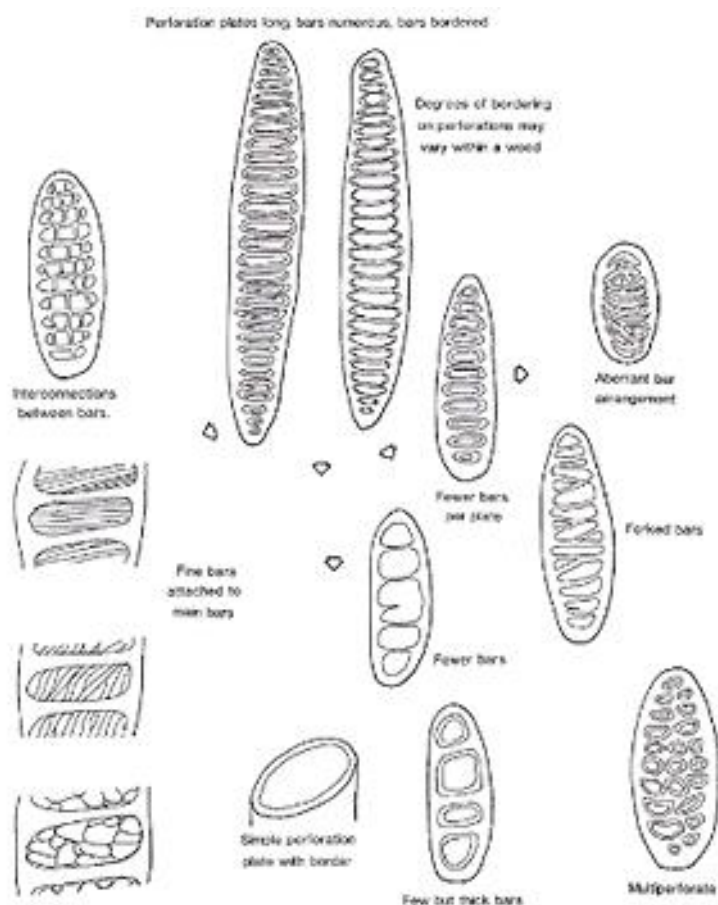


Figura 141 - Representação gráfica de alguns exemplos apenas das variações possíveis nas placas de perfuração escalariformes (Carlquist: 1988, p. 61).

<sup>55</sup> BESSA, 2009, *apud* WHEELER&BASS, 1991; CARLQUIST, 2001; GOULART&MARCATI, 2008.

Formam-se pela reabsorção parcial da membrana septal de forma a deixar remanescentes de parede em forma de barras.

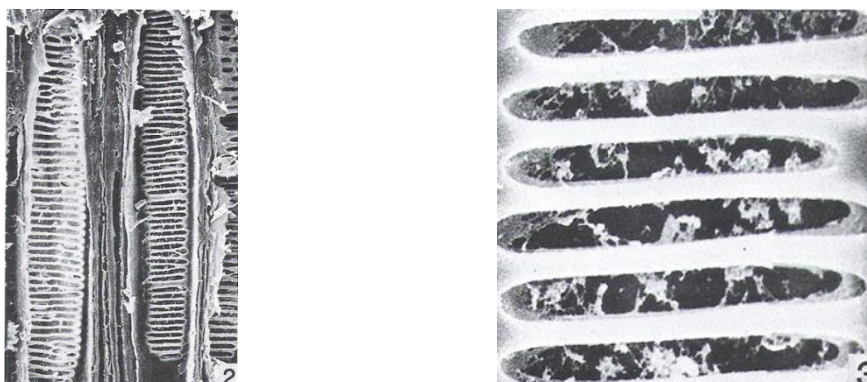


Figura 142 - Placa de perfuração escalariforme em *Illiciaceae floridanum* (2). Ampliação da imagem anterior (3) (Carlquist: 1988, p. 59).

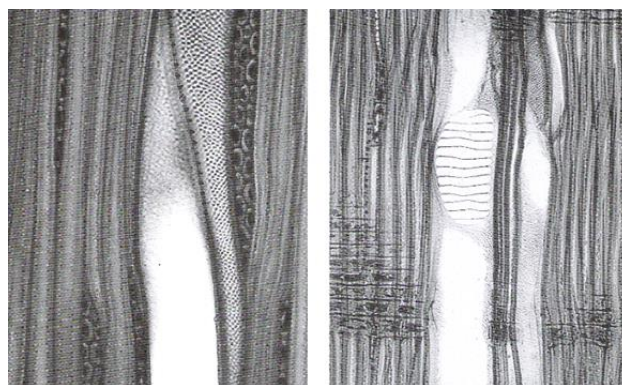


Figura 143 - Placa de perfuração escalariforme em *Betula alleghaniensis*, (esquerda) vista tangencial. (direita) vista radial (Hoadley: 1990, p.36).

Estas barras dispõem-se paralelamente entre si, embora, segundo Carlquist (1988) possam apresentar ligações oblíquas entre barras e dispor-se de forma mais “maleável” e orgânica e, mesmo não se estendendo a toda a largura da placa de perfuração, sendo, o seu número usado nas chaves de identificação como elemento diferenciador entre grupos taxonómicos (Esteban et al.: 2003).



Figura 144 - Placa de perfuração escalariforme com ligações oblíquas nas barras - imagem (1) *Roridula dentata* - obtida com recurso a microscopia eletrónica de varrimento. Imagem (4) *Notobuxus natalensis* – imagem obtida com recurso a microscopia ótica (Carlquist: 1988, p. 67).

Assim, estabeleceu-se como intervalos:

- <10 barras – *Corylus avellana*, *Liriodendron tulipifera*, *Coula edulis*, *Goupia* spp, entre outras.
- Entre 10 e 20 barras – *Betula verrucosa*, *Altingia excelsa*, *Liquidambar styraciflua*, entre outras.
- Entre 20 e 40 barras – *Dicoryphe stipulacea*, *Nyssa ogeche*, *Staphylea pinnata*, entre outras.
- >40 barras – *Aextoxicon punctatum*, *Hedyosmum* spp., *Dollenia tríquetra*, entre outras.

A *Castanea sativa* possui esta tipologia de placas de perfuração nos vasos de lenho de primavera, sendo que *Fagus sylvatica* apresenta indistintamente placas de perfuração simples e escalariformes (Cutter: 1978; Esteban et al.: 2003);

**Placas de perfuração reticuladas** - Esau (1977) descreve-as como apresentando um padrão tipo rede e Cutter (1978) como numerosos pequenos poros separados por uma rede de espessamentos da parede secundária.



Figura 145 - Placa de perfuração reticuliforme em *Roridula dentata* (Carlquist: 1988, p. 67).

**Placas de perfuração foraminadas ou efedróides** – apresentam-se com uma parede perfurada por múltiplos orifícios mais ou menos circulares. Bessa (2009) *apud* IAWA (1989) descreve-as como o tipo de perfuração mais raro. Apresentam-se com um grupo de aberturas circulares areoladas como é o caso em *Oroxylum indicum*. Porém, Mauseth (1988) *apud* Chalk (1983) refere que este tipo de placas de perfuração podem igualmente ser nomeadas de foraminadas e estão presentes em famílias como as *Begoniaceae*, *Dilleniaceae*, *Ephedraceae*, *Ericaceae* e *Myrothamnaceae*.

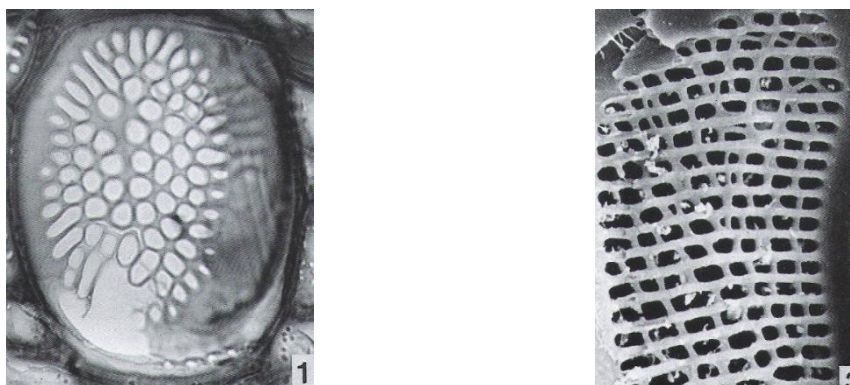


Figura 146 - Placa de perfuração foraminada ou efedroide. (1) *Staphylea bumalda* - imagem obtida com recurso a microscopia ótica. (3) *Myrothamnus flabellifolia* - imagem obtida com recurso a microscopia eletrónica de varrimento (Carlquist: 1988, p. 69).

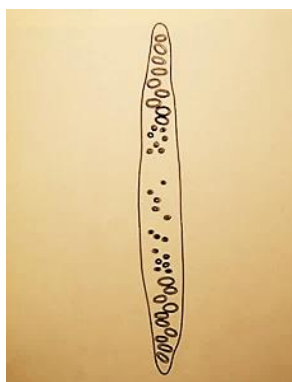


Figura 147 - Representação gráfica de placas de perfuração efedróides (Mauseth: 1988, p. 120).

Carlquist (1988) faz referência também a aberrações. Estas são placa de perfuração com disposições eventualmente transitórias e difíceis de definir.



Figura 148 - Placa de perfuração aberrante em *Castanopsis chrysophylla* (Carlquist: 1988, p. 67).

Do ponto de vista evolutivo é aceite entre os especialistas que placas multiperfuradas resultam de uma estrutura primitiva nas folhosas e que se formam quando o septo está inclinado em relação ao eixo longitudinal do vaso, sendo que, quando a especialização aumenta os vasos apresentam-se mais grossos e os septos desenvolvem-se praticamente na horizontal, produzindo-se então uma perfuração simples.

Ocasionalmente um elemento de vaso pode apresentar perfurações de tipo distinto em cada um dos seus extremos (Cutter: 1978) e mesmo exceções e interligações entre tipos, já que a evolução tipicamente não fornece categorias mutuamente exclusivas (Carlquist: 1988).

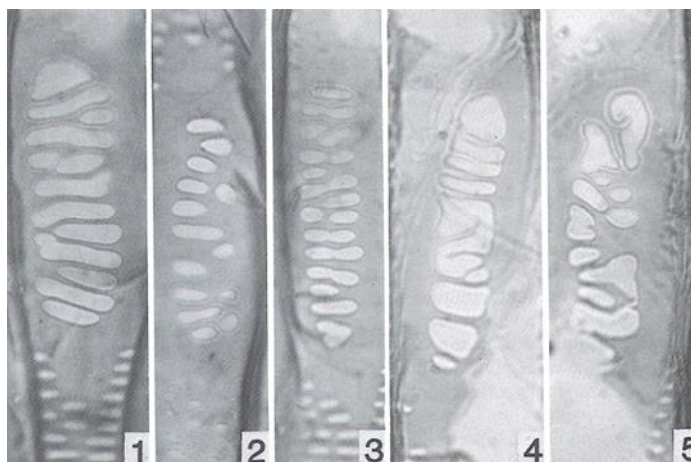


Figura 149 - Placas de perfurações de tipo variante em *Patrinia villosa* (Carlquist: 1988, p. 71).

### 3.10.1.1.3 Pontuações

As pontuações são de grande valor identificativo tanto pela sua natureza, disposição e tamanho como pelos diversos tipos que se podem apresentar nas paredes dos elementos de vaso. São muito variáveis quanto à forma, dependendo esta do tipo de células adjacentes com as quais têm comunicação.

Quando em comunicação entre elementos condutores as pontuações são areoladas, sendo que, se em comunicação com elementos de parênquima se podem apresentar areoladas, semi areoladas ou simples. Burger & Richter (1991) acrescentam que nas áreas de contacto entre elemento de vaso e fibra, a presença de pontuação é rara ou não existe de todo. Da mesma forma, referem que os elementos de vaso isolados não apresentam pontuações intervasculares nas suas paredes.

Além desta definição genérica temos ainda as pontuações presentes no chamado campo de cruzamento (entre os elementos de vaso e os raios lenhosos) as quais, não só apresentam um aspeto diferenciado quanto às suas dimensões e natureza como também pelo tipo de agrupamento que ostentam.

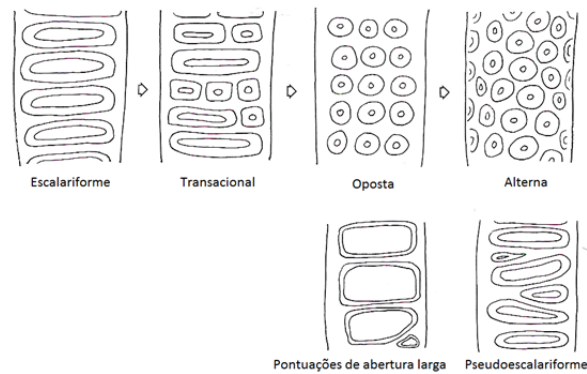


Figura 150 - Representação gráfica dos principais tipos de pontuação presentes em elementos de vaso (Carlquist: 1988, p. 74).

Quanto à sua disposição na parede do elemento de vaso, as pontuações designam-se por:  
**Pontuações alternas** – dispõem-se inclinadas com relação ao eixo do elemento de vaso apresentando-se geralmente poligonais. São o tipo de pontuações mais frequente em Dicotiledóneas. Presentes em *Leguminosae*, *Meliaceae*, *Sapindaceae* entre outras (Carlquist: 1988);

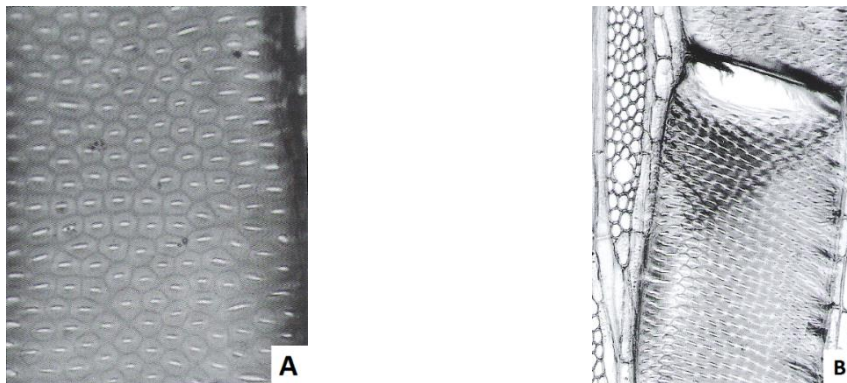


Figura 151- (A) Pontuações alternas em *Brosimum* spp. (Carlquist: 1988, p. 75). (B) Pontuações alternas em *Antiaris africana* (Esteban et al:2003, p. 78).

**Pontuações escalariformes** – apresentam-se alargadas, geralmente paralelas entre si e dispostas linearmente com o seu eixo perpendicular ao do elemento de vaso. Incomuns quando no faceamento entre dois elementos de vaso. Comuns em *Rizophora* spp., *Laurelia* spp. entre outras;

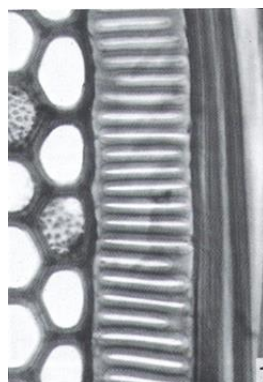


Figura 152 - Pontuações escalariformes em *Magnolia grandiflora* (Carlquist: 1988, p. 75).

**Pontuações de transição** – constituem-se como um período de transição entre as pontuações escalariformes e as opostas. Neste caso, parte considerável das pontuações não se estende completamente por toda a parede lateral visível, formando-se neste espaço duas ou mesmo três pontuações, ao passo que nas pontuações escalariformes existe apenas uma (Carlquist: 1988);

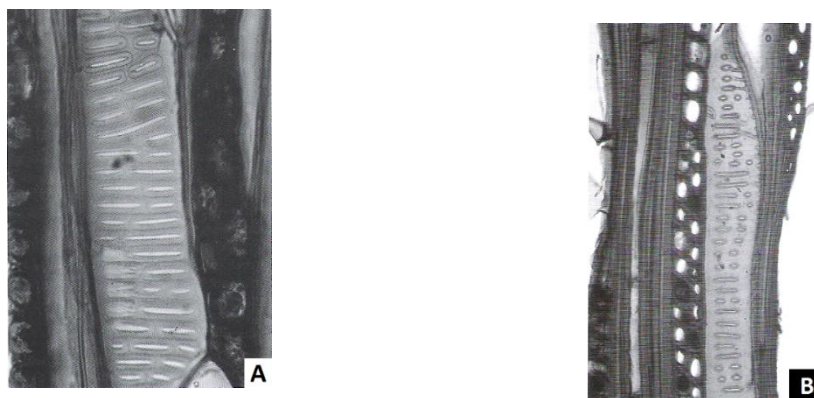


Figura 153- Pontuações de transição entre opostas e alternas em (A) *Nothofagus antarctica* (Carlquist: 1988, p. 75) e em (B) *Liquidambar styraciflua* (Hoadley: 1990, p. 134).

**Pontuações pseudoescalariformes** - definem-se como num ponto intermédio entre uma pontuação escalariforme e transacional. Estas pontuações assemelham-se a um alongamento lateral da pontuação num padrão alterno, ou seja, não totalmente laterais entre si, além disso, adotam formas menos paralelas logo, como que mais triangulares (Carlquist: 1988);

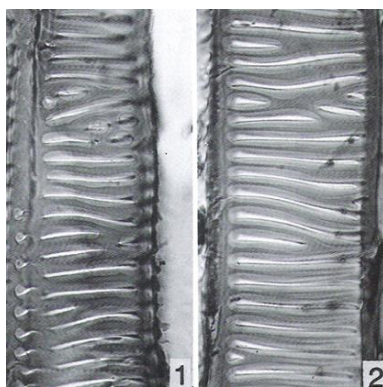


Figura 154 - Pontuações pseudoescalariformes em (1) *Euphorbia lactea*, (2) *Euphorbia candelabrum* (Carlquist: 1988, p. 77).

**Pontuações opostas** – distribuem-se em alinhamentos horizontais transversais ao eixo do elemento de vaso. Genericamente são arredondadas mas podem igualmente apresentar-se ovais ou elípticas. Carlquist (1988) sublinha que quando presentes em elementos de vaso a facearem-se entre si, parte das pontuações presentes podem igualmente ser transacionais. Comuns em *Liriodendron* spp., *Nyssa ogeche* entre outras;

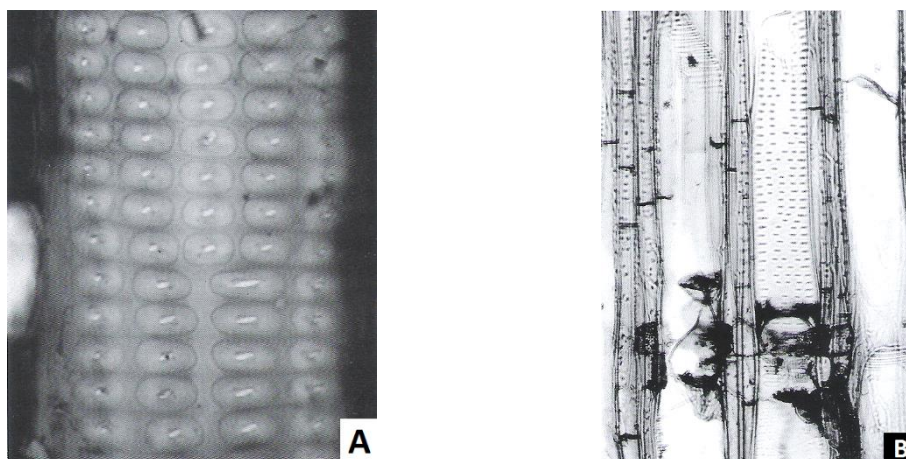


Figura 155- Pontuações opostas em (A) *Peridiscus lucidus* (Carlquist: 1988, p. 75) e em (B) *Serrotia ovata* (Hoadley: 1990, p. 78).

**Pontuações revestidas** – são pontuações intervasculares com projeções na parede secundária e ou na bordadura da abertura. Frequentes em *Leguminosae* e igualmente em famílias como *Combretaceae*, *Lythraceae*, *Myrtaceae* e *Rubiaceae*;

Carlquist (1988) assinala igualmente as pontuações anômalas sem desenvolver sobre o assunto;



Figura 156 - Pontuações anômalas em *Ludwigia anastomosans* (Carlquist: 1988, p. 77).

Semelhantes às pontuações escalariformes são as presentes nos campos de cruzamento entre os elementos de vaso e os traqueídeos vasculares. Por outro lado as que comunicam com fibras liberiformes e fibrotraqueídeos distribuem-se em alinhamentos verticais e apresentam-se estreitas e quase verticais (Carlquist: 1988).

#### 3.10.1.1.4 Espessamentos helicoidais

São o elemento identificativo final que surge na face interna da parede secundária do elemento de vaso e podem estar generalizados a todos os elementos de vaso, apenas a alguns, ou mesmo a uma zona específica do elemento de vaso.

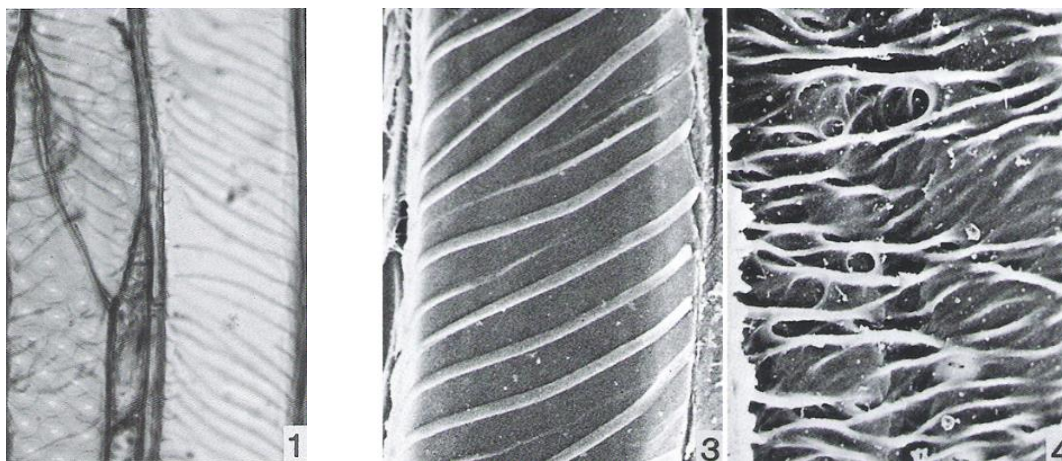


Figura 157 - Espessamentos helicoidais em (1) *Buddleja globosa* - imagem obtida com recurso a microscopia ótica. em (2) *Tilia americana* e, espessamentos com tendência para aparência reticulada em (3) *Olea cunninghamii*. Imagens obtidas com recurso a microscopia eletrónica de varrimento (Carlquist: 1988, p. 98-100).

Tem grande valor referencial já que a sua presença nos extremos do elemento de vaso ou, pelo contrário, na sua totalidade é específico consoante a espécie.

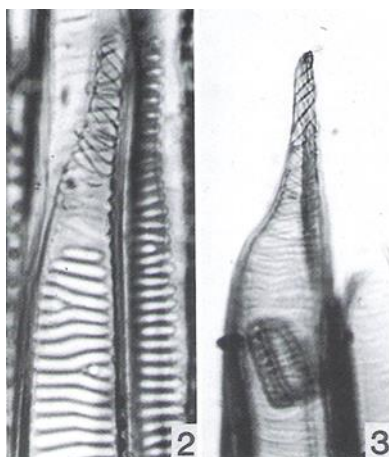


Figura 158 - Espessamentos helicoidais nos limites de elementos de vaso em *Pentaphylla arborea* (Carlquist: 1988, p. 100).

Os espessamentos helicoidais são típicos em géneros como *Tilia* e *Acer*, ao passo que em géneros como o *Ulmus* estes surgem em elementos mais pequenos e nos traqueídeos vasculares (Esteban et al.: 2003).

#### 3.10.1.1.5 Tipos de Poros

Os elementos de vaso quando numa secção transversal denominam-se poros e têm na sua distribuição e organização um dos mais importantes fatores no que concerne à identificação de espécies lenhosas.

A sua disposição no anel de crescimento permite a nomeação dos seguintes tipos:

**Poros solitários** – quando o elemento de vaso se apresenta só e isolado dos restantes por um tipo de células diferente. Apresentam geralmente secção redonda ou ovalada com o eixo maior no sentido radial. Para que sejam colocados nesta categoria a frequência de elementos de vaso isolados deve ascender aos 90%. Presente em *Malus sylvestris*, *Eucalyptus regnans* entre outras;

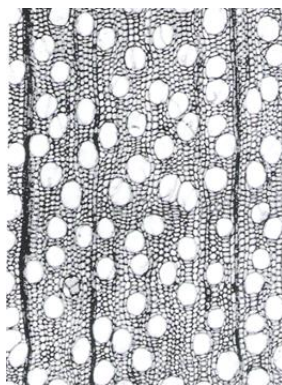


Figura 159 - Poros solitários em *Symplocos amplifolia* (Esteban et al: 2003, p. 80).

**Poros múltiplos radiais** – quando dois ou mais vasos se encontram agrupados no sentido radial. Também se designam por poros em cadeia. Comum em *Ilex aquifolium*, *Gambeya excelsa* entre outras. Esta designação comporta também a disposição dos poros em zig-zag, podendo nesse caso ser classificado como poros múltiplos radiais flamejados. É comum em *Eucalyptus diversicolor*, *E. obliqua*, *Lithocarpus edulis* entre outras;



Figura 160 - Poros múltiplos radiais em *Manilkara bidentata* (Esteban et al: 2003, p. 81).

**Poros agrupados** – quando vários elementos de vaso estão extremamente próximos entre si podendo sugerir numa análise pouco atenta tratar-se de um poro único, apenas com divisórias internas. Porém, estes poros mantêm a sua completa integridade. Presente em *Gleditsia triacanthos*, *Ailanthus altissima*, *Gymnocladus dioica* entre outras;



Figura 161- Poros agrupados em (A) *Robinia pseudoacacia* (Bowes: 1996, p. 69) e em (B) *Kalanchoe beharensis* (Carlquist: 1988, p. 47).

Dentro deste tipo de distribuição, distinguem-se ainda três agrupamentos.

Poros agrupados tangenciais – pequenos grupos mas com uma organização tangencial.  
Presente em *Pittosporum tobira*, *Kalopanax pictus*, *Maclura pomifera* entre outras;

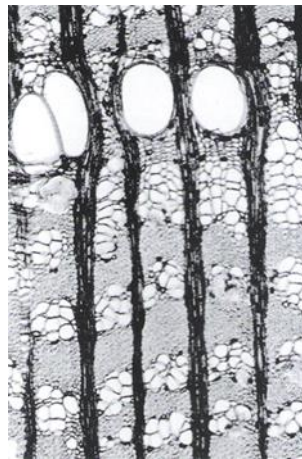


Figura 162 - Poros agrupados tangenciais em *Ulmus campestris* (Esteban et al: 2003, p. 82).

Poros agrupados radiais - grupos de dimensões variáveis e com organização radial.  
Presente em *Magnolia grandiflora* (Carlquist: 1988);

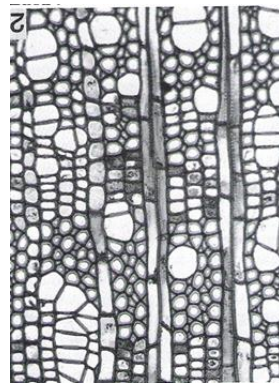


Figura 163 - Poros agrupados radiais em *Magnolia grandiflora* (Carlquist: 1988, p. 47).

Poros agrupados flamejados - Carlquist (1988) nomeia-os como poros em agregações diagonais já em substituição de classificações anteriormente propostas por outros autores. Constituem-se como poros em pequenos grupos mas organizados em maior ou menor quantidade em forma de zig-zag. Presente em *Rhamnus cathartica*, *Rhus armatica*, *Bumelia leguminosa* entre outras (Carlquist: 1988; Esteban et al.: 2003).



Figura 164 - Poros agrupados flamejados em *Rhamnus alaternus* (Esteban et al: 2003, p. 82).

#### 3.10.1.1.6 Tiloses

Os elementos de vaso podem ocasionalmente apresentar-se obstruídos pela penetração de células que os rodeiam, sendo esta penetração levada a cabo através das pontuações presentes nas suas paredes. Entre outras razões, a formação das tiloses tem como origem a entrada dos vasos num estado de inatividade ou redução das suas funções, o que faz com que a pressão no seu interior se reduza substancialmente pela inexistência de água (Esau: 1977; Cutter: 1978), a qual é substituída por ar mais ou menos rarefeito (Moreira: 2010 *apud* Vasconcellos & Coutinho: 1960). Daqui surge uma diferença de pressão entre o elemento de vaso e os restantes elementos do xilema em seu redor (Carlquist: 1988) o que por sua vez vai promover a rutura de uma das paredes primárias de uma célula parenquimática, o que permite que esta excrescência, que até aí estava encerrada no interior da célula, se expanda até bloquear o elemento de vaso (Esau: 1977). Além de fatores físicos, a formação de tiloses é hoje reconhecida como um processo fisiológico normal na transição entre borne e cerne (Leitch et al.: 1999), uma resposta eco-fisiológica a estímulos ambientais (Feng et al.: 2013) sendo que a célula de parênquima digere a parede celular a nível da membrana da pontuação e parte do protoplasto evagina para o interior do elemento de vaso vazio<sup>56</sup>.

---

<sup>56</sup> Informação oral transmitida pelo Prof. Doutor José Pissarra, a quem agradecemos.

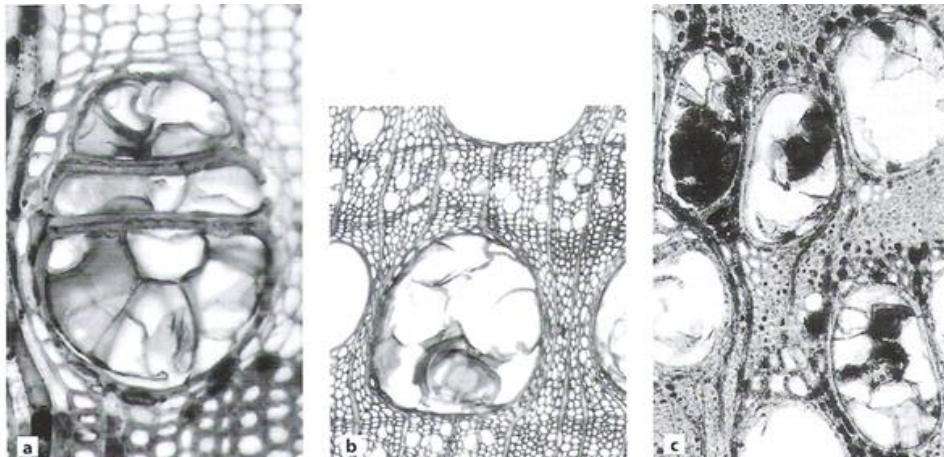


Figura 165 - Tiloses em elementos de vaso. (a) – tiloses de paredes espessadas acumuladas no poro em *Ficus* spp. (b) – tiloses de parede fina em poros do lenho de primavera em *Quercus robur*. (c) – tiloses de parede fina em poros do lenho de primavera mas com depósitos fenólicos sobre as tiloses, células de parênquima circundantes e restantes elementos do lenho em *Eucalyptus* spp. (Scheweingruber: 2007, p. 199).

As tiloses são particularmente comuns em espécies como *Castanea sativa*, *Robinia pseudoacacia*, *Eucalyptus acmenoides* e em géneros como *Quercus*. Possuem geralmente paredes finas e delicadas, embora em ocasiões específicas possam apresentar-se lenhificadas, adquirindo assim a designação de tiloses escleróticas.

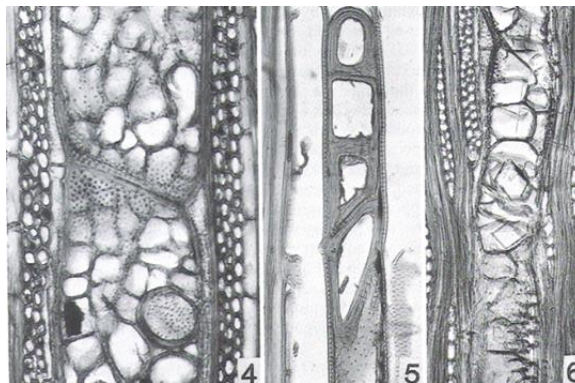


Figura 166 - Tiloses escleróticas – tiloses ligeiramente escleróticas em *Scytopetalum klaineana* (4). Tiloses fortemente escleróticas em *Fitchia speciosa* (5). Cristais envolvidos em tiloses em *Astronium balansae* (6) (Carlquist: 1988, p. 101).

Surgem normalmente em *Brosimum guianense*, *Chaetocarpus schomburgkianus* entre outras.

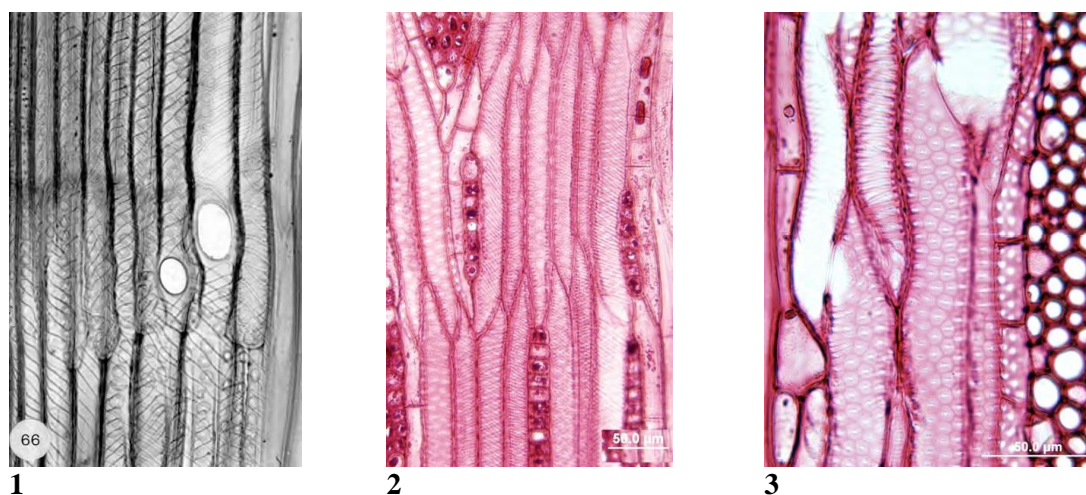
As tiloses não são porém os únicos elementos de inclusão dentro dos elementos de vaso. Temos igualmente de referir os depósitos gomosos ou calcários, os quais devem ser analisados com cuidado, já que podem ser confundidos com as já referidas tiloses escleróticas (Esteban et al.: 2003).

As espécies que possuem estas proliferações celulares têm, no que toca à utilização da sua madeira, uma secagem e impregnação com substâncias conservantes dificultada, dado que as tiloses obstruem as vias normais de circulação de líquidos. Porém, são igualmente barreiras contra a penetração de fungos xilófagos (Burger & Richter: 1991).

### 3.10.1.2 Traqueídeos e Fibras

#### 3.10.1.2.1 Traqueídeos vasculares

Este tipo celular é descrito por alguns autores como elementos vasculares imperfeitos ou degradados. Quando examinados longitudinalmente, são muito semelhantes a um elemento de vaso distinguindo-se deste apenas pela falta de placas de perfuração nos seus extremos e pela presença de pontuações areoladas. Estas pontuações areoladas estão igualmente presentes nas suas paredes transversais, assim como é frequente a presença de espessamentos helicoidais na face interna das suas paredes, o que pode resultar, aquando da observação da secção transversal, na leitura destes elementos como sendo elementos de vaso de pequenas dimensões. Ocorrem frequentemente em associação com porosidade em múltiplos ou em grupos, particularmente no lenho de outono. Comuns em *Celtis occidentalis*, *Sambucus nigra*, *Sophora japonica* entre outras. (Mauseth: 1988; IAWA: 1989; Esteban et al.: 2003; Moreira: 2010).



1  
2  
3  
Figura 167- Traqueídeos vasculares a rodear elementos de vaso com placas de perfuração simples em *Phellodendron amurense* (1). Elementos de vaso de pequenas dimensões entre traqueídeos vasculares em *Ulmus thomasii* (2). Placas de perfuração simples (setas negras) e traqueídeo vascular (seta vermelha) em *Celtis reticulata* (3) (IAWA: 1989, p. 269)

#### 3.10.1.2.2 Traqueídeos vasicêntricos

A morfologia destes elementos vasculares é muito diferente da dos traqueídeos vasculares. Possuem um diâmetro extremamente reduzido e embolizam menos do que os elementos de vaso de pequenas dimensões pelo que, no caso de bloqueamento das condições normais para a condução de líquidos, estes elementos funcionam como células de condução subsidiárias, mantendo assim a rede tridimensional de condução de água no tronco, em particular por se distribuírem maioritariamente em redor dos elementos de vaso (Carlquist: 1988).

Os traqueídeos vasicêntricos são muito abundantes em madeiras com porosidade anelar e nas proximidades do lenho de primavera. Estes elementos são característicos de dicotiledóneas de folhagem perene de áreas de climas altamente sazonais quanto à disponibilidade de água (Carlquist: 1988). Estão frequentemente associados ao parênquima longitudinal, do qual se diferenciam pelas suas pontuações areoladas.

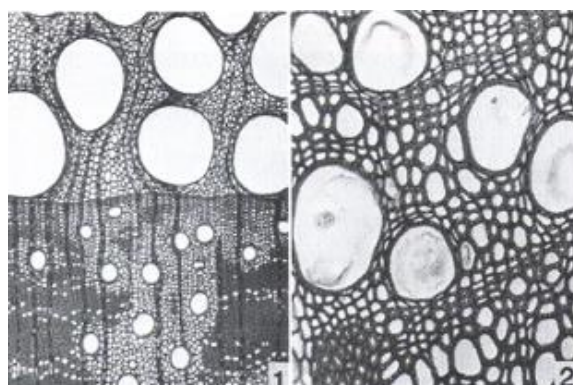


Figura 168 - Traqueídeos vasicêntricos em corte transversal – (1) traqueídeos vasicêntricos a rodear elementos de vaso e fibras liberiformes nas áreas mais escuras no canto inferior direito e esquerdo da imagem em *Quercus rubra*. (2) vista transversal em que apenas uma pequena área no canto inferior esquerdo da imagem contém fibras liberiformes, sendo o restante tecido composto por elementos de vaso grandes e pequenos, traqueídeos vasicêntricos e células de parênquima em *Clematis lasiantha* (Carlquist: 1988, p. 137).

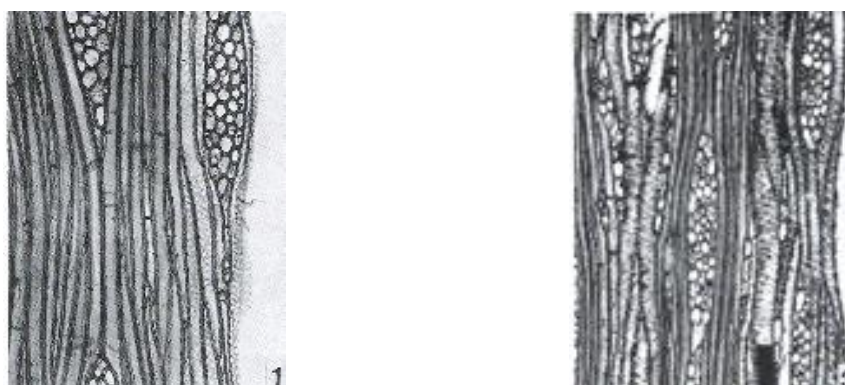


Figura 169 - Traqueídeos vasicêntricos em corte tangencial – (1) traqueídeos vasicêntricos perto de um elemento de vaso à direita na imagem e fibras liberiformes à esquerda destes em *Hedera helix*. (3) traqueídeos vasicêntricos com elemento de vaso à direita da imagem, fibras liberiformes no centro a rodear um raio e novamente traqueídeos à esquerda em *Ceanothus thyrsiflorus* (Carlquist: 1988, p. 138).

É frequente apresentarem-se com formas irregulares, em particular quando em redor de elementos de vaso (IAWA: 1989).

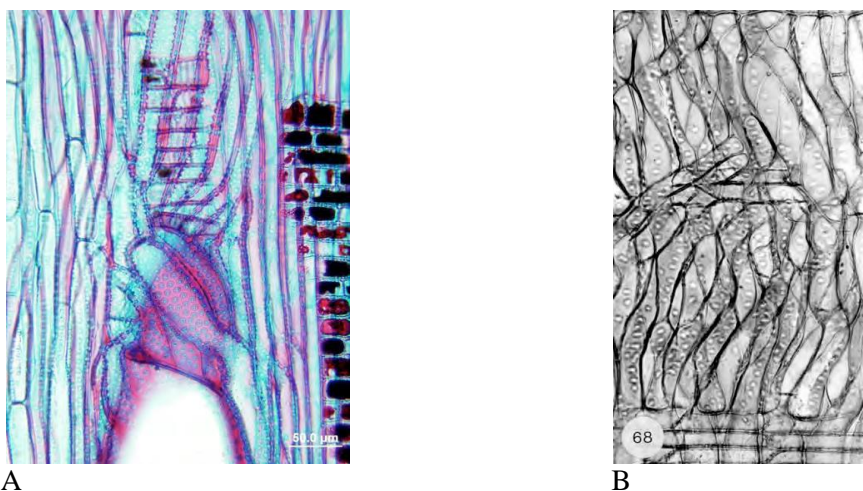


Figura 170- Traqueídeos vasicêntricos com formas irregulares em secções radiais em *Lithocarpus edulis* (A) e em *Castanea sativa* (B) (IAWA: 1989, p. 271).

São frequentes em *Quercus* spp. *Castanea* spp. *Eucalyptus* spp. entre outros (Esteban et al.: 2003).

### 3.10.1.2.3 Fibrotraqueídeos

Os fibrotraqueídeos segundo Esau (1977), apresentam características comuns às fibras e aos traqueídeos. São células muito compridas nas quais o desenvolvimento longitudinal atinge valores muito altos, têm extremos afilados e paredes grossas. Contrariamente, Esteves (2001) descreve-os com paredes finas, lúmen exíguo e com pontuações areoladas muito pequenas.

Alcançam o seu máximo desenvolvimento nas folhosas consideradas menos evoluídas, ou seja, naquelas que possuem porosidade difusa e se caracterizam por possuir elementos de vaso com placas de perfuração escalariformes, com pontuações escalariformes e raios heterogêneos (Esau: 1977). Carlquist (1988) refere ainda que a densidade de pontuações é maior nas paredes radiais do que nas tangenciais.

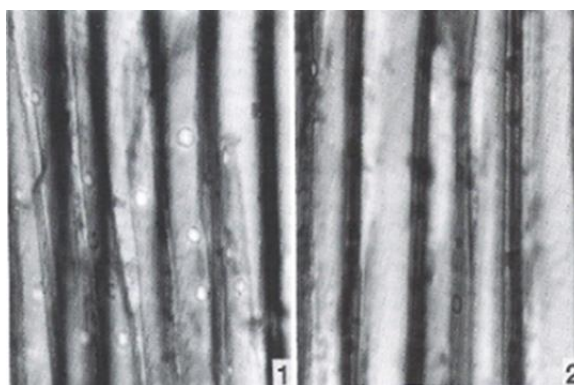


Figura 171 - Fibrotraqueídeos em corte radial – as pontuações são mais abundante na parede radial (1) do que na tangencial (2) em *Duckeodendron cestroides* (Carlquist: 1988, p. 121).

Os fibrotraqueídeos possuem pontuações areoladas com cavidades mais pequenas do que as apresentadas nas pontuações dos traqueídeos ou elementos de vaso da mesma amostra, além da abertura exterior circular e da abertura interior alongada (tipo fenda) (Esau: 1977).

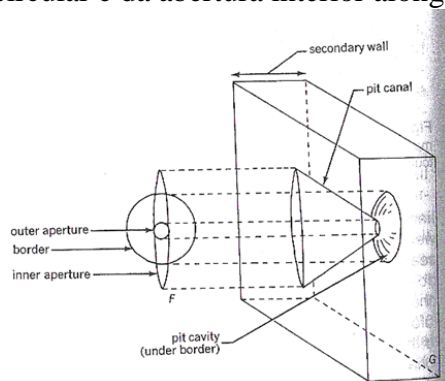


Figura 172 - Representação gráfica de uma pontuação areolada com abertura interior alongada (tipo fenda). Imagem obtida com recurso a microscopia ótica (Esau: 1997, p. 52).

Nas folhosas, os fibrotraqueídeos apresentam ainda modificações que podem resultar em divisórias transversais no seu interior, derivando isto naquilo que se classifica como fibrotraqueídeos septados.

Existe ainda um terceiro tipo de fibras às quais se dá o nome de fibrotraqueídeos gelatinosos, os quais apresentam uma camada de parede com aspeto gelatinoso (camada G) depositada sobre a parede secundária. De referir o surgimento de espessamentos helicoidais nas suas paredes, elementos estes característicos do lenho de tensão (Esau: 1977).

#### **3.10.1.2.4 Fibras liberiformes**

Foi Woodworth (1935) o primeiro a identificar estes elementos em espécies do género *Passifloreceae* (Carlquist: 1988).

A par dos fibrotraqueídeos, as fibras liberiformes constituem o “tecido fibroso” das folhosas. São o elemento de sustentação por excelência dentro do lenho, pelo que a sua principal função é a de fornecer resistência mecânica.

Caracterizam-se por apresentar comprimento celular, espessura de parede e diâmetros muito variáveis consoante a espécie, assim como na maior percentagem de lenhina em relação a outros tipos de células. As fibras liberiformes podem, em algumas espécies, e uma vez mais a par dos fibrotraqueídeos, formar até 50% do tecido lenhoso. Além desta variabilidade, há que levar em conta que a quantidade de “tecido fibroso” numa determinada amostra de madeira não está apenas relacionado com a espécie, mas de igual forma e acima de tudo, com as condições de crescimento do exemplar em questão (Esau: 1977; Cutter: 1978). Este tipo de células é mais comum nas espécies folhosas (Esteves: 2001).

As fibras liberiformes diferenciam-se dos fibrotraqueídeos pela presença de pontuações simples em vez de pontuações areoladas, assim como mais pequenas (Bessa: 2009). Esau (1977) a par de Carlquist (1988) acrescentam que estas pontuações apresentam, ainda, uma abertura tipo fenda na face interior da célula e um canal semelhante a um funil espalmado, sublinhando que as fibras liberiformes se apresentam claramente mais longas do que os fibrotraqueídeos. A espessura da parede, assim como o reduzido diâmetro das pontuações, relacionam-se com a função de sustentação em oposição à condução de água (Carlquist: 1988).

Além deste fator, as fibras liberiformes aproximam-se muito dos fibrotraqueídeos sendo exemplo disso o facto de poderem igualmente desenvolver divisórias transversais no seu interior, o que resultará na sua classificação como fibras liberiformes septadas. Estas apresentam paredes ainda mais grossas e lúmen ainda mais estreito, embora estes fatores sejam muito próximos e difíceis de distinguir entre ambas. Porém, na maior parte das chaves de identificação, a espessura da parede celular é uma entrada com carácter analítico destas células, definindo-se três tipos independentes:

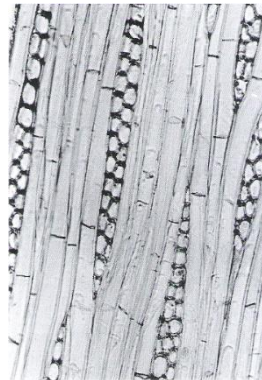


Figura 173 - Fibras liberiformes septadas em corte tangencial em *Guarea cedrata* (Esteban et al: 2003, p. 86).

Fibras liberiformes de paredes finas – por exemplo em *Tilia* spp.;

Fibras liberiformes de paredes finas e grossas – por exemplo em *Ilex* spp. e em *Salix alba*;

Fibras liberiformes de paredes muito grossas – por exemplo em *Strombosia pustulata*, *Rhizophora mangle* entre outras.

No que toca à sua distribuição surgem geralmente dispersas no lenho como é o caso de *Betula* spp., ou agrupadas nos elementos de vaso de primavera, como acontece em *Populus* spp. (Esteban et al.: 2003).

”Estas fibras vivas, estão muito próximas das células de parênquima xilémico no que toca à sua estrutura e função. Assim sendo, quando as células de parênquima desenvolvem paredes secundárias e se apresentam septadas, a distinção entre ambas é particularmente ténue” (tradução livre).

(Esau: 1977, p. 108)

Outro fator a ter em consideração no que toca às fibras em geral é que estas se podem dispor e apresentar de forma tal que podem ser confundidas com, por exemplo, bandas de células de parênquima. Este fator acontece essencialmente por variações na espessura das paredes das fibras, o que pode resultar na criação desta “ilusão”. São mais comuns em géneros como *Celastraceae*, *Lythraceae*, *Melastomataceae*, *Sapindaceae*. (IAWA: 1989).

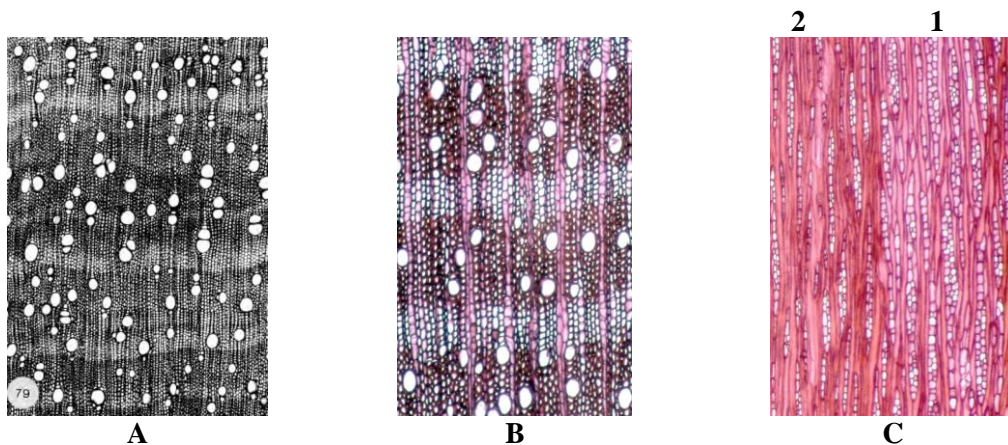


Figura 174- Bandas de fibras que podem ser confundidas com células de parênquima em corte transversal em (A) *Physocalymma scaberrimum* e (B) *Maytenus senegalensis* e em corte tangencial em (C) *Maytenus senegalensis* onde em (1) é visível região de fibras de parede fina e em (2) de parede grossa (IAWA: 1989, p. 270).

### 3.10.1.3 Parênquima Logitudinal

As folhosas enquanto grupo, têm mais abundância de células de parênquima do que as coníferas (Cutler: 1978), com valores entre os 20% nas folhosas e 7% nas coníferas (Bessa: 2009 *apud* Zobel & Buijtenen: 1989), apesar de existirem exceções como sendo o caso dos géneros *Populus* e *Salix*.

As células de parênquima longitudinal são células relativamente curtas que se mantêm vivas durante um período muito superior ao das células lenhificadas e constituem um tipo de células que é observável tanto no sentido longitudinal como no radial (Esau: 1977; Cutter: 1978).

Nas folhosas, as células de parênquima apresentam-se, antes de mais, divididas em dois grupos gerais:

**Células de parênquima fusiformes** – a sua presença em espécies de porte arbóreo é muito parca e sempre com carácter esporádico. Pelo contrário, em espécies de porte arbustivo a sua presença pode mesmo ser abundante. Apresentam-se em forma de fuso e provêm das células fusiformes iniciais do câmbio e não sofrem qualquer divisão interna (Esteban et al.: 2003);

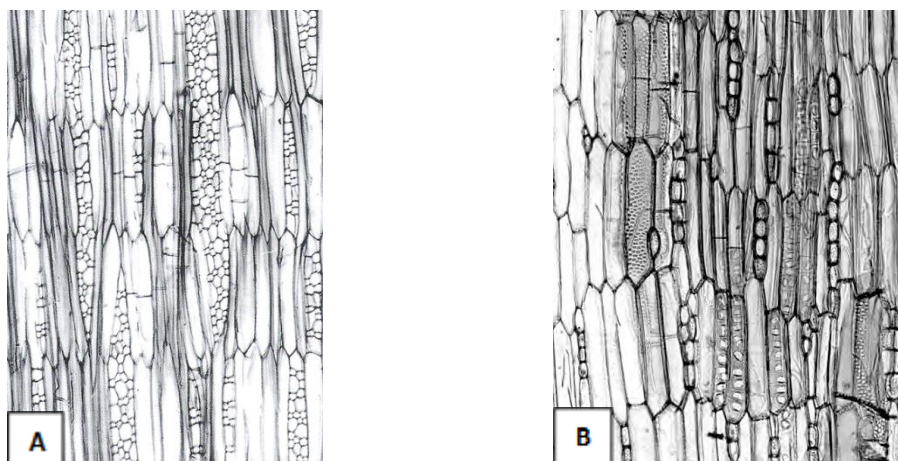


Figura 175- Células de parênquima fusiformes em corte tangencial em (A) *Triplochiton scleroxylon* (Esteban et al: 2003, p. 87) e (B) em *Aeschynomene elaphroxylon* (IAWA: 1989, p. 182).

**Células de parênquima em fiadas** – são também denominadas células de parênquima em cadeia ou como parênquima lenhoso e são claramente mais frequentes em folhosas do que em coníferas. São células fusiformes do mesmo tamanho ou pouco maiores do que as células fusiformes iniciais do câmbio de onde provêm e que sofrem, posteriormente, divisões transversais ao eixo da célula, pelo que a sua observação numa secção tangencial ou radial sugere o aspeto de uma cadeia formada por múltiplos compartimentos retangulares alinhados.

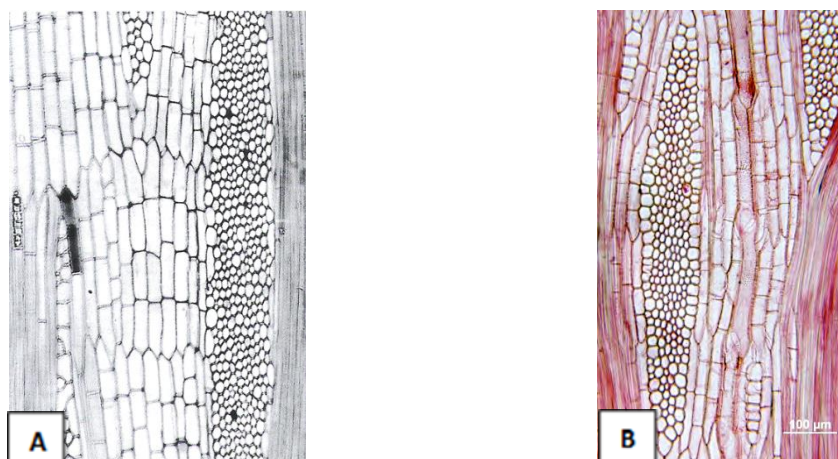


Figura 176 - Células de parênquima em fiadas em corte tangencial em (A) *Sterculia rhino petala* (Esteban et al: 2003, p. 87) e (B) em *Firmiana simplex* (IAWA: 1989, p. 183).

O número de compartimentos é muito variável consoante a espécie mas, geralmente, sempre superior ao número de compartimentos presentes nas coníferas. Nas madeiras com uma estrutura estratificada, as fiadas de parênquima são formadas por muito poucos elementos, geralmente entre dois e quatro, sendo que, nas que não possuem esta estrutura, este número varia entre os cinco e os doze (Esteban et al.: 2003).

As chaves de identificação estabelecem limites para o número de elementos de cada fiada de células de parênquima definindo-se habitualmente os seguintes referenciais:

- Duas células – *Dalbergia* spp., *Pterocarpus* spp., entre outras;
- De três a quatro células – *Ligustrum* spp., *Syringa* spp., entre outras;
- De cinco a oito células – *Fraxinus* spp., *Nerium oleander*, entre outras;
- Mais de oito células – *Lophira* spp., *Minquartia* spp., entre outras.

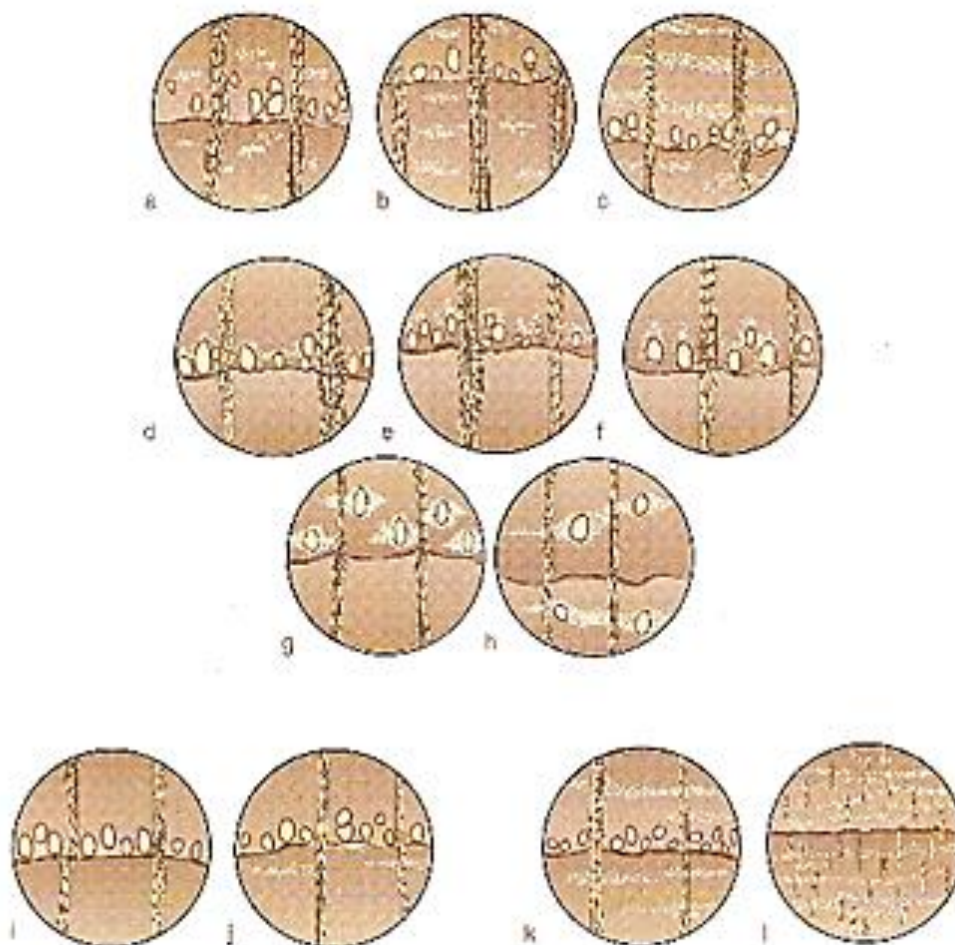
O parênquima longitudinal possui pontuações nas paredes laterais que variam consoante a tipologia celular que lhe está anexa. Assim quando em contacto com outras células de parênquima, as pontuações apresentam-se simples sendo que a sua visualização frontal apresenta-se como uma série de pequenos pontos agrupados (Esau: 1977; Cutter: 1978; Mauseth: 1988).

Tal como nas coníferas, as células de parênquima longitudinal são melhor observadas quando em corte tangencial (Esteban et al.: 2003).

Como já referido, dentro da madeira das folhosas o parênquima é em geral bastante abundante, porém existem famílias como *Berberidaceae*, *Punicaceae*, *Violaceae* em que a sua presença é rara ou não tem mesmo lugar. A lenhificação das células de parênquima longitudinal influencia o seu reconhecimento e identificação.

Esta lenhificação, quando numa secção transversal, pode resultar na criação de bandas com uma densidade diferente da das restantes células envolventes, podendo mesmo assemelhar-se a anéis de crescimento (Esteban et al.: 2003).

Deste modo, quando presente no xilema e observada numa secção transversal, o parênquima apresenta-se segundo as seguintes disposições:



a - Apotracheal difuso. b - Apotracheal difuso agregado. c - Apotracheal concêntrico. d - Paratracheal escasso. e - Paratracheal unilateral. f - Paratracheal vasoconcntrico. g - Paratracheal aliforme. h - Paratracheal aliforme confluyente. i - Paratracheal limitrofe inicial. j - Paratracheal limitrofe terminal. k e l - Metatracheal.

Figura 177 - Representação gráfica de diversos tipos de parênquima Apotracheal e Paratracheal (Esteban et al: 2003, p. 88).

### 3.10.1.3.1 Apotracheal

Parênquima que não se encontra associado aos elementos de vaso nem aos traqueídeos vasculares. Dentro desta classe definem-se, ainda, os seguintes tipos:

**Difuso** – as células de parênquima encontram-se mais ou menos dispersas pelo lenho sem, como refere Esteves (2001), nenhuma organização identificável. Esta tipologia está presente em *Alnus glutinosa*, *Cornus mas*, *Crataegus spp.* entre outras;

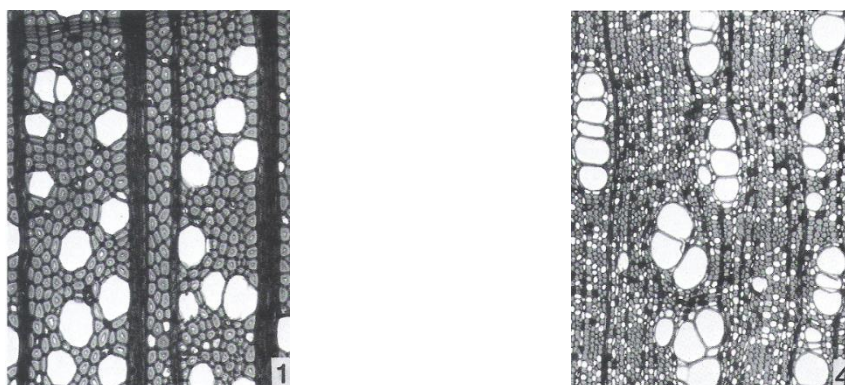


Figura 178- Parênquima apotraqueal difuso – (1) parênquima escasso e difuso em *Amelanchier arborea*. (4) parênquima difuso transacional para parênquima difuso agregado em *Dipholis salicifolia* (Carlquist: 1988, p. 155).

**Difuso agregado** – ou Subagregado (Esteves: 2001), apresenta-se como células isoladas ou em pequenos grupos lineares dispostos tangencialmente, geralmente formados por muito poucas células. Esau (1977) enquadra esta tipologia no parênquima apotraqueal difuso já que refere “...estas (células do parênquima) podem-se apresentar-se isoladas ou em pequenas faixas dispersas entre as fibras” (tradução livre). É comum em *Hura crepitans*, *Strombosia pustulata*, *Durio* spp., entre outras;

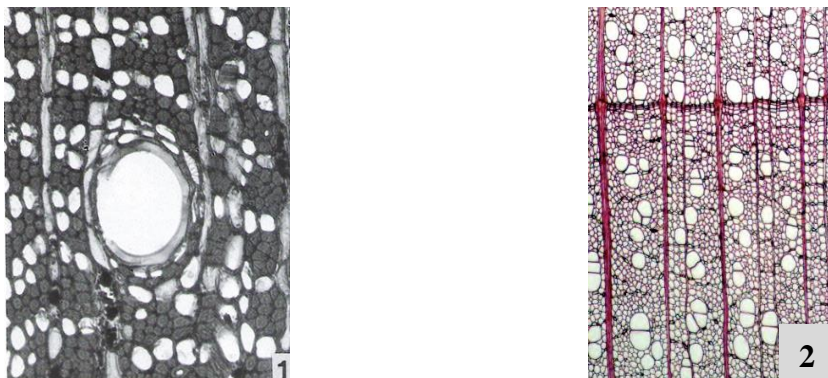


Figura 179- Parênquima apotraqueal difuso agregado em (1) *Scytopetalum klaineana* (Carlquist: 1988, p. 156) e em *Tilia vulgaris* (IAWA: 1989, p. 132).

**Concêntrico** – Zonado ou em Bandas (Esteves: 2001). As células apresentam-se formando grupos paralelos aos anéis de crescimento (Esau: 1977, Cutter: 1978; Cutler: 1978);

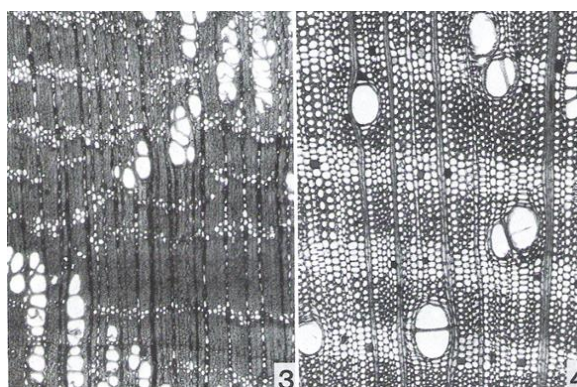


Figura 180 - Parênquima apotraqueal concêntrico – (3) parênquima em bandas de várias espessuras, mas maioritariamente estreitas em *Bumelia persimilis*. (4) parênquima em bandas largas em *Ficus rubiginosa* (Carlquist: 1988, p. 156).

Esau (1977) acrescenta ainda um tipo;

**Marginal** – células singulares ou faixas finas que se concentram no início (iniciais) ou no fim (terminais) do anel de crescimento.

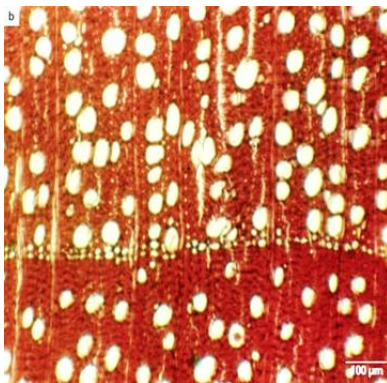


Figura 181 - Parênquima apotraqueal marginal em *Aspidosperma tomentosum* In:  
[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0084-59062011000100006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0084-59062011000100006&script=sci_arttext)

Bessa (2009) acrescenta o tipo reticulado e escalariforme para as quais não fornece uma descrição específica.

Podem coexistir um ou mais tipos de parênquima numa mesma espécie (Burger & Richter: 1991).

### 3.10.1.3.2 Paratraqueal

O parênquima encontra-se associado aos elementos de vaso e/ou aos traqueídeos vasculares. Dentro desta classe definem-se os tipos:

**Escasso** – células isoladas junto aos elementos de vaso. Apresenta-se em *Laurus nobilis*, *Pistacia vera*, *Dillenia pulcherrima* entre outras;

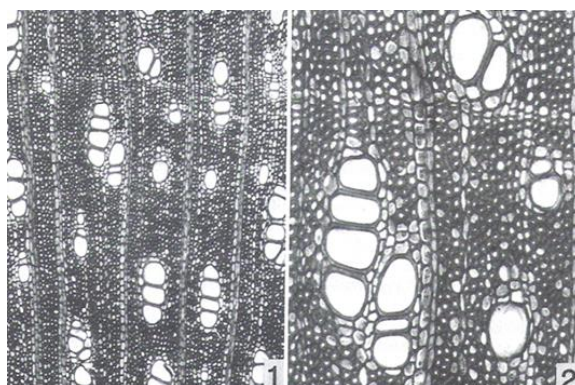


Figura 182 - Parênquima paratraqueal escasso – (1) uma única banda de parênquima terminal apresenta-se perto do topo da imagem, sendo o restante parênquima apotraqueal difuso. (2) ampliação da imagem (1) verifica-se a presença igualmente de parênquima paratraqueal vascêntrico em *Hibiscus* spp. (Carlquist: 1988, p. 163).

**Vasicêntrico** – dispõem-se em redor do elemento de vaso ou grupo de vasos, formando como que um anel a toda a volta.

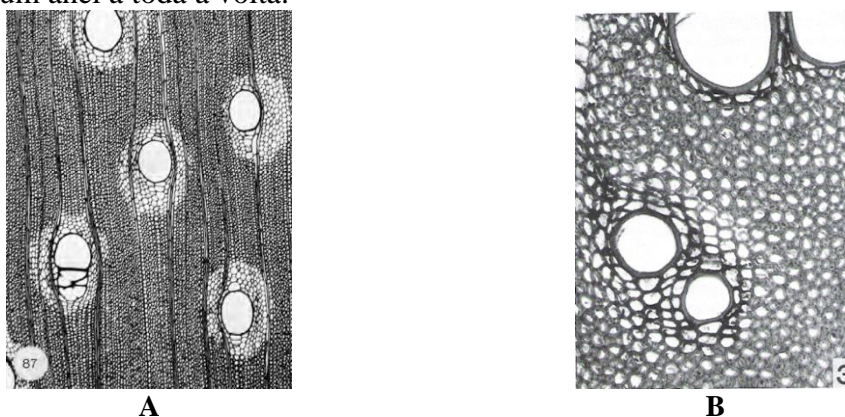


Figura 183- Parênquima paratraqueal vasicêntrico em (A) *Piptadeniastrum africanum* (IAWA: 1989, p. 134) e (B) *Tamarix articulata* (Carlquist: 1988, p. 160).

Esau (1977) nomeia este tipo como escasso vasicêntrico. Comum em *Olea europaea*, *Khaya grandiflora*, *Phoebe porosa* entre outras;

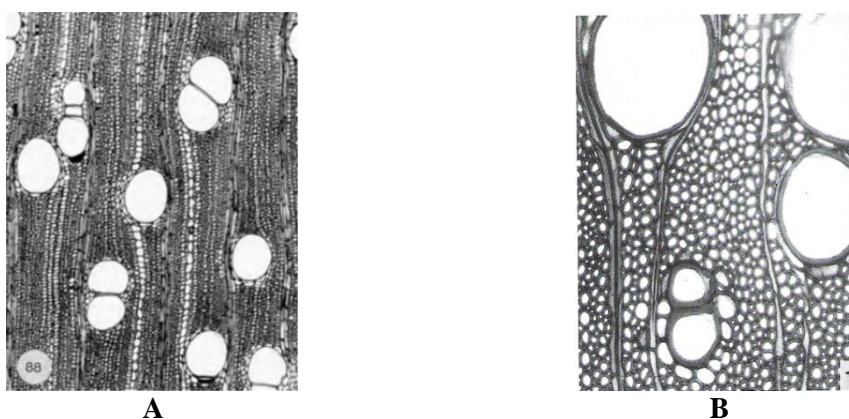


Figura 184- Parênquima paratraqueal escasso vasicêntrico em (A) *Khaya grandifoliola* (IAWA: 1989, p. 134) e (B) *Fraxinus quadrangulata* (Carlquist: 1988, p. 160).

**Unilateral** – Abaxial segundo Carlquist (1988). As células formam grupos/camadas adjacentes a um único lado dos elementos de vaso.

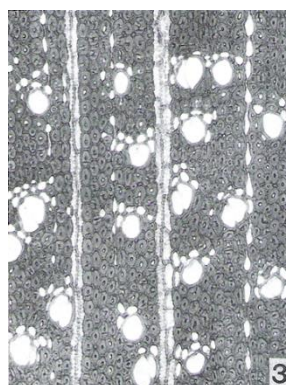


Figura 185 - Parênquima paratraqueal unilateral em *Notobuxus natalensis* (Carlquist: 1988, p. 162).

Pode também dispor-se de forma a formar bandas que o relacionam com o parênquima confluyente

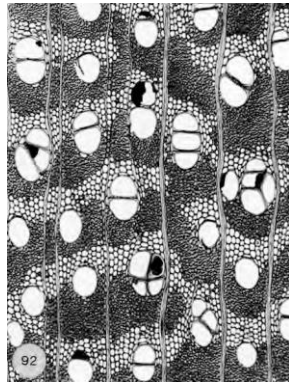


Figura 186 - Parênquima paratraqueal unilateral em bandas em *Peltogyne confertiflora* (IAWA: 1989, p. 136).

Surge em *Aspidosperma desmanthum*, *Caraipa grandiflora*, *Peltogyne confertiflora* entre outras;

**Aliforme** – disposição semelhante à do vasicêntrico apenas com extensões laterais, o que faz com que tenha um aspeto semelhante a uma asa. A semelhança entre estes tipos fez com que Esau (1977) se referisse a este como aliforme vasicêntrico. Dentro deste tipo distinguem-se ainda dois subtipos;

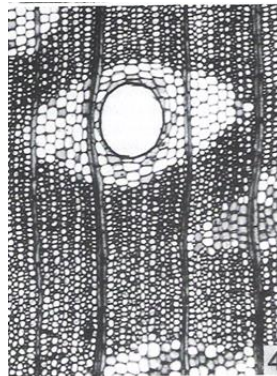


Figura 187 - Parênquima paratraqueal aliforme em *Amburana cearensis* (Carlquist: 1988, p. 160).

- Aliforme de aspecto romboidal – sem praticamente extensões laterais. Presente em *Albizia lebbek*, *Microberlinia brazzavillensis*, *Qualea rosea* entre outras;



Figura 188 - Parênquima paratraqueal aliforme romboidal em *Didelotia* spp. In: <ftp://delta-intkey.com/wood/pt/www/caedi-go.htm>

- Aliforme com extensões laterais – com as extensões laterais claramente pronunciadas. Presente em *Terminalia superba*, *Brosimum* spp., *Gonystylus* spp. entre outras;

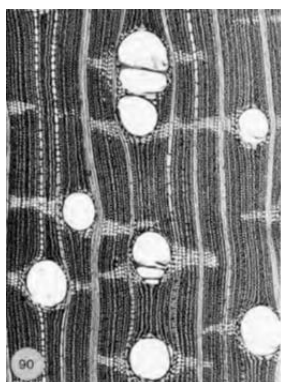


Figura 1890 - Parênquima paratraqueal aliforme com extensões laterais em *Brosimum rubescens* (IAWA: 1989, p. 136)

**Confluente** – ou Anostomosado (Esteves: 2001). Os conjuntos de células prolongam-se até envolverem os elementos de vaso contíguos. Esta tipologia distingue-se ainda em;

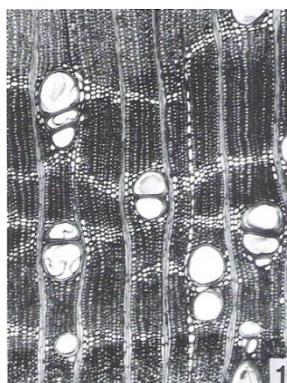


Figura 190 - Parênquima paratraqueal confluyente em *Brosimum uleanum* – todos os elementos de vaso estão incluídos dentro de bandas de parênquima sendo que se torna mais espessa em redor do poro do que quando afastada deste (Carlquist: 1988, p. 162).

- **Confluente em bandas** – quando se apresenta como uma banda contínua a ligar os vasos, sendo que, perde a sua espessura quando se afasta do vaso;

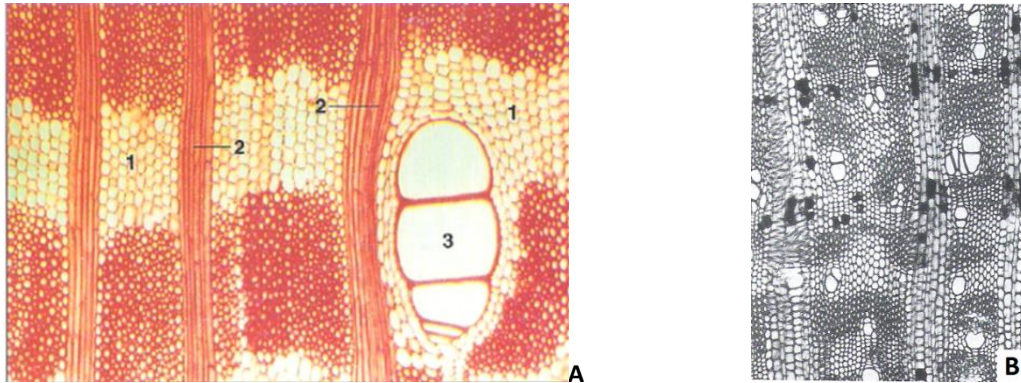


Figura 191 - (A) Parênquima paratraqueal confluente em bandas em *Pterygota kamerumensis* – (1) bandas largas de parênquima. (2) raios largos multisseriados. (3) elemento de vaso (Bowes: 1996, p. 81). (B) em *Corynocarpus laevigata* – apresentam-se bandas largas assim como agrupamentos distribuídos pelo lenho (Carlquist: 1988, p. 163).

- **Confluente aliforme** – sugere que se forma a partir da extensão das asas do parênquima aliforme e apresenta-se como uma banda mais ou menos contínua, a qual perde claramente espessura entre os vasos que liga. Presente em espécies como *Chlorophora tinctoria* e *Vatairea guianensis* (Esteban et al.: 2003). No que toca a este tipo e à orientação das suas bandas, Esau (1977) salienta ainda que estas se podem orientar tangencial ou diagonalmente no xilema;

**Metatraqueal** – dispõe-se formando agrupamentos em bandas que podem ter associação ou não com os elementos de vaso (Esau: 1977; Mauseth: 1988). Tem ainda como subdivisões;

**Reticulado** – esta tipologia parenquimática dispõem-se de forma semelhante a uma grelha ou malha formada pelos raios e pelas bandas do parênquima, criando uma trama com aproximadamente a mesma altura e largura entre si. Está presente em *Diospyros discolor*, *Cariniana spp.*, *Couratari guianensis* entre outras;

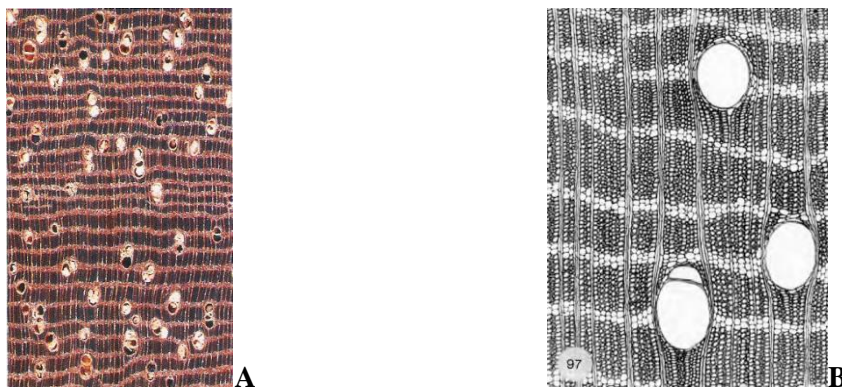


Figura 192 - Parênquima metatraqueal reticulado em (A) *Lophira alata* (Hoadley: 1990, p. 91) e (B) *Bertholletia excelsa* (IAWA: 1989, p. 136).

**Escalariforme** – é uma ligeira variante da anterior e distribui-se em finas linhas tangenciais, retas ou arqueadas que se dispõem entre os raios lenhosos, os quais, geralmente se distanciam entre si mais do que o comprimento das linhas do parênquima. Está presente em *Juglans regia*, *Onychopetalum spp.*, entre outras;

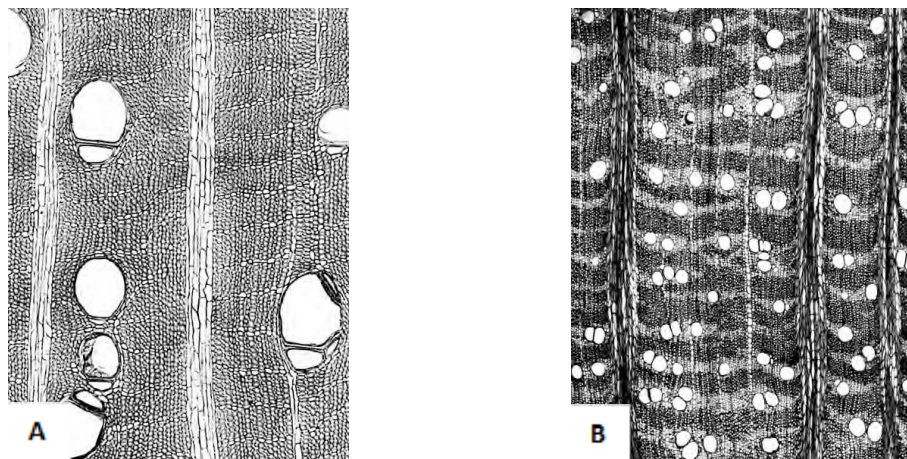


Figura 193 - Parênquima metatraqueal escalariforme em (A) *Onychopetalum spp.* e em (B) *Cardwellia sublimis* (IAWA: 1989, p. 137).

**Limítrofe** – quando se apresenta no limite do anel. Está presente em *Juglans regia*, *Cryptocarya moschata*, *Rhopalocarpus spp.* entre outras. Este pode ser ainda dividido em;

- Limítrofe inicial – quando se concentra no início do lenho de primavera;
- Limítrofe terminal - quando se concentra no final do lenho de outono (Esteban et al.: 2003).

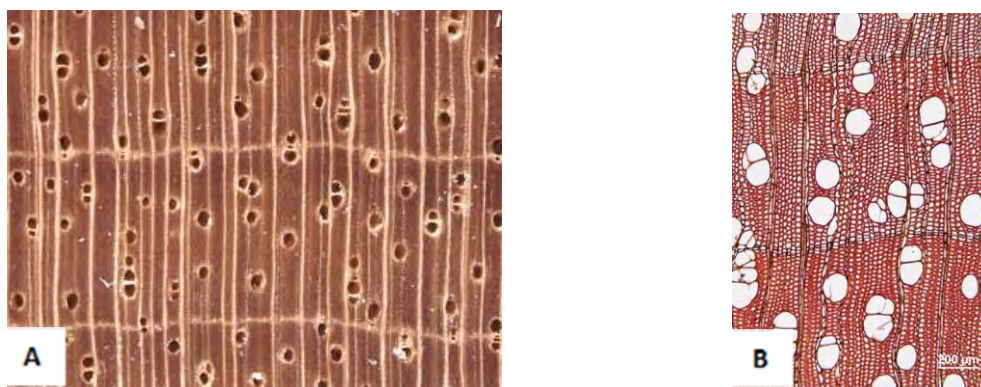


Figura 194 - Parênquima metatraqueal limítrofe em (A) *Beilschmiedia tawa* e em (B) *Michelia scortechinii* (IAWA: 1989, p. 139).

### 3.10.2 Elementos do Sistema Radial

#### 3.10.2.1 Raios lenhosos

São constituídos por grupos de células que se dispõem radialmente em relação ao eixo do tronco. Têm origem nas iniciais radiais do câmbio e estendem-se por toda a extensão do lenho.

Pela orientação radial que mantêm, com o alargamento do espécimen estes vão-se afastando gradualmente uns dos outros, sendo que, quando a distância se torna demasiado grande surge entre ambos um raio intermédio por divisão celular pseudo-transversa de uma inicial cambial fusiforme, conservando-se, desta forma, uma distância inter-radial sensivelmente constante.

Os raios podem apresentar altura e largura muito variáveis e comprimento indeterminado, já que o comprimento do raio acompanha o crescimento do espécimen (Cutler: 1978).

Os raios são, de uma maneira geral, constituídos por células de parênquima radial e constituem, a par do parênquima longitudinal, o elemento mais útil na identificação de espécies de madeira (Burger & Richter: 1991). Bessa (2009)<sup>57</sup> acrescenta ainda que são a altura, largura e distribuição dos raios os responsáveis, em grande parte, pelo desenho decorativo da madeira, em particular nos *Quercus* spp.

Bessa (2009)<sup>58</sup> sublinha que tem sido dada uma particular atenção às células perfuradas dos raios, embora Carlquist (1988) defenda que esta característica não deva ser considerada como elemento de diagnóstico por ocorrer em numerosas espécies.

##### 3.10.2.1.1 Tipos de Raios

###### 3.10.2.1.1.1 Raios uni e multisseriados

Quanto à largura, os raios podem apresentar-se constituídos por apenas uma fiada de células, classificando-se desta forma como raios unisseriados, característica comum em *Castanea sativa*, *Terminalia superba*, *Populus* spp. entre outras, ou formados por várias células de largura, designando-se neste caso raios multisseriados (Cutler: 1978; Carlquist: 1988; Mauseth: 1988).

---

<sup>57</sup> BESSA, 2009 *apud* ZOBEL&BUIJTENEN 1989; MILLER, 1999, LEAL *et al.* 2006.

<sup>58</sup> BESSA, 2009 *apud* MARCATI *et al.* 2001; CECCANTINI&IWASAKI, 2002; GOULART&MARCATI, 2008.

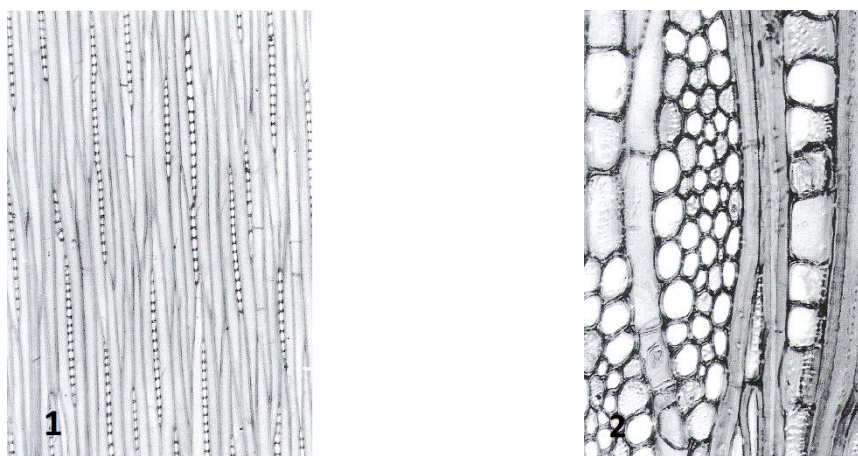


Figura 195 - Raios uni e multisseriados – (1) raios unisseriados em *Brachystegia laurentii*. (2) raio multisseriado em *Hieronyma laxiflora* (Esteban et al: 2003, p. 91).

Ao passo que os raios unisseriados são raros nas espécies folhosas, sendo os bisseriados também pouco comuns, as séries de 3 células ou mais são as mais abundantes. Por este motivo, estabeleceram-se intervalos quanto ao número de células de largura, informação esta de grande relevância aquando do processo de identificação de madeira.

Definiram-se assim valores entre:

- 1 a 3 células (*Aucoumea klaineana*, *Dialium guianense*, *Albizia saman* entre outras);
- 4 a 10 (*Acer saccharum*, *Celtis sinensis*, *Khaya anthotheca* entre outras);
- Mais de 10 células (*Quercus* spp., *Platanus* spp. entre outras).

Há espécies em que a largura da porção unisseriada do raio pode ser igual à da porção multisseriados, característica que deve ser tida em conta como elemento diferenciador e que está presente em *Caryocar costaricense*, *Strombosia pustulata* entre outras.

Numa determinada madeira podem existir raios uni- e multisseriados constituindo uma característica diferenciadora. Exemplo disto são madeiras como *Ilex aquifolium*, *Poga oleosa*, *Quercus* spp., entre outras (Mauseth: 1988).



Figura 196 - Raios uni e multisseriados coexistentes em *Fagus sylvatica* (Hater: 2000, p. 101).

#### 3.10.2.1.1.2 Raios agregados

Outra situação relevante é a possibilidade de associação de raios, à qual se dá o nome de raios agregados (Esau: 1977). São múltiplos raios que se apresentam extremamente

próximos entre si, ao ponto de poderem sugerir erroneamente tratar-se de apenas um raio largo, particularmente quando vistos em secção transversal. A análise deste tipo de raios só é possível em secção tangencial pela identificação de elementos do sistema longitudinal entre eles (Carlquist: 1988).

Em várias chaves de identificação são um elemento diferenciador e estão presentes em géneros como *Alnus*, *Carpinus*, *Casuarina* entre outros (Esteban et al.: 2003).

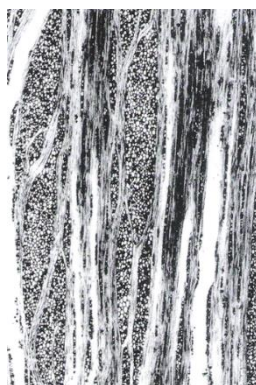


Figura 197 - Raios agregados em *Casuarina equisetifolia* (Esteban et al: 2003, p. 92).

De uma forma geral, quando numa vista tangencial o raio apresenta-se com uma forma lenticular, surgindo os seus extremos geralmente rematados por apenas uma linha de células. Parafraçando Esau (1977) “...os raios multisseriados possuem frequentemente margens unisseriadas” (tradução livre). A sua altura, à semelhança da largura é extremamente variável, possuindo carácter identificativo apenas quando supera valores superiores a 1mm. Apresenta-se em *Fagus sylvatica*, *Guatteria schomburgkiana*, *Quercus* spp., entre outras.

É importante salientar que algumas espécies folhosas não apresentam qualquer sistema radial, sendo o seu xilema constituído apenas por elementos axiais. Esta característica singular reduz-se a um pequeno número de famílias como *Chenopodiaceae*, *Nyctaginaceae*, *Scrophulariaceae*, entre outras.

Os raios lenhosos nas folhosas dividem-se em dois grupos distintos: raios homocelulares e heterocelulares.

**Raios homocelulares** - segundo Esau (1977), definem-se por serem constituídos por um só tipo de células, podendo estas ser:

- Procumbentes – células alongadas no sentido radial (“deitadas”) e da mesma altura em toda a extensão do raio;
- Eretas – fila de células mais altas do que largas no topo e base do raio;
- Quadradas – muito próximas das células verticais, distinguindo-se destas apenas por possuírem eixos longitudinal e transversal similares (Hather: 2000).

**Raios heterocelulares** - quando mais do que um dos tipos se apresenta em simultâneo.

### 3.10.2.1.2 Tipos de Sistemas Radiais

Todo o sistema radial de determinada madeira pode consistir, então, num só tipo de raios ou na combinação de ambos. Partindo daqui, o sistema radial é classificado como homogéneo se for constituído exclusivamente por raios homocelulares ou heterogéneo se for constituído por raios heterocelulares ou a combinação de homocelulares e heterocelulares (Esau: 1977).

Assim, nas folhosas os sistemas radiais dividem-se em:  
**Homogêneos**, se apresentam

- Raios unisseriados, compostos unicamente por células procumbentes;

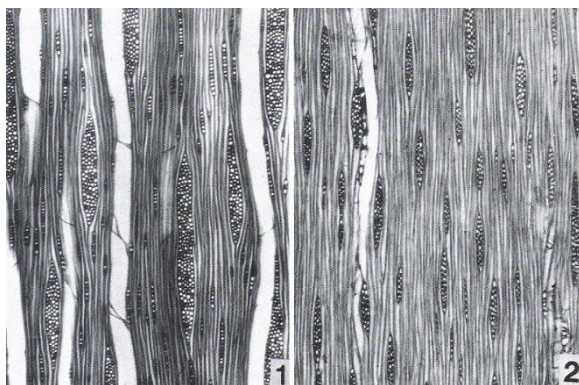


Figura 198 - Raios homogêneos unisseriados – (1) Raios homogêneos unisseriados composto unicamente por células procumbentes em *Acer saccharum* e (2) em *Phellodendron sachalinense* (Carlquist: 1988, p. 187).

- Raios multisseriados – compostos unicamente por células procumbentes;

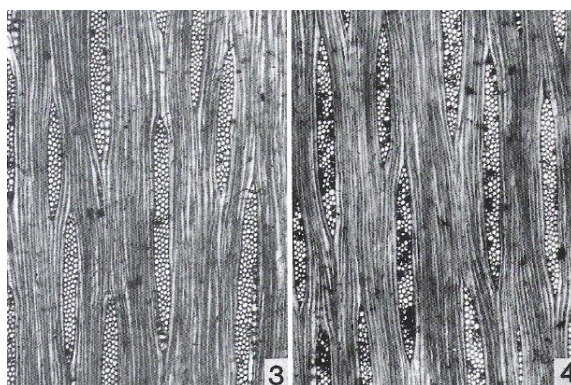


Figura 199 - Raios homogêneos multisseriados – (3) Raios multisseriados compostos unicamente por células procumbentes em *Peltogyne parviflora* e (4) em *Peltogyne maranhensis* (Carlquist: 1988, p. 187).

**Heterogêneos**, se apresentam

- Raios unisseriados – compostos por células procumbentes e eretas marginais;
- Raios não exclusivamente unisseriados – a secção apresenta na sua estrutura simultaneamente raios unisseriados e multisseriados;
- Raios heterogêneos do tipo I – os unisseriados estão compostos exclusivamente por células eretas e os multisseriados compostos por uma parte central multisseriada constituída por células procumbentes e uma parte unisseriada, maior que a multisseriada e composta exclusivamente por células eretas;

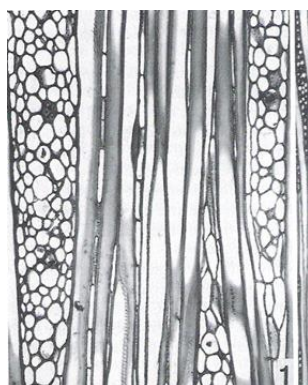


Figura 200 - Raios heterogêneos tipo I unisseriados em *Exospermum stipitatum* (Carlquist: 1988, p. 182).



Figura 201 - Raios heterogêneos tipo I multisseriados em *Grubbia rosmarinifolia* (Carlquist: 1988, p. 182).

- Raios heterogêneos do tipo II – os unisseriados estão constituído por células eretas e procumbentes, ocupando ambas tanto posições marginais como disseminadas.

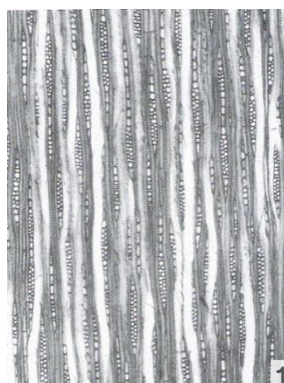


Figura 202 - Raios heterogêneos tipo II unisseriados em *Parrotia persica* (Carlquist: 1988, p. 184).

- Os raios multisseriados estão formados por uma parte unisseriada muito curta de células eretas e outra parte multisseriada, maior que as unisseriadas e formada por células procumbentes;

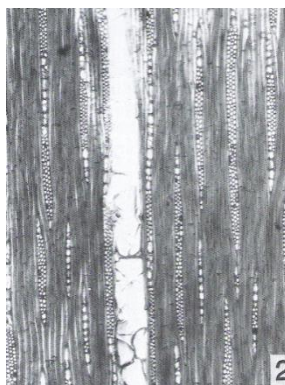


Figura 203 - Raios heterogêneos tipo II multisseriados em *Brosimum uleanum* (Carlquist: 1988, p. 184).

- Raios Heterogêneos do tipo III – apresentam dois tipos de raios unisseriados. Uns formados por células maioritariamente procumbentes (Figura 205) e outros por células maioritariamente eretas (Figura 206).



Figura 204 - Raios Heterogêneos tipo III formados por células procumbentes maioritariamente em *Aleurites fordii* (Carlquist: 1988, p. 185).

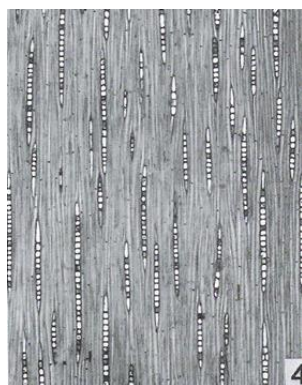


Figura 205 - Raios Heterogêneos tipo III formados por células eretas maioritariamente em *Dacryodes rugosa* (Carlquist: 1988, p. 184).

Os multisseriados apresentam vulgarmente uma fiada apenas de células eretas, geralmente marginais e muito grandes, e outras interiores quadradas.

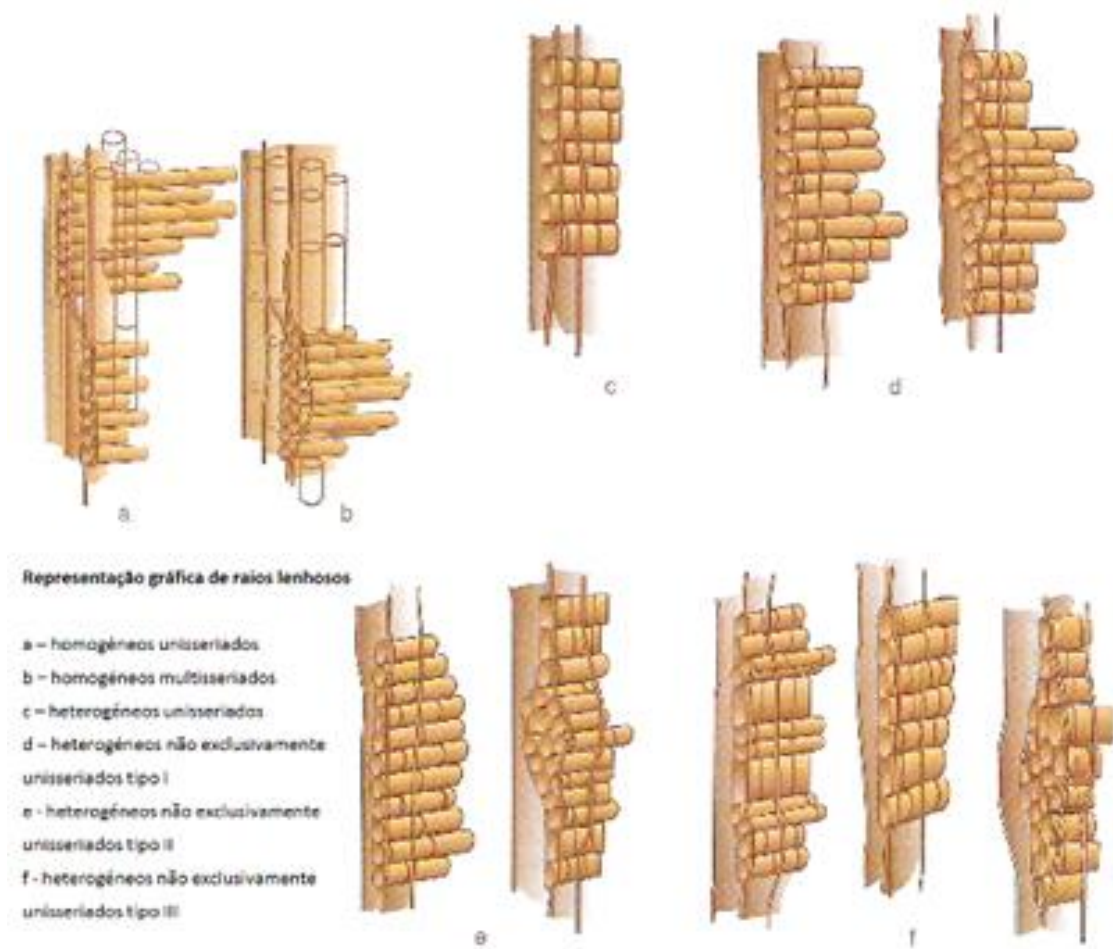


Figura 206 - Representação gráfica de diversos tipos de raios (Esteban et al: 2003, p. 94).

Quando em secção tangencial os raios podem organizar-se de duas formas distintas:  
Raios estratificados, como se se organizassem em estratos ou camadas, sendo disso exemplo *Aesculus* spp., *Tilia* spp., *Ficus* spp., entre outras.

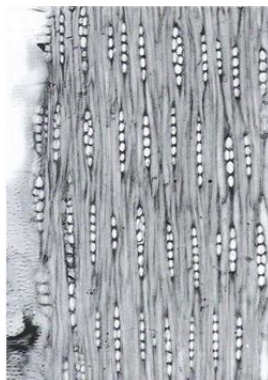


Figura 207 - Raios com disposição estratificada em *Pterocarpus pedatus* (Esteban et al: 2003, p. 93).

Segundo Cutler (1978), esta disposição radial cria figuras específicas quando a madeira se apresenta em pranchas, o que faz com que estas espécies tenham um grande valor decorativo.

Contrariamente, podem dispor-se de forma aparentemente aleatória, sem qualquer organização. A isto chama-se disposição radial não estratificada, como é o caso em *Quercus* spp., *Castanea* spp., *Fraxinus* spp., *Juglans* spp. entre outras.

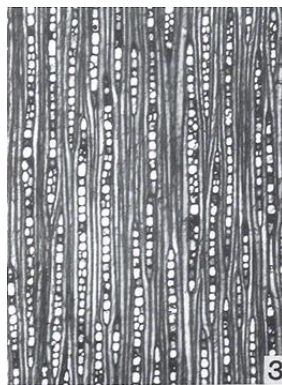


Figura 208 - Raios com disposição não estratificada em *Iryanthera junius* (Carlquist: 1988, p. 189).

Evolutivamente falando as espécies com raios estratificados possuem um nível de especialização mais elevado e são mais evoluídas (Esau: 1977; Cutler: 1978).

Existe uma situação intermédia na qual, apesar de ser verificável a organização por estratos dos raios, estes não se alinham horizontalmente mas sim obliquamente. Exemplo disto são alguns géneros da família *Leguminaceae* como *Monopetalanthus* spp. *Tetraberlinia* spp. ou da família *Meliaceae* como a *Entandrophragma cylindricum* (Esteban et al.: 2003).

Em determinadas espécies, esta disposição estratificada dos raios é acompanhada pela disposição, também estratificada, de elementos fibrosos e vasculares, o que se verifica em *Octomeles sumatrana*, *Quassia amara*, entre outras, ou parenquimatosos, como os presentes em e *Balanites aegyptiaca*, *Tamarix* spp., entre outras. (Hather: 2000; Esteban et al.: 2003).

Além dos tipos de células radiais já referidas, acrescentam-se ainda como células específicas dos raios lenhosos as seguintes:

- Células em forma de vagem – surgem na periferia dos raios multisseriados com mais de 3 células de largura e têm o aspeto de células mais altas e largas do que as interiores. São, no entanto, facilmente confundíveis com as células unisseriadas dos raios cuja área plurisseriada é da mesma largura que a unisseriada, sendo exemplos de espécies que possuem esta tipologia celular o *Sambucus nigra*, *Ceiba pentandra*, *Cordia alliodora* entre outras;
- Células em forma de telha – é um tipo específico de células verticais que se situam em séries horizontais entre as filas de procumbentes, assemelhando-se a células vazias. Só foram descritas em raios multisseriados e limitados à ordem das *Malvales*.
- Células radiais perfuradas – são células radiais perfuradas com o mesmo tipo de perfuração presente nos elementos de vaso, ou seja, simples, foraminadas, reticuladas ou escalariformes. No entanto, não têm necessariamente de ser coincidentes umas com as outras dentro do mesmo elemento. Possuem as mesmas dimensões que as adjacentes ou, em alguns casos, pouco maiores e apresentam-se geralmente comunicando dois vasos dispostos em ambos os lados

do raio. Presentes em *Combretum leptostachium*, *Richeria racemosa*, entre outras; (Esteban et al.: 2003).

### 3.10.3 Outras estruturas anatómicas das madeiras de folhosas

Estas estruturas podem ser específicas de famílias ou mesmo de espécies e são de grande valor analítico.

#### 3.10.3.1 Células com óleos ou mucilagens

Estão presentes nos elementos axiais e radiais a contêm no seu interior óleos ou mucilagens.

As células com óleos apresentam-se geralmente nos extremos dos raios diferenciando-se das restantes células parenquimatosas radiais pelo seu grande tamanho. São comuns em *Nectandra grandis*, *Phoebe porosa*, *Talauma* spp., entre outras.



Figura 209 - Célula com óleo na margem de um raio em *Sassafras* spp. (Hoadley: 1990, p. 109).

As células mucilaginosas, também idioblastos parenquimatosos como as anteriores, podem ocupar a mesma posição que aquelas últimas, ou seja, entre as fibras associadas ao parênquima axial e radial, sendo comuns em géneros como *Persea*, *Endlicheria* entre outros (Esteban et al.: 2003).

Cutler (1978) salienta que estes tipos celulares têm um real impacto nas propriedades do lenho assim como e conseqüentemente, nos fins para os quais é usado. Exemplo disto é que madeiras que contenham estes compostos são particularmente resistentes à degradação, como por exemplo a teca (*Tectona grandis*), o carvalho (*Quercus* spp.) que é abundantemente usado na construção naval, ou o pau-santo argentino (*Bulnesia sarmientoi*) do qual se produz incenso.

#### 3.10.3.2 Canais intercelulares

À semelhança das coníferas os canais intercelulares nas folhosas têm a mesma origem e, uma vez mais, dividem-se em axiais e radiais, os quais se incluem nos raios lenhosos criando a típica figura afunilada. No entanto, e ao contrário das coníferas, nas folhosas estes dois tipos de canais raramente se apresentam juntos.

Os canais gomosos fazem parte da estrutura normal de muitas folhosas em particular pertencentes às famílias *Dipterocarpaceae* e *Leguminosae* e sub-família *Prunoideae*.

Alguns géneros das famílias *Anacardiaceae* e *Burseraceae* apresentam unicamente canais transversais como é o caso de *Pistacia* spp. e de espécies como *Bursera gummifera*, *Tapiria guianensis*, entre outras.

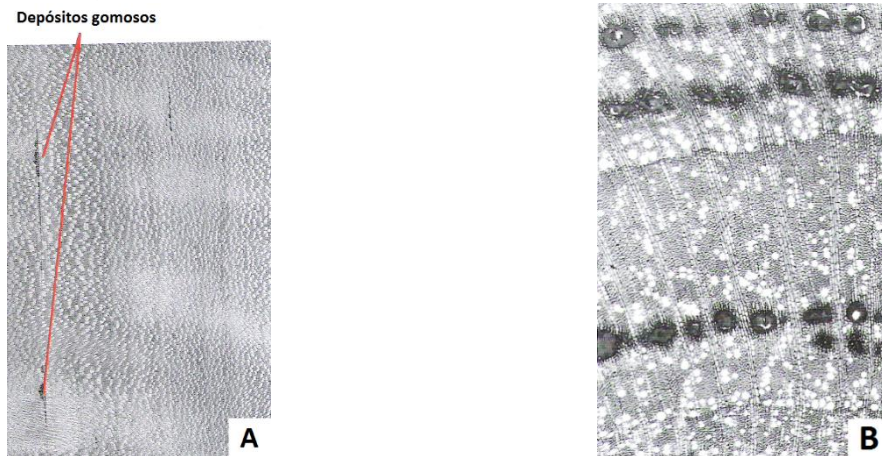


Figura 210- (A) Depósitos gomosos em tábuas de *Prunus serotina* (Hoadley: 1990, p. 62). (B) Bandas tangenciais de canais gomosos em secção transversal de *Prunus mahaleb* originados por infestação fúngica (Schweingruber: 2007, p. 187).

Os canais traumáticos estão também presentes nas espécies folhosas, quer axialmente quer radialmente, e podem ser de origem esquizogénica<sup>59</sup> ou lisogénica<sup>60</sup>.

A distribuição destes canais pode-se dispor de três formas distintas:

- Largas filas seguindo a trajetória do anel de crescimento, comum em *Dryobalanops* spp., *Hopea* spp., *Parashorea* spp. entre outros;
- Linhas curtas também tangenciais, comum em *Dipterocarpus* spp. entre outros;
- Dispersos pelo tecido de forma difusa, comum em *Prioria copaifera* e em géneros como *Anisoptera*, *Upuna* entre outros (Esteban et al.: 2003; Schweingruber: 2007).

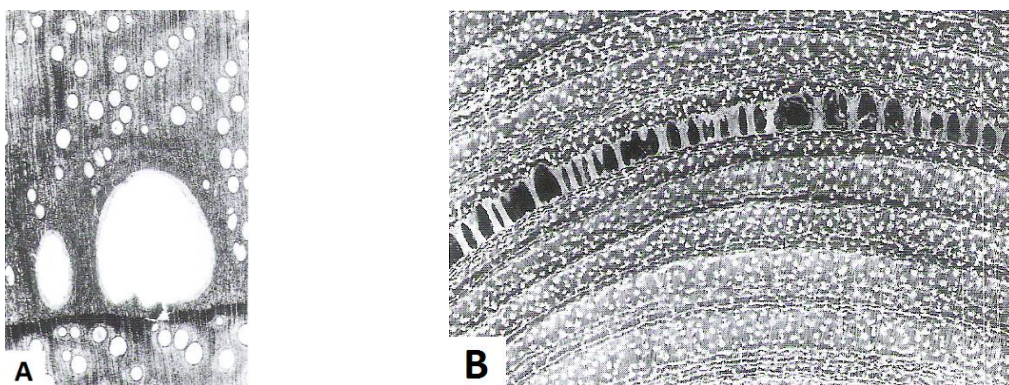


Figura 211 - Canais traumáticos em (A) *Eucalyptus pauciflora* – estes canais apresentam-se com diferentes escalas e distribuídos aleatoriamente no anel de crescimento. Os canais mais largos presentes na imagem estão rodeados de células de parênquima excretoras - Imagem obtida com recurso a microscopia ótica. (B) Surgimento de fissura no lenho resultado da cedência à pressão dos canais traumáticos em resposta a um incêndio em *Eucalyptus pauciflora* (Schweingruber: 2007, p. 186-187).

<sup>59</sup> Separação das células pela lamela média.

<sup>60</sup> Processo de dissolução do tecido celular, o qual provoca igualmente o vazio que dá origem ao canal.

### 3.10.3.3 Tubos latíferos e taniníferos

Os latíferos e os canais taniníferos são constituídos por uma série de células de comprimento indeterminado, dispostas, quer radialmente quer axialmente, e possuindo no seu interior apenas dois tipos de substâncias: Latex ou Taninos.

No interior dos tubos latíferos o latex pode apresentar-se com tonalidades que vão desde o amarelo claro até ao castanho e é frequente em famílias como *Apocynaceae*, *Moraceae*, *Euphorbiaceae* entre outras.

Os tubos taniníferos no sistema radial só foram encontrados nas *Myristicaceae* e são, geralmente, de cor castanho-avermelhada. Tangencialmente são muito difíceis de diferenciar das restantes células do raio. No entanto, numa vista radial apresentam uma dimensão maior que as células radiais normais (Carlquist: 1988; Esteban et al.: 2003).

### 3.10.3.4 Floema incluído

É uma característica muito rara e corresponde a variações cambiais. Isto origina distribuições de floema difusas, identificáveis na espécie *Strychnos nuxvomica*, ou concêntricas, identificável no género *Avicennia*.

É uma característica permanente nas espécies em que está presente e não deve ser identificado como uma anomalia (Esteban et al.: 2003; Moreira: 2010).

### 3.10.3.5 Inclusões minerais

As inclusões cristalinas nas madeiras de folhosas são muito mais abundantes do que nas espécies coníferas. A justificação para isto fundamenta-se nas distintas condições de crescimento entre as folhosas e as coníferas mas também no facto de a percentagem de parênquima passível de se transformar em cristalífero ser muito superior nas folhosas do que nas coníferas (Esteban et al.: 2003).

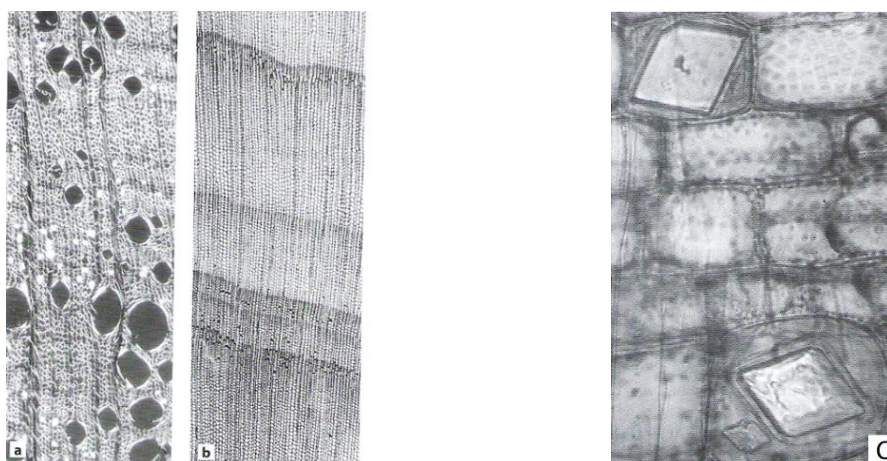


Figura 212 - Bandas intra-angiais de (a) cristais em bandas tangenciais irregulares em *Casuarina littoralis*, (b) de compostos fenólicos em particular no lenho de outono em *Callitris preissii* e (c) cristais em células radiais procumbentes em *Pittosporum napaliense*. O cristal na base da imagem encontra-se rodeado de material da parede secundária (Schweingruber: 2007, p. 14).

A composição química dos cristais é muito variada, podendo abranger desde a sílica a substâncias orgânicas e outros sais de cálcio, sendo, porém, o oxalato de cálcio o composto mais comum (Carlquist: 1988).

A presença de partículas de dióxido de silício é habitual em madeiras procedentes de regiões tropicais. A sua aparência com um aumento de 4x a 10x é a de pequenas partículas escuras não birrefringentes<sup>61</sup>. Com aumentos entre 25x e 40x podem apresentar-se com uma aparência vítrea. Surge nas células radiais (*Licania leptostachya*, *Shorea lamellata* entre outras), no parênquima axial (*Bombax nervosum*, *Dialium guianense*, entre outras) e inclusivamente nas fibras (*Canarium burserifolia*, *Ocotea puberula*, entre outras) (Cutter: 1978; Esteban et al.: 2003).

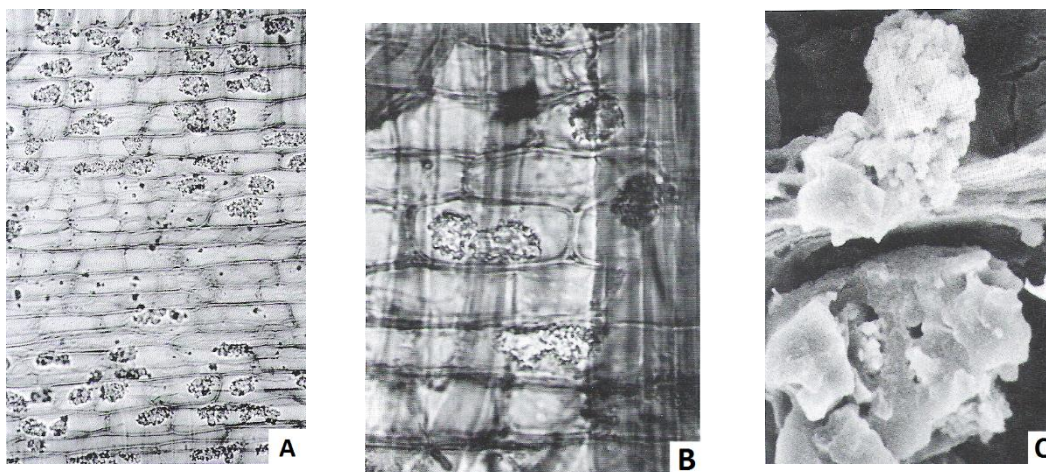


Figura 213 - (A) Depósitos de sílica em células de parênquima radial em *Shorea bracteolata* (Esteban et al: 2003, p. 99). (B) Depósitos de sílica em células de parênquima radial em *Eschweilera odorata*. (C) Corpos siliciosos em células radiais em *Protium insigne* - Imagem (A, B) obtidas com recurso a microscopia ótica. Imagem (C) obtida com recurso a microscopia eletrónica de varrimento (Carlquist: 1988, p. 242).

A presença de cristais é frequente no parênquima axial septado e no radial, sendo que estes são geralmente de fácil observação por sofrerem frequentemente um processo de aumento de tamanho. Porém, Carlquist (1988) defende que a visibilidade destes cristais de oxalato pode, em situações específicas, ser de difícil reconhecimento, sendo o recurso a luz polarizada extremamente útil pois melhora notoriamente a sua observação.

Quanto à localização radial dos cristais, é habitual que se localizem nas células verticais ou quadradas do raio (*Astronium* spp., *Bursera* spp., entre outras), nas células procumbentes (*Carpinus* spp., *Anogeissus latifolia*, entre outras) em filas horizontais incluídas nas células procumbentes (*Aspidosperma quebracho-blanco*, *Bucida buceras*, entre outras) e, inclusivamente, nas células eretas e quadradas septadas (*Elaeocarpus calomata*, *Fagara flava*, entre outras).



Figura 214 - Cristais romboidais em células marginais radiais em *Pittosporum lifuense* (Carlquist: 1988, p. 220).

<sup>61</sup> Corpo capaz de produzir dupla refração.

Já no parênquima axial os cristais apresentam-se tanto nas colunas de parênquima normal (*Achroma* spp., *Ficus* spp., entre outras) como septado (*Juglans nigra*, *Gilbertiodendron preussii*, entre outras).

Por último, algumas espécies entre as quais se encontra *Punica granatum* (romãzeira) apresentam frequentemente cristais nas fibras.

**Idioblastos** – são células que se diferenciam do restante tecido envolvente, qualquer que seja a sua função ou tipo, e que têm uma utilidade específica, seja ela de suporte, armazenamento, secreção, entre outras (Esau: 1977). No caso específico das inclusões minerais, as células que as contêm adotam igualmente a designação de idioblastos. Este elemento é identificável em *Pyrus communis*, *Juglans nigra*, entre outras. Inclusivamente, já foi documentada a sua deposição sobre Tiloses (*Chlorophora tinctoria*, *Astronium graveolens*, entre outras) (Esteban et al.: 2003).

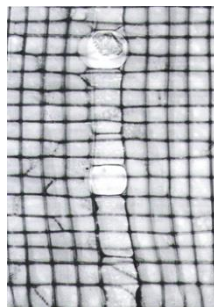


Figura 215 - Cristais em idioblastos em *Hopea* spp. (Esteban et al: 2003, p. 99).

Os cristais adquirem, além das formas mais comuns como romboedro ou octaedro, outras que, pelas suas formas especiais, recebem outras classificações. Falamos neste caso de:

**Drusas** – são na sua essência um agregado de cristais que se assemelham a uma estrela;

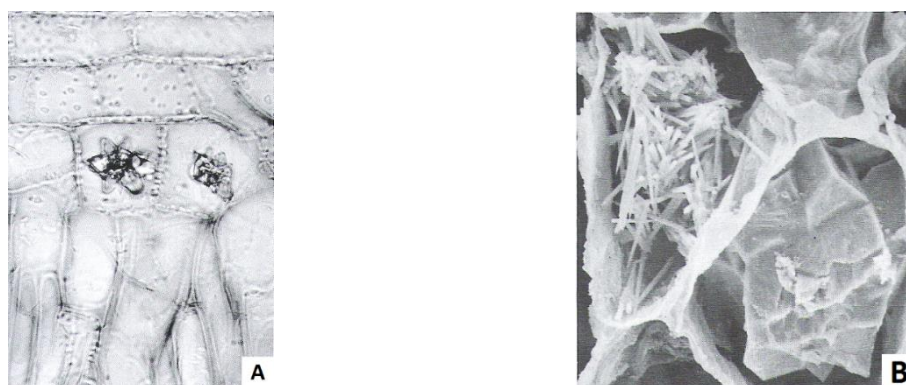


Figura 216 - Drusas em (A) *Hibiscus siliacens* - Imagem obtida com recurso a microscopia ótica (Esteban et al: 2003, p. 97). (B) drusa (base da imagem) e cristal acicular (topo esquerdo) em secção radial em *Tetraostigma voinierianum* - Imagem obtida com recurso a microscopia eletrónica de varrimento (Carlquist: 1988, p. 229).

**Cristal de ouriço** – é uma forma particular de drusa e apresenta um aspeto que faz lembrar as espinhas de um ouriço. São visíveis tanto em células do parênquima radial (*Gleditsia triacanthus*, *Celtis paniculata* entre outras) como no parênquima axial (*Terminalis catappa*, *Dacryodes edulis* entre outras), nas fibras (*Combretum fruticosum*) e inclusivamente em células radiais septadas (*Macaranga Occidentalis*, *Banara regia*, entre outras);

**Cristais aciculares**<sup>62</sup> – agrupam-se em feixes mais ou menos organizados. Surgem em *Cryptocarya glaucescens*, *Gmelina arborea*;

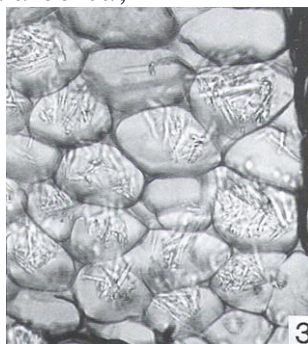


Figura 217 - Cristais aciculares em células de parênquima em *Thunbergia alata* (Carlquist: 1988, p. 229).

**Ráfides** – cristais aciculares que se encontram agrupados em feixes geralmente com apenas uma direção. Estão presentes em *Vitis vinífera*, *Dillenia reticulata*, entre outras;

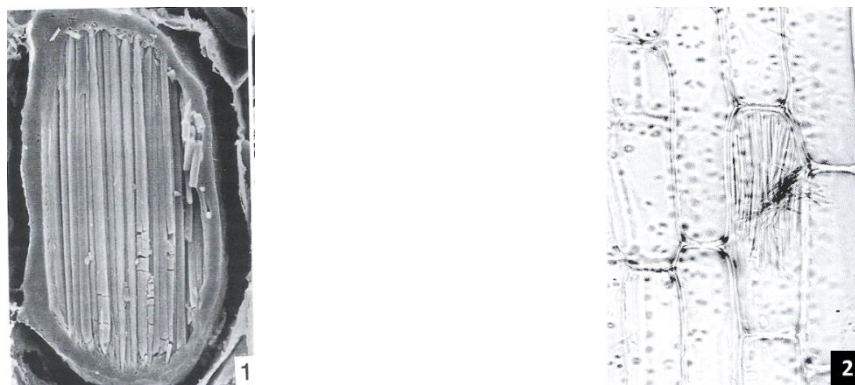


Figura 218 - (1) Ráfides rodeadas por camada gelatinosa seca em *Tetrastigma voinierianum* - Imagem obtida com recurso a microscopia eletrónica de varrimento (Carlquist: 1988, p. 231). (2) Ráfides em células de parênquima axial em *Dillenia ovata* - Imagem obtida com recurso a microscopia ótica. (Esteban et al: 2003, p. 98).

**Estilóides** – são cristais longos, geralmente 4 x mais longos do que largos, com as extremidades pontiagudas ou quadradas. São comuns em *Ligustrum vulgare*, *Terminalia amazonia*, entre outras;

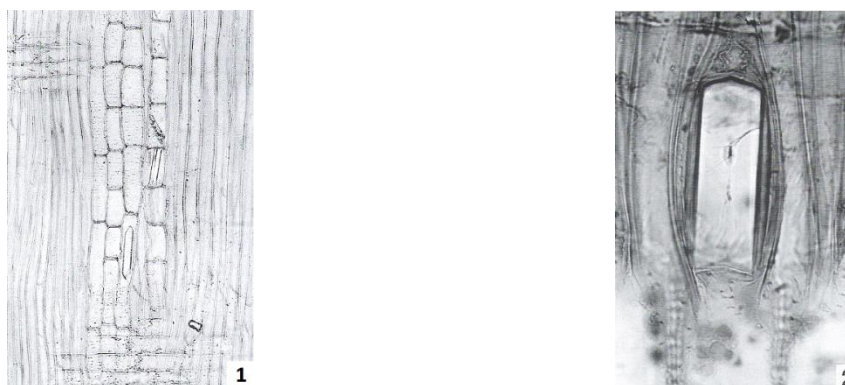


Figura 219 - (1) Estilóides em parênquima axial em *Terminalia superba* (Esteban et al: 2003, p. 98) e em (2) *Hauya elegans*, estilóide com um minúsculo cristal no topo numa fibra alargada em secção radial em (Carlquist: 1988, p. 229).

<sup>62</sup> Cristais aciculares. Cristais rígidos em forma de agulha. In: <http://dictionary.reference.com/browse/acicular>

**Cistólitos** – massa de carbonato de cálcio que rodeia um núcleo orgânico unido à parede celular por um pedúnculo celulósico. Surge apenas em muito poucas famílias como *Acanthaceae*, *Hernandiaceae* e *Opiliaceae*.

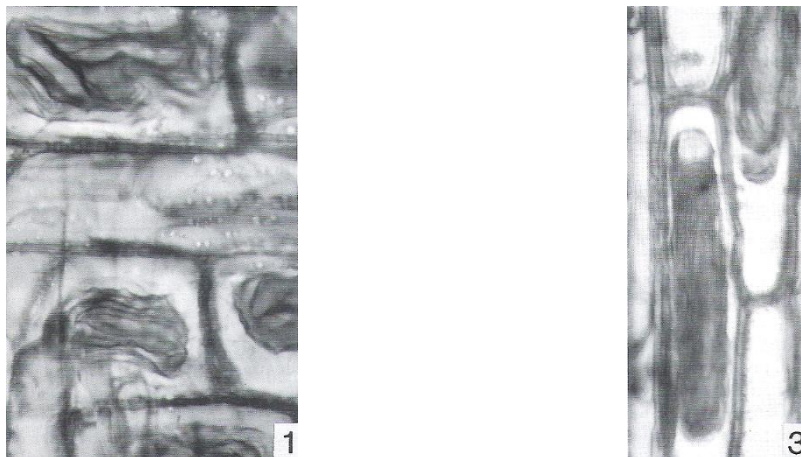


Figura 220 - Cistólitos (1) em células radiais, secção radial em *Bravaisia floribunda*. (3) em secção tangencial em *Sanchezia decora* (Carlquist: 1988, p. 239).

A presença de cristais é uma característica diferenciadora que deve, no entanto, ser usada com precaução, já que existem chaves dicotômicas em que a entrada de – madeira sem cristais - está presente. Esta denominação não é recomendável pois, se a madeira dispõem de parênquima cristalífero, a presença de cristais é provável (Esau: 1977; Cutter: 1978; Cutler: 1978; Carlquist: 1988; Esteban et al.: 2003).

### 3.11 IDENTIFICAÇÃO MICROSCÓPICA DE MADEIRA

Este procedimento só é possível com recurso a um microscópio, o qual vai permitir a observação de elementos a escalas não perceptíveis pelo olho humano.

Para que esta observação seja possível, é necessário aliar dois fatores independentes mas interligados – a ampliação e a resolução.

A objetiva do microscópio (geralmente com várias objetivas e distintos poderes de ampliação) fornece uma imagem ampliada e invertida do objeto, ao passo que a ocular produz uma imagem muito afastada a qual vai ser revertida através do cristalino do globo ocular.

A resolução, por seu lado, resume-se ao poder que o microscópio possui para distinguir dois pontos contíguos, sendo o seu limite a menor distância possível entre os dois pontos para que estes aparentem manter-se individualizados.

Desta forma, quanto menor o limite de resolução da objetiva, maior o respetivo poder de resolução, concluindo-se que o poder de resolução de um microscópio é providenciado apenas pela objetiva, dado que a ocular não pode acrescentar detalhes à imagem já que a sua função se limita ao aumento da imagem produzida pela objetiva<sup>63; 64</sup>.

Porém, e para além do microscópio, para se proceder à análise de madeira é necessário preparar e manipular a amostra de modo a exporem-se três planos de secionamento ortogonais entre si e perfeitamente orientados relativamente à anatomia interna da madeira, em virtude da sua organização em dois sistemas de células: o sistema radial e o sistema longitudinal.

Secção transversal: corte perpendicular ao eixo do órgão, o qual expõem as células do sistema axial nas suas dimensões mais reduzidas e os raios com a sua extensão revelada.

Secção radial: corte cujo plano passa, idealmente, pelo centro (medula) do órgão e que expõe os raios, sendo que nesta face o raio se apresenta como faixas de células horizontais e, se secionado pelo seu plano médio, revela igualmente a sua altura.

Secção tangencial: corte perpendicular aos raios (ou secante aos anéis de crescimento), sendo que neste caso o corte exhibe a altura e a largura dos raios (Bessa: 2009).

---

<sup>63</sup> <http://materiais.dbio.uevora.pt/jaraujo/biocel/mftecnicas.htm>

<sup>64</sup> <http://nebm.ist.utl.pt/repositorio/download/1763/3>

#### Planos de seccionamento num tronco

- X** – secção transversal: perpendicular ao eixo do tronco.  
**R** – secção radial: plano axial entre a medula e o exterior do tronco.  
**T** – secção tangencial: faz uma tangente aos anéis de crescimento. Idealmente perpendicular à direção dos raios.

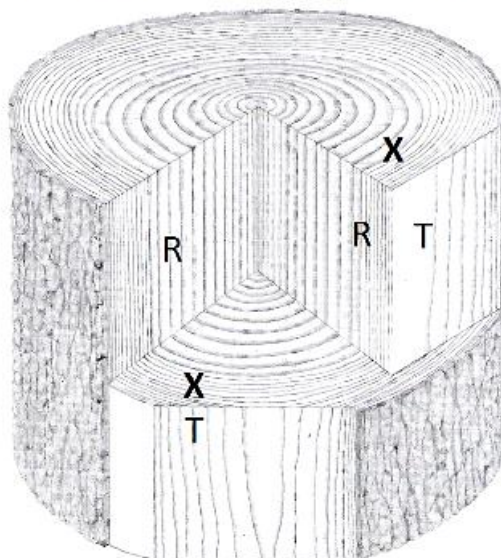


Figura 221 - Planos de seccionamento de um tronco para análise da madeira (Hoadley: 1990, p. 12).

Ao analisar estas três secções do caule podemos identificar e diferenciar as principais estruturas a analisar.

No caso específico, a identificação microscópica fundamenta-se obviamente nos elementos anatómicos de escalas microscópicas que constituem o material lenhoso. Para a observação de tais elementos e das suas características definidoras é indispensável o recurso a metodologias que permitam a obtenção de amostras analisáveis microscopicamente (Hather: 2000), sendo que com esta metodologia, como refere Bessa (2009), a identificação é geralmente possível ao nível da família, a maior parte das vezes ao nível do género e, mais raramente, ao nível da espécie.

Esau (1977) salienta algumas indicações que devem ser levadas em conta quando se tem como objetivo um processo de identificação de madeiras.

Destaca que devem estar disponíveis amostras de diferentes exemplares da mesma espécie na Xiloteca a que se recorra, sublinhando Cutler (1978), à semelhança de Esau (1997), a importância de se dispensar uma particular atenção à proveniência da amostra. Também a noção de que a madeira de um ramo vai possuir uma idade ontogénica<sup>65</sup> de desenvolvimento diferente da do tronco do mesmo exemplar deve ser considerada aquando da obtenção e catalogação da amostra.

A madeira ou lenho de reação também deve ser tida em conta já que esta se pode desviar, mais ou menos, das características típicas da estrutura da espécie analisada (Esau: 1977; Schweingruber: 2007).

<sup>65</sup> Refere-se à passagem da planta por sucessivas fases de desenvolvimento (embriogénese, germinação, crescimento vegetativo e sexual, senescência (envelhecimento dos tecidos do organismo) (SCHWEINGRUBER: 2007).

Esteban et al. (2003) referem ainda que os resultados obtidos com amostras de madeira ainda verde são sempre mais satisfatórios do que quando seca, isto mesmo depois de esta ser submersa em água a temperaturas entre 80 °C e 100 °C.

### **3.11.1 Metodologia para a obtenção de preparações histológicas**

Obtenção e talhe de cubos de 10 mm de lado (Cutler: 1978; Esteban et al.: 2003; Schweingruber: 2007), expondo cada um pelo menos uma face perfeitamente orientada para seccionamento transversal, radial e tangencial. A justificação para isto é a de que durante a fixação dos cubos na mandíbula do micrótomo usado para se proceder ao corte, a secção seguinte a ser cortada estará deformada (esmagada) pelo sistema de fixação.

De uma forma geral, o seccionamento de amostras histológicas rege-se por intervalos entre os 8 e os 20 µm de espessura (Chamberlain: 1932; Cutler: 1978). Porém, Carlquist (1988) salienta que com estas espessuras há informação válida que pode ser perdida. Refere, portanto, espessuras até aos 30 µm, salientando que com estes valores se podem observar pormenores fisiológicos como perfurações escalariformes completas e não apenas pequenas porções das mesmas. Paredes de todos os tipos ou secções que simplesmente apresentam tendência para se rasgarem são melhor observadas quando em secções mais espessas.

O seccionamento de amostras muito macias ou saturadas de água exige que estas sejam colocadas numa solução de 30, 60 e 100% de polietilenoglicol 4000 e mantidas numa estufa. Após a conclusão deste processo, e antes de se proceder ao seccionamento, deve-se colar uma fita adesiva sobre a superfície a ser cortada para desta forma manter a secção daí resultante inteira (Carlquist: 1988; Schweingruber: 2007).

Quando se lida com amostras de madeira seca ou muito seca, é conveniente que esta seja imersa em água destilada a temperaturas entre os 80 °C e o 100 °C durante períodos de tempo variados (Esteban et al.: 2003). Já Schweingruber (2007) recomenda o uso de uma panela de pressão para tornar o processo mais rápido. Outro procedimento descrito por Bessa (2009) é o cozimento em etanol e glicerina numa proporção de 1:1 após o cozimento em água, de forma a que o primeiro método se prolongue durante menos tempo. Mais próximo deste método, Schweingruber (2007) refere também a submersão das amostras numa solução de 1:10 de glicerina e água durante vários dias.

Ambas as metodologias têm como finalidade, em primeiro lugar, remover o ar existente dentro das paredes celulares e, em segundo, tornar estas mesmas paredes mais brandas e flexíveis. Este procedimento exige, por norma, algumas horas em madeiras brandas, ao passo que no caso de madeiras densas e/ou muito secas pode exigir semanas ou mesmo meses.

Após este processo de amaciamento, as amostras podem ser preservadas individualmente mergulhando-as numa solução de etanol e glicerina numa proporção de 1:1.

Outro método que funciona razoavelmente bem em madeiras moderadamente duras é a sua imersão em proporções iguais de glicerina e etanol, ou em etanol e álcool metílico (Esteban et al.: 2003).

Outro sistema de amaciamento de madeira é o método de Kisser, o qual consiste na projeção de vapor de água a 100 °C sobre a amostra. Tem como principal inconveniente a criação de condensação no micrótomo e na faca (Cutler: 1978; Esteban et al.: 2003).

O método Normand defende que quando lidando com amostras duras estas sejam sujeitas em estufa a uma temperatura de 60 °C numa solução de ácido acético e água oxigenada

de 20% numa proporção de 1:1 ou, numa solução de uma parte de ácido acético para duas partes de água destilada. Demora entre 30 minutos a uma hora e tem como inconveniente só atuar superficialmente, não permitindo a obtenção de grande número de cortes.

Quando a amostra possui altas concentrações de sílica, a complexidade de obtenção de cortes aumentam exponencialmente. Neste caso o método mais comum é a imersão da amostra em solução de ácido fluorídrico a frio. Cutler (1978) enuncia tempos de cerca de 12 horas de submersão ao passo que Esteban et al.: (2003) referem 48 horas até estar completo.

É importante salientar que o ácido fluorídrico é muito perigoso, já que é extremamente nocivo para a pele, dissolve o vidro e danifica as facas, pelo que só deve ser manipulado em condições muito extremas. O seu uso é desaconselhado, sendo preferível danificar as facas e voltar a afiar quando necessário, a usar este ácido<sup>66</sup>.

Além dos inconvenientes já mencionados, é importante referir que este nunca se deve usar nas amostras destinadas à obtenção de cortes radiais ou, no caso de se dispor de uma amostra apenas para os três cortes tipo, esta metodologia deve ser excluída. Isto justifica-se porque a eficácia do método faz com que as inclusões celulares existentes nesta face alterem o seu estado natural (Esteban et al.: 2003).

Após terminada a submersão em ácido fluorídrico, a amostra deve ser lavada em água corrente durante várias horas (Cutler: 1978).

Carlquist (1988) salienta que o uso deste ácido tem claras desvantagens em relação ao uso de etilenodiamina (descrita em seguida), como sendo o excessivo tempo requerido no processo, assim como as dificuldades de manipulação por se tratar de um produto perigosamente corrosivo.

Ainda em relação à presença de altos níveis de sílica (comum em famílias como a *Sapotaceae*, *Chrysobalanaceae* e *Lecythidaceae*) em particular em madeiras muito duras, recorre-se ao método Kukachka, o qual usa etilenodiamina em solução a 4% em água destilada.

Este composto não tem qualquer efeito sobre a sílica ou outras inclusões celulares e funciona como um agente dilatador que, à semelhança do ácido fluorídrico (Carlquist: 1988), aumenta ligeiramente o volume da parede celular, tornando-a conseqüentemente menos densa e mais fácil de cortar. Depois retorna-se ao ácido fluorídrico numa concentração a 24% em água destilada para dissolver a sílica (uma vez mais, deve ser tido em conta o efeito do ácido fluorídrico sobre os cortes radiais das amostras). Sem este tratamento, considera-se impossível obter cortes transversais de alta qualidade em madeiras densas com altos teores de sílicas.

Posteriormente, a amostra é colocada num sistema de secagem a vácuo, novamente submersa num recipiente com etilenodiamina a 4% com um peso de bronze ou latão e colocada num sistema de secagem a vácuo durante uma hora e meia, processo este repetido 3 vezes, sendo seguido de um último tratamento por vácuo durante 12 a 16 horas. No caso de madeiras que tenham um peso específico superior a 1,00 g/cm<sup>3</sup>, repete-se todo o procedimento anterior com tratamento em vácuo final de 24 a 32 horas.

Seguidamente substitui-se a solução de etilenodiamina por outra “fresca” e submete-se novamente a vácuo durante uma hora. Terminado este tempo e tratando-se de amostras com um peso específico inferior a 1,00 g/cm<sup>3</sup>, aquece-se lentamente a madeira a uma temperatura entre 70 e 75 °C, processo que durará cerca de uma hora e meia. Após o término desta etapa, as secções radial e tangencial podem ser cortadas, sendo que para a secção transversal o bloco é devolvido à solução de etilenodiamina e mantido entre 70 a 75°C durante mais 15 minutos.

---

<sup>66</sup> Informação transmitida pelo Prof. Doutor José Pissarra, a quem agradecemos.

Deixa-se secar um minuto e é novamente submerso numa solução de ácido fluorídrico e água destilada a 1:1 durante cerca de 16 horas, no mínimo.

Após este processo, o bloco é seco, colocado numa solução saturada de bicarbonato de sódio e colocado em câmara de vácuo durante um período mínimo de 4 horas para anular os efeitos corrosivos da etilenodiamina. Após este processo o corte transversal está pronto a ser obtido.

Esteban et al. (2003) sublinham que outro fator de grande importância para a obtenção de cortes de alta qualidade é a posição relativa da faca em relação à amostra, sendo que uma inclinação muito horizontal pode provocar o deslizamento da faca sobre a amostra ao passo que o oposto pode fazer com que a faca se espete na amostra ou mesmo que a parta. Este fator corrige-se com a experiência do operador, não sendo sugeridos ângulos médios de ataque eficazes. Carlquist (1982), por seu lado, apresenta como referência o uso de facas biplanas com um ângulo de afiamento de 30° para madeiras duras e de 20° para brandas. Schweingruber (2007) acrescenta também que a faca deve ser colocada num ângulo tal que permita que pelo menos um quarto desta corte a amostra, referindo que este processo é facilitado se a zona de contacto entre a faca e a amostra estiver humedecida.

Regra geral, para se obterem cortes da secção transversal a amostra deve apresentar a orientação dos seus raios lenhosos paralela ao sentido de corte da faca. No entanto, quando se lida com madeiras muito densas, este procedimento é algo ineficaz já que são precisamente os seus raios lenhosos as zonas mais débeis dentro do xilema, originando-se a partir daí fissuras artificiais. Os melhores resultados são obtidos com ângulos entre os raios e a faca de 45° a 90°.

(Carlquist: 1982; Carlquist: 1988; Hoadley: 1990; Burger & Richter: 1991; Esteves: 2001; Esteban et al.: 2003; Schweingruber: 2007; Bessa: 2009).

### **3.11.2 Dissociação de madeira**

Esta metodologia destinasse à observação pormenorizada e individualizada dos diferentes tipos de células que constituem o lenho.

Um exemplo em que este processo se torna essencial é quando se pretende medir o comprimento de fibras, traqueídeos, fibrotraqueídeos, etc., isto porque a disposição imbricada destes elementos faz com que medidas obtidas sem dissociação se revelem erróneas.

Outro exemplo é o efeito destrutivo da faca do micrótomo nos elementos associados à parede celular, como é o caso das pontuações intervasculares. A perda destes elementos pode ser decisiva na identificação da espécie em questão. Bessa (2009) salienta, além do comprimento, a medição da largura e espessura das paredes das fibras, observação das placas de perfuração e apêndices terminais. Já Carlquist (1988) destaca que a dissociação de madeira quando associada à microscopia eletrónica de varrimento (SEM) proporciona soberbas imagens tridimensionais dos diferentes tipos de células isoladamente.

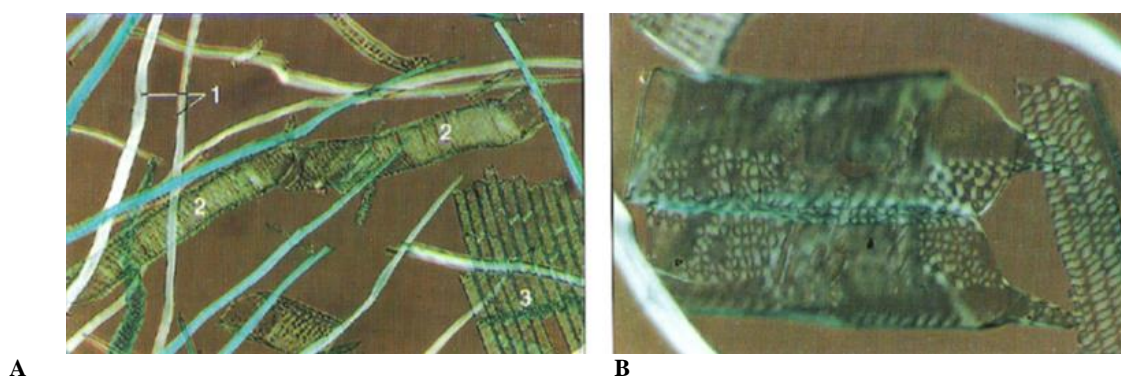


Figura 222 - Madeira dissociada. (A) madeira de *Quercus alba* (1) fibras longas, estreitas e com poucas pontuações (2) elementos de vaso com numerosas pontuações (3) células radiais de parênquima. (B) madeira de *Fraxinus americana* com elementos de vaso com pontuação abundante nas paredes laterais e placas de perfuração simples (Bowes: 1996, p. 81).

Como técnica para a dissociação de madeira, Chamberlain (1932) descreve a metodologia de Jeffrey assim como a de Schultze porém, Esteban et al. (2003) salientam que após se comprovar que o método de Schultze afetava os tabiques de separação das fibras septadas, definiu-se a metodologia de Franklin como a que proporciona melhores resultados.

O processo consiste na submersão de pequenas aparas da amostra em água em ebulição até saturação. Posteriormente prepara-se uma solução de ácido acético glacial e peróxido de hidrogénio de 20% numa proporção de 1:1, o qual, segundo Esteves (2001), vai dissolver a lamela mediana que une as células entre si. Após a introdução da amostra nesta solução o recipiente é hermeticamente fechado e submetido a estufa a 60 °C (Chamberlain: 1932) ou 45 °C (Bessa: 2009) durante 48 horas.

Após os tecidos adquirirem uma coloração branca (Bessa: 2009) é necessária a lavagem do material em água corrente, tarefa que pode ser executada com sucesso ao colocar-se o frasco sob uma pequena corrente de água, porém exige-se o cuidado de não deixar os elementos dissociados transbordar.

Finalmente, com a água dentro do recipiente, este é fechado e agitado para promover a dispersão dos elementos.

Para observação, os elementos são corados com o corante de Mangin que consiste numa solução saturada de cloreto de cálcio em 50 cm<sup>3</sup> de água. O cloreto de cálcio é dissolvido a frio, aquecido e deixado arrefecer novamente. Seguidamente são adicionados 2,5 g de iodeto de potássio e 0,5 g de iodo. É novamente aquecido ligeiramente e filtrado após vários dias de repouso (Esteban et al.: 2003). Segundo Bessa (2009) a coloração pode igualmente ser efetuada com uma solução aquosa de 1% de violeta de Genciana durante 30 minutos.

Os elementos dissociados devem ser conservados num frasco opaco para evitar a sua degradação pela luz, ao que Bessa (2009) acrescenta que este deve conter uma solução de água destilada e etanol ou algumas gotas de formol ou timol.

O processo de coloração é levado a cabo através da deposição de algumas gotas da água com os elementos em dispersão sobre uma lâmina de vidro, sobre os quais se depositam umas gotas do corante. Sobre estes é apenas colocada uma lamela, estando assim o conjunto pronto para observação (Esteban et al.: 2003).

Yeung (1998) descreve, por seu lado, um processo mais complexo:

Inicia a descrição do processo pelo revestimento da lâmina com adesivo de gelatina Haupt's, embora este procedimento seja hoje substituído pela aquisição de lâminas já revestidas com poli-lisina<sup>67</sup>.

Distribuição de gotas de água com os tecidos macerados de forma uniforme pela lâmina.  
Secagem da lâmina numa placa térmica a cerca de 40 °C.

Coloração das células com azul de toluidina numa solução a 1% durante 2 a 3 minutos.

Derrame do excesso de corante, enxaguamento com água destilada e posterior colocação sobre placa térmica a cerca de 40 °C. O autor alerta para o facto de algumas das células se perderem durante o processo de lavagem do corante.

Os procedimentos seguintes devem ser levados a cabo numa hotte para evitar a inalação dos vapores de xileno.

Mergulhar as lâminas em etanol absoluto durante 10 a 15 segundos.

Mergulhar novamente numa solução de 1:1 de etanol e xileno durante 10 a 15 segundos.

Enxaguar abundantemente em duas mudas de xileno.

Sem permitir a total evaporação do xileno do corte, aplicar rapidamente um meio de montagem como por exemplo Cytoseal (Cytoseal 60 mounting medium from Stephens Scientific).

### 3.11.3 Preparações histológicas definitivas

Esteban et al.: (2003) descrevem como método de elaboração de preparações histológicas a coloração das secções com recurso a corantes adequados, após a qual se procede à montagem permanente da secção com recurso a lâmina e lamela de vidro para microscopia, unidas com fita adesiva transparente. Já Bessa (2009) descreve, além das várias etapas de lavagem e desidratação das secções, a montagem definitiva com o meio de montagem semissintético Euparal. Para tal, em cada lâmina colocam-se três cortes correspondentes a cada uma das secções ortogonais da amostra sobre os quais se coloca uma lamela. Sobre esta sobrepõem-se pequenos pesos de chumbo para que as secções fiquem bem planas, além de favorecer a remoção de eventuais bolhas de ar. Salienta igualmente que não são coradas a totalidade das estruturas já que cristais e inclusões gomosas tendem a desaparecer com os diversos processos lavagem do corante.

Schweingruber (2007) propõe, no ponto de aplicação de peso sobre lâmina e lamela, em vez de pequenos pesos, intermediar o conjunto entre dois pequenos ímanes os quais cumprirão o objetivo com maior eficácia.

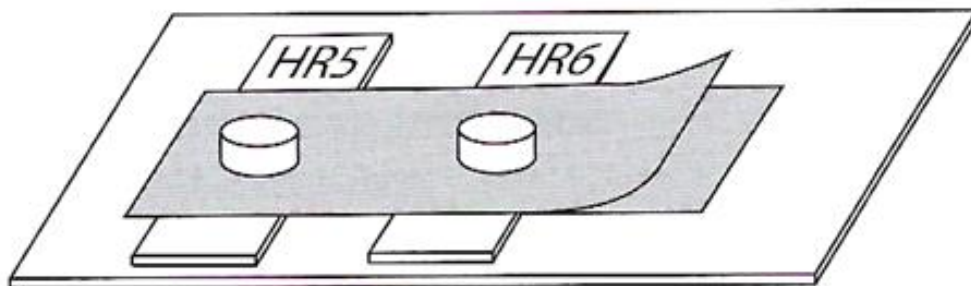


Figura 223 - Secções histológicas de madeira entre duas tiras de plástico sob ímanes e sobre placa de ferro (Schweingruber: 2007, p. 5).

<sup>67</sup> Informação transmitida pelo Prof. Doutor José Pissarra, a quem agradecemos

Hamann, et al. (2011) descrevem que é possível colocar os cortes numa lâmina de vidro com algumas gotas de acetona a 40% e posterior evaporação da acetona em placa térmica a 60 °C. Após a evaporação da acetona deixam-se as lâminas na placa entre os 60 e os 70 °C durante 1 hora, permitindo assim que os cortes se fixem à lâmina.

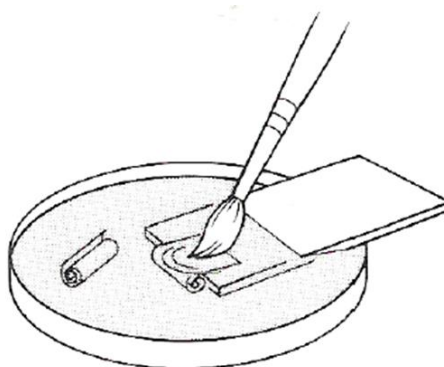


Figura 224 - Representação gráfica de técnica para o desenrolamento de seções histológicas de madeira (Cutler: 1978, p. 6).

#### 3.11.4 Corantes mais usados em técnicas histológicas da madeira

O número de corantes usados desde o início da observação de seções histológicas é amplo, sendo que grande partes destes foram sendo, ao longo dos tempos, abandonados pelas mais diversas razões, desde dificuldades de preparação e manipulação, até alterações dos seus resultados ao longo do tempo, assim como níveis indesejados de toxicidade para o utilizador.

Por essa razão, e em particular no que toca à anatomia da madeira, referem-se aqui apenas os mais comumente referenciados na bibliografia consultada.

Cutler (1978) descreve corantes temporários, os quais se caracterizam por apresentar um tom que se vai desvanecer com o tempo ou que, por outro lado, apresentam uma gradual degradação da secção corada. São estes:

- **Azul de metileno** – 1% solução aquosa de azul-de-metileno.  
Toda a célula se torna azul com exceção da cutina, a qual se mantém incolor;
- **Solução de Schulte's** – Solução de 30 g cloreto de zinco + 5 g de iodeto de potássio + 1 g de iodo + 140 mL de água destilada.  
As paredes celulares tornam-se azuis, os grãos de amido tornam-se azuis-escuros, a lenhina torna-se amarela e as paredes parcialmente lenhificadas tornam-se verdes azuladas;
- **Negro de Chlorazol** – corante + 70% de etanol.  
Paredes celulares tornam-se cinza ou negras e é particularmente indicado para tornar relevantes as pontuações;

- **Solução saturada de ácido fénico (fenol).**

A sílica torna-se normalmente rosa, o que ajuda a distingui-la dos cristais, os quais usualmente se mantêm sem tonalidade;

- **Sudan IV.**

Lípidos, óleos e cutículas tornam-se cor de laranja;

- **Vermelho de Ruténio.**

Mucilagens e algumas gomas tornam-se rosa, (Carlquist: 1988).

No que toca aos corantes permanentes, os mais relevantes na bibliografia consultada são os seguintes:

- **Safranina O**

É para os botânicos o reagente mais utilizado de todos os derivados da anilina (Chamberlain: 1932; Carlquist: 1988).

É geralmente comprada pronta a usar, sendo que, se não for o caso, esta pode ser preparada adicionando à safranina etanol e água destilada. As percentagens definidas variam consoante a bibliografia consultada, sendo adaptações da formulação descrita em Chamberlain (1932).

Modo de preparação:

- 0,5 g de safranina + 50 mL de etanol + 10 mL de água destilada, utilizável passado quatro dias (Chamberlain: 1932). As variações vão desde;
- 1 g de safranina em pó + 50 mL de etanol + 50 mL de água destilada (Esteban et al.: 2003); até formulações mais concentradas.
- 1 g de safranina + 5 mL de etanol + 5 mL de água destilada, utilizável passados quatro dias.

Com este corante, o procedimento corrente é o seguinte:

- No mesmo godé onde as secções se encontram desde o início do processo, remove-se toda a água e substitui-se por uma solução de água destilada e ácido acético numa solução de entre 20 a 30%. Este procedimento tem como objetivo neutralizar a ação do hipoclorito de sódio anterior (base), caso contrário os corantes a usar em seguida não se fixam às secções de madeira. Este processo deve durar em média cinco minutos;
- Seguidamente a solução é removida e substituída por água destilada. Espera-se uns minutos e substitui-se a água novamente. Repete-se o procedimento três vezes;
- Com as secções mergulhadas em água destilada aplica-se entre 2 a 3 gotas de safranina deixando-as imersas cerca de dois minutos. Posteriormente a solução corada é removida e substituída por água destilada a qual deve ser renovada até que deixe de sair corante dos cortes de madeira;
- Posteriormente inicia-se o processo de desidratação das secções. Para tal aplica-se etanol 50%. A solução deverá estar em contacto com as secções durante cerca de dois minutos. Seguidamente nova solução de etanol a 70% durante o mesmo tempo. Nova solução com o etanol a 90% durante o mesmo tempo e etanol absoluto durante o mesmo tempo. Repete-se todo o procedimento e tempos com uma solução de etanol e xileno;
- A solução de etanol e xileno deve ser antecedida pela remoção da solução anterior, sendo que, o sinal de que tal não foi completamente obtido é a nova solução de etanol

e xileno se tornar turva quando introduzida. Se for o caso, deve-se simplesmente remover e novamente introduzir a solução de etanol e xileno numa concentração de 1:1 até esta se manter translúcida;

- Inicia-se seguidamente o processo de montagem das secções entre uma lâmina e uma lamela.

#### - Safranina – Hematoxilina de Delafield

Carlquist (1988) refere que a hematoxilina é aplicada antes da safranina para providenciar coloração das paredes primárias que se apresentam cinza-violáceo, sendo que as paredes secundárias coram de vermelho com a safranina.

Cutler (1978) por seu lado apresenta o uso da safranina em solução com o corante hematoxilina de Delafield.

##### Modo de preparação:

- Safranina – 1 g de safranina + 50 mL etanol;
- Hematoxilina de Delafield - 4 g de hematoxilina + 125 mL etanol + 400 g de solução saturada de sulfato de alumínio e amónio aquoso (15 g/ 100 mL) + 100 g de glicerina.<sup>68</sup>

Com este corante, o protocolo de utilização é o seguinte:

- Mistura da safranina com a hematoxilina de Delafield numa proporção de 1:4;
- Filtrar a solução;
- Esta solução pode ser usada durante cerca de uma semana tendo no entanto de ser filtrada diariamente;
- As secções devem ser transferidas de água (depois de bem lavadas do hipoclorito de sódio em água) para um recipiente contendo a solução corante e posteriormente tapadas, devendo manter-se no corante de 2 a 6 horas;
- São novamente transferidas para novo recipiente com água destilada e etanol numa concentração de 1:1 + 2 a 3 gotas de ácido clorídrico, solução que vai parar o processo do corante e remover o que se encontrar em excesso.

Daqui resultam secções em que a celulose se apresenta azul escura, a lenhina vermelha e as paredes celulares em que se encontre alguma lenhina lilás (Cutler: 1978).

Carlquist (1988) recomenda fortemente o recurso à dupla coloração, referindo por exemplo que permite revelar detalhes das pontuações, elementos de difícil observação e definição.

---

68

[https://books.google.pt/books?id=Dhn2KispfdQC&pg=PA122&lpg=PA122&dq=preparation+of+delafield+haematoxylin+stain&source=bl&ots=JzkGkvSBB7&sig=M4uaLHSoNwNJjVLabTy76J\\_f1bY&hl=pt-PT&sa=X&ei=22ocVfcZid89ruyAoAg&ved=0CCUQ6AEwAA#v=onepage&q=preparation%20of%20delafield%20haematoxylin%20stain&f=false](https://books.google.pt/books?id=Dhn2KispfdQC&pg=PA122&lpg=PA122&dq=preparation+of+delafield+haematoxylin+stain&source=bl&ots=JzkGkvSBB7&sig=M4uaLHSoNwNJjVLabTy76J_f1bY&hl=pt-PT&sa=X&ei=22ocVfcZid89ruyAoAg&ved=0CCUQ6AEwAA#v=onepage&q=preparation%20of%20delafield%20haematoxylin%20stain&f=false)

#### - Safranina – Azul de Alcão

Hamann. et al. (2011) descrevem o uso da safranina seguida de azul de alcão.

Com estes corantes, o protocolo de utilização é o seguinte:

- Lavagem em água pura durante 2 minutos;
- Corar com safranina (1% de safranina em etanol e água numa proporção de 1:1 e azul de alcão (1% azul de alcão em água) numa proporção de 2:1 respetivamente durante 20 minutos;
- Lavagem em água destilada durante 2 minutos. Repetição do processo por 2 vezes;
- Lavagem das secções em séries de etanol a 30%, 50%, 70%, 96%, 100% durante 2 minutos em cada etapa;
- Lavagem em xileno durante 5 minutos. Repetição do processo por 3 vezes.

#### - Safranina – Azul de Astra

Schweingruber (2007) descreve a utilização de safranina adicionada ao azul de astra.

Modo de preparação:

- Safranina - 1 g + 100 mL de água destilada.
- Azul de astra – 0,5 g de azul de astra + 2 mL de ácido acético (ou ácido tartárico) + 100 mL de água destilada.

Com estes corantes, o protocolo de utilização é o seguinte:

- Misturam-se ambos os corantes numa percentagem de 1:1;
- A solução é posteriormente depositada sobre as secções durante cerca de 2 a 3 minutos;
- Seguidamente as secções são lavadas diversas vezes com etanol até deixar de se libertar corante;
- Aplicar etanol absoluto para proceder à desidratação dos cortes;
- Segue-se a aplicação de uma solução de etanol + 5% de 2,2-dimetoxipropano na qual a secção é mergulhada diversas vezes;
- Aplica-se uma gota de xileno para confirmar a ausência de água. Se este se tornar turvo, novas aplicações de etanol absoluto são necessárias. Caso contrário, o processo de desidratação está completo;
- O passo seguinte é a aplicação de uma gota de meio de montagem, neste caso, bálsamo-do-Canadá;
- Colocação de uma lamela sobre o conjunto e aplicação de pressão;
- Daqui resulta que as células lenhificadas, assim como as fibras gelatinosas, apresentam-se azuis pela presença de lenhina, ao passo que o restante material celulósico se tingem de vermelho.

### - Safranina – Verde Sulfo

A existência de colorações duplas ou triplas destina-se à obtenção de várias tonalidades na mesma secção. Daqui resulta que a safranina se ligará às células lenhificados ao passo que o verde sulfo se vai ligar aos não lenhificados.

Chamberlain (1932) define esta metodologia como particularmente eficaz quando se quer analisar anatomia vascular.

#### Modo de preparação:

- Verde sulfo - corante em pó (para o qual não é referida quantidade) + 25 mL de etanol + 75 mL de essência de alho (Esteban et al.: 2003).
- 1 g de Verde sulfo + 100 mL de etanol (Chamberlain: 1932).
- Água anilinada - 5 mL de anilina + 85 mL de água destilada + 10 mL de etanol (Esteban et al.: 2003).

Com estes corantes, o protocolo de utilização é o seguinte:

- Aplicar sobre as secções uma solução de safranina dissolvida em água anilinada durante alguns minutos, tempo este que varia consoante a intensidade da coloração desejada;
- Posteriormente as secções são submetidas as lavagens com etanol de distintas gradações, terminando em etanol absoluto;
- Seguidamente aplica-se verde sulfo durante 2 a 3 horas, controlando o grau de coloração desejado (Esteban et al.: 2003). Durante 10 a 30 segundos (Chamberlain: 1932);
- Lavagem com etanol absoluto (Chamberlain: 1932);
- Submersão em xileno;
- Montagem das secções (Chamberlain: 1932; Esteban et al.: 2003).

### - Verde iodo

#### Modo de preparação:

- Verde iodo a 1% em etanol a 70% (Chamberlain: 1932).
- 1 g do corante em pó + 30 mL de água destilada + 70 mL de etanol (Esteban et al.: 2003).

Com este corante, o protocolo de utilização é o seguinte:

- Adicionar hipoclorito de sódio puro ou muito pouco diluído às secções durante 30 minutos a 1 hora consoante a espessura dos cortes ou os produtos de impregnação presentes nas paredes celulares;
- Eliminação do hipoclorito de sódio com água destilada repetindo-se o processo diversas vezes;
- Introdução do ácido acético puro durante apenas uns segundos (Esteban et al.: 2003);
- Corar com a solução de verde iodo durante 1 hora. Se nas lavagens subsequentes o corante desaparecer em excesso ou se o nível de diferenciação não for o suficiente, deixar corar durante a noite ou mesmo durante 24h (Chamberlain: 1932);

- Lavar em etanol a 70% (Chamberlain: 1932). Se o corante estiver em excesso passar as secções duas vezes em etanol a 95% e em etanol absoluto, obtendo-se assim igualmente a sua desidratação (Esteban et al.: 2003; Chamberlain: 1932);

- Clarear em xileno ou óleo de cravo;
- Montar as secções (Chamberlain: 1932).

(Chamberlain: 1932; Esteban et al.: 2003).

#### - **Corante de Steimetz**

É um corante usado para observações rápidas já que apresenta colorações distintas consoante a tipologia de células com apenas uma aplicação.

A secção submetida a este método evidenciará:

- A celulose – incolor;
- Óleos essenciais e demais lípidos – a vermelho;
- A lenhina – amarelo-ouro;
- O amido – azul violáceo;
- Os taninos – azul-escuro;
- Os alcaloides – ocre;
- As gomas e mucilagens – branco-pérola;
- A sílica não é corada, sendo que, com a montagem definitiva com uma resina sintética, por exemplo Eurapal, esta adquire alguma tonalidade.

#### Modo de preparação:

- 30 mL de água destilada + 30 mL de etanol + 25 mL de glicerina pura + 0,10 g de vermelho Sudan III + 0,45 g de iodo + 1 g de sulfato de anilina + 3 g de sulfato de amónio e ferro + 40 g de tricloroacetaldeído.

Com este corante, o protocolo de utilização é o seguinte:

- Aplicar umas gotas do corante sobre as secções;
- Aquecer o conjunto até que se libertem vapores;
- Submersão em glicerina para remover o excesso de corante;
- Montar as secções (Esteban et al.: 2003).

### - Azul de Alcião

Inicialmente conhecido como azul de alcião 8GX e atualmente como azul de alcião 8G. Apresentam-se dois protocolos distintos de preparação:

- 0,5 g de azul de alcião + 2,0 g de ácido tartárico. Dissolver o ácido tartárico em 80 mL de água destilada, adicionar o azul de alcião e completar com água destilada até perfazer 100 mL;<sup>69</sup>
- 1 g de azul de alcião + 100 mL de solução de ácido acético a 3% (3 mL de ácido acético glacial + 97 mL de água destilada). Ajustar o pH a 2,5 usando ácido acético.<sup>70 71 72</sup>

Com este corante, o protocolo de utilização é o seguinte:

- Aplicar umas gotas da solução corante sobre as secções;
- Esperar de 30 segundos a 1 minuto;
- Lavar em água corrente durante 2 minutos;
- Enxaguar em água destilada;
- Montar as secções<sup>69</sup>.

### - Azul de Toluidina

É um corante metacromático, o que significa que ao reagir de forma distinta com os diferentes compostos da célula resulta numa multiplicidade de tons na mesma secção.<sup>73</sup>

Apresentam-se dois protocolos distintos de preparação:

- 0,1 g de azul de toluidina + 100 mL de água destilada.<sup>74</sup>
- 0,1 g de azul de toluidina + 100 mL de solução tamponada de benzoato de sódio com pH 4,4 (0,25 g ácido benzoico + 0,29 g benzoato de sódio + 200 mL de água). Se esta solução não estiver disponível, pode ser substituída por água destilada.<sup>75</sup>

Com este corante, o protocolo de utilização é o seguinte:

- Após os tratamentos prévios de preparação das secções aplicar uma gota de azul de toluidina sobre cada uma delas;
- Deixar corar durante 30 minutos ou, segundo Hamann. et al. (2011) durante 20 segundos;
- Lavar com água destilada. Já Hamann. et al. (2011) recomendam que esta lavagem dure apenas 2 minutos;

---

<sup>69</sup>

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:6fRjvi3yhmIJ:www.scielo.br/pdf/abb/v10n2/v10n2a01.pdf+&cd=1&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=pt>

<sup>70</sup> [http://www.ihcworld.com/\\_protocols/special\\_stains/alcian\\_blue.htm](http://www.ihcworld.com/_protocols/special_stains/alcian_blue.htm)

<sup>71</sup> [https://www.medialabinc.net/spg363097/alcian\\_blue\\_ph\\_25\\_staining\\_protocol.aspx](https://www.medialabinc.net/spg363097/alcian_blue_ph_25_staining_protocol.aspx)

<sup>72</sup> <http://library.med.utah.edu/WebPath/HISTHTML/MANUALS/ALCIAN.PDF>

<sup>73</sup> <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:N45ZrxAimmcJ:www.ableweb.org/volumes/vol-19/9-yeung.pdf+&cd=1&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=pt>

<sup>74</sup> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4189499/>

<sup>75</sup> <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:N45ZrxAimmcJ:www.ableweb.org/volumes/vol-19/9-yeung.pdf+&cd=2&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=pt>

- Acrescenta que estas devem secar à temperatura ambiente;
- Montar as secções;<sup>76</sup>.
- Para este processo, Hamann. et al. (2011) recomendam como meio de montagem o Depex (Depex Mountant for histology) deixando as lâminas secar à temperatura ambiente entre 4 a 7 dias.

### 3.11.5 Principais meios de montagem

#### **Bálsamo-do-Canadá**

É uma resina obtida a partir da espécie *Abies balsamea* autóctone da zona boreal da América do Norte<sup>77</sup>, podendo, na atualidade já ser obtida sinteticamente.<sup>78</sup>

É o meio de montagem mais famoso e considerado o que mais garantias apresenta a longo prazo, já que preparações com mais de um século se mantêm ainda na atualidade prontas para observação. Tem como desvantagem o permitir apenas a montagem de amostras a partir de xileno, sendo que o etanol não o dissolve. Possui igualmente um preço elevado.<sup>79</sup>

Apesar do aspeto amarelado torna-se completamente transparente quando seco e tem um índice de refração semelhante ao do vidro. É um composto amorfo.

Não apresenta degradação das suas propriedades óticas com o tempo.<sup>80</sup>

Tem como vantagem não remover a safranina das secções.

Após a montagem das secções estas têm de ser secas numa estufa a 58 °C durante 10 a 14 dias, estando prontas para serem armazenadas após a conclusão deste processo (Cutler: 1978).

Índice de refração: n<sub>20</sub>/D 1.522(lit.).<sup>81</sup>

#### **Entellan® - Rapid Embedding Agent for Microscopy**

É uma solução de polímeros solúveis em xileno.

Carateriza-se por ser um meio de montagem muito rápido apresentando-se duro ao toque após 20 minutos à temperatura ambiente.

Após secagem é completamente transparente, sendo que as suas propriedades óticas se mantêm estáveis durante anos sem alterações.

Índice de refração: n<sub>20</sub>/D 1.490 - 1.500.<sup>82</sup>

<sup>76</sup> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4189499/>

<sup>77</sup> <http://www.naturalpigments.com/canada-balsam.html>

<sup>78</sup> [http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&ved=0CEoQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fwww2.unifesp.br%2Ffreitoria%2Fresiduos%2Ffichas-de-emergencia%2Farquivos%2Fb%2Fbalsamo\\_do\\_canada.doc&ei=LnQ7Vf2mE8fQ7AbH5oHAAG&usg=AFQjCNHrK4mG1N-aP-kZM5rt1HPpWUt6Rw](http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&ved=0CEoQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fwww2.unifesp.br%2Ffreitoria%2Fresiduos%2Ffichas-de-emergencia%2Farquivos%2Fb%2Fbalsamo_do_canada.doc&ei=LnQ7Vf2mE8fQ7AbH5oHAAG&usg=AFQjCNHrK4mG1N-aP-kZM5rt1HPpWUt6Rw)

<sup>79</sup> <http://www.microbehunter.com/an-overview-of-mounting-media-for-microscopy/>

<sup>80</sup> <http://www.naturalpigments.com/canada-balsam.html>

<sup>81</sup> <http://www.naturalpigments.com/canada-balsam.html>

<sup>82</sup> <http://www.emsdiasum.com/microscopy/technical/datasheet/14800.aspx>

### **Eurapal**

É um meio de montagem semi-sintético com vários compostos entre os quais se destaca a sandáracina e o eucaliptol.<sup>83</sup>

A secção pode ser montada diretamente a partir de etanol<sup>84 85</sup>, o que faz com que seja o meio ideal em situações em que se torna pouco adequado o uso do xileno, por este poder causar a torção em secções muito delicadas, assim como para material macerado (Cutler: 1978).

Após a montagem uma secagem em estufa a 58 °C durante 10 a 14 dias pode não ser suficiente, pelo que a sua manipulação deve ser cuidada (Cutler: 1978).

Índice de refração: n<sub>20</sub>/D 1.5174.<sup>86</sup>

### **Eukitt® (quick-hardening mounting medium for microscopy)**

É um Poli(butil metacrilato).<sup>87</sup>

À semelhança do Entellan, o Eukitt apresenta-se igualmente como um meio de montagem muito rápido mostrando-se sólido após cerca de 20 minutos.

É quimicamente neutro e não reage com os corantes, mantendo-se opticamente claro após 10 anos.<sup>88</sup>

Tem como principal desvantagem exigir a transferência das secções a partir de xileno.<sup>89</sup>

Índice de refração: n<sub>20</sub>/D 1.510.<sup>90</sup>

### **DPX (Distyrene Plasticizer Xylene) – (Mountant for histology - slide mounting medium)**

Como o próprio nome indica é uma mistura de distireno com o plastificante dibutilftalato (DBP)<sup>91</sup> dissolvido em xileno ou tolueno.<sup>92</sup>

Possui uma secagem rápida mas tem como desvantagem o exigir a transferência das secções a partir de xileno e não ser indicado para a montagem de secções espessas, já que possui alguma possibilidade de retração da resina com a secagem.<sup>93</sup>

Índice de refração: n<sub>20</sub>/D 1.52.<sup>94</sup>

---

<sup>83</sup> <http://www.microbehunter.com/an-overview-of-mounting-media-for-microscopy/>

<sup>84</sup> <http://www.microbehunter.com/an-overview-of-mounting-media-for-microscopy/>

<sup>85</sup> <http://www.fiers.be/fr/produits-chimiques/chemicals-roth/e/euparal-is-an-alternative-to-canada-balsam-for-embedding-microscopic-specimens>

<sup>86</sup> <http://www.microbehunter.com/euparal-mounting-medium/>

<sup>87</sup> <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/fluka/03989?lang=pt&region=PT>

<sup>88</sup> <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/fluka/03989?lang=pt&region=PT>

<sup>89</sup> <http://www.microbehunter.com/an-overview-of-mounting-media-for-microscopy/>

<sup>90</sup> <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/fluka/03989?lang=pt&region=PT>

<sup>91</sup> <http://www.emsdiasum.com/microscopy/technical/datasheet/13510.aspx>

<sup>92</sup> <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/06522?lang=pt&region=PT>

<sup>93</sup> <http://www.emsdiasum.com/microscopy/technical/datasheet/13510.aspx>

<sup>94</sup> <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/06522?lang=pt&region=PT>

### 3.11.6 Principais Resinas de inclusão.

O número de resinas de inclusão utilizadas em microscopia é amplo, sendo que em microscopia de material lenhoso, as mais frequentemente citadas na bibliografia consultada são as seguintes:

- **LRwhite Medium Grade Acrylin Resin 500 g. London Resin Company Ltd (LRwhite)**

#### Protocolo;

- Submersão das amostras em água;
- Desidratar com recurso a etanol em series de 30%, 50%, 70% durante 2 horas cada e 96% durante uma noite;
- Imersão em etanol durante 1 hora;
- Submersão das amostras numa solução de etanol + LRwhite puro a 3:1 respetivamente durante 8 horas;
- Submersão das amostras numa solução de etanol + LRwhite puro a 2:1 respetivamente durante uma noite;
- Submersão das amostras numa solução de etanol + LRwhite puro a 1:1 respetivamente durante 8 horas;
- Submersão das amostras numa solução de etanol + LRwhite puro a 1:2 respetivamente durante uma noite;
- Submersão das amostras numa solução de etanol + LRwhite puro a 1:3 respetivamente durante 8 horas;
- Submersão das amostras em LRwhite puro durante uma noite;
- Armazenamento das amostras num frigorífico entre cada um dos passos;
- Colocação da amostra embebida em LRwhite puro numa capsula de endurecimento, tendo em atenção a orientação da amostra em relação à face que se quer cortar e fecho da cápsula;
- Rotulagem da amostra e fixação num suporte resistente a temperaturas altas;
- Colocação de todo o conjunto numa estufa a 60 oC durante 48 horas;
- Dissolver 2 g de gelatina em 500 mL de água a 50 °C e, em seguida, adicionar e dissolver 0,2 g de crómio (III) sulfato de potássio;
- Mergulhar as amostras nesta solução e deixar secar durante uma noite a 32 oC (Hamann. et al. 2011).

Nos seus estudos, Hamann. et al. (2011) concluem que dentro das resinas duras o LRwhite possui uma capacidade de impregnação dos tecidos lenhosos superior a outras resinas disponíveis no mercado, como sendo a Epon (Hexion, Rotterdam, The Netherlands) ou o Technovit (Heraeus-Kulzer, Wehrheim, Germany).

- **Butil metil metacrilato**

Baseado nos estudos de Berlyn (1963) e de Baskin et al. (1992), Chaffey (2002) refere que o uso de ceras para inclusão se torna insatisfatória quando se pretende a manutenção das células mais delicadas presentes na amostra. Como alternativa satisfatória refere o butil metil metacrilato (BMM).

O protocolo apresentado é o fornecido pela técnica de laboratório Helena Moreira - Departamento de Biologia - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal:

- Submersão das amostras em água destilada em câmara de vácuo a 26 inHg durante 12h;
- Submersão das amostras em solução de etanol a 70% em câmara de vácuo a 26 inHg durante 12h;
- Submersão das amostras em solução de etanol a 90% em câmara de vácuo a 26 inHg durante 12h;
- Submersão das amostras em etanol em câmara de vácuo a 26 inHg durante 12 horas;
- Submersão das amostras em solução de etanol e metacrilato Historesin, Leica na proporção de 1:1 em câmara de vácuo a 26 inHg durante 12h;
- Submersão das amostras em Metacrilato Historesin, Leica, puro em câmara de vácuo a 26 inHg durante 12h;
- Mistura de 10 mL de Metacrilato Historesin, Leica, puro com 1,02 mL de endurecedor Historesin, Leica num recipiente;
- Mistura da solução com recurso a um agitador magnético durante cerca de 1 minuto;
- Introdução da solução na cuvete de polimerização até cerca de metade da sua capacidade;
- Colocação da amostra na cuvete de polimerização com a face seleccionada para corte a servir como base de assentamento da amostra;
- Submersão da amostra na solução de Metacrilato + endurecedor Historesin, Leica, até ao limite de capacidade da cuvete;
- Polimerização à temperatura ambiente durante 24h ou até se mostrar duro ao toque;
- Após a polimerização a amostra deve ser colada em blocos plásticos Historesin Leica sendo que a técnica Helena Moreira prefere fazê-lo em simples paralelepípedos de madeira, aos quais cola a amostra com recurso a Super cola 3 (cianoacrilato). Desenvolveu este método por, deste modo, se obter uma melhor fixação do bloco à mandíbula do micrótomo além de diminuir ou mesmo evitar vibrações que ocorrem quando se está a cortar tecidos muito duros como é o caso da madeira;

Permite secções de 6 a 30  $\mu$ m;

O processo exige de 4 a 5 dias.

### - **Celloidin**

É uma forma pura de nitrocelulose. É utilizado na inclusão de amostras de madeira apodrecida na qual consegue a manutenção completa da estrutura do lenho, podendo por isso ser considerado para amostras de madeiras muito macias ou degradadas por infestações xilófagas ou fúngicas.

#### Protocolo:

- Secagem da amostra em estufa ventilada (no caso de amostras frescas) ou desidratação através de etanol;
- Imersão em etanol e colocação em câmara de vácuo até afundar;
- Imersão em etilenoglicol monometil éter em câmara de vácuo e substituição deste álcool por diversas vezes. Este álcool provou ser um excelente solvente para o Celloidin;
- Transferência das amostras para um recipiente fechado e colocação numa estufa a uma temperatura de cerca de 52 oC a 54 oC durante 2 dias ou mais;
- Transferência sucessiva da amostra para uma solução de 2, 4, 6, 8 e 10% de Celloidin em etilenoglicol monometil éter, mantendo cada uma delas à mesma temperatura anteriormente referida e durante um período mínimo de 2 dias;
- Sempre embebidas na solução, as amostras são transferidas para os recipientes de endurecimento com a face a ser seccionada a servir de base de assentamento. Posteriormente cobertas por uma solução de 12% de Celloidin em etilenoglicol monometil éter;
- A solução é deixada concentrar através de evaporação à temperatura ambiente, sendo repetidamente adicionado mais Celloidin para manter a capsula cheia e aumentar a concentração;
- Durante o processo a superfície do Celloidin seca e endurece formando uma crosta sendo esta usado como um indicador do nível de concentração;
- Quando se verificar o aparecimento de um “anel” nos limites da capsula, é adicionado Celloidin a 20% em etilenoglicol monometil éter, procedendo-se antes da aplicação de qualquer nova solução à raspagem da referida crosta para assim evitar o aprisionamento de bolhas de ar na matriz;
- Quando se verificar uma camada sólida de Celloidin no topo da capsula de endurecimento, adiciona-se nova solução de Celloidin a 40% em etilenoglicol monometil éter.
- É deixado evaporar à temperatura ambiente até se apresentar duro ou fazer com que a base da capsula encolha. Esta reação do material provou não ter implicações negativas como a resina apresentar-se demasiado dura para seccionar. Se tal for o caso, resolve-se com o armazenamento da amostra em glicerina-álcool durante um período variável;
- Após a conclusão deste processo a amostra é removida da capsula de endurecimento e fixa a um bloco de madeira com um tamanho adequado à sua fixação na mandíbula do micrótomo. O bloco de madeira é previamente impregnado com Celloidin em etilenoglicol monometil éter numa concentração de 15 a 25%. Após a fixação, a amostra é posteriormente coberta com Celloidin a 40% em etilenoglicol monometil éter e submersa em clorofórmio durante uma noite ou até se apresentar absolutamente endurecida;

- Após a remoção do clorofórmio a amostra está pronta a ser seccionada. Se for armazenada, deve sê-lo numa solução numa proporção de 1:1 de glicerina e etanol. Quanto mais tempo a amostra estiver submersa nesta solução melhor será o resultado do seccionamento.

Esta técnica tem como principal inconveniente o prolongado período de preparação até à obtenção de uma amostra integralmente impregnada, período esse que se pode prolongar até cerca de 2 meses.<sup>95</sup>

#### - Parafina

É ainda mais eficaz do que o Celloidin na impregnação de amostras com altos níveis de apodrecimento.<sup>96</sup>

A parafina selecionada deve possuir um ponto de fusão entre 59 °C a 61 °C (Carlquist: 1982).

##### Protocolo:

- Desidratação das amostras em etanol em séries consecutivas até se afundarem;
- Transferência para solução de etanol + álcool butílico terciário (ABT) nas seguintes etapas;

- 50 mL de etanol + 10 mL de ABT + 40 mL de água destilada;
- 50 mL de etanol + 20 mL de ABT + 30 mL de água destilada;
- 50 mL de etanol + 35 mL de ABT + 15 mL de água destilada;
- 50 mL de etanol + 50 mL de ABT;
- 25 mL de etanol + 75 mL de ABT;

Breve colocação em câmara de vácuo após cada etapa e posterior armazenamento durante 4 horas;

- Após a última solução transferência para ABT anidro procedendo-se a várias mudas;

- Transferência para solução de ABT anidro e óleo parafínico numa proporção de 1:1 repetindo os quatro primeiros pontos e tempos da tabela anterior;

- Remoção da maior parte da solução de ABT anidro + óleo parafínico e despejo do restante numa capsula de endurecimento sobre parafina arrefecida o suficiente de modo a formar-se uma película que suporte os espécimen;

- O recipiente é seguidamente colocado numa estufa quente o suficiente para fundir e manter a parafina completamente fluida;

- Esta parafina é periodicamente mudada até o cheiro do ABT desaparecer completamente, algo que deve acontecer após 4 a 5 mudas;

- Após esta etapa e enquanto a parafina está líquida, a amostra pode ser reposicionada, sendo posteriormente deixada arrefecer até a amostra estar imóvel;

- Posteriormente é colocada num frigorífico para endurecer completamente;

---

<sup>95</sup> <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn056.pdf>

<sup>96</sup> <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn056.pdf>

- Após a remoção dos blocos de parafina das cápsulas de impregnação e do desbaste do material em excesso, estes são fixados a blocos de montagem previamente impregnados com parafina derretida (WILCOX, 1964);

Hamann et al. (2011) acrescentam que usaram Peel-a-wax paraffin (Electron Microscopy Sciences, Hatfield, Pennsylvania, U.S.A.), a qual tem ponto de fusão entre os 62 e 64 °C não recomendando o uso de qualquer parafina com um ponto de fusão inferior a 60 °C. Acrescentam, também, que todas as etapas em que se tirou partido da água, etanol e álcool butílico terciário são notoriamente melhoradas se forem levadas a cabo com recurso a um agitador orbital tipo (Ika-Vibrax-VXR, Janke & Kunkel, Staufen, Germany) a baixa velocidade, além de se aumentar a tempo de cada etapa.

Ao processo de endurecimento, acrescenta que as amostras incluídas devem primeiro endurecer à temperatura ambiente durante várias horas e só depois serem colocadas num frigorífico a temperaturas entre os 0 °C e os 5 °C durante vários dias.

#### - Polietileno Glicol

A utilização de polietileno glicol (PEG) tem duas vantagens a destacar.

Pode ser aplicado sobre madeira verde ou húmida o que reduz o problema de distorção devido à desidratação e é um método rápido que requer o mínimo manuseio do espécime.

O PEG selecionado possui um peso molecular de 1450 e provou ser o mais adequado para histologia.

##### Protocolo:

- As amostras são imersas em água em câmara de vácuo até à sua completa saturação;
- São posteriormente submersas numa solução de 50:50 de PEG + água destilada a uma temperatura de 50 oC durante 2 horas;
- Seguidamente decanta-se a solução e introduz-se no recipiente PEG puro derretido e novamente submetido a 50 oC durante 2 horas;
- Após cumprido o tempo determinado substitui-se por novo PEG e mantido a 50 oC desta vez durante 4 a 6 horas;
- O método de montagem é similar ao utilizado para a parafina;
- O conjunto é posteriormente colocado a um frigorífico durante 30 a 40 minutos até o PEG se apresentar com um tom branco-acinzentado;
- Após o seccionamento as amostras devem ser armazenadas num exsiccador com cloreto de cálcio;

O criador do método, Gjovik (1961), salienta que técnicas especiais como o arrefecimento da faca do micrótomo ou o amolecimento ou arrefecimento da amostra incluída não demonstraram melhorias significativas nas secções histológicas obtidas. Da mesma forma, concluiu também que se conseguem obter secções aceitáveis ao cumprir todas as etapas referidas mas reduzindo o tempo de cada uma a 15-20 minutos.<sup>97</sup>

---

<sup>97</sup> <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn056.pdf>

### 3.11.7 Medição de elementos anatómicos em macro e microscopia

A medição e contagem de elementos anatómicos é de grande utilidade para a identificação de espécies.

Estes procedimentos de contagem e medição são na atualidade maioritariamente levados a cabo através de programas informáticos de leitura de imagem, o que veio diminuir grandemente a morosidade destes processos. As metodologias anteriores com níveis de precisão e consumo de tempo variáveis foram, na sua grande maioria, progressivamente abandonadas. Porém, durante um longo período esta tarefa foi levada a cabo através de películas transparentes nas quais estava impressa uma trama com mediadas que variavam geralmente entre os 2 a 5 mm<sup>2</sup> e que se destinavam maioritariamente à contagem e medição de vasos em secção transversal e de raios. A este método seguiu-se o uso generalizado de ecrãs de televisão o qual tinha como principal mérito, tornar mais confortável a contagem e medição dos elementos para o técnico (Esteban et al.: 2003).

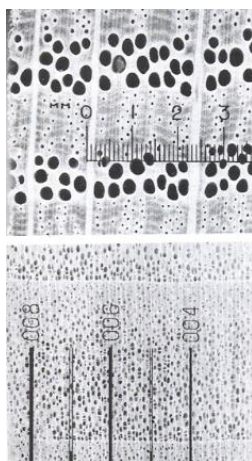


Figura 225 - Escalas usadas para a medição do diâmetro dos poros divididas em patamares de 100 µm (Hoadley: 1990, p. 81).

### 3.11.8 Chaves dicotómicas e tabelas Biométricas

A análise de uma amostra através das suas características Biométricas implica, antes de mais, a inclusão desse exemplar num dos dois grandes grupos vegetais existentes, ou seja, nas gimnospérmicas ou angiospérmicas, cada uma delas com as suas tabelas biométricas específicas.

A complexidade das tabelas biométricas está diretamente relacionada com o número de amostras disponíveis para análise, sendo que quanto maior o número de amostras analisadas, menor o número de contagens e medições a realizar por amostra (Esteban et al. 2003).

Na atualidade estão já disponíveis chaves dicotómicas online, que permitem na generalidade dos casos uma mais rápida conclusão quanto à família, género ou espécie analisada. No entanto, o seu princípio de funcionamento é igual ao utilizado nas chaves dicotómicas em papel, o qual se fundamenta na progressiva exclusão de fatores identificativos.

Uma chave dicotómica funciona a partir da procura de determinadas características que terão de estar presentes na secção histológica de madeira, por exemplo, vasos.

Se os vasos estiverem presentes estamos obviamente a lidar com uma espécie angiospérmica, sendo a partir daí indicado o segundo ponto para o qual devemos seguir e colocada uma segunda questão, por exemplo, distribuição tipo desses mesmos vasos. Como já exposto, os vasos podem-se apresentar com uma distribuição difusa, semi-difusa ou anelar.

Qualquer que seja a resposta vai imediatamente excluir as outras duas (e conseqüentemente todas as espécies que as apresentam) e indicar-nos o novo ponto a seguir dentro das espécies que demonstram a distribuição que referimos.

Este processo prolonga-se até ao término das características incluídas na chave em questão, resultando isso, sempre que possível, na identificação da espécie em análise (Esau: 1977).

### **3.11.9 Análise de amostras de madeira por microscopia**

A análise de amostras de madeira, sejam estas secções histológicas ou peças de diferentes tamanhos e formas, recorre fundamentalmente a duas metodologias distintas e com resultados que, apesar de díspares, se completam mutuamente.

#### **3.11.9.1 Microscopia ótica de luz refletida**

Esta técnica é maioritariamente utilizada em metalografia já que para observação de material lenhoso, a uniformidade de cor presente nos tecidos fornece uma imagem com pouco contraste. Ainda assim, o recurso a luz oblíqua em vez de perpendicular aumenta notoriamente o contraste.

Tem como ponto positivo o facto de não exigir uma preparação da amostra muito trabalhosa, já que apenas é necessário que se obtenha um corte limpo da face a observar, o qual pode ser obtido manualmente com lâmina. Após isto, basta diferenciar os elementos com recurso a corantes como o Lugol [300 mL de água + 1 g de iodo + 2 g de iodeto de potássio (Hather: 2000; Esteban et al.: 2003)].

#### **3.11.9.2 Microscopia ótica de luz transmitida**

É o método mais frequente na observação de secções histológicas de material lenhoso.

Exige inevitavelmente o uso de cortes com espessuras entre os 8 e os 20 µm o que por sua vez obriga ao recurso ao micrótopo. (Esteban et al.: 2003).

O nível de precisão e de clareza da imagem é inferior ao do SEM, o que é visível por exemplo quando se observam por SEM os defeitos produzidos pela faca do micrótopo quando esta apresenta algum tipo de anomalia.

Esta técnica permite, no entanto, a análise de uma grande área de amostra num curto espaço de tempo, ao mesmo tempo que possibilita grandes ampliações de elementos específicos de forma rápida e simples.

Como principal fator distintivo em relação ao SEM, tem a possibilidade de permitir a observação do interior das células, isto porque tira partido da transparência do material. Prova disto é a análise das placas de perfuração, as quais seriam de difícil descoberta e compreensão com o recurso exclusivo ao SEM (Carlquist: 1988).

(Carlquist: 1988; Hather: 2000; Esteban et al.: 2003).



Figura 226 – Observação de amostras histológicas com recurso a Microscopia ótica.

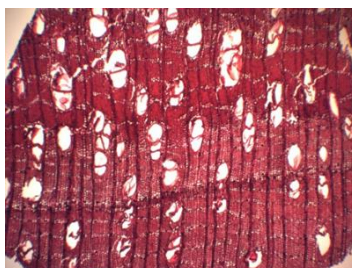


Figura 227 – corte transversal em *Cariniana* spp. com recurso a Microscopia ótica.



Figura 228 - corte tangencial em *Abies* spp. com recurso a Microscopia ótica.

### 3.11.9.3 Microscopia Eletrónica de Varrimento (SEM)

Esta técnica quando comparada com a observação por microscopia ótica de luz transmitida (Carlquist: 1988) apresenta resultados surpreendentes quando se tem como objetivo a análise de pormenores específicos a três dimensões, isto porque permite com relativa facilidade, chegar a ampliações de cerca de 3500 x (Esteban et al.: 2003).

Fornecer imagens com uma enorme clareza e pormenor, o que é essencial quando se pretende a compreensão de detalhes ínfimos da estrutura anatómica do xilema (Carlquist: 1988) assim como a sua configuração espacial e morfologia arquitetónica (Esteban et al.: 2003). Além das limitações acima mencionadas, esta técnica usa idealmente uma amostra quadrangular de 10 mm na base e 15 mm de altura, orientada nos três planos de corte tipo. Para que a observação seja a ideal estes cortes devem ser levados a cabo com recurso ao micrótomo ou ultramicrótomo, sendo os faceamentos conseguidos por este último muito superiores aos obtidos com micrótomo.

Como o microscópio eletrónico de varrimento funciona em vácuo, quando com madeiras de coníferas a aplicação de vácuo pode ocasionalmente provocar o colapso dos torus das pontuações areoladas. No que toca às madeiras de folhosas, quando estas apresentam tubos laticíferos ou mucilagens, a aplicação do vácuo provoca a formação de grandes bolhas destes compostos pelos orifícios dos tubos o que vai limitar em muito a sua observação (Esteban et al.: 2003).



Figura 229 – Equipamento de Microscopia eletrónica de varrimento (SEM). (CEMUP - Porto) (imagem do autor)

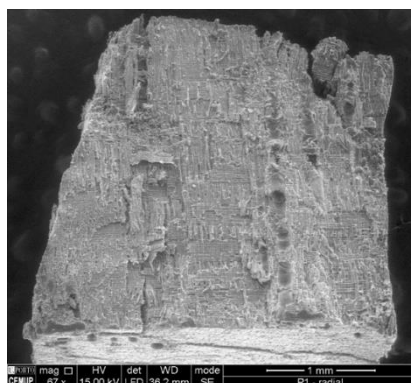


Figura 230 – Secção radial em *Quercus* spp. com recurso a SEM. (Ampliação 67x). (imagem obtida pelo Doutor Carlos P. Moreira de Sá, diretor do CEMUP, a quem agradecemos).

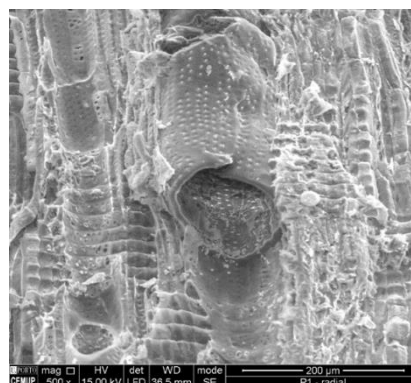


Figura 231 – Pormenor de secção radial em *Quercus* spp. com recurso a SEM. (Ampliação 500x). (imagem obtida pelo Doutor Carlos P. Moreira de Sá, diretor do CEMUP, a quem agradecemos).

### 3.12 DEFEITOS E CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL LENHOSO QUE PODEM INFLUENCIAR OU DIFICULTAR A SUA IDENTIFICAÇÃO

A identificação de madeira não está apenas limitada pela semelhança na morfologia das diversas espécies. Salientam-se igualmente fatores externos que quer durante o seu crescimento, quer em momentos pontuais da sua vida, influenciam grandemente a estrutura interna do espécimen.

*“... O processo de crescimento é determinado por fatores internos e externos que suportam o comportamento específico das espécies e a sua adaptabilidade ao ambiente (e à forma da planta).”*  
(Schweingruber: 2007 apud Bosshard: 1974). (tradução livre)

#### 3.12.1 Defeitos morfológicos do tronco

É definido dentro do âmbito da silvicultura como defeito ou alteração do caule qualquer tipo de modificação da sua forma típica, ou seja, um tronco reto e/ou cónico (Esteves: 2001) que comprometa o seu valor. Tendo em consideração a sua natureza e procedência, definem-se então como defeitos:

**Curvatura do tronco** – o geotropismo negativo<sup>98</sup> faz com que estes desenvolvam um tronco reto ou com escassa curvatura. Porém, a presença de variáveis como ventos dominantes, neve, desníveis do terreno entre outras, obriga geralmente o espécimen a desenvolver curvaturas simples ou duplas. Estes troncos curvos foram e são ainda hoje utilizados, por exemplo na construção naval, mas são praticamente inúteis para a indústria madeireira generalista (Esteban et al.: 2003).



Figura 232 - Fuste curvo (Hoadley: 1990, p. 55).

**Fuste cónico** – a conicidade é normal ao desenvolvimento da generalidade das árvores, porém, passa a ser considerada um defeito quando ultrapassa determinados valores matemáticos os quais vão influenciar o aproveitamento industrial do tronco (Esteban et al.: 2003).

---

<sup>98</sup> Crescimento de uma planta no sentido oposto ao do movimento da terra. In: file:///C:/Users/Ines/Desktop/fisiologia\_movimentos.pdf

**Fuste torcido** – o tronco desenvolve-se como se rodasse sobre si próprio. Isto acontece porque as fibras<sup>99</sup> periféricas crescerem mais rapidamente do que as restantes, isto decorre da estrutura e comportamento do câmbio, sendo uma característica genética mais evidente numas espécies do que noutras (Larson: 1994). A casca chega mesmo a romper-se ao acompanhar o movimento rotativo da madeira (Esteves: 2001).



Figura 233 - Fuste espiralado em *Cersis siliquastrum*, Viana do Castelo (imagem do autor).

### 3.12.2 Desenvolvimento cambial irregular

O desenvolvimento cambial irregular é em algumas espécies não propriamente um defeito originado por qualquer elemento externo mas muitas vezes uma característica genética comum, ao género em questão. Exemplo disso é o género *Juniperus* no qual o desenvolvimento de caules ramificados ou as tumefações e depressões localizadas devido a um deficiente funcionamento da zona de câmbio são características do género e em particular, de espécies como o *Juniperus communis* e *J. oxycedrus*.

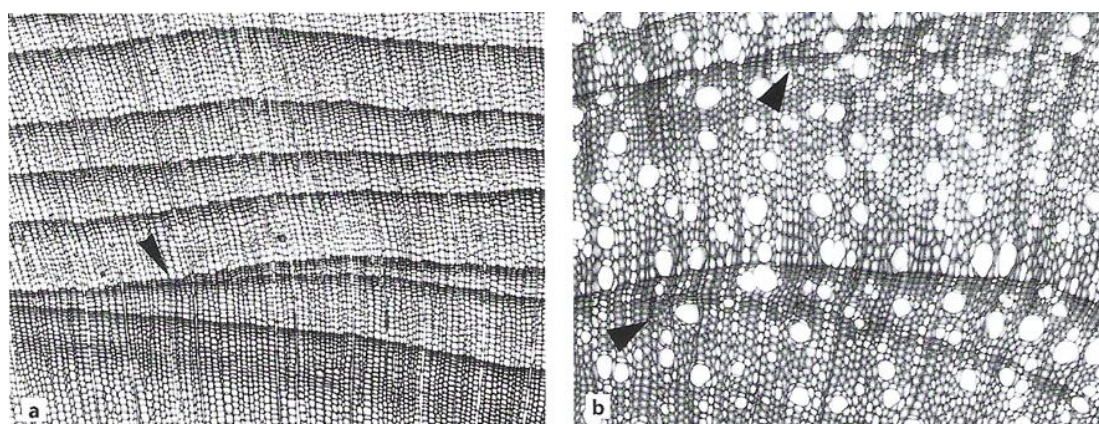


Figura 234 - Inativação e posterior reativação do desenvolvimento cambial em *Juniperus communis* ssp. *hemisphaerica* (a). Dois momentos distintos do funcionamento irregular do câmbio em *Calluna vulgaris* (b) (Schweingruber: 2007, p. 24).

<sup>99</sup> Neste contexto, o termo “fibras”, um termo não técnico, é aqui utilizado para designar no seu conjunto os elementos do sistema axial (traqueídeos, elementos de vaso, parênquima longitudinal e fibras) de uma determinada madeira. Informação transmitida pelo Prof. Doutor José Pissarra, a quem agradecemos.

Este processo pode também resultar da morte localizada da zona de câmbio, morte esta que pode ser permanente ou sofrer uma reativação posterior e ser motivada por questões genéticas ou por agressões (Schweingruber: 2007).

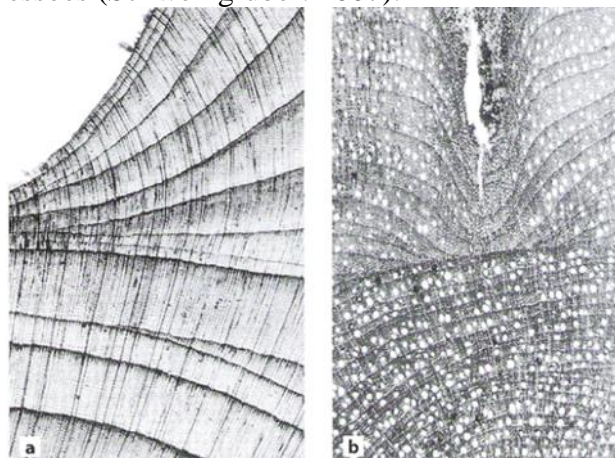


Figura 235 - (a) Inativação cambial originada por ferida e resultante em morte localizada da zona de câmbio, sendo que apenas 2 mm ao lado, o desenvolvimento celular prosseguiu, *Juniperus nana*. (b) câmbio inativo após um impacto o que resultou no não desenvolvimento de células radiais na área afetada, *Erica carnea* (Schweingruber: 2007, p. 24).

É igualmente relevante a referência a espécies que possuem estas características de desenvolvimento, mas apenas localizada na base do tronco e formam contrafortes de sustentação, desenvolvendo-se a partir daí o restante tronco de forma “normal”. Há autores que defendem que esta característica se destina à absorção dos momentos flexores provocados pelo vento em espécies de grande porte, ao passo que outros defendem que não se trata de nada mais do que razões fisiológicas ligadas à circulação de seiva. Falamos de espécies como *Ceiba pentandra*, *Aucoumea klaineana*, *Dicorynia paraensis* entre outras (Esteban et al.: 2003).

### 3.12.3 Conteúdo celular anormal

**Bolsas de resina** – esta ocorrência é mais comum em algumas espécies de coníferas e é motivada por fatores traumáticos, sendo normalmente uma resposta a agentes estranhos. Apresentam-se como cavidades cheias de resina, dispostas axialmente e diminuem grandemente a utilidade industrial ou artística da madeira. Esteves (2001) acrescenta que este elemento só é patente nas peças serradas e não na árvore.



Figura 236 - Bolsas de resina na face radial de uma tábua de *Picea* spp. (Hoadley: 1990, p. 60).

**Depósitos** – estes elementos desenvolvem-se tanto no parênquima radial como axial e em particular nas espécies folhosas. Constituem-se por substâncias cristalinas ou minerais que correspondem tanto a fatores genéticos como edáficos. Espécies com grande percentagem de depósitos criam problemas tanto no seu processamento mecânico, pelo efeito abrasivo destes materiais, como alérgicos nos indivíduos que as manipulam. Destacam-se aqui espécies do género *Mansonia* spp. e *Milicia* spp. (Esteban et al.: 2003).

#### 3.12.4 Disposição anormal das fibras

Esta característica mais do que implicações mecânicas, possui implicações estéticas importantes já que as diferentes tipologias de disposição das “fibras” vão resultar no surgimento de formas e nuances invulgares e imprevistas.

A estas dá-se o nome de figuras e são particularmente destacadas quando a madeira é apresentada em corte tangencial. Falamos das famosas figuras ondeadas, flamejadas, flores (do carvalho) entre outras designações que nomeiam esta característica.

Estas figuras podem ter como origem diversos fatores, sendo eles:

**Fibras entrelaçadas** - quando estas se dispõem em grupos no sentido dextrogiro<sup>100</sup> e no anel seguinte no sentido levogiro<sup>101</sup>. As peças de madeira daqui obtidas responderão de forma distinta à luz incidente. É um padrão típico de espécies como o sapelli (*Entandrophragma Cylindricum*) sipo (*E. Utile*) entre outras;

**Fibras mosqueadas** - quando a “fibra” permanece paralela ao eixo da árvore apresentando, no entanto, ondulações longitudinais. É um tipo de figura muito vulgar em *Acer macrophyllum* e abundante em espécies do género *Populus* e *Eucalyptus*;

**Fibra revirada** - deteta-se por se apresentar numa direção inclinada em relação ao eixo da árvore. Desenvolve-se geralmente por um excessivo crescimento das “fibras” no final do período vegetativo e pode-se apresentar no sentido levogiro ou dextrogiro. Deteta-se na casca quando esta se fissa, fissuração que segue a orientação interna das “fibras”. Torna a madeira mais difícil e perigosa de trabalhar e a sua secagem mais demorada. É frequente em *Quercus* spp., *Castanea* spp., *Populus* spp., *Eucalyptus* spp., *Abies* spp. e curiosamente em *Pinus sylvestris*, a inclinação das “fibras” é sempre dextrogiro (Esteves: 2001; Esteban et al.: 2003).

#### 3.12.5 Deformação e constituição anormal dos tecidos em certas partes do lenho

Estes defeitos podem ter uma origem natural, acidental ou propositadamente produzidos pelo Homem. Falamos de elementos como as alterações de densidade do lenho (Schweingruber: 2007) que pode ter múltiplas razões.

Estas alterações de densidade podem ser originadas por períodos repentinos e mais ou menos extremos de seca, de frio ou de ventos, como igualmente de fatores físicos como neve, areia entre outros.

As flutuações na densidade dos elementos constituintes do lenho dão origem, entre múltiplos defeitos mecânicos, àquilo que se conhece como falsos anéis de crescimento, os quais podem em situações específicas induzir o examinador em erro.

---

<sup>100</sup> Rotação para a direita, no sentido dos ponteiros do relógio. In: <http://medicosdeportugal.saude.sapo.pt/glossario/dextrogiro>

<sup>101</sup> Rotação para a esquerda, no sentido contrário aos ponteiros do relógio. In: <http://medicosdeportugal.saude.sapo.pt/glossario/levogiro>

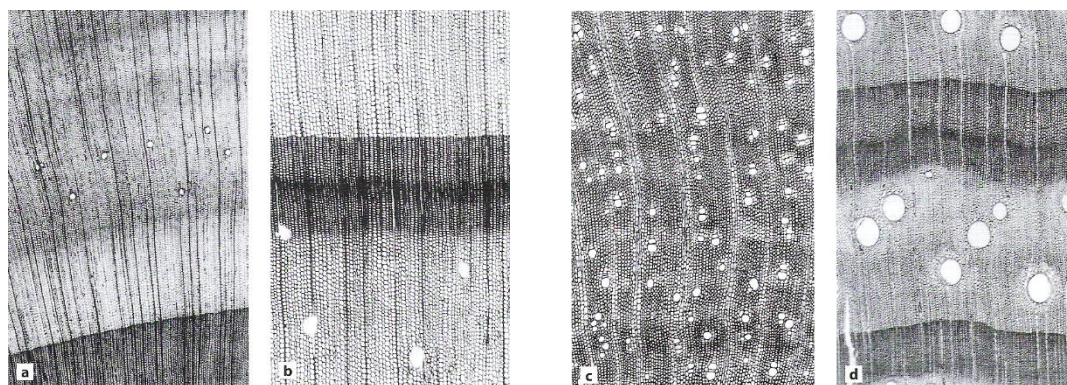


Figura 237 - Secção transversal de flutuações na densidade do lenho que se constituem como falsos anéis de crescimento. (a) *Picea abies*, (b) *Pinus sylvestris*, (c) *Sonchus arboreus*, (d) *Eucalyptus pauciflora*. (a, c) flutuações ligeiras. (b, d) flutuações intensas (Schweingruber: 2007, p. 9).



Figura 238 - Secção tangencial de uma flutuação na densidade do lenho em *Ulmus glabra*. (a) fibras com disposição normal no lenho tardio antes da flutuação. (b) fibras com disposição anormal no lenho tardio depois da flutuação (Schweingruber: 2007, p. 161).

As bifurcações, originadas pela bifurcação de um tronco em Y.

Os aleijões, que resultam de grandes acumulações de material lenhoso e podem ser gerados por infeções, feridas ou podas incorretas. É no entanto um defeito altamente apreciado pelos Ebanistas e artesãos em geral, já que é destes elementos, a par das raízes, que provem o famoso olho-de-perdiz tão ambicionado em mobiliário, cachimbos etc. (Esteban et al.: 2003; Moreira: 2010).

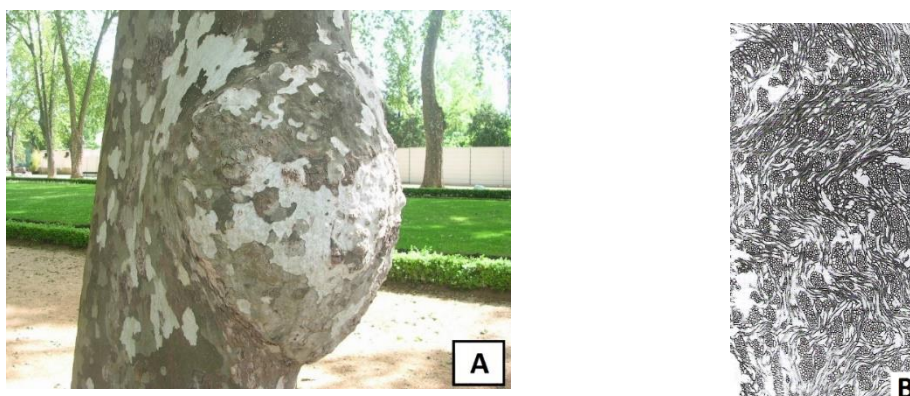


Figura 239- Aleijão em (A) *Platanus x hispanica*, Tomar (imagem do autor). (B) Disposição anormal das fibras numa secção tangencial de um aleijão em *Acer pseudoplatanus* - Imagem obtida com recurso a microscopia ótica (Schweingruber: 2007, p. 60).

As ausências localizadas de lenho de primavera não têm um impacto relevante na estrutura macroscópica do lenho mas sim na sua microestrutura e consequente análise. É um fator que pode ter como origem, entre outros, a competição por luminosidade.

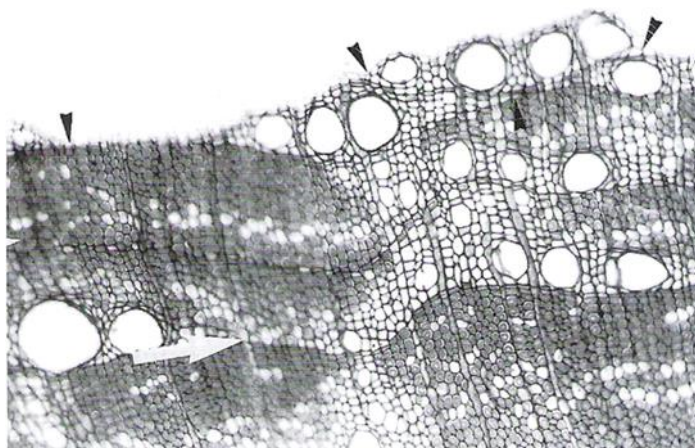


Figura 240 - Formação descontínua de poros no lenho de primavera (seta branca) e desativações localizadas do tecido cambial (setas negras) em *Quercus pubescens* densamente sombreado (Schweingruber: 2007, p. 26).

### 3.12.6 Impregnação desigual de materiais corantes, óleos, gomas e resinas

Este defeito, os chamados raiados de impregnação ou de pigmentação, é consequência da impregnação desigual dos tecidos o que resulta em áreas mais escuras do que a restante madeira em redor. É muito comum em *Liquidambar styraciflua*.

Quanto à impregnação com resinas, um exemplo comum é o de *Pinus canariensis*.

A origem deste defeito é dúbia, sendo que pode corresponder a fatores genéticos ou antrópicos<sup>102</sup> (Esteban et al.: 2003).



Figura 241 - Deposição desigual de corantes em *Liquidambar styraciflua* (Hoadley: 1990, p. 63).

<sup>102</sup> Resultado da ação humana. In: <http://www.priberam.pt/dlpo/antr%C3%B3pica>

### 3.12.7 Lenho de reação (compressão e tração)

Quando se fala em madeira de reação fala-se, antes de mais, de uma adaptação da estrutura lenhosa a uma exigência específica do ambiente (Carlquist: 1988; Schweingruber: 2007).

Este termo comporta em si igualmente o material lenhoso formado aquando de uma ferida ou impacto a partir do qual se dá um aumento da formação celular, espessura das paredes celulares, assim como uma modificação na direção das “fibras” (Schweingruber: 2007), porém, o conceito geral de madeira de reação engloba primordialmente (Esau: 1977; Esteban et al.: 2003) dois outros conceitos mais específicos, os quais, dentro dos seus âmbitos, explicam sob que tipo de ação a madeira em questão se desenvolveu.

Este desenvolvimento pode fazer-se sob uma força de tração; madeira de tração ou madeira de tensão, ou sob uma força de compressão; madeira de compressão (Esau: 1977; Carlquist: 1988; Mauseth: 1988; Schweingruber: 2007).

O lenho de reação diferencia-se da chamada madeira normal, tanto anatomicamente como quimicamente (Esau: 1977; Schweingruber: 2007).

A madeira de tração desenvolve-se geralmente nas folhosas, ao passo que a madeira de compressão é mais comum nas coníferas. Em ambas apresenta-se como característica comum o desenvolvimento excêntrico dos anéis de crescimento, assim como a presença de maiores concentrações de fibras gelatinosas (Schweingruber: 2007 *apud* Hoster & Liese: 1966; Fisher & Marter: 2006; Tomlinson: 2001).

Como principais agentes promotores desta característica temos o crescimento em terrenos inclinados, espécimes sujeitos a ventos com direcionamento frequente, madeira dos ramos e espécies de crescimento rápido (Esteban et al.: 2003).

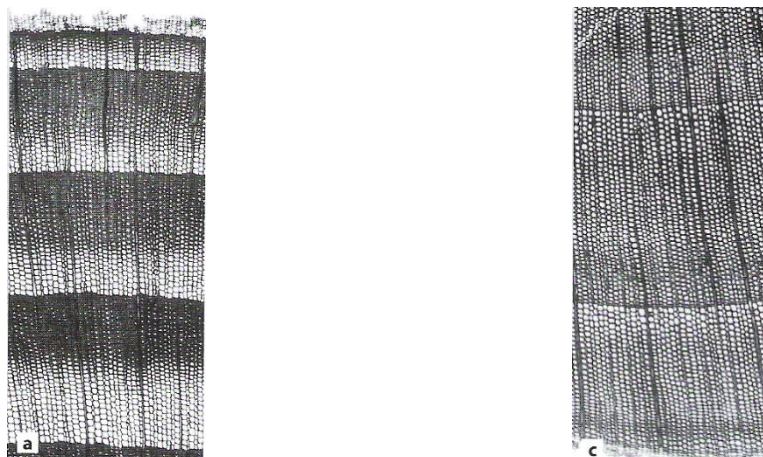


Figura 242- Lenho de reação num ramo em *Picea abies*. (a) topo superior do ramo. (b) base do ramo (Schweingruber: 2007, p. 62).

### 3.12.8 Lenho de compressão

Está associada às espécies coníferas embora Schweingruber (2007) *apud* Hoster & Liese (1966); Yozhizawa et al. (1993) refira a descoberta de células de compressão em exemplares de *Buxus sempervirens*.

Localiza-se geralmente na parte inferior dos ramos e na face côncava dos troncos curvos. Numa análise macroscópica pode-se notar um tom geral mais escuro, uma maior proximidade entre os anéis e uma maior densidade da estrutura da madeira (Esau: 1977; Carlquist: 1988).

Está definida uma gradação da intensidade da compressão, sendo que, quando esta é muito alta os anéis de crescimento da área comprimida parecem ser constituídos apenas por lenho de primavera.

Numa observação microscópica, detetam-se as seguintes características do lenho de compressão:

Este concentra-se maioritariamente nos traqueídeos e nunca nas células de parênquima (Schweingruber: 2007);

Quando em secção transversal os traqueídeos apresentam-se circulares surgindo por conseguinte hiatos<sup>103</sup>. Esta modificação não afeta os traqueídeos de primavera, cuja secção transversal passa gradualmente da forma poligonal para arredondada conforme se aproxima da zona de primavera.

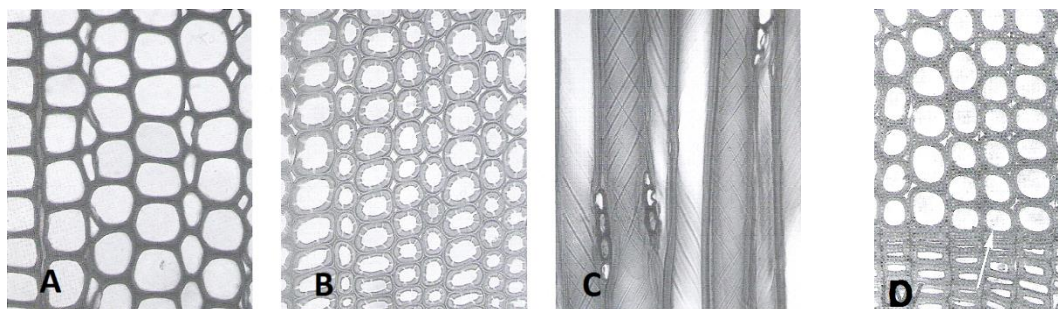


Figura 243- Traqueídeos em *Pinus strobus*. (A) secção transversal de traqueídeos normais. (B) secção transversal de traqueídeos de lenho de compressão. (C) secção tangencial de traqueídeos de lenho de compressão apresentando espessamentos espiralados (Hoadley: 1990, p. 56). (D) secção transversal de *Juniperus virginiana* com lenho de compressão onde são visíveis os espaços intercelulares no lenho de primavera (Schweingruber: 2007, p. 130).

Esteban et al. (2003) acrescentam ainda que estes elementos são particularmente marcados tanto nos traqueídeos de secção poligonal em *Juniperus* spp. como nos traqueídeos de secção circular em *Araucaria* spp., os quais apresentam as microfibrilas com uma disposição espiralada, num ângulo de 60° (Schweingruber: 2007)

<sup>103</sup> Interstício de certas células vegetais. *In*: <http://www.dicio.com.br/hiato/>



Figura 244 - Secção tangencial com microfibrilas em lenho de compressão em *Pseudotsuga menziesii* (Schweingruber: 2007, p. 130).

ao que Esteban et al. (2003) acrescentam que as paredes celulares apresentam fendas inclinadas de 40 a 60° em relação ao eixo, fendas estas, que não devem nunca ser confundidas com os espessamentos helicoidais presentes em algumas coníferas;

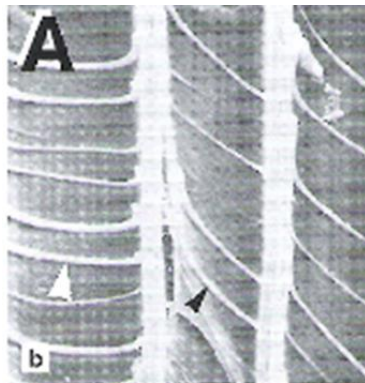


Figura 245 - Espessamentos espiralados em lenho de compressão em *Taxus cuspidata*, antes da carga de stress (seta branca) e depois desta (seta negra) (Schweingruber: 2007, p. 130).

As extremidades destes traqueídeos exibem-se igualmente atrofiadas (Carlquist: 1988; Schweingruber: 2007), aumentando gradualmente de espessura, sendo que a espessura das camadas que formam a parede celular se apresenta modificada por uma escassa lenhificação da lamela mediana;

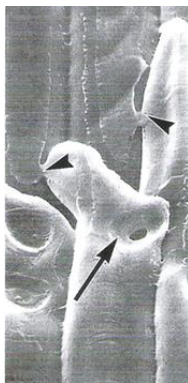


Figura 246 - Traqueídeo com terminações atrofiadas em lenho de compressão em *Abies balsamea*. As setas pequenas indicam pontuações areoladas e a seta grande indica a parede primária deformada (Schweingruber: 2007, p. 130).

A camada S3 não existe, a S2 surge com uma espessura anormalmente elevada e o lúmen perde diâmetro em favor da parede;

Os raios podem apresentar-se em maior número e com maior espessura, algo comum em espécies do género *Pinus*;

A madeira diametralmente oposta à madeira de compressão difere também da estrutura normal nos seguintes pontos:

- Os anéis apresentam-se geralmente irregulares na sua espessura e na percentagem de material lenhificado que contêm;
- A camada S2 da parede celular surge mais espessada do que normal;
- A camada S3 apresenta-se frequentemente ondulada;

Este tipo de madeira tem propriedades físicas diferentes das da madeira normal, como sendo, maior peso específico, maior contração longitudinal (até 10 x mais), assim como um ligeiro aumento da sua contração tangencial e radial;

Da mesma forma, após concluída a secagem os seus valores de humidade são ligeiramente mais altos do que na madeira normal, sendo que o seu ponto de saturação é alcançado antes do da madeira normal precisamente devido à elevada percentagem de lenhina existem nas suas paredes celulares (Esteban et al.: 2003);

Quimicamente difere igualmente da chamada madeira normal pelo seu elevado conteúdo de lenhina, pela sua menor quantidade de celulose e pelo aumento da percentagem de galactose (Esteban et al.: 2003).

### 3.12.9 Lenho de tração

As típicas fibras da madeira de tração denominam-se como fibras gelatinosas (Carlquist: 1988; Mauseth: 1988; Schweingruber: 2007 *apud* Jutte: 1956) e podem substituir uma, duas, ou as três paredes celulares que formam uma célula de madeira (Carlquist: 1988). Estas células são geralmente mais longas do que as células não submetidas a tração na mesma espécie (Carlquist: 1988 *apud* Wardrop & Dadswell: 1955).

O lenho de tração surge na face superior dos ramos e troncos inclinados de espécies folhosas, embora também tenha já sido observado na face inferior igualmente.

Macroscopicamente falando a identificação do lenho de tração é mais difícil. Em corte identifica-se como mais densa, mais brilhante, mais suave que a envolvente, assim como mais clara, característica esta que faz com que seja mais fácil de identificar quando ocorre em madeiras escuras.



Figura 247 - Lenho de tração (áreas mais brilhantes) em *Populus* spp. (Hoadley: 1990, p. 57).

Microscopicamente apresenta as seguintes características:

As fibras surgem em maior número e com um diâmetro externo de maiores dimensões do que a madeira normal, no entanto, o seu diâmetro interno é menor. Apresentam paredes muito grossas, gelatinosas (Esau: 1977) praticamente sem qualquer lenhina (Schweingruber: 2007), altamente refratárias (Esau: 1977) e praticamente sem lúmen como consequência do engrossamento das camadas S2 e S3 que o ocupam total ou parcialmente (Esteban et al.: 2003). Esau (1977) acrescenta ainda que podem apresentar igualmente até quatro camadas;

Schweingruber (2007) refere que estas camadas celulares gelatinosas e sem lenhina são apenas encontradas em elementos como as fibras liberiformes e os fibrotraqueídeos e nunca em células como a parênquima axial ou radial;

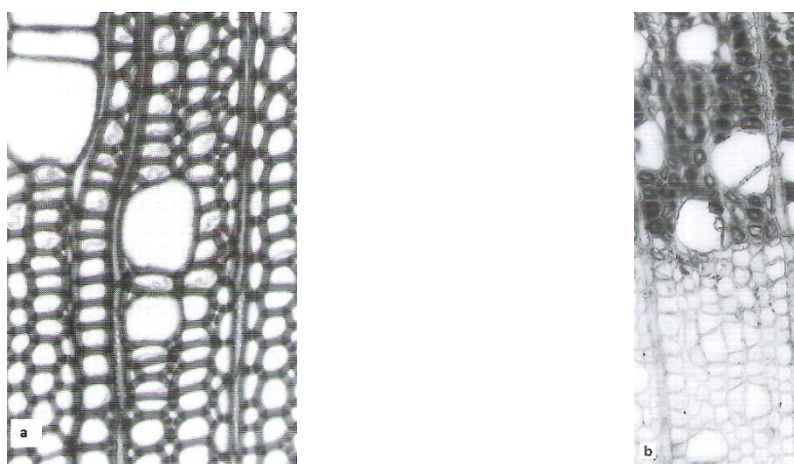


Figura 248- Células gelatinosas com a característica irregularidade do lúmen em (a) *Alnus incana*. Células gelatinosas (topo da imagem) em (b) *Salix fragilis*. No género *Salix* o lenho de tração não afeta a formação dos poros do lenho de primavera (Schweingruber: 2007, p. 132-133).

Em redor destas fibras liberiformes e fibrotraqueídeos, os elementos de vaso surgem geralmente reduzidos em largura e em número (Esau: 1977; Schweingruber: 2007);

Com luz polarizada, estas fibras liberiformes e fibrotraqueídeos do lenho de tração revelam listras helicoidais;

Os seus raios são mais numerosos e de menores dimensões;

O parênquima axial é menos frequente e de menores dimensões;

A madeira diametralmente oposta à sujeita à tração pode surgir com fibras mais curtas mas com os seus vasos normais;

Quimicamente é mais rico em celulose, sendo por seu lado mais pobre em lenhina;

À semelhança da madeira das coníferas apresenta um peso específico, assim como um poder de contração longitudinal superior. Além disso, tem propriedades mecânicas irregulares como sendo o facto de tornar muito difícil obter um polimento elevado, apresenta uma secagem muito mais irregular, assim como fendas e deformações que complicam o seu uso em carpintaria.

A solução para o uso deste tipo de madeira passa então pela morte da árvore ainda em pé, quer seja pela remoção da casca ou por qualquer outra técnica que tenha o mesmo resultado e que tem como consequência, que as tensões internas criadas pela circulação de seiva, pelas tensões de crescimento e pelo próprio peso da árvore desapareçam. Isto resulta num material

que não oferece dificuldades ao seu manuseio industrial ou artístico, nem deforma quando transformado em tábuas (Esteban et al.: 2003).

### 3.12.10 Feridas

As feridas resultam de uma imensidão de motivos e causas, sejam elas naturais ou provocadas pelo Homem. Porém, independentemente da causa, todas elas se concluem num processo de cicatrização mais ou menos profundo. Este processo pode resultar no desvio das fibras, exposição a agentes patogénicos, deformações localizadas ou com impacto geral no tronco do espécimen.

Nos casos menos impactantes, a cicatrização pode não deixar no exterior qualquer lesão visível, a qual permanece no interior do tecido e é detetada apenas aquando da manipulação da madeira.

Nos casos mais extremos pode mesmo dar-se o desenvolvimento e recuperação do exterior da ferida, ao passo que o interior desta se mantém destruído.

Quando o processo de cicatrização termina a área afetada é envolta por tecido cambial que mostra geralmente uma atividade superior ao normal.

Os agentes principais na formação de feridas em caules são pedras rolantes, queda de árvores próximas, roedores, caça grossa, elementos metálicos como pregos e balas, podas excessivas, entre outros (Esteban et al.: 2003).



Figura 249 - Ferida provocada por sucessivas podas executadas de forma incorreta em *Populus alba*, Águeda (imagem do autor).

### 3.12.11 Nós

Este fator não é um defeito mas antes um dos elementos inerentes ao tronco. Constitui-se como o conjunto de lenho de um ramo inserido no tronco. A sua posição de desenvolvimento vai impor discontinuidades na expansão do xilema e das suas camadas anuais.

Genericamente, nas folhosas a disposição dos nós é alterna, ao passo que nas coníferas se dispõem de forma verticilada.

Dividem-se em dois grupos distintos:

- Nó morto (ou saltadiço, solto, negro) – origina-se aquando de uma poda artificial, resultado do vento, neve ou atividade humana e sobre a qual se gera

um rebordo de cicatrização, permanecendo a madeira morta englobada no interior do tronco;

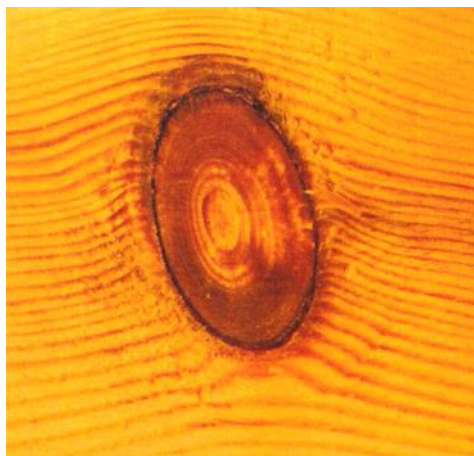


Figura 250 - Nó morto elíptico em *Pinus* spp. (Esteves: 2001, p. 61).

Este pode ainda ser um Nó aderente, se se mantiver firmemente no seu local de origem após obtida a tábua, ou constituir um Nó saltadiço<sup>104</sup>;

Dentro dos Nós aderentes, estes podem ainda constituir-se por madeira sã classificando-se como Nó são, ou por madeira que tenha sofrido um processo de apodrecimento, denominando-se então Nó vicioso;

- Nó vivo (ou firme, aderente, branco) – após o abate o corte de um ramo dá origem a um nó vivo, são e aderente, o qual apresenta sempre uma madeira mais escura e muito mais dura e desenvolve, além disso, tipicamente durante a secagem fendas radiais tipo pé de galinha. Estes nós não se separam da tábua;

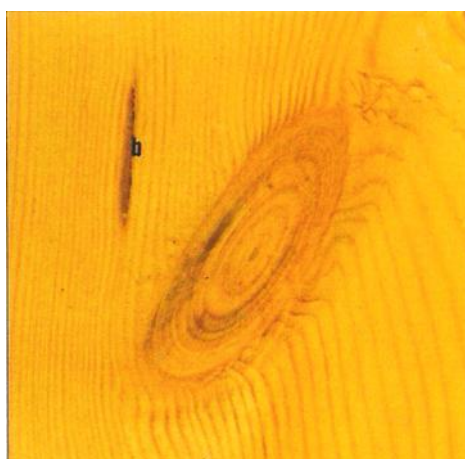


Figura 251 - Nó vivo elíptico em *Pinus* spp. com (b) bolsa de resina (Esteves: 2001, p. 61).

<sup>104</sup> [http://www.isa.utl.pt/def/files/files.2007/File/disciplinas/tpf/TPF\\_3\\_Nos.pdf](http://www.isa.utl.pt/def/files/files.2007/File/disciplinas/tpf/TPF_3_Nos.pdf)

### 3.12.12 Desenvolvimento irregular do cerne

#### **Coração excêntrico**

O desenvolvimento excêntrico dos anéis de crescimento pode ser motivado pelo efeito do vento, desnível do terreno ou assimetria da copa, mas igualmente pela desigual fertilidade do solo o que faz com que a raiz tenha um crescimento assimétrico o que se vai, por sua vez, refletir no desenvolvimento dos anéis de crescimento (assim como no desenvolvimento de lenho de reação). Se a diferença for grande, isso vai ter sérias consequências físico-mecânicas no comportamento da madeira (Esteves: 2001; Esteban et al.: 2003).



Figura 252 - Coração excêntrico em *Picea abies* (Hoadley: 1990, p. 55).

#### **Coração recortado**

A origem deste defeito é desconhecida e a sua presença pouco abundante. Essencialmente define-se como o desenvolvimento dos anéis de crescimento de forma ondulada. Esta característica não acarreta nenhum comportamento anormal ao material lenhoso e é até procurada pelos atraentes efeitos visuais que dá à madeira, adquirindo mesmo o nome de madeira ondedada e sendo particularmente ambicionada para instrumentos musicais (Esteban et al.: 2003).

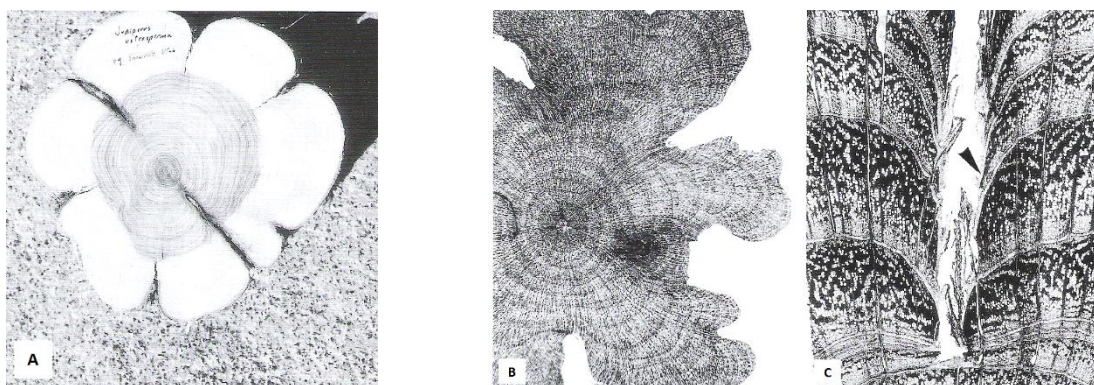


Figura 253- Após um desenvolvimento anelar concêntrico, o crescimento é inibido numa determinada posição do lenho. (a) *Juniperus osteosperma*. (b) *Corema album*, (c) *Artemisia tridentata* - Imagens (b, c) obtidas com recurso a microscopia ótica (Schweingruber: 2007, p. 22-23).

### **Coração estrelado**

Este defeito resume-se como o surgimento de fendas radiais, além de transversais, que inutilizam o cerne na maior parte dos casos. É normal o surgimento de podridões quando este caso ocorre o que resulta em geral, no desperdício desta área do tronco (Esteban et al.: 2003).

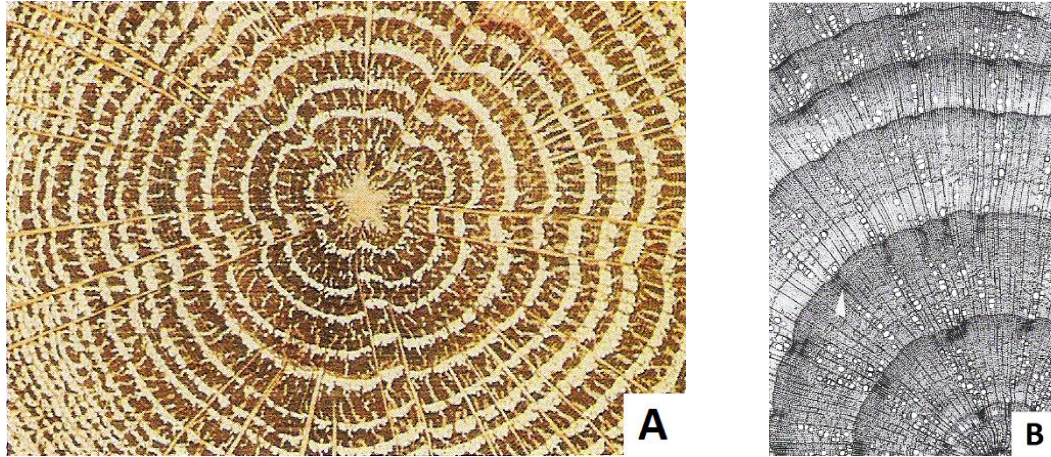


Figura 254- (A) Coração estrelado em *Quercus* spp. (Hoadley: 1990, p. 58). (B) O desenvolvimento do lenho com coração estrelado tem por norma uma relação com os raios agregados, os quais aumentam significativamente a sua concentração (seta branca), em *Carpinus betulus* - Imagem obtida com recurso a microscopia ótica (Schweingruber: 2007, p. 29).

### **3.12.13 Desenvolvimento do Entrecasco**

Consiste na presença de parte do entrecasco (liber) no interior da madeira e é abundante quando se presencia a união imperfeita de dois troncos ou ramos que crescem anexos. É facilmente visível em corte transversal e é em geral acompanhado pela presença de cerne duplo (Esteban et al.: 2003).

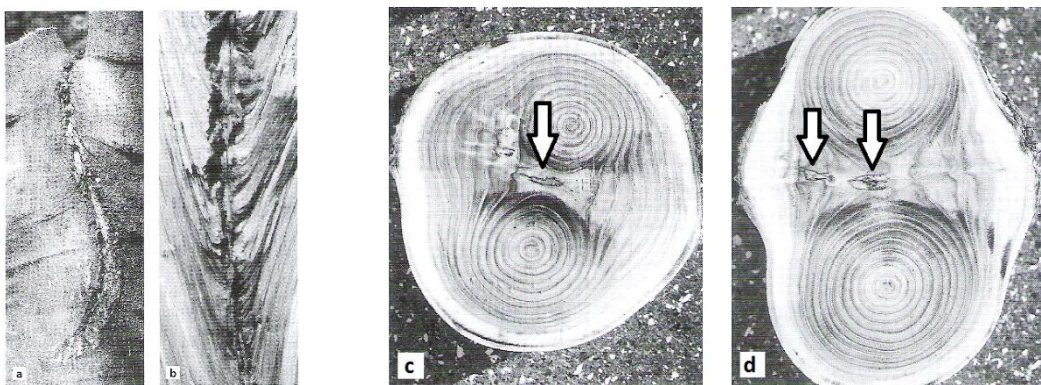


Figura 255- Desenvolvimento de entrecasco – (a) vista exterior do tronco com a casca fissurada de dois ramos principais. (b) vista do mesmo tronco seccionado longitudinalmente e onde é visível o “ancoramento” que as fibras do ramo da direita e da esquerda têm entre si. (c, d) secção transversal de dois troncos nos quais é visível a casca inclusa no tecido xilemático. Todas as imagens de *Castanea sativa* (Schweingruber: 2007, p. 230).

### 3.12.14 Fendas anelares

As fendas no geral têm uma implicação definitiva para a silvicultura, sendo que como fator limitador para a identificação de madeira a sua relevância é relativa.

Fendas que se produzem com a separação entre anéis de crescimento. Este tipo de fendas não é visível senão aquando do abate do espécimen.<sup>105</sup> Esta patologia gera-se durante o crescimento do exemplar quando sujeito a temperaturas muito baixas, fogo florestais (Esteban et al.: 2003) secas ou inundações (Schweingruber: 2007) e são comuns tanto em coníferas como em folhosas e mesmo exóticas (Esteban et al.: 2003).

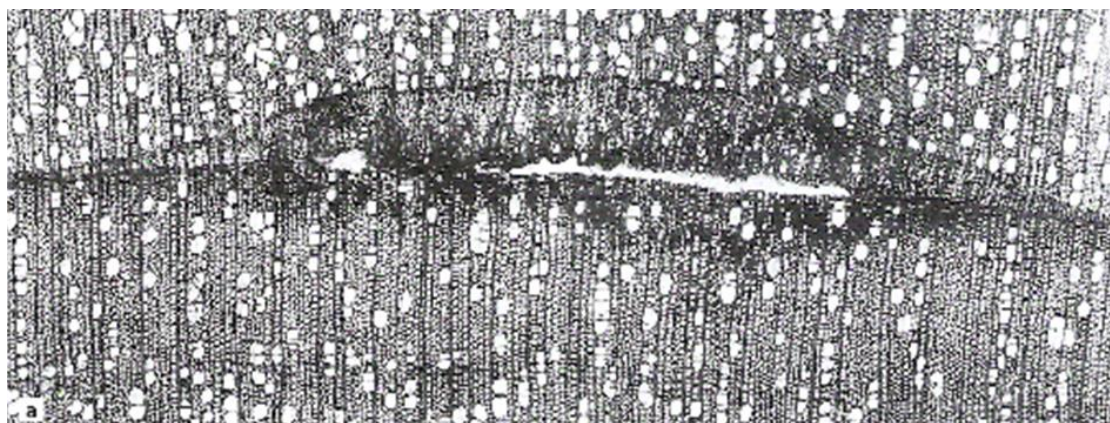


Figura 256 - Fenda no lenho de *Alnus incana* causada por uma cheia durante a formação do lenho de outono. O ferimento desencadeou a compartimentalização química e a formação de um calo, assim como deu origem a uma zona de lenho de outono adicional (Schweingruber: 2007, p. 100).

### 3.12.15 Fendas radiais

É um fenómeno motivado por desequilíbrios hídricos intensos e que tem a sua maior incidência na base do tronco. Apresenta-se como pequenas fissuras radiais que podem ocupar toda a extensão do anel de crescimento ou limitar-se apenas à madeira de primavera (Esteves: 2001; Esteban et al.: 2003).

### 3.12.16 Fendas pé de galinha

Fenda estrelada de disposição radial que se origina no cerne e que raramente ultrapassam os 15cm de comprimento. É um defeito menor desde que a madeira seja aproveitada em quadratura ou se elimine o cerne afetado (Esteves: 2001; Esteban et al.: 2003).

### 3.12.17 Danos provocados pela intervenção humana

Esta tipologia de defeitos é talvez, entre todas, a que mais facilmente poderia ser evitada, quer sejam intervenções acidentais ou propositadas, que podem ou não ter por objetivo a morte do exemplar.

Dentro das ações que provocam mais defeitos posteriores contam-se agressões e inserções de elementos externos ao tronco (López, et al.: 2002), remoção da casca, recolha de resinas e incêndios e, mais vulgarmente, podas extremas ou mal executadas (Esteves: 2001; Esteban et al.: 2003; Schweingruber: 2007).

<sup>105</sup> <http://normadera.tknika.net/es/content/entrecasco>



Figura 257 - Poda incorreta em *Platanus x hispanica*, Teixoso (imagem do autor).

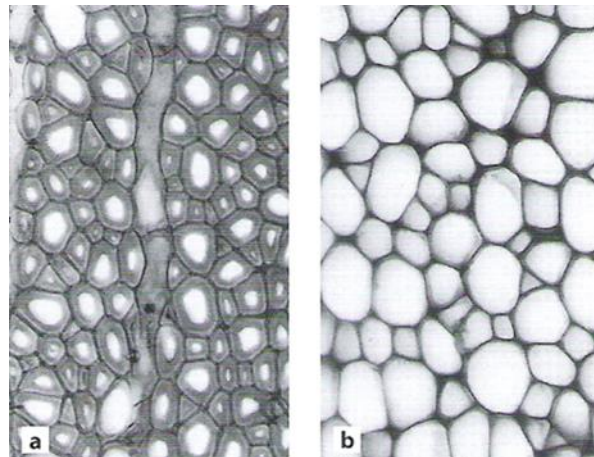


Figura 258 - Secção transversal onde se pode comparar a espessura das paredes celulares das fibras de *Fraxinus excelsior*. (a) fibras do lenho de Outono de um exemplar com copa intacta. (b) fibras do lenho de outono de um exemplar sujeito a poda - fibras do lenho de outono de um exemplar com copa intacta (Schweingruber: 2007, p. 166).



Figura 259 - Coto em *Quercus robur*, Viana do Castelo (imagem do autor).

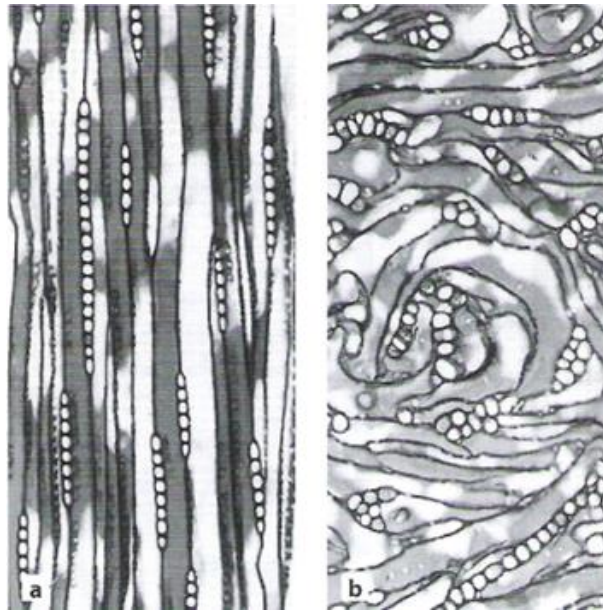


Figura 260 - Secção tangencial de coto. (a) tecido xilemático normal. (b) tecido xilemático de zona calosa (Schweingruber: 2007, p. 142).

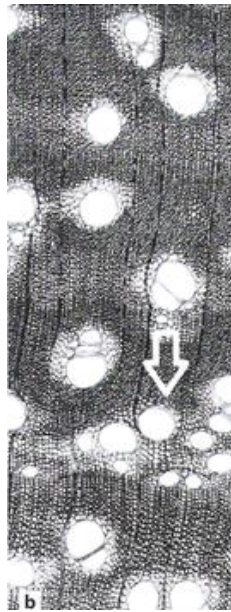


Figura 261 - O aglomerado de poros mais pequenos (seta) é uma reação da árvore à desfolhação causada por um incêndio, *Acacia hottwittii* (Schweingruber: 2007, p. 17).

### 3.12.18 Danos provocados pela intervenção animal

A maior parte dos defeitos de origem animal reduzem-se a danos da casca e, em casos particulares, ao dano dos anéis periféricos do borne, resultando isto geralmente dos processos de alimentação de diferentes espécies de animais (Esteban et al.: 2003). Incluem-se, também, os danos causados por insetos os quais podem ter um impacto identificável na estrutura interna do lenho ao consumirem grandes quantidades da folhagem do espécimen. Este efeito é no entanto considerado pouco importante na modificação da estrutura do lenho, assim como alvo de pouca atenção científica (Schweingruber: 2007).

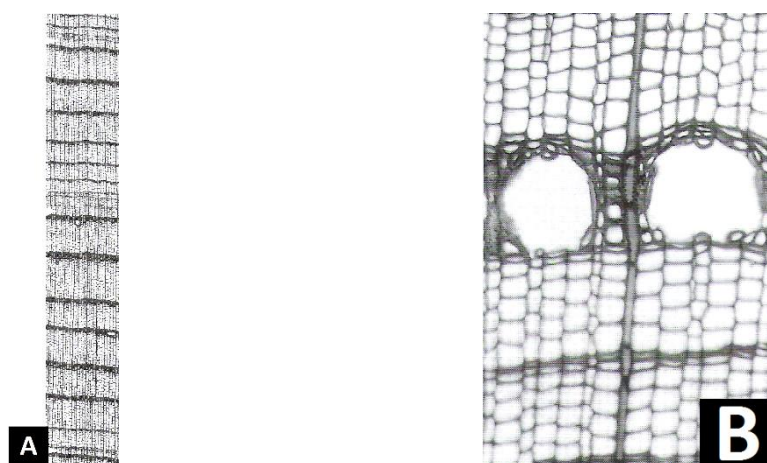


Figura 262- (A) Lenho de *Larix decidua* com três momentos de redução de crescimento causados por inseto *Zeiraphera diniana*. (B) Fiada tangencial de canais resiníferos em *Pseudotsuga menziesii* causada por ataque do inseto *Choristoneura occidentalis* (Schweingruber: 2007, p. 147-149).

Por um processo semelhante de desfolhação, os ataques de fungos podem, também eles, criar modificações morfológicas no lenho (Schweingruber: 2007).

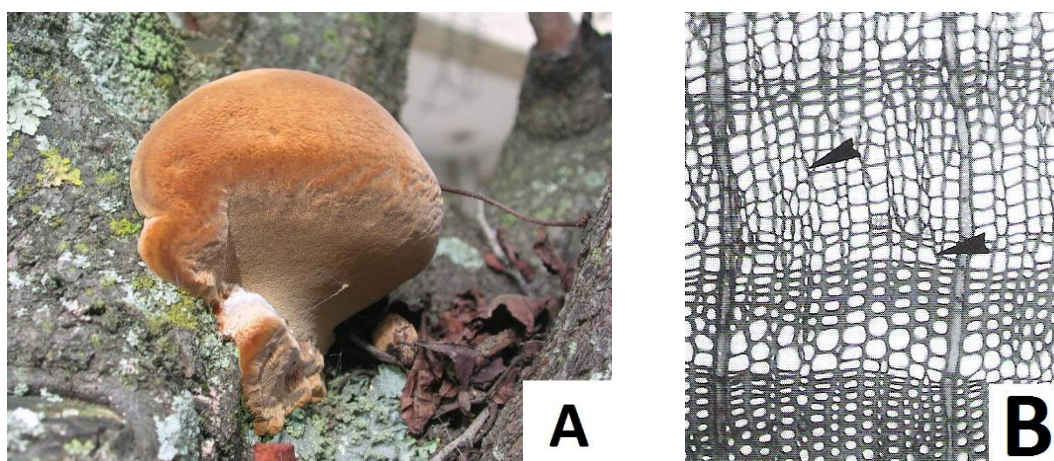


Figura 263- (A) Fungo em *Prunus cerasifera*, Viana do Castelo (imagem do autor). (B) Modificação da organização e estrutura dos traqueídeos (setas) em *Larix decidua* causada pelo ataque do fungo *Gremmeniella abietina* ou *Phacidium infestans* - Imagem obtida com recurso a microscopia ótica (Schweingruber: 2007, p. 150).

### 3.12.19 Danos provocados pela intervenção vegetal

Como primeiro fator falamos da limitação da radiação solar imposta pelos exemplares de estratos dominantes dentro do coberto florestal. Estes ao limitarem com maior ou menor intensidade a quantidade de radiação solar que chega aos estratos inferiores, fazem com que os exemplares pertencentes a este nível tenham de inclusivamente curvar-se para poderem aceder à luz solar. Isto vai criar tensões na formação do tronco de maior ou menor importância (Esteves: 2001; Esteban et al.: 2003). Carlquist (1988) refere, citando Lohr (1969), que condições de muito baixa luminosidade levam a que espécies de porosidade anelar desenvolvam porosidade difusa.

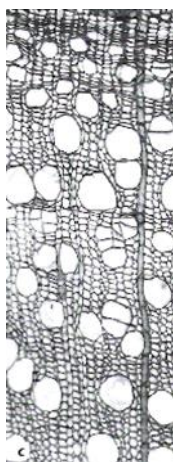


Figura 264 - Diminuição drástica do tamanho dos poros em *Populus alba*, culminando na morte do exemplar pela falta de radiação solar causada pelo sombreamento provocado por *Castanea sativa* (Schweingruber: 2007, p. 17).

As plantas trepadeiras e parasitas impõem com a sua ação e desenvolvimento, grandes impactos nas espécies afetadas, os quais podem incluir desde o desenvolvimento de troncos helicoidais ou, em casos mais extremos, mesmo a morte do exemplar (Esteves: 2001; Esteban et al.: 2003).



Figura 265 - Tronco de *Hedera helix* sobre *Platanus x hispanica* (Tomar) – (imagem do autor).

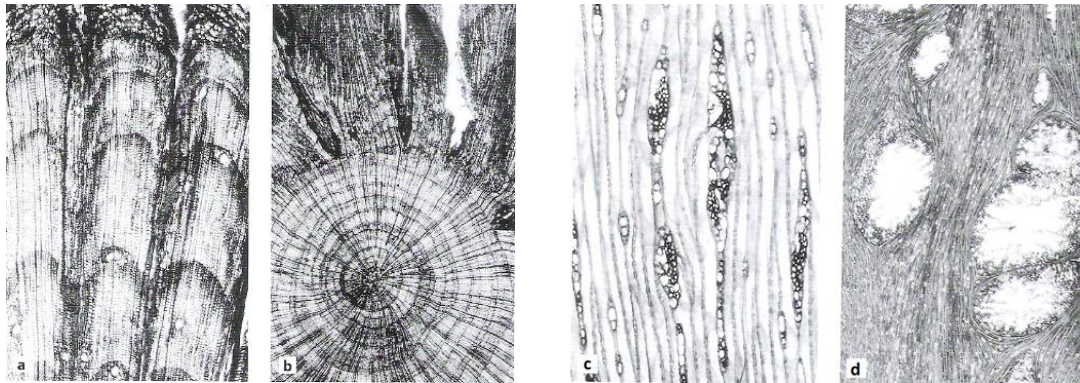


Figura 266- Secções transversais apresentando modificações no lenho motivadas pela presença de planta parasita. (a) conífera parasita *Arceuthobium* spp. sobre *Pinus ponderosa*. (b) *Arceuthobium* spp. sobre *Juniperus deppeana*. (c) secção tangencial de *Arceuthobium* spp. sobre *Juniperus deppeana*. (d) - *Arceuthobium* spp. sobre *Pinus ponderosa* (Schweingruber: 2007, p. 226).

### 3.12.20 Danos provocados por fenómenos meteorológicos anormais

Este ponto refere-se aos danos causados por eventos meteorológicos como temperaturas extremas, radiação incidente, vento, neve (Esteban et al.: 2003) raios (Schweingruber: 2007), entre outros, os quais, em conjunto, são responsáveis por diversas modificações na morfologia do tronco.

A radiação solar excessiva pode levar à desidratação e posterior destacamento da casca da árvore, o que resulta na fissuração longitudinal (fendas de desidratação) da casca e que pode favorecer o surgimento de fungos, assim como resultar na conseqüente degradação do material lenhoso (Esteban et al.: 2003).

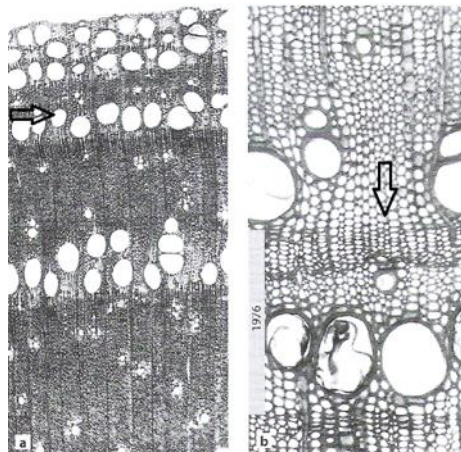


Figura 267 - Secção transversal de *Fraxinus excelsior* onde é identificável (a) abrupta redução de crescimento resultante de uma seca extrema (seta) e (b) conjunto celular colapsado e com parede fina no lenho de outono resultado de um período de seca (Schweingruber: 2007, p. 99).

De igual forma variações hidrológicas extremas no solo, podem igualmente ter um impacto identificável no lenho (Schweingruber: 2007).

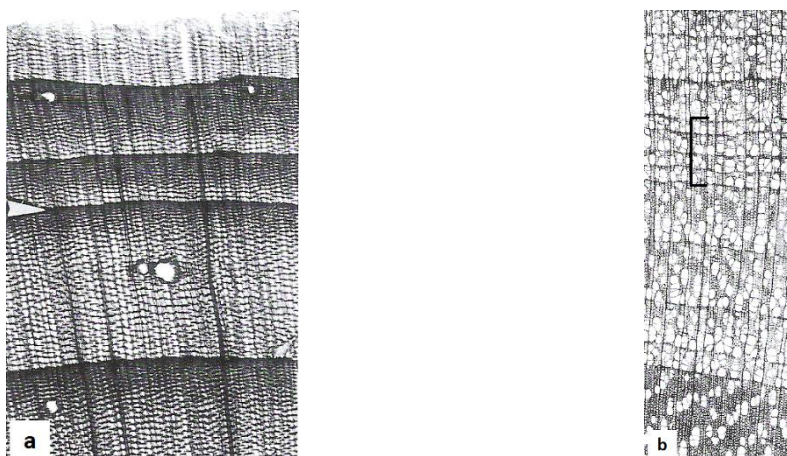


Figura 268- (a) redução do crescimento em *Picea abies* (seta) causada por uma cheia. (b) redução de crescimento causado pela súbita do nível da água no solo seguido de um terremoto em *Populus trichocarpa* (Schweingruber: 2007, p. 93-94).

As baixas temperaturas provocam nas árvores o mesmo que em qualquer outro material, ou seja, uma redução das suas dimensões. Quando sujeita a uma geada extrema e repentina, dá-se um arrefecimento rápido da superfície da casca o que resulta num gradiente de humidade entre esta área e seu interior, provocando a secagem das zonas superficiais.

Se a casca for muito fina, possuir grandes quantidades de células de parênquima ou muita água, pode chegar a dar-se a rotura da mesma (fendas de congelação).

A nível estrutural os anéis contraem-se mais no sentido tangencial do que no radial e dado que o núcleo central da célula não se contrai, rompe-se o anel de crescimento, o que vai resultar por sua vez na formação de novos anéis, dando lugar a um rebordo de cicatrização.

Além do impacto na estrutura do lenho, os fenómenos meteorológicos podem também favorecer o surgimento de fungos com as consequências já conhecidas. Este defeito é comum em *Quercus* spp., *Tilia* spp., *Fagus* spp., *Acer* spp., *Castanea* spp. e *Juglans* spp. (Esteban et al.: 2003)

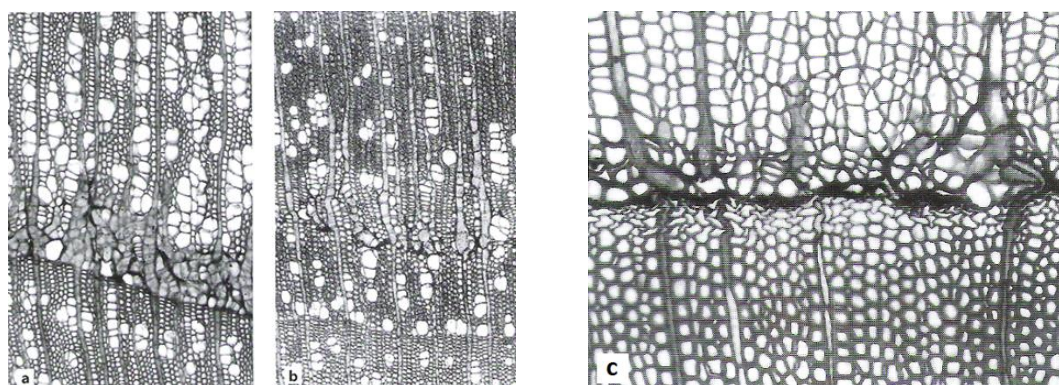


Figura 269- Anéis de geada. (a) secção transversal em *Nothofagus pumilio* (a, b) onde é visível o efeito de uma geada intensa no lenho de primavera. (b) modificação do lenho logo após o final do lenho de outono. (c) Secção transversal em *Larix decidua* (Schweingruber: 2007, p. 89-90).

A neve e o vento apesar de relacionados com a questão das temperaturas produzem os seus próprios danos. A neve tem principal impacto nos ramos causando, com o seu peso, torções e grandes deformações que acabam em maior ou menor amplitude por ter impacto na estrutura interna do tronco.

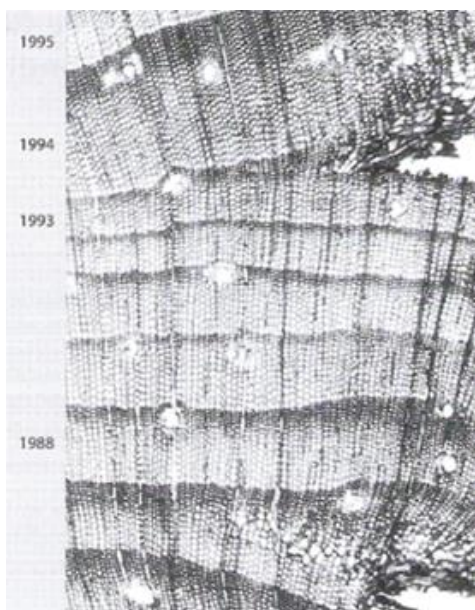


Figura 270 - Efeito de tempestades de granizo no lenho de *Pinus mugo* var. *arborea*. O último anel data de 1995, sendo visíveis os efeitos das tempestades no lenho de outono em 1993 e no lenho de primavera em 1988 (Schweingruber: 2007, p. 86).

O vento impõe por seu lado grandes deformações, que variam consoante a sua frequência, intensidade, direção, temperatura, teores de humidade, entre outros. O vento pode, por si só, provocar grande parte dos defeitos que foram enumerados anterior e posteriormente já que dele podem surgir fissuras, quebra de ramos, aleijões, torções do tronco, entre outros (Esteban et al.: 2003).

Os relâmpagos têm impacto mesmo que não atinjam o espécimen, porém, mesmo quando tal acontece a morte do exemplar não ocorre na totalidade das vezes.

Estruturalmente estes eventos podem ser datados cronologicamente pelo impacto que deixam na anatomia do espécimen, em particular pela rápida dissecação que impõem à madeira o que resulta por norma numa maior ou menor formação calosa (aleijão) (Schweingruber: 2007).

### 3.13 SITUAÇÕES QUE DIFICULTAM A IDENTIFICAÇÃO / RECOLHA DE AMOSTRAS MADEIRA

#### 3.13.1 Tamanho reduzido das amostras

Quando lidando com obras de arte é senso comum que as amostras recolhidas para identificação de madeira devem possuir o menor volume possível. Esta limitação relaciona-se com o volume total da obra em questão mas de igual modo com questões éticas, estéticas, estruturais e mesmo comerciais, além disto, é importante ter em conta a relação emocional entre a obra de arte e o proprietário o que pode, em situações específicas, ser a principal limitação relacionada com o volume da amostra.

Invariavelmente, quando lidando com obras de grande volume estas questões tornam-se menos importantes. Falamos neste ponto de retábulos que simplesmente pelo seu volume geral, mas também por possuírem tantas áreas dificilmente visíveis, facilitam muito a coleta. Na mesma categoria, as esculturas de grande escala, particularmente as vazadas que foram originalmente feitas para serem colocadas contra retábulos ou paredes, fornecem abundantes áreas de colheita. Finalmente, o mobiliário permite na maioria das vezes o acesso ao seu interior para se proceder à recolha (no caso de serem estas as madeiras que queremos identificar).

A colheita de amostra é dificultada em pintura sobre madeira e escultura de pequeno volume. No caso específico de pintura, lidamos usualmente com pranchas excessivamente finas para que a colheita possa ser levada a cabo sem implicações estruturais, particularmente quando temos policromia na face oposta. A limitação no que toca à escultura de pequeno volume relaciona-se com áreas de coleta extremamente limitadas ou mesmo inexistentes, que, na maioria dos casos se reduzem à face inferior da base da escultura ou a qualquer perfuração pré-existente com a intenção de manter a escultura vertical. Neste segundo caso, estas perfurações são geralmente muito estreitas criando grandes dificuldades na separação da amostra da obra, além de que o reconhecimento da orientação dos elementos na amostra recolhida é impossível até esta ter sido seccionada e preparada para a análise microscópica.



Figura 271 – Amostra muito fina de madeira retirada de escultura que se revelou viável para a obtenção de cortes tangenciais.



Figura 272 – Amostra com cerca de 3 mm<sup>3</sup> usada na identificação com recurso ao SEM.

### 3.13.2 Presença total ou parcial de revestimentos decorativos

Além das limitações da área de colheita, a presença de policromias, ou mesmo vernizes é apenas um problema quando sua presença abrange a totalidade da obra, ou seja, quando lidamos com esculturas de vulto perfeito ou com mobiliário em que se pretende a identificação das madeiras de superfície (em oposição às estruturais).



Figura 273 – Escultura de Sant'Ana, Maria e o Menino.



Figura 274 – Escultura de Sant'Ana, Maria e o Menino.

### 3.13.3 Presença de ceras, resinas e polímeros

Na colheita de amostras de obras anteriormente intervencionadas, é comum a presença de produtos de intervenção como ceras, resinas de consolidação e pastas de preenchimento.

A cera pode criar reais dificuldades à penetração da resina de inclusão. Neste caso, a amostra recolhida pode ser cozida num hidrocarboneto até que toda a cera se dilua e seja removida da amostra.

Com a mesma metodologia, as amostras que contêm grandes concentrações de resinas de consolidação podem ser submersas no mesmo tipo de solvente usado na resina.

No que toca às pastas de preenchimento, nada mais pode ser feito do que evitar essas áreas aquando da colheita.



Figura 275 – Escultura de Madonna e o Menino em majestade.



Figura 276 – Escultura de Madonna e o Menino em majestade.



Figura 277 – Escultura de Cristo *Salvator Mundi*.

### 3.13.4 Infestação xilófaga

Esta patologia é, provavelmente, a mais frequente quando se lida com objetos de arte em madeira e tem sempre um considerável impacto destrutivo na estrutura interna do lenho. Para além das sérias implicações na integridade estrutural da obra, este impacto é mais evidente quando se analisa a madeira a nível microscópico (o que é essencial para a identificação científica de madeira) onde as galerias têm uma proporção colossal em comparação com a maior

parte dos elementos de madeira. Porém, isto não significa que a identificação da madeira de uma obra fortemente infestada seja garantidamente um fracasso.

As galerias formadas podem efetivamente impedir a identificação de madeira. No entanto, se se proceder à recolha de várias amostras muito pequenas podemos (após o tratamento, montagem, observação e registo fotográfico com recurso a microscopia ótica) proceder à sua montagem até obter por exemplo um anel anual. Concretamente, se na secção transversal da amostra 1 se obter apenas uma parte da extremidade do lenho de outono e na amostra 2 obtivermos o início da parcela do lenho de primavera e assim sucessivamente, podemos continuar a montagem até que seja possível obter informações suficientes para conseguir uma identificação. Este mesmo procedimento pode ser adotado quando o problema é o tamanho reduzido das amostras obtidas.

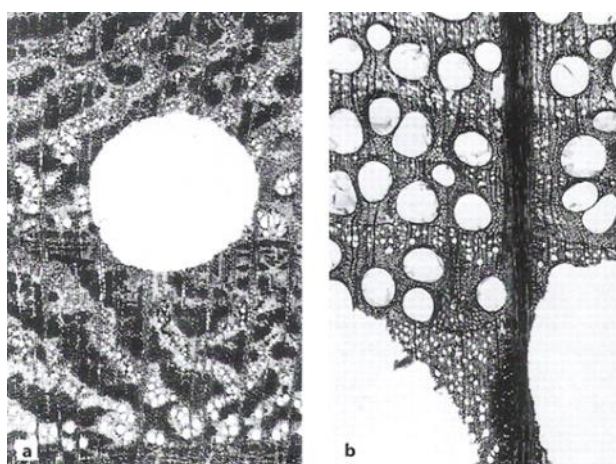


Figura 278 - Secções transversais exemplificando os resultados de infestações xilófagas em (a) *Spartium junceum* e em (b) *Quercus* spp. Neste último exemplo, trata-se de uma viga medieval, sendo habitual neste género os raios, mais firmes e duros, não serem atacados (Schweingruber: 2007, p. 249).

### 3.13.5 Podridão

A madeira apodrecida é muitas vezes a única matéria disponível para análise. Mesmo quando assim não é, é por vezes preferível obter uma amostra de madeira apodrecida do que danificar uma área da obra que possua ainda madeira sã (Hoadley: 1990).

Já Schweingruber (2007) defende que a presença de podridão pode, em última instância, inviabilizar a identificação de madeira assim como a análise dendrocronológica, pela destruição em maior ou menor escala da estrutura interna do lenho.

Esta decomposição pode ter uma origem abiótica na qual o processo degradativo se dá através de processos químicos e físicos ou ter como princípio, microrganismos (fungos) que com a sua atividade degradam o elemento lenhoso (Schweingruber: 2007).

De uma forma geral, estes fungos dividem-se em dois grupos que resultam em processos degradativos distintos.

Fungos cromogéneos - invadem a estrutura celular provocando a alteração cromática da madeira mas sem terem por norma um impacto na dureza, densidade e resistência mecânica do material.

Fungos saprófitos - decompõem a madeira através de processos químicos que resultam no colapso da estrutura da parede celular (Hoadley: 1990).

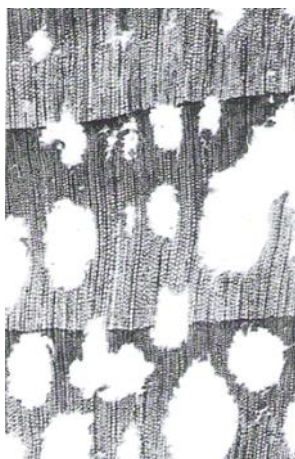


Figura 279 - Secção transversal de *Pinus cembra* onde é visível a colonização por podridão branca. Neste caso, a ação fúngica criou vazios na estrutura do lenho sem particular relevância em relação às diferentes densidades existentes (Schweingruber: 2007, p. 242).

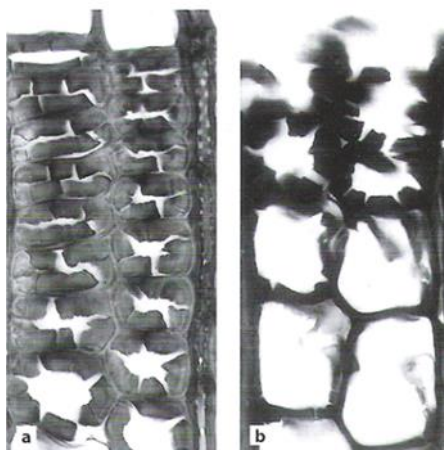


Figura 280 - Secções transversais de *Larix* spp. onde é visível a colonização por podridão castanha. As destacar as típicas fraturas radiais das paredes secundárias das células do lenho de outono. (a) fase avançada da colonização. (b) fase final da colonização em que as paredes dos traqueídeos se tornam apenas pequenos cubos (Schweingruber: 2007, p. 243).

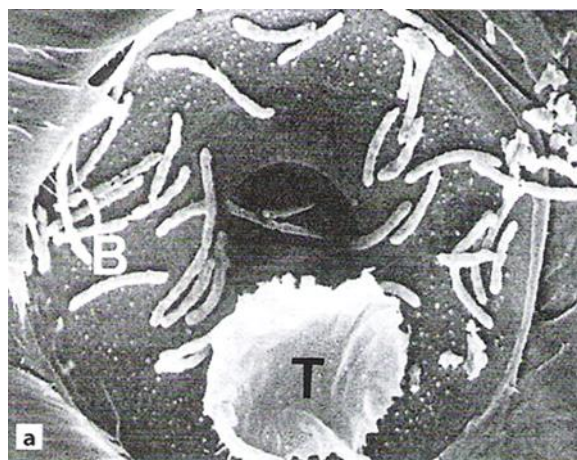


Figura 281 - A podridão na madeira é resultado da ação de fungos. Na imagem vemos a bactéria *Matchlike* (B) num traqueídeo no lenho de primavera de um *Pinus* spp. que foi mantido com altos níveis de humidade; enzimas bacterianas separaram o torus (T) do margo (Schweingruber: 2007, p. 240).

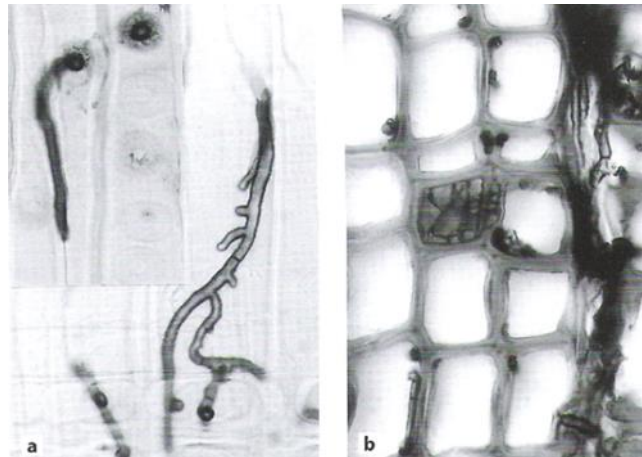


Figura 282 - Hifas do fungo *Grosmannia clavigera* em *Pinus* spp. As hifas deste fungo são muito espessas e castanho escuro, o que permite a sua visualização quer macroscopicamente quer microscopicamente sem coloração adicional. (a) secção tangencial. As hifas ocorrem maioritariamente em raios e em traqueídeos axiais de lúmen amplo, penetrando usualmente através das pontuações. (b) secção transversal. A “linha” negra vertical constitui-se como um raio densamente infiltrado por hifas, sendo os pontos negros da imagem hifas dispostas axialmente (Schweingruber: 2007, p. 241).

### 3.13.6 Madeira esmagada

Este fator é particularmente comum quando a única área de colheita disponível se reduz à face inferior da base de uma escultura ou do pé de um móvel.

A movimentação das obras ao longo dos séculos resulta vulgarmente no contínuo esmagamento destas áreas, o que após recolha, pode ou não resultar numa identificação inviável consoante o nível de degradação a que a área tenha sido exposta. Este fator modifica a disposição, organização e aparência da estrutura celular, podendo em casos específicos chegar à completa destruição da estrutura interna da madeira.

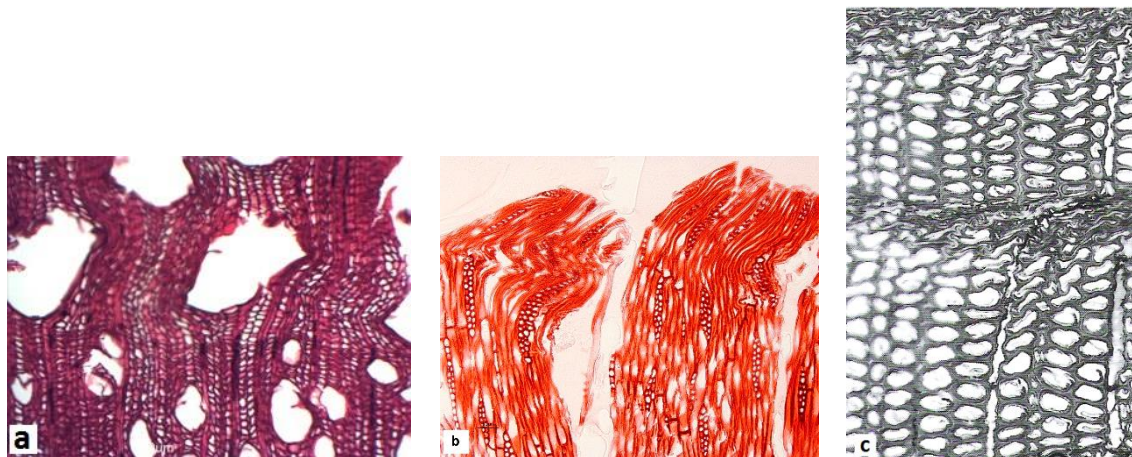


Figura 283- Estrutura interna de lenho esmagada. (a) secção transversal de base de escultura do século XVIII em *Castanea sativa*. (b) secção tangencial de reverso de escultura do século XV em *Juglans regia* (imagens do autor). (c) secção transversal em *Picea abies* do período Holocénico - Imagens obtidas com recurso a microscopia ótica (Schweingruber: 2007, p. 249).

### **3.13.7 Madeira submersa**

As madeiras submersas, quer em água doce quer em água salgada, sofrem modificações consideráveis devido à substituição do ar que existe no seu interior por água, o que, com o passar do tempo facilita a degradação dos seus compostos os quais, ao serem substituídos pela água vão favorecer a tumefação anormal da estrutura da madeira (Carreras, ano?).

Hather (2000) descreve a variabilidade do seu estado de conservação, que pode oscilar desde os cernes dos carvalhos submersos que se apresentam geralmente extremamente duros e difíceis de seccionar, a madeiras extremamente quebradiças ou esponjosas.

Schweingruber (2007) refere que quando se trata de madeira submersa, em particular se se tratar de espécies de madeira macia, consegue-se da sua estrutura reconhecer a amplitude dos anéis mas a sua densidade torna-se impossível de determinar.

Como metodologia de manipulação deste tipo de amostras Hoadley (1990) a par de Carreras (2006) refere que, antes de mais, estas não deverão ser deixadas secar dado que, quando em situações de menor humidade, esta desidratação pode resultar no colapso estrutural da madeira em questão.

Já Hather (2000) refere simplesmente a submersão da madeira em etanol a 30% durante quatro horas, posteriormente aumentar a concentração de etanol para 40, 60, 80 e 90% a cada duas horas, terminando com 100% de etanol durante mais duas horas. Após estas etapas, a amostra está geralmente pronta para ser seccionada à mão.

### **3.13.8 Madeira muito seca**

As madeiras extremamente secas podem ter várias proveniências (Hather: 2000). Podem ser madeiras conservadas em ambientes permanentemente secos como sendo zonas de climas áridos, caves, grutas entre outras, ou madeiras usadas em estruturas de edifícios existentes.

Embora seja comum que a sua estrutura se apresente em excelentes condições, pode igualmente apresentar-se muito frágil ao toque pelos efeitos continuados da desidratação ou pelo grau de danos causados por fungos, insetos e micro-organismos (Hather: 2000; Esteban et al.: 2003).

### **3.13.9 Madeira carbonizada**

Durante o processo de carbonização a estrutura interna do lenho não se altera substancialmente, sendo que elementos muito delicados, como as membranas e aréolas das pontuações ou as barras das perfurações, podem ser destruídas (Hoadley: 1990).

O carvão exige técnicas diferentes daquelas normalmente usadas para a identificação de madeira preservada Hather (2000).

Este, em geral, pode manter a mesma organização estrutural da madeira sã. Porém, assiste-se a uma perda de 70 a 80% do seu peso, assim como a uma diminuição das dimensões das paredes celulares que se reduzem em média 7 a 13% transversalmente e 12 a 25% radial e tangencialmente. Apresenta, para além disso, uma série de características que dificultam em muito a sua manipulação e preparação como sendo o ser extremamente frágil e quebradiço (Schweingruber: 2007).

Neste tipo de material torna-se incontornável a inclusão da amostra em resina, descrevendo Hather (2000) como metodologia para a obtenção de uma secção fina o suficiente para que a luz a atravesse, que após a inclusão se lixe a amostra até esse ponto.

Se não ocorrerem exceções específicas durante o processo de carbonização, a identificação da espécie deverá ocorrer sem problemas (Schweingruber: 2007 *apud* Schweingruber: 1978).

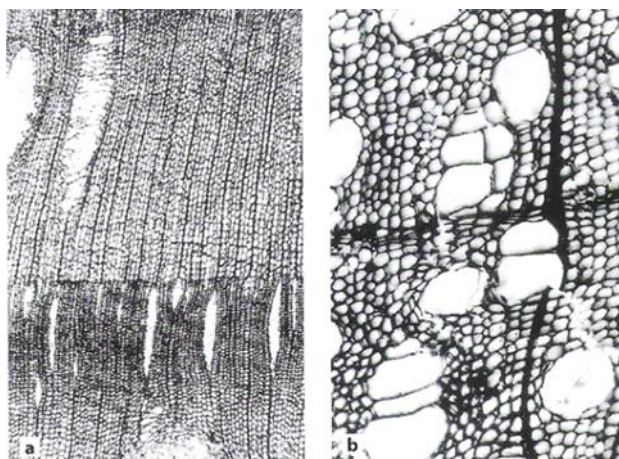


Figura 284 - Madeira carbonizada. (a) secção transversal em *Abies alba* na qual se destaca a fissuração radial. (b) em *Betula* spp. Com exceção da diminuição da espessura das paredes, a estrutura celular permaneceu intacta (Schweingruber: 2007, p. 251).

### 3.14 TESTE DE SONDA DE PRESSLER COMO INSTRUMENTO PARA RECOLHA DE AMOSTRAS DE MADEIRA DE OBRAS DE ARTE

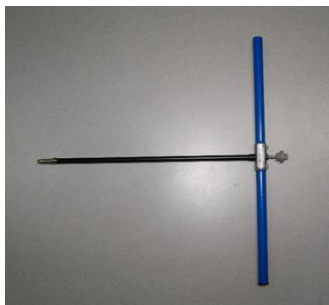


Figura 285 - Sonda de Pressler (imagem do autor).

O Trado de Incremento, Verruma ou mais corretamente Sonda de Pressler, constitui-se como uma rosca oca da qual é possível retirar uma amostra cilíndrica de lenho com recurso a uma gaveta que se estende por toda a extensão da haste.

Destina-se primeiramente à obtenção de amostras cilíndricas radiais de madeira<sup>106</sup> que têm como objetivo a medição da idade e da taxa de crescimento de árvores vivas e está disponível no mercado com diâmetros internos entre os 4,13 mm a 12 mm<sup>107</sup>.

O objetivo foi testar a sua aplicação na recolha de amostras de madeira provenientes de obras de arte, em particular, o seu impacto na estrutura da obra, o dano remanescente da sua utilização e a qualidade/viabilidade da amostra obtida.

- A sonda utilizada possuía um diâmetro interno de boca de 5 mm e um diâmetro máximo de corpo de 11 mm.
- A penetração deste instrumento no lenho exige considerável força física, assim como a sólida fixação da “obra” para com isto se evitar o seu deslocamento.
- É possível ouvir e sentir o lenho a ceder e a quebrar com a penetração da sonda.
- No caso específico da amostra de sacrifício utilizada, o lenho cedeu à pressão fissurando radialmente.
- A manipulação da gaveta metálica que permite a remoção da amostra é simples.
- O resultado obtido na experiência levada a cabo é uma amostra de grande qualidade e que varia de extensão consoante a profundidade de penetração da haste da sonda.
- O dano resultante da utilização deste método na “obra” é, além da possível fissuração do lenho, uma perfuração circular de cerca de 12 mm.

Conclui-se assim que, mesmo considerando a qualidade da amostra obtida, a utilização da Sonda de Pressler para a obtenção de amostras viáveis provenientes de obras de arte, não é recomendável dado a grande pressão que é necessário exercer sobre a obra, a real possibilidade de fissuração do lenho e a extensa área da lacuna resultante da sua utilização ( Anexo B).

<sup>106</sup> [http://www.wsl.ch/dendro/products/dendro\\_glossary/Details\\_EN?id=151&language=Portuguese](http://www.wsl.ch/dendro/products/dendro_glossary/Details_EN?id=151&language=Portuguese)

<sup>107</sup> <http://www.sondaterra.com/produto-190-Sonda%20de%20Pressler%20-%20Trado%20de%20Incremento.xhtml>

### **3.15 APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE MADEIRA NO GRUPO DE ESCULTURAS FLAMENGAS DO SÉCULO XV-XVI**

#### **3.15.1 Procedimentos para a recolha manual de amostras de madeira**

- Reconhecimento da orientação do veio da madeira nas obras selecionadas com recurso a lupa manual (20x).
- Determinação da área alvo de recolha levando em consideração fatores como impacto visual, pré existência de fissuras ou fraturas, disponibilidade do reverso da obra para recolha entre outros.
- Proteção, posicionamento e imobilização da obra.
- Recolha de amostras com recurso a vários tipos de lâminas com cabo.

Conclui-se que a opção por áreas de recolha que não comportem um impacto estético cria uma dificuldade acrescida já que são essas áreas (geralmente) as mais degradadas e de difícil acesso.

A recolha pode ser em muito dificultada pela dureza do lenho, o que vai influenciar muito o controlo do movimento que se deseja para esta tarefa.

A recolha em áreas afetadas por infeções fúngicas ou infestações xilófagas resulta no problema oposto (lenho excessivamente macio) mas com o mesmo resultado, já que isto pode igualmente resultar na remoção acidental de amostras excessivamente grandes (Anexo C).

### **3.16 METODOLOGIA USADA PARA A OBTENÇÃO DE PREPARAÇÕES HISTOLÓGICAS DAS AMOSTRAS OBTIDAS**

Esta formação teórico prática decorreu sob a orientação do Professor Doutor José Pissarra no Departamento de Biologia - Faculdade de Ciências, Universidade do Porto entre Outubro de 2014 e Março de 2015.

#### **3.16.1 Análise de amostras, secionamento e clareamento dos respetivos cortes de madeira**

- Análise macroscópica da amostra obtida da face inferior da base da escultura de Santa Catarina de Alexandria, propriedade da Sé do Porto e tratada no âmbito do mestrado de escultura e talha.
- Imersão da amostra em água destilada com o intuito de re-hidratar os tecidos, obtendo deste modo uma amostra mais macia ao corte. O tempo de imersão é variável e intuitivo e varia consoante a dureza ao toque, grau de degradação e tamanho da amostra.
- Devido à escala da amostra esta foi colocada diretamente na mandíbula do micrótomo, sem para tal necessitar de ser incluída em resina. O mecanismo de microtomia utilizado foi um micrótomo de faca deslizante MICRON, modelo HM 400, com faca de aço.
- A partir dos dados obtidos através da análise macroscópica anterior, colocou-se a amostra de forma a expor à faca a sua face transversal.
- Seguidamente definiu-se a espessura dos cortes que se pretendia obter. Neste caso, 15 µm de espessura. Esta medida é vulgarmente usada como forma de testar a dureza, a fragilidade, a tendência de enrolamento da amostra, entre outras.
- Os primeiros cortes efetuados tiveram como função não a obtenção de cortes finais, mas por outro lado, perceber se a amostra está na posição correta para assim se obterem cortes plenamente transversais, radiais ou tangenciais.
- Após a obtenção com sucesso dos primeiros cortes optou-se por reduzir a sua espessura para 10 µm.
- Quando se dá o caso de a amostra se desfazer ao ser sujeita ao corte ou, como foi o caso, da secção obtida se enrolar, recorreu-se ao “truque” de colocar sobre a amostra um pequeno pedaço de papel molhado o qual funciona como um sistema de fixação e retenção do corte obtido, um pouco à semelhança dos “facings” usados em conservação e restauro. Com este procedimento evita-se uma vez mais o recurso à inclusão em resina.
- Os cortes obtidos foram manipulados com recurso a um pincel fino e depositados numa solução de glicerol e etanol numa proporção de 1:1. Recorre-se ao pincel por a pinça poder danificar os cortes.
- Foi feita referência à necessidade de se obter um elevado número de cortes da mesma face/secção orientada, isto porque a densidade, os elementos constituintes e mesmo o nível e o tipo de degradação de determinada amostra de madeira poder não ser constante nem uniforme. Desta forma garante-se que se um corte não revelar todos os dados necessários para a identificação da espécie,

estes dados poderão ser obtidos recorrendo aos restantes cortes da mesma secção.

- A solução de glicerol e etanol foi removida e substituída por uma solução de água destilada e hipoclorito de sódio (lixívia) numa proporção de 1:1 com o objetivo de, em primeiro lugar, ajudar a remover detritos e restos de materiais constituintes mas, em particular, clarear os cortes. O hipoclorito de sódio nunca deve exceder os 50% da solução total e a exposição dos cortes a esta solução ser superior a cinco minutos.
- Posteriormente a solução foi removida e substituída por água destilada deixando-se os cortes alguns minutos no líquido. Seguidamente esta água foi removida e o procedimento repetido três vezes.
- O corte transversal é o mais resistente a todos os procedimentos necessários para a identificação de madeiras, pelo que não deve ser este a referência para avaliar a degradação a que os cortes são sujeitos com os diferentes tratamentos.
- Todos os procedimentos referidos foram levados a cabo no mesmo godé evitando-se desta forma danos nos cortes com a sua manipulação.
- A remoção e introdução de líquidos no godé foi levada a cabo com recurso a uma pipeta manual, com a qual é possível controlar a intensidade com que o líquido atinge os cortes evitando-se assim danos.
- Todos os processos foram levados a cabo com recurso a vários godés limpos, um recipiente maior para despejo de líquidos, pincel, pipetas, pequenos pedaços de papel, folhas de papel, água destilada, glicerol, etanol e hipoclorito de sódio.

### **3.16.2 Coloração dos cortes de madeira**

- Para esta nova fase e no mesmo godé onde os cortes se encontram desde o início do processo, removeu-se toda a água e substituiu-se por uma solução de água destilada e ácido acético numa concentração de entre 20 a 30%. O objetivo é neutralizar a base anterior (hipoclorito de sódio) caso contrário o corante a usar em seguida não se fixará aos cortes. Este processo deve durar cerca de cinco minutos.
- Seguidamente a solução foi removida e substituída por água destilada substituindo-se esta água três vezes.
- A opção por determinado corante fundamenta-se naquilo que queremos que fique visível no corte. Desta forma, a safranina liga-se às paredes celulares lenhificadas ao passo que, por exemplo, o azul de alcião se liga às paredes celulares não lenhificadas.
- Optou-se por corar os cortes com um tom apenas, pelo que se aplicou a safranina neste caso. Após a remoção da água destilada aplicou-se 2 a 3 gotas de corante sobre os cortes deixando-os imersos cerca de dois minutos. Posteriormente

introduziu-se água destilada, a qual foi renovada até se verificar que o corante não mais se libertava dos cortes.

### **3.16.3 Desidratação dos cortes de madeira**

- Aplicou-se uma solução de etanol numa proporção de 1:1.
- A solução esteve em contacto com os cortes cerca de dois minutos.
- Nova solução com o etanol a 70% durante o mesmo tempo.
- Nova solução com o etanol a 90% durante o mesmo tempo.
- Etanol absoluto durante o mesmo tempo.
- Repetiu-se todo o procedimento, percentagens e tempos, mas agora com uma solução de etanol e xileno.
- A solução de etanol e xileno foi antecedida pela remoção do máximo da solução anterior, sendo que, o sinal de que tal não foi completamente conseguido seria a nova solução se tornar turva quando introduzida. Se for o caso deve-se simplesmente remover e novamente introduzir a solução de etanol e xileno 1:1 até esta se apresentar translúcida e prosseguir o protocolo a partir daí.

### **3.16.4 Elaboração permanente das preparações histológicas**

- Iniciou-se o processo de montagem dos cortes entre uma lâmina e uma lamela usando como meio de montagem Entellan® - “Rapid Embedding Agent for Microscopy” que é atualmente usado como substituto do bálsamo-do-canadá, em particular pelo elevado preço deste último.
- Para a montagem de preparações histológicas estabeleceu-se que em cada lâmina de vidro, devem estar presentes 3 cortes correspondentes às 3 secções tipo para a identificação de madeira.
- Dispôs-se uma lâmina de vidro, neste caso da marca DELTALAB, Micro slides ref: D100004 26x76mm sobre a área de trabalho (preferencialmente uma Hotte pelos efeitos nocivos do xileno), aplicou-se uma linha de meio de montagem sobre esta e com recurso a uma pinça ou, mais adequadamente a uma espátula, retirou-se um dos cortes do xileno e, sem dar tempo para que o xileno abandone o corte, este foi diretamente introduzido sobre a linha do meio de montagem. Posteriormente repetiu-se o processo com os dois restantes cortes.
- Aplicou-se a lamela, neste caso da marca HIRSCHMANN LABORGERAT®, Microscope Cover glass, Art. Nr. 8000119 24x50mm sobre o conjunto exercendo pressão delicadamente de forma a que o meio de montagem se estendesse o mais possível a toda a superfície entre lâmina e lamela. Este resultado também pode ser obtido através da aplicação de pequenos pesos que ao serem colocados sobre o conjunto, vão obrigar o meio de montagem a estender-se até ao limite da lamela.
- Se o meio de montagem extravasar, este deve ser deixado secar e só depois removido, caso contrário, dada a delicadeza do conjunto a sua limpeza em fresco muito provavelmente resultará na deslocação da lamela ou dos cortes de

madeira. Depois de seco, deve ser simplesmente raspado soltando-se então muito facilmente.

- O meio de montagem tem dois objetivos. Em primeiro lugar servir como um adesivo que mantém cortes e lamela fixas à lâmina protegendo ao mesmo tempo a integridade das secções e conservando-as e, por outro lado, permitir que não haja distorções aquando da observação dos cortes, já que o índice de refração deste material é muito próximo do vidro.
- O passo seguinte foi a etiquetagem da lâmina.

### **3.16.5 Início da análise dos cortes provenientes das amostras obtidas da escultura de Santa Catarina de Alexandria**

- Análise dos cortes com recurso a microscópio. O mecanismo utilizado foi um microscópio MICRO MOTIC BA310 com câmara MOTICAM 2500.
- O software utilizado foi o MOTIC Live Imaging Module.
- Após adquirir a imagem, a primeira ação foi colocar a escala a que a imagem foi obtida.
- O ideal é trabalhar sempre com a chave dicotómica ao lado do microscópio, isto porque, durante a análise dos cortes podemos procurar diretamente os elementos identificadores que são requeridos nas entradas da chave.
- Ao manipular a imagem, foi salientado que o excesso de luz pode ser prejudicial já que certos elementos de pequenas dimensões como por exemplo, as pontuações, simplesmente desaparecem da imagem.
- Torna-se evidente a importância anteriormente referida de se obter vários cortes do mesmo tipo a partir da mesma secção orientada do bloco de madeira, já que cada corte particular pode ou não possuir os elementos necessários à identificação da espécie em questão.

### **3.16.6 Processo de inclusão de amostras de madeira em resina**

- Foram tecidas considerações gerais sobre o processo de inclusão de amostras de madeira em resina acrílica, para que deste modo amostras de dimensões muito reduzidas e, conseqüentemente muito difíceis de manejar, possam ser manipuladas convenientemente.
- Foi exposto que por vezes, quando é necessário a redução do tamanho de uma amostra, é preferível que esta seja serrada ao invés de cortada com uma lâmina já que este último procedimento pode resultar no esmagamento da estrutura interna da secção.
- Quando a amostra é de maiores dimensões é necessário garantir que a água usada para a hidratar penetra no interior da sua estrutura. Com este procedimento visa-se a remoção do máximo possível de ar do interior dos seus elementos, já que, qualquer espaço ocupado por ar não será ocupado por resina, o que pode resultar aquando do seccionamento na destruição de parte da amostra. Para este fim utiliza-se uma câmara de vácuo, a qual vai forçar a saída do ar do interior da amostra fazendo com que esta afunde no recipiente com água destilada. Quando

este equipamento não está disponível, em alternativa, pode-se recorrer às seguintes hipóteses:

- .Ferver a amostra em água durante cerca de uma a duas horas;
- .Colocar a amostra num pequeno recipiente resistente e enche-lo completamente com água, de seguida, colocar uma rolha e fazer pressão;
- .Colocar a amostra dentro de uma seringa, tapar a zona de fixação da agulha, retirar todo o ar do interior e fazer pressão;
- É importante ter atenção ao facto de se quando se aliviar a pressão as amostras voltarem a flutuar, significa que estas apenas se mantinham no fundo graças à pressão exercida (isto porque o ar se contrai e expande) e que continuam a possuir ar no seu interior. Uma vez mais, o processo está completo quando as amostras se mantiverem permanentemente no fundo do recipiente.
- No caso concreto usou-se para inclusão uma pequena cavilha proveniente de um estojo de faqueiro, alvo da dissertação de mestrado "Intervenção de Conservação e Restauro de um Estojo de Faqueiro do Século XVIII - Estudo Material e Técnico", autoria da mestrandia Alexandra Santos.
- Após a divisão da amostra em três partes distintas e pela falta de uma câmara de vácuo disponível, recorreu-se ao processo da seringa.
- Concluída esta etapa, passou-se para o processo de desidratação das amostras, procedimento que possui igualmente um efeito notório na remoção de ar do interior da madeira.
- Iniciou-se o processo através da colocação da amostra numa solução com etanol numa proporção de 1:1. De imediato assistiu-se ao afundamento das amostras (motivado pela menor densidade do etanol) e à saída de ar do seu interior, no entanto e após alguns minutos as amostras continuaram a apresentar alguma capacidade de flutuação.
- Seguidamente substituiu-se o conteúdo do recipiente por etanol a 70%.
- As amostras voltaram a afundar e a quantidade de ar a sair do interior da madeira voltou a aumentar visivelmente. Neste caso as amostras ficaram submersas nesta solução cerca de 20 minutos.
- Substituiu-se esta solução por etanol a 90%.
- Assistiu-se à saída de ar do interior da madeira (embora em menor quantidade que anteriormente). Com esta solução o processo manteve-se cerca de 30 minutos.
- Findo o protocolo nenhuma das amostras apresentou qualquer poder de flutuação.
- A solução foi substituída por etanol durante 24 horas.

### 3.16.7 Processo de inclusão das amostras em resina LRWhite

- Inclusão de amostras em resina acrílica LRwhite “LRwhite Medium Grade Acrylin Resin 500 g London Resin Company Ltd”.
- O protocolo disponibilizado destina-se à inclusão de material fixado. Desta forma e por se tratar de material fresco e geralmente muito maleável, o processo de inclusão em resina tem necessariamente de ser muito lento e gradual.
- No caso em questão e por se tratar de material morto e geralmente rígido, o processo iniciou-se com uma mistura de etanol e LRwhite 1:1, evitando assim o incremento em percentagem do LRwhite desde os 10% em patamares de 10%.
- Substituição da solução por nova solução de 1 mL de etanol a 1 mL de LRwhite. A solução foi mantida durante 24 horas.
- Adição de 1mL de LRwhite à solução resultando numa solução de duas partes de LRwhite e uma parte de etanol. A solução foi mantida durante 24 horas.
- Adição de 1mL de LRwhite à solução resultando esta numa solução de três partes de LRwhite e uma parte de etanol. A solução foi mantida durante 24 horas.
- Remoção da solução e adição de 1mL de LRwhite puro.
- Dado que não foi possível proceder à imediata polimerização das amostras em resina, estas foram colocadas num frigorífico dado que, à temperatura ambiente a resina LRwhite pode iniciar o processo de polimerização.
- Remoção dos recipientes com as amostras em LRwhite, assim como do recipiente de LRwhite do frigorífico.
- Abertura e colocação das cápsulas para polimerização da resina, neste caso capsulas de 300 mg da marca Bulk Powders na estrutura de suporte. Este suporte pode ser em qualquer material rígido desde que suporte temperaturas entre os 50 e os 60 °C. A placa de suporte das cápsulas deve possuir uma marcação para cada um dos orifícios. Daqui, faz-se uma lista com a proveniência da amostra, tipologia de corte inserida ou qualquer outro tipo de informação.
- Pipetou-se o LRwhite para o interior da cápsula até perfazer cerca de metade do seu volume o que equivale geralmente a 3/4 gotas de resina.
- A inserção da amostra na cápsula foi feita de modo a que esta ficasse disposta numa determinada posição que permita um mais fácil acesso à face pretendida aquando do seccionamento no micrótomo. Para tal manipulou-se a amostra não com pinças metálicas mas com palitos de madeira comerciais, por este material ter menores probabilidades de criar algum esmagamento na amostra. Tira-se partido da amostra estar mergulhada em LRwhite pelo que é comum que esta “adira” ao palito. Quando esta é introduzida na cápsula (a qual já contém LRwhite) a amostra afunda-se nesta substancia não sendo necessário qualquer outro método para a “descolar” do palito. Todo este processo foi levado a cabo com recurso a lupa binocular.
- Introduzida a amostra e colocada na sua posição final, encheu-se a cápsula até ao limite com resina, colocou-se a “tampa” tendo sempre o cuidado de não esmagar o conjunto dada a sua fragilidade. Após a colocação da tampa,

pressionou-se até esta descer o mais possível. Concluído este processo, verificou-se que se manteve sempre uma bolha de ar no topo do conjunto. Este ar não é problemático desde que não esteja em contacto com a amostra (a qual deverá estar sempre no extremo oposto da bolha de ar).

- Se ao fechar a cápsula escorrem de parte da resina LRwhite, a cápsula já fechada deve ser removida e limpa repetindo-se o processo no orifício do suporte onde a cápsula estava inserida. Caso isto não seja feito corre-se o risco de a cápsula (e todo o seu conteúdo) ficar colada ao suporte após a polimerização da resina.
- Introdução do suporte com as múltiplas amostras incluídas na resina numa estufa (neste caso da marca Memmert) a 55 °C durante 12 a 15 horas. Se este período de polimerização se prolongar, a resina resultará num plástico demasiado duro e quebradiço, o que vai dificultar muito a posterior obtenção de cortes para análise.

### **3.16.8 Seccionamento das amostras incluídas em resina LRwhite**

- Com amostras incluídas em resina não é invulgar que estas após a polimerização resultem em amostras incluídas numa resina demasiado dura. Esta excessiva dureza vai influenciar fortemente o resultado do posterior seccionamento. Por esta razão e suspeitando-se que as amostras em questão apresentariam um grau de dureza demasiado elevado, optou-se primeiramente pelo recurso a um ultramicrotomo. Neste caso utilizou-se um equipamento da marca LKB Bromma, Ultrotome III 8800.
- Após a colocação da amostra no suporte de fixação do ultramicrotomo, focou-se o microscópio acoplado, ajustou-se a luz e procurou-se então qual a face (dos três cortes tipo) que se ia seccionar para dela se obter o tipo de secção pretendido.
- A amostra incluída estava ainda no interior da cápsula de gelatina o que iria dificultar a correta observação da madeira. Para a remoção deste componente, pode-se mergulhar a amostra em água para que desta forma a cápsula se dissolva simplesmente, sendo que, este procedimento exige tempo e preparação prévia. Desta forma procedeu-se simplesmente à remoção da capsula através do uso de uma lâmina de bisturi.
- Este procedimento tem três objetivos; em primeiro lugar a óbvia remoção da película de gelatina que envolve a amostra, o desbaste da resina em excesso no caso de esta se apresentar acumulada sobre a face da amostra que se pretende analisar e, com esta remoção manual, reduzir o tempo necessário à obtenção do mesmo objetivo através do uso do microtomo, assim como, reduzir o desgaste das facas deste mecanismo. O desbaste pode ser feito em várias faces da amostra para que desta forma se encontre ou se confirme a face pretendida. Este processo, por ser manual é lento e muito minucioso, existindo ainda o risco, muito real, de se fragmentar a amostra ou de o técnico se cortar.
- Após desbastada a resina e identificada a face procede-se à preparação da faca que efetuará o corte, a qual, neste caso, de vidro, já que é este o único material que não apresenta micro-ranhas no seu gume. Esta faca tem um recipiente que

se enche com água destilada com recurso a uma seringa. Será nesta água que a secção ficará então a flutuar após se efetuar o corte.

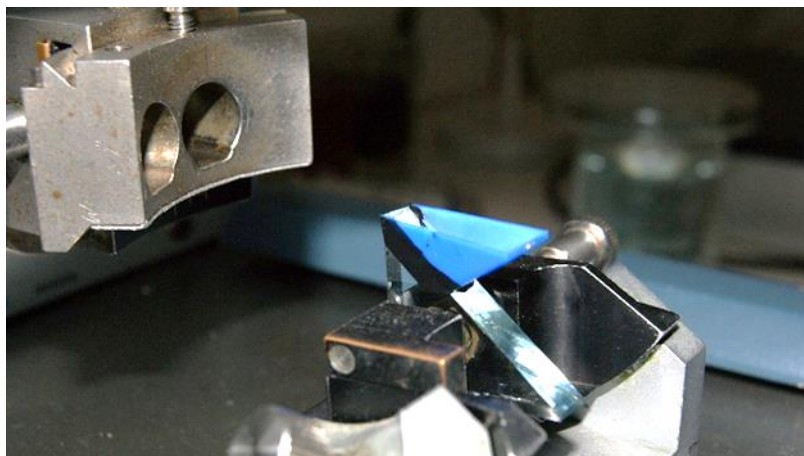


Figura 286 - Faca de vidro de ultramicrotómo (imagem do autor).

- Após a execução de vários cortes tornou-se evidente que as secções se enrolavam intensamente, inviabilizando a sua análise posterior. Este enrolamento poderá ter várias justificações, sendo uma delas, que as secções por serem cortadas demasiado finas não possuem, por isso, resina suficiente para contrariar a tendência de enrolamento das fibras presentes na madeira. Após se proceder ao aumento gradual da espessura de corte, terminou-se o processo por se temer que para atingir a espessura necessária, entre 10 e 15  $\mu\text{m}$ , se pudesse fragmentar quer a amostra quer a faca de vidro do ultramicrotómo.
- Recorreu-se então a um micrótomo manual de faca fixa de marca Leica JUNG RM 2035. Este micrótomo ao contrário do micrótomo manual MICRON, modelo HM 400 possui a faca fixa sendo a mandíbula de fixação da amostra o elemento móvel.
- Por a resina se apresentar demasiado dura optou-se pela colocação no micrótomo de uma faca de tungsténio, sendo o ângulo desta ajustado entre os 5 e 0°.
- Uma vez mais foi realçado que a espessura ideal é sempre entre 10 e os 15  $\mu\text{m}$ , sendo as margens de tolerância entre os 8 e os 20  $\mu\text{m}$ . Com uma espessura superior a grande quantidade de material lenhoso dificulta a definição dos diferentes elementos, sendo que, abaixo dos 8  $\mu\text{m}$  de espessura a pouca quantidade de material presente faz com que se perca informação valiosa.
- Após se colocar a amostra na mandíbula e se confirmar o ângulo de corte, verificou-se uma vez mais que os cortes apresentaram um enrolamento excessivo. Refere-se, porém, que quando tal acontece, a sua colocação em água resulta geralmente no seu “desenrolamento” parcial ou total. É no entanto necessário que a posição em que a secção (enrolada) entra em contacto com a água seja específico; se o “rolo” entrar em contacto com o líquido com a sua abertura em primeiro lugar, esta abertura ficará “colada” na água sendo que, na situação contrária, em que as costas do “rolo” são a primeira face a entrar em

contacto com a água este tem a tendência a abrir-se e a distender-se sobre o líquido.

- Colocou-se uma lâmina de vidro da marca DELTALAB, Micro slides ref: D100004 26x76mm com algumas gotas de água sobre um fundo negro para que assim os cortes se tornassem mais visíveis. Se em excesso esta água deve ser removida com um papel sendo que, para que as secções sejam coradas e posteriormente montadas, a água tem de estar completamente ausente. Para tal, usa-se uma placa térmica a uma temperatura de cerca de 60 °C onde as lâminas de vidro são pousadas.
- Os primeiros cortes foram executados com uma espessura de 15µm, verificando-se que quanto mais espesso o corte, mais intenso e irreversível se apresentou o enrolamento, sendo que, o efeito de “desenrolamento” através da água foi neste caso residual nos primeiros cortes. Além disso, estes apresentaram grande tendência para se unirem quando em suspensão no líquido, isto atribuído a uma excessiva eletricidade estática nos diferentes elementos.
- Reduziu-se a espessura de corte para os 10 µm verificando-se que o enrolamento diminuía mas mantendo-se ainda assim de difícil observação.
- Usou-se em seguida a técnica de colocação de um papel (neste caso papel tipo absorvente) sobre a amostra. O resultado foi positivo em apenas alguns dos cortes, obtendo-se assim cortes aceitáveis para observação.
- Optou-se pela redução da espessura para 8 µm e manteve-se o uso do papel. O resultado foi positivo.
- Substitui-se o papel usado por um papel mais grosso (papel castanho tipo cartão de embrulho) verificando-se uma clara melhoria na estabilidade dos cortes.
- Após uma observação prévia dos primeiros cortes, verificou-se que a secção da qual se pretendia obter cortes tangenciais não era paralela ao eixo longitudinal da madeira pelo que, se procedeu ao alinhamento da amostra e reorientação do braço do micrótomo. Após mais alguns cortes verifica-se que o eixo estava correto.
- Verificou-se que parte dos cortes se apresentavam rasgados, aumentando-se a espessura para 10 µm o que se revelou positivo.
- Iniciou-se o processo com outra amostra incluída, a qual corresponderia ao corte radial. Após a remoção do excesso de resina confirmou-se que o bloco de madeira não estava numa posição em que fosse possível obter este tipo de corte. Definiu-se portanto que neste caso, a amostra será serrada e novamente re-incluída em resina, desta feita, na sua posição definitiva.
- No caso de amostras incluídas em resina, o processo de desidratação dos cortes anteriormente descrito é neste caso desnecessários dado que a amostra já foi sujeita a desidratação durante a sua inclusão em resina. Desta forma, depois de selecionados e organizados na lâmina de vidro, todos os cortes são colocados

sobre a placa térmica para se proceder posteriormente à sua coloração e montagem definitiva.

- Após a reintrodução em resina e respetiva polimerização procedeu-se à obtenção de cortes da amostra destinada ao corte radial.
- A cápsula e resina foram desbastadas manualmente até se conseguir reconhecer em que posição a face radial se situava. Após concluído o processo, a amostra foi colocada no micrótomo de faca fixa Leica JUNG RM 2035 mas não perpendicular à faca de corte. Neste caso e pela posição em que a madeira se depositou dentro da resina, a amostra teve de ser colocada oblíqua à faca exigindo ainda assim a execução de vários cortes prévios e o consequente ajustamento da mandíbula do micrótomo, de forma a que se conseguisse um corte o mais radial possível.
- Após a obtenção de vários cortes, os quais uma vez mais apresentaram enrolamentos mais ou menos severos, salientou-se novamente a questão das espessuras sublinhando-se a relação entre a espessura das secções e a possibilidade de fratura e enrolamento das mesmas, sendo que, quanto mais grosso corte menor a possibilidade de fratura ao passo que, aumenta da mesma forma a possibilidade de enrolamento. Concluiu-se portanto, que a espessura ideal para o seccionamento de amostras de madeira, varia consoante a dureza da espécie em questão, assim como o seu estado de conservação, repetindo-se os valores de entre 15 e os 18  $\mu\text{m}$ . Foi mencionado como possibilidade para evitar os múltiplos processos de amaciamento de madeiras muito duras, a inclusão das mesmas em resina, de forma a que estas apresentem um enrolamento menor.
- Sublinhou-se o facto de o corte radial ser particularmente difícil de obter por os raios do lenho irradiarem a partir do eixo, o que resulta em que após alguns cortes da superfície radial e por conseguinte paralelos uns aos outros, a superfície deixa de ser radial. Este facto contornável quando se lida com amostras de grandes dimensões e em bom estado torna-se outro fator dificultador dentro do âmbito do trabalho que está a ser desenvolvido.
- Iniciaram-se então os processos já descritos para o seu desenrolamento.

#### **3.16.9 Coloração dos cortes das amostras incluídas em resina LRwhite**

- Procedeu-se como já descrito à organização e orientação dos cortes nas respetivas lâminas de vidro, colocação do conjunto sobre placa térmica a uma temperatura média de 60 °C com o objetivo de acelerar a evaporação da água e permitir assim que os cortes se colem à lâmina.
- Após evaporação da água (alguns minutos) os cortes ficaram colados à lâmina de vidro.
- Sobre os cortes fixos às lâminas de vidro aplicaram-se algumas gotas de safranina sendo o tempo de impregnação do corante de cerca de 2 minutos.

- Seguidamente procedeu-se à remoção do corante com recurso a água destilada, referindo-se que após terminada a operação, pode ser conveniente a lavagem dos cortes com etanol por ser comum que um pouco mais de corante seja removido.
- Novamente com recurso à placa térmica secaram-se os cortes.
- Como meio de montagem recorreu-se igualmente ao Entellan® (Rapid Embedding Agent for Microscopy).
- O procedimento resumiu-se à aplicação de uma gota de meio de montagem sobre cada um dos cortes seguido da aplicação de uma lamela HIRSCHMANN LABORGERAT® (Microscope Cover glass, Art. Nr. 8000119 24x50mm) sobre o conjunto.
- Exerceu-se pressão delicadamente para que o meio de montagem se estendesse a toda a área entre lamela e lâmina. Se tal não acontecer, pode-se inclinar todo o conjunto de forma a direcionar este material ou aplicar uma gota de xileno para que a resina se dissolva ligeiramente e se torne mais fluída.
- Deixou-se secar à temperatura ambiente.
- Concluídos estes procedimentos fez-se uma rápida visualização dos cortes de forma a confirmar a sua viabilidade.

#### **3.16.10 Registo fotográfico dos cortes obtidos das amostras incluídas em resina**

- Os cortes obtidos foram fotografados com recurso a um microscópio MOTIC BA 310 com câmara incorporada, ligado a um computador com o software MOTIC IMAGES PLUS 2.0 ML.
- Referiu-se o facto de ser importante a colocação correta da preparação, com a lamela para cima, já que de outra forma a focagem do corte é dificultada.
- Se acontecer a secção estar montada na lâmina de vidro numa posição diagonal, a câmara ligada ao computador deve ser rodada para o correto enquadramento da estrutura. Com isto normaliza-se a posição do corte, assim como se facilita a leitura do mesmo.
- Após se testar a objetiva montada no microscópio, concluiu-se que a objetiva de 10x permitia uma ampliação demasiado grande para se poder assim adquirir uma imagem completa do corte, tendo-se conseqüentemente optado pela objetiva de 4x/0.10 da Nikon, resultando isto na obtenção de um maior campo de observação. Isto justifica-se já que, sempre que possível, se deve tentar obter uma imagem total do corte de forma a evitar a necessidade posterior de montagem de múltiplas imagens.
- Após a captura de imagens dos cortes completos, introduziu-se uma escala com a ampliação usada.
- Voltou-se a mudar a lente para as 10x ampliações e posteriormente para 20x, obtendo-se assim um melhor visionamento de áreas específicas e dos elementos anatómicos aí presentes.
- Fez-se referência ao facto de quando se observam cristais dentro das células a sua forma (possível contributo para a definição da espécie) só ser possível concluir com certeza através do recurso à microscopia eletrónica de varrimento

(SEM), sendo que, com a microscopia ótica, se pode obter apenas uma aproximação.

- Durante a análise e captação fotográfica dos cortes, salientou-se que por norma falta sempre uma qualquer informação (nas imagens obtidas) aquando do seu cruzamento com as chaves dicotómicas, sendo necessário em consequência o retorno aos cortes em busca dos elementos nomeados nas chaves.

#### **3.16.11 Identificação da madeira através de chave dicotómica**

- Iniciou-se o processo de identificação dos cortes de teste provenientes de três pequenas amostras de madeira anteriormente usadas como cavilha proveniente de um estojo de faqueiro alvo da dissertação de mestrado "Intervenção de Conservação e Restauro de um Estojo de Faqueiro do Século XVIII - Estudo Material e Técnico", autoria da mestrandia Alexandra Santos.
- Uso de chaves dicotómicas.
- Destacou-se a grande dificuldade que existe na distinção entre fibras de parede fina e células de parênquima quando em corte transversal.
- Na secção transversal dos cortes analisados apontou-se a grande área de fibras gelatinosas aí presentes. Estas apresentam como característica típica a parede muito grossa, a quase inexistência de lúmen e o aspeto como que desfocado.
- As tiloses quando visualizadas em corte transversal devem apresentar alguma compartimentação, sendo que no corte tangencial se devem assemelhar a papel amarrotado.
- A deteção de cristais fez com que fosse destacado que a sua existência é muito variável consoante o habitat da planta, pelo que a sua presença deve ser apenas encarada como o fator indicativo. Esta variabilidade de procedência tem igualmente impacto na estrutura interna do xilema, isto porque há variações intraespecíficas, ou seja, dentro da mesma espécie, nas quais a estrutura anatómica varia muito consoante o local e as condições de crescimento.
- Recorreu-se à chave dicotómica eletrónica <http://delta-intkey.com/> tendo resultado o processo na identificação da espécie constituinte da referida cavilha como *Cariniana* spp. (Jequitibá).
- Caso este sítio não fornece-se uma identificação, referiu-se o *CITES Identification guide – Tropical Woods* no qual estão descritas espécies protegidas (Anexo D).

### **3.16.12 Seccionamento das amostras provenientes das esculturas flamengas incluídas em resina LRwhite**

- Após a recolha das amostras definitivas das esculturas selecionadas, o seu corte, seleção e preparação, a sua inclusão em resina LRwhite e respetiva polimerização em estufa a 55 °C durante 11 horas, iniciou-se o seccionamento das mesmas com recurso a um micrótomo de faca fixa de tungsténio da marca Leica JUNG RM 2035.
- Uma vez mais concluiu-se que a resina na qual as amostras estavam incluídas se apresentava demasiado dura, devendo-se portanto rever as definições de tempos de polimerização pré-definidos.
- O seccionamento das amostras revelou-se difícil já que estas se enrolaram intensamente durante todo o processo. Além deste fator, a primeira face a ser seccionada foi a transversal sendo que neste caso, a secção apresentava um canal resultante do processo de alimentação do inseto xilófago o qual atravessava a secção a todo o comprimento, originando, com que esta se dividisse em duas aquando da passagem da faca do micrótomo.
- Isto resultou na perda de parte da área aproveitável do corte.
- Durante a execução destes cortes e pela presença da técnica de laboratório Helena Moreira, iniciou-se a discussão acerca de materiais de inclusão, tendo sido sugerido incluir as amostras de madeira em butil-metil-metacrilato, neste caso, Metacrilato (Historesin, Leica).

### **3.16.13 Inclusão de amostras de teste com resina Metacrilato (Historesin, Leica)**

- Inclusão de amostras de madeira para teste (uma espécie conífera, uma folhosa e uma exótica) em Metacrilato (Historesin, Leica).
- Amostras cortadas em cubos de cerca de 0,5 cm<sup>3</sup>.
- Submersão das amostras em água destilada em câmara de vácuo a 26 inHg durante 12 horas.
- Submersão em solução de etanol a 70% em câmara de vácuo a 26 inHg durante 12 horas.
- Submersão em solução de etanol a 90% em câmara de vácuo a 26 inHg durante 12 horas.
- Submersão em etanol em câmara de vácuo a 26 inHg durante 12 horas.
- Submersão em solução de etanol e Metacrilato na proporção de 1: 1 em câmara de vácuo a 26 inHg durante 12 horas.

- Submersão em Metacrilato puro em câmara de vácuo a 26 inHg durante 12 horas.
- Mistura de 10 mL de Metacrilato (Historesin, Leica) puro com 1,02 mL de endurecedor (Historesin, Leica) num recipiente.
- Mistura da solução com recurso a um agitador magnético durante cerca de 1 minuto.
- Introdução da solução na cuvete de polimerização até cerca de metade da sua capacidade.
- Colocação da amostra na cuvete de polimerização com a face a ser seccionada a servir como base de assentamento da amostra.
- Submersão da amostra na solução de metacrilato + endurecedor até ao limite de capacidade da cuvete.
- Polimerização à temperatura ambiente durante 24 horas ou até se mostrar duro ao toque.
- Após a polimerização a amostra foi colada em blocos plásticos, sendo que a técnica Helena Moreira prefere fazê-lo em simples paralelepípedos de madeira, aos quais cola a amostra com recurso a super cola 3 (cianoacrilato). Desenvolveu este método por deste modo se obter uma melhor para fixação do bloco à mandíbula do micrótomo, além de diminuir as vibrações que ocorrem quando se está a seccionar tecidos muito duros como é o caso da madeira.

#### **3.16.14 Secionamento**

- Colocação dos blocos de madeira com a amostra incluída em Metacrilato num micrótomo manual de faca fixa de marca Leica JUNG RM 2035 com faca de tungstênio.
- Inicia-se o processo de seccionamento pela espessura mínima recomendada na literatura consultada, 8 µm.
- Após seccionado, o corte pode ser recolhido com recurso a uma pinça de pontas finas, a uma espátula de pequenas dimensões ou a um pincel seco. Os dois primeiros métodos são possíveis pela maior escala do conjunto, o qual possui mais resina em redor da madeira, resina esta que no caso específico, serviu como área de sacrifício para o aperto da pinça. A referência ao pincel seco justifica-se por o metacrilato se unir a qualquer superfície húmida.
- Colocou-se uma superfície escura ao lado do micrótomo para promover o contraste com os cortes obtidos. Sobre esta colocou-se uma lâmina de vidro (neste caso da marca DELTALAB, Micro slides ref: D100004 26x76mm) sobre a qual se depositaram algumas gotas de água destilada.
- Após a remoção do excesso de resina sobre a face a seccionar e o acerto da posição da amostra em relação à faca do micrótomo, o processo resulta e observa-se que após o enrolamento inicial dos primeiros cortes obtidos, os seguintes apresentam-se algo ondulados mas não enrolados.
- Transporte do corte com recurso a pinça metálica e colocação sobre a lâmina com água. Assiste-se ao desenrolamento imediato do corte sobre a superfície da água. Após alguns cortes inviáveis, conclui-se que se estes forem colocados

sobre a água com os seus limites (curvados ou enrolados) para cima, o corte estica-se completamente.

- Continuação com esta metodologia obtendo-se um esticamento imediato e completo da quase totalidade dos cortes obtidos.
- Pelas suas dimensões, não se colocaram mais do que quarto cortes em cada lâmina.
- Colocação da lâmina com os cortes em água sobre placa térmica da marca Reagente 5 a uma temperatura de 70 °C com o objetivo de acelerar a evaporação da água e permitindo assim que os cortes se colem à lâmina de vidro.
- Para se acelerar ainda mais este processo, procedeu-se à absorção da água com recurso a papel absorvente, sendo salientado pela técnica Helena Moreira que este procedimento deve ser executado com cuidado já que existe o risco de durante a absorção da água pelo papel, os cortes seguirem o percurso da água e colarem-se consequentemente ao papel, sendo impossível reverter o processo.
- Após evaporação da água (alguns minutos) os cortes ficaram colados à lâmina de vidro.
- Iniciou-se o seccionamento com uma espessura de 5 µm, resultando daqui cortes de extrema fragilidade.
- Prosseguiu-se o seccionamento com uma espessura de 10 µm, resultando daqui cortes viáveis.
- Passou-se a uma espessura de 16 µm, resultando daqui cortes viáveis.
- Passou-se a uma espessura de 20 µm, espessura esta que forçava em demasia a mandíbula do micrótomo. Isto poderá ser também resultado do volume da amostra assim como do seu bom estado de conservação, sendo que, para se concluir se esta metodologia de inclusão suporta o seccionamento de espessuras até 30 µm (Carlquist: 1988), terá de ser testado com amostras de escalas menores e em estados de conservação variáveis.

#### **3.16.15 Coloração**

- Sobre os cortes fixos às lâminas de vidro optou-se aleatoriamente pela coloração com safranina e azul de toluidina unicamente, com ambos os corante seguidos e posteriormente com azul de toluidina e safranina misturados numa proporção de 1:5.
- O tempo de impregnação dos corantes foi de 30 segundos a 1 minuto.
- Foi salientado que um período excessivo de contacto com o corante pode descolar os cortes da lâmina de vidro.
- Seguidamente procedeu-se à lavagem do corante com recurso a água destilada. Este procedimento deve ser cuidadoso pois à semelhança do processo anterior, se excessivo, pode descolar os cortes.

- A lavagem decorreu até o metacrilato em redor dos cortes se apresentar com o tom usado muito esbatido.
- Novamente com recurso à placa térmica secaram-se os cortes.

#### **3.16.16 Montagem**

- Como meio de montagem recorreu-se igualmente ao Entellan® (Rapid Embedding Agent for Microscopy).
- O procedimento resumiu-se à aplicação de uma gota de meio de montagem sobre cada um dos cortes seguido da aplicação de uma lamela HIRSCHMANN LABORGERAT® (Microscope Cover glass, Art. Nr. 8000119 24x50mm) sobre o conjunto.
- Exerceu-se pressão delicadamente para que o meio de montagem se estendesse a toda a área entre lamela e lâmina.
- Deixou-se secar à temperatura ambiente.
- Protocolo revisto pela D. Helena Moreira (Anexo E).

#### **3.16.17 Conclusões do teste para a inclusão de amostras de madeira em resina Metacrilato (Historesin, Leica)**

Após o processo de inclusão, seccionamento, coloração, montagem e análise das amostras incluídas em Metacrilato (Historesin, Leica) conclui-se que a utilização desta resina possui prós e contras em relação à utilização da resina acrílica LRwhite Medium Grade Acrylin Resin 500 g. London Resin Company Ltd”.

- O tempo exigido nas diferentes etapas do protocolo de inclusão das amostras é praticamente o mesmo para ambas as resinas, sendo a dificuldade de execução também semelhante.
- O metacrilato polimeriza à temperatura ambiente, num prazo variável de entre 12 a 24 horas, ao passo que o LRwhite exige temperaturas médias de 55 °C durante 10 a 15 horas.
- O poder de impregnação de ambas as resinas aparenta ser semelhante para o nível de imobilização de elementos do lenho pretendido.
- O seccionamento das amostras é menos laborioso quando com metacrilato, sendo dedutível que se a quantidade de resina a envolver a amostra incluída em LRwhite for maior e o tempo de polimerização menor, esta diferença provavelmente não seria assinalável.
- O processo de desidratação, coloração e montagem é semelhante com ambas as resinas.
- A qualidade final dos cortes obtidos foi fortemente influenciada pela deficiente impregnação das amostras pela resina, isto relacionado provavelmente com um mau funcionamento da câmara de vácuo utilizada (Anexo F).

### 3.17 DESCRIÇÃO E COMPARAÇÃO ANATÔMICA DOS CORTES OBTIDOS DAS AMOSTRAS RECOLHIDAS DO GRUPO DE ESCULTURA FLAMENGA

#### 3.17.1 Nossa Senhora com o Menino em Majestade



Figura 287 – Vista do anverso da Nossa Senhora com o Menino em Majestade.



Figura 288 – Amostras colhidas do reverso da obra de área afetada por infestação xilófaga.

Os cortes obtidos das amostras após tratamento, preparação e análise apresentaram as seguintes características

#### Corte transversal



Figura 289 - Captação de corte histológico com ampliação de 40x.

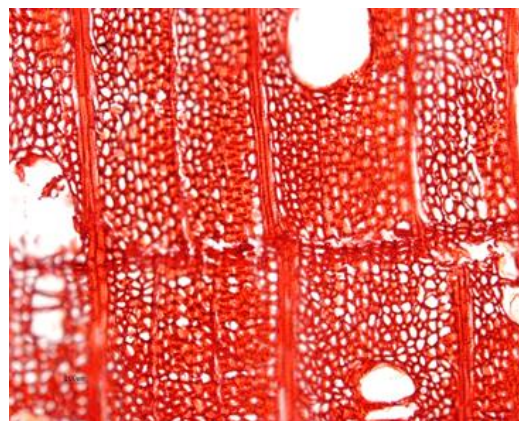


Figura 290- Captação de corte histológico com ampliação de 60x.

- Porosidade difusa a semi difusa.
- Poros largos e pouco frequentes.
- Poros solitários ou em grupos de 2 a 4 células com organização radial e em número inferior a 20 por  $\text{mm}^2$ .
- Vasos no borne com tiloses castanhas e abundantes.
- Parênquima apotraqueal difuso e bandas tangenciais curtas e unisseriadas, também terminal.
- Parênquima paratraqueal escasso ou vasicêntrico.

### Corte tangencial

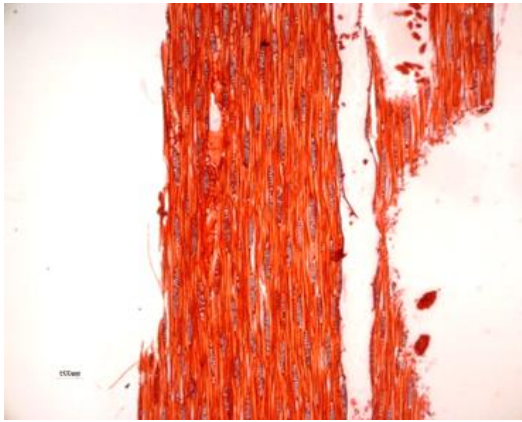


Figura 291- Captação de corte histológico com ampliação de 40x.

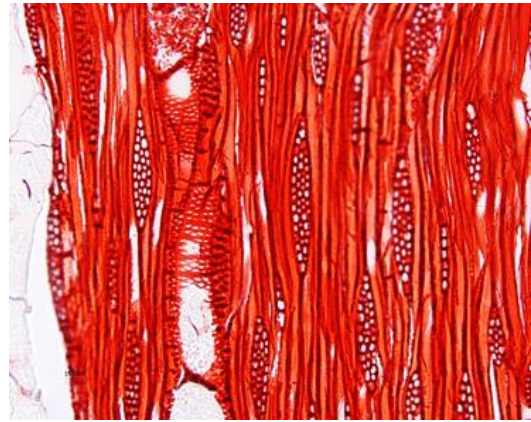


Figura 292- Captação de corte histológico com ampliação de 60x.

- Raios com 2 a 4 células de largura, sendo os unisseriados ou com mais de 5 células raros.
- Altura média de 15 a 30 células.
- Vasos com pontuações intervasculares simples e alternas de diâmetro tangencial médio superior a 5  $\mu\text{m}$ .

## Corte radial



Figura 293 - Captação de corte histológico com ampliação de 20x.



Figura 294 - Captação de corte histológico com ampliação de 60x.

- Raios homogêneos e heterogêneos de mais de 1 mm de altura, com 4 a 12 células por mm.
- Ocasionalmente com uma linha de células quadradas.
- Placas de perfuração simples.
- Fibras liberiformes presentes, septadas.
- Fibrotraqueídeos ausentes.
- Frequentes cristais prismáticos solitários em idioblastos, grandes células de parênquima radial e axial.

### Caraterísticas definidoras

- Vasos largos e pouco frequentes.
- Anéis de crescimento nitidamente separados.
- Raios com 2 a 4 células de largura.
- Placas de perfuração simples.

### Identificação

Com recurso à bibliografia consultada a após o cruzamento dos dados com as chaves dicotómicas selecionadas conclui-se que a espécie constituinte da amostra analisada corresponde a *Juglans regia*.

### 3.17.2 Cristo Slavator Mundi



Figura 295 – Vista do anverso da escultura de Cristo *Salvator Mundi*.



Figura 296 - captação da amostra com ampliação de 5x..

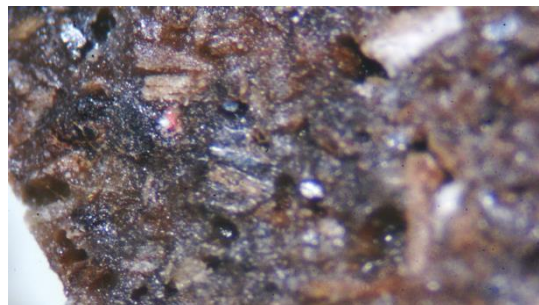


Figura 297 – captação da amostra com ampliação de 10x.

#### **Identificação**

Não foi possível concluir qualquer identificação, dado que a amostras se constitui provavelmente por serrim e cola.

### 3.17.3 Nossa Senhora do Calvário



Figura 298 - Vista do anverso da escultura de Nossa Senhora do Calvário.

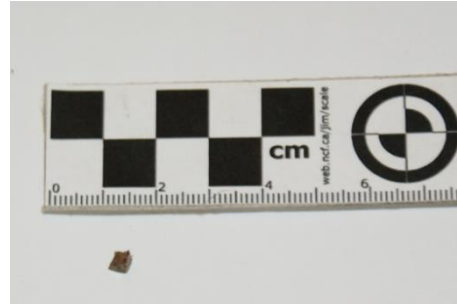


Figura 299 - Amostra colhida da face inferior da base da escultura.

As imagens obtidas das amostras com recurso a microscopia eletrónica de varrimento apresentaram as seguintes características

#### Corte transversal

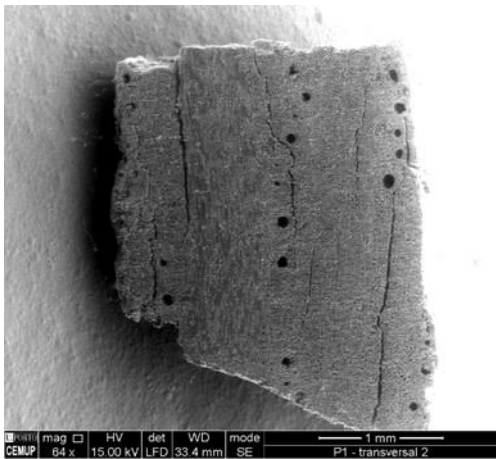


Figura 300 - capturação da amostra com ampliação de 64x.

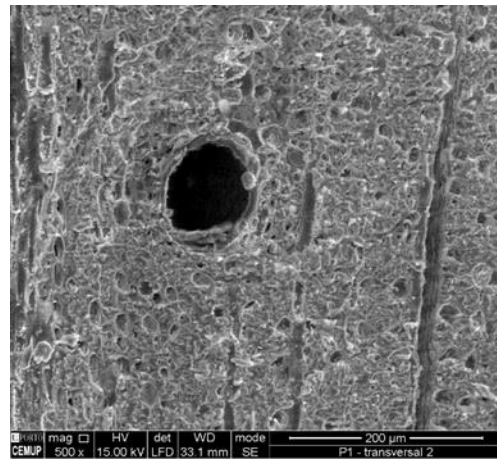


Figura 301 - capturação da amostra com ampliação de 500x.

- Porosidade anelar ou ocasionalmente até difusa.
- Porosidade no lenho de primavera: poros solitários ou em grupos com maior ou menor orientação radial, com concentração esparsa a densa, geralmente com o vaso mais largo perto do início do anel de crescimento.
- Porosidade no lenho de outono: uma ou várias linhas de poros mais ou menos compactos com distribuição dendrítica muito clara.

- Em anéis de crescimento amplos, distintos, poros com disposição radial a dendrítica. Em anéis muito curtos, os poros podem apresentar-se muito compactados, ao passo que em anéis muito amplos, a organização pode-se apresentar mais radial.
- Tiloses no lenho de primavera comum e abundante, esparsa no lenho de outono.
- Fibras liberiformes de paredes espessas em agrupamentos irregulares.
- Parênquima apotraqueal difuso ou em bandas unisseriadas diagonais ou tangenciais com frequência variável, maioritariamente no lenho de outono.
- Parênquima paratraqueal está ocasionalmente presente.
- Raios de grandes dimensões visíveis a olho nu.

### Corte tangencial

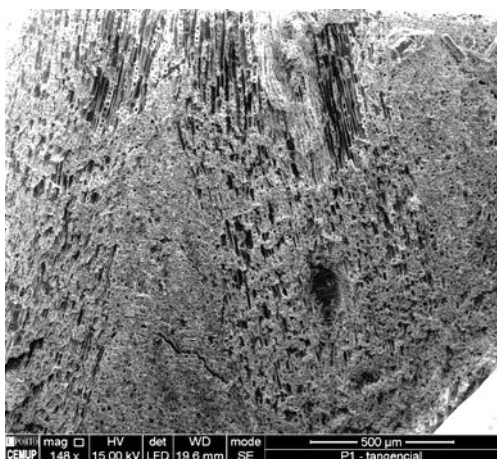


Figura 302 – Captação da amostra com ampliação de 148x.

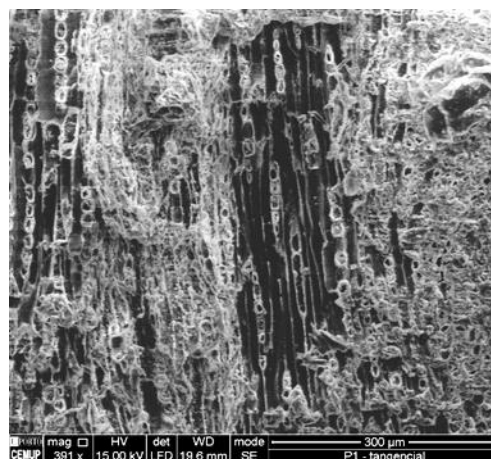


Figura 303 – Captação da amostra com ampliação de 391x.

- Raios uni e multisseriados.
- Raios unisseriados até 20 células de altura.
- Raios multisseriados até 1 mm de largura por 10 mm de altura.
- Fibras presentes ocasionalmente no tecido radial e septadas.
- Traqueídeos presentes.
- Pontuações intervasculares simples e alternas de diâmetro tangencial médio superior a 5 μm.

## Secção radial

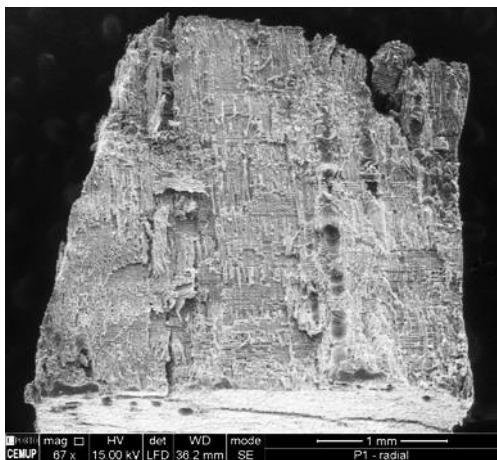


Figura 304 – Captação da amostra com 67x.

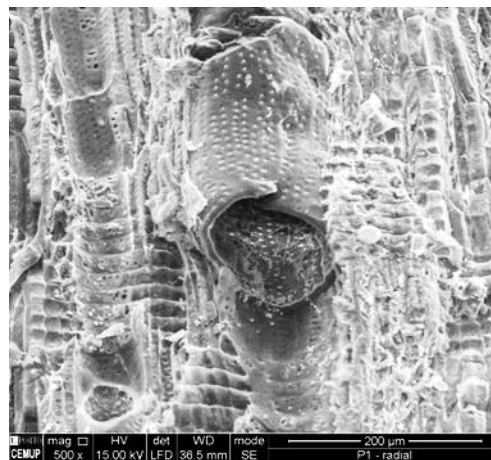


Figura 305 – Captação da amostra com 500x.

- Raios homogêneos ocasionalmente com células quadradas nos raios unisseriados.
- Raios heterogêneos.
- Fibras liberiformes e traqueídeos vasicêntricos.
- Placas de perfuração simples.
- Cristais prismáticos mais ou menos frequentes, solitários ou em cadeias nas células limítrofes de raios, em idioblastos e no parênquima radial e axial.
- Pontuações entre vaso e raio alargadas, frequentemente com forma oval ou tipo fenda.

### Caraterísticas definidoras

- Porosidade anelar com os anéis de crescimento nitidamente separados.
- Poros no lenho de outono em grupos com disposição oblíqua ou dendrítica.
- Traqueídeos vasicêntricos.
- Raios muito amplos.

### Identificação

Com recurso à bibliografia consultada e após o cruzamento dos dados com as chaves dicotómicas selecionadas conclui-se que o género constituinte da amostra analisada corresponde a *Quercus* spp.

### Observações

As espécies do subgénero *Quercus* não podem ser distinguidas entre si com base na sua anatomia.

### 3.17.4 São Bartolomeu



Figura 306 – Vista do anverso da escultura de São Bartolomeu.



Figura 307 – Amostra colhida do reverso da obra em área com lenho frágil e esponjoso, possivelmente resultado de uma infecção fúngica.

Os cortes obtidos das amostras após tratamento, preparação e análise apresentaram as seguintes características.

#### Corte transversal

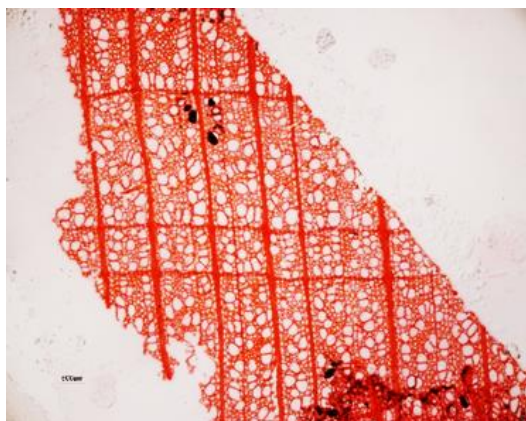


Figura 308 - Captação de corte histológico com ampliação de 40x.

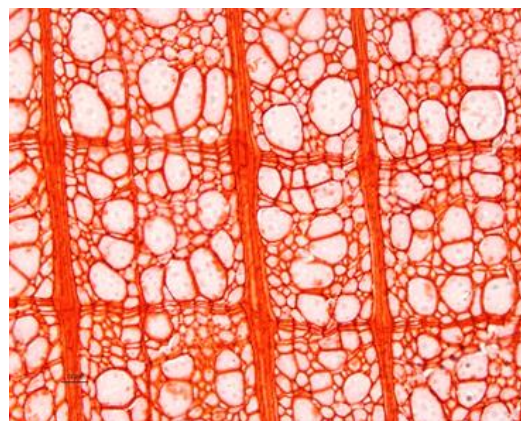


Figura 309 - Captação de corte histológico com ampliação de 80x.

- Porosidade: Difusa a semi difusa.
- Poros frequentemente organizados em alinhamento radial de 4 ou mais vasos ou grupos, em número superior a 40 por mm<sup>2</sup>, com um diâmetro médio tangencial inferior a 100 µm, entre poros solitários.
- Divisão entre anéis de crescimento marcados por 2 a 3 linhas de células espalmadas tangencialmente e de paredes espessas.
- Raios claramente visíveis.
- Tecido geral com paredes relativamente finas.
- Parênquima apotraqueal geralmente em bandas curtas, unisseriadas, obliquas a tangenciais, vulgarmente também terminal ou difuso.

### Corte tangencial



Figura 310- Captação de corte histológico com ampliação de 20x.

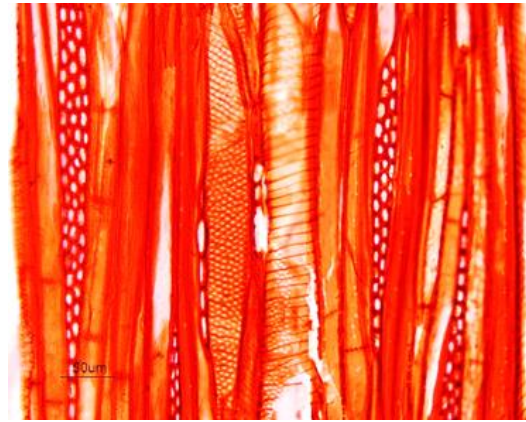


Figura 311 - Captação de corte histológico com ampliação de 80x.

- Raios geralmente com 2 a 4 células de largura, ocasionalmente mais largos.
- Altura dos raios muito variável, geralmente cerca de 10 células mas podendo ultrapassar as 25.
- Células radiais pequenas, ovais, com o eixo mais alto.
- Pontuações intervasculares simples e alternas de diâmetro tangencial médio superior a 5  $\mu\text{m}$ .
- Fibras septadas.
- Fibrotraqueídeos presentes.

## Corte radial



Figura 312 - Captação de corte histológico com ampliação de 20x.

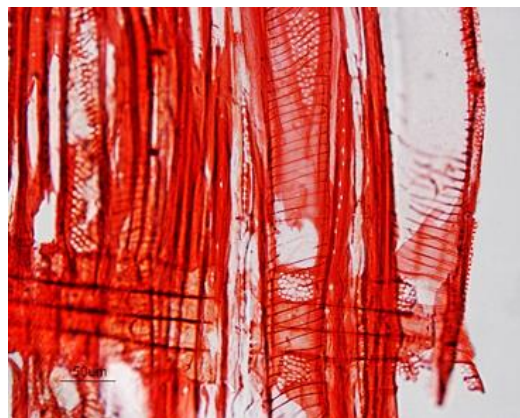


Figura 313 - Captação de corte histológico com ampliação de 80x.

- Raios geralmente homogêneos, ocasionalmente também com uma linha de células quadradas ou verticais nas suas margens. Ocasionalmente também heterogêneos.
- Raios unisseriados geralmente compostos por células verticais.
- O tecido geral predominantemente composto por fibras liberiformes, raramente fibrotraqueídeos, sendo formas de transição entre ambos frequentes.
- Placas de perfuração simples.
- Vasos com espessamentos helicoidais (espiralados) notórios.
- Pontuações entre vaso e raio pequenas e numerosas.
- Presença de cristais em idioblastos e no parênquima radial e axial.
- Características definidoras
- Porosidade difusa.
- Poros em grupo orientados radialmente.
- Raios com 3 a 4 células, homogêneos.
- Raios alargam quando cruzam os limites dos anéis de crescimento.
- Placas de perfuração simples.
- Espessamento espiralados claramente visíveis.

## Identificação

Com recurso à bibliografia consultada e após o cruzamento dos dados com as chaves dicotómicas selecionadas conclui-se que o género constituinte da amostra analisada corresponde a *Tilia* spp.

## Observações

Não é possível distinguir com base na anatomia as espécies *Tilia cordata*, *Tilia tomentosa*, *Tilia platyphyllos*.

### 3.17.5 São João Evangelista



Figura 314 – Vista do anverso da escultura de São João Evangelista.



Figura 315 – Amostra colhida do reverso da obra.

Os cortes obtidos das amostras após tratamento, preparação e análise apresentaram as seguintes características

#### Corte transversal



Figura 316 - Captação de corte histológico com ampliação de 40x.



Figura 317 - Captação de corte histológico com ampliação de 60x.

- Porosidade: Difusa a semi difusa.
- Poros largos e pouco frequentes.
- Poros solitários ou em grupos de 2 a 4 células com organização radial e em número inferior a 20 por mm<sup>2</sup>.
- Vasos no borne com tiloses castanhas e abundantes.
- Parênquima apotraqueal difuso e bandas tangenciais curtas e unisseriadas, também terminal.
- Parênquima paratraqueal escasso ou vasicêntrico.

### Corte tangencial



Figura 318 - Captação de corte histológico com ampliação de 40x.



Figura 319 - Captação de corte histológico com ampliação de 60x.

- Raios com 2 a 4 células de largura, sendo os unisseriados ou com mais de 5 células raros.
- Altura média de 15 a 30 células.
- Vasos com pontuações intervasculares simples e alternas de diâmetro tangencial médio superior a 5  $\mu\text{m}$ .

### Corte radial



Figura 320 - Captação de corte histológico com ampliação de 20x.

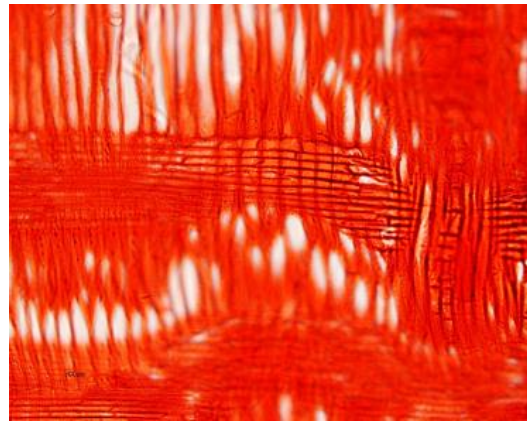


Figura 321 - Captação de corte histológico com ampliação de 60x.

- Raios homogêneos e heterogêneos de mais de 1 mm de altura, com 4 a 12 células por mm.
- Ocasionalmente com uma linha de células quadradas.
- Placas de perfuração simples.

- Fibras liberiformes presentes, septadas.
- Fibrotraqueídeos ausentes.
- Frequentes cristais prismáticos solitários em idioblastos, grandes células de parênquima radial e axial.

### **Caraterísticas definidoras**

- Vasos largos e pouco frequentes.
- Anéis de crescimento nitidamente separados.
- Raios com 2 a 4 células de largura.
- Placas de perfuração simples.

### **Identificação**

Com recurso à bibliografia consultada e após o cruzamento dos dados com as chaves dicotómicas selecionadas conclui-se que a espécie constituinte da amostra analisada corresponde a *Juglans regia*.

#### **3.17.6 Conclusões acerca das espécies e géneros identificados nas esculturas flamengas do século XV-XVI**

Os resultados obtidos através da análise das amostras recolhidas das obras selecionadas, são coincidentes com os géneros e espécies identificados em escultura flamenga e norte europeia entre os séculos XIV e XVI, segundo os estudos de Marette (1961) (ver Anexo G).

## 4 CONCLUSÃO

O tratamento da escultura sobre madeira policromada representando Santa Catarina de Alexandria constituiu-se como um desafio técnico e teórico tanto pela elevada qualidade técnica da imagem, como pelos acentuados níveis de degradação que apresentava.

As distintas etapas que constituíram o presente trabalho, incluíram o estudo e compreensão dos sistemas de limpeza abordados (Wolvers e Cremonesi) para a remoção de sujidade aderida em superfícies policromadas.

Da mesma forma, as técnicas laboratoriais usadas (MO, EDXRF) e desenvolvidas revelaram-se importantes e esclarecedoras para a compreensão da metodologia técnica e material de execução da obra, assim como os testes químicos e de solvência para a definição das opções e tratamentos levados a cabo.

Os materiais identificados são habituais na escultura e pintura desta época e coincidem com o esperado segundo os documentos históricos e os estudos publicados.

No que respeita às obras flamengas dos séculos XV e XVI selecionadas para o estudo de caso, a caracterização dos suportes conduziu à identificação de *Quercus* spp. *Tilia* spp. e *Juglans regia* como géneros e espécies constituintes, o que coincide com as informações fornecidas pela bibliografia consultada e que define estas madeiras como fazendo parte das principais madeiras usadas à época naquela região e tipologia artística.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, a adaptação à linguagem usada em Biologia assim como à metodologia de trabalho desta área científica, a par da profundidade de conhecimentos que o tema exigiu, constituíram os principais desafios. Referem-se em particular questões técnicas como a preparação, seccionamento e montagem de amostras histológicas, a utilização e compreensão de materiais como resinas de inclusão e toda a fundamentação teórica acerca da anatomia de madeira. Além destes fatores, o reconhecimento e enumeração das características e patologias que podem afetar o material lenhoso e, com isto, dificultar ou mesmo inviabilizar a sua identificação, constituíram-se como um desafio acrescido.

Conclui-se que o desenvolvimento e aplicação da metodologia de identificação de madeira exige meios e materiais específicos para a sua obtenção. Reconhece-se que a identificação de amostras provenientes de obras de arte e, conseqüentemente, de reduzidas dimensões e com níveis de degradação muito variáveis é dificultada comparativamente amostras provenientes de madeiras sãs e recentes.

As entrevistas levadas a cabo permitiram conhecer abordagens e metodologias pessoais e reconhecer que limitações e dificuldades nomeadas durante o trabalho afetam os especialistas mais experientes.

Conclui-se igualmente que a aplicação dos conhecimentos e metodologias necessárias à identificação de madeira constituinte de obras de arte é possível como metodologia a implementar de forma sistemática. Objetiva-se também o desenvolvimento de metodologias técnicas e materiais que permitam a identificação de géneros ou espécies de amostras de madeiras provenientes de obras de arte, nas quais, a gradual redução do volume se torne o principal fator.

No seguimento deste trabalho propõe-se a elaboração de uma base de dados passível de atualização periódica e acessível a investigadores, com o fim de contribuir para uma perspetiva abrangente acerca da constituição material da arte portuguesa sobre madeira, assim como das opções técnicas e materiais dos artistas nacionais ao longo do tempo.

**Anexo A: Levantamento Fotográfico das obras selecionadas para o caso de estudo (Imagens do autor).**

***Cristo Salvator Mundi***



Figura 323 – Vista geral do anverso da imagem.



Figura 324 - Vista geral do reverso da imagem.



Figura 325 - Vista geral do perfil direito da imagem.



Figura 326 - Vista geral do perfil esquerdo da imagem.



Figura 327 - Vista a 3/4 da face esquerda da imagem.



Figura 328 - Vista a 3/4 da face direita da imagem.



Figura 329 - Pormenor do atributo globo.



Figura 330 - Pormenor da mão direita da imagem.



Figura 331 - Pormenor do pé esquerdo e da base da imagem.



Figura 332 - Pormenor do drapeado direito presente no anverso da imagem.

### Nossa Senhora do Calvário

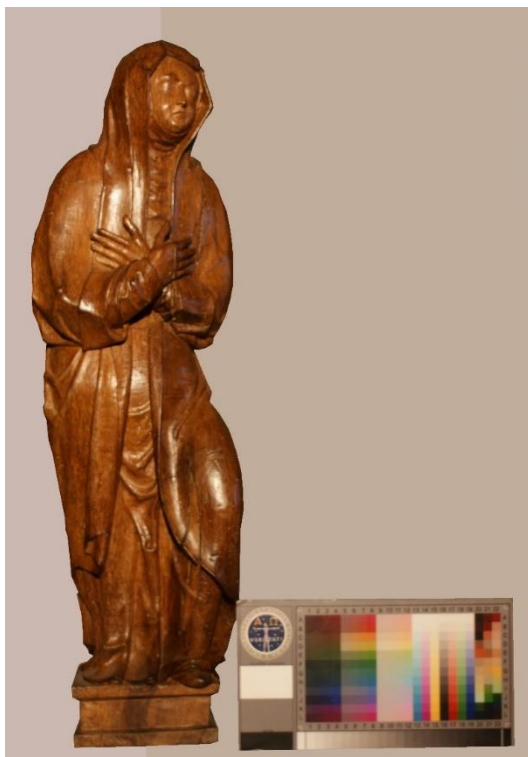


Figura 333 - Vista geral do anverso da imagem.



Figura 334 - Vista geral do reverso da imagem.



Figura 335 - Vista geral do perfil esquerdo.



Figura 336 - Vista geral do perfil direito.



Figura 337 - Vista de frente da face.



Figura 338 - Pormenor da face.



Figura 339 - Pormenor do peito e das mãos.



Figura 340 - Vista de base.



Figura 341 - Pormenor do manto.

### Nossa Senhora com o Menino em Majestade



Figura 342 - Vista geral do Anverso.



Figura 343 - Vista geral do Reverso.



Figura 344 - Vista geral do perfil esquerdo.

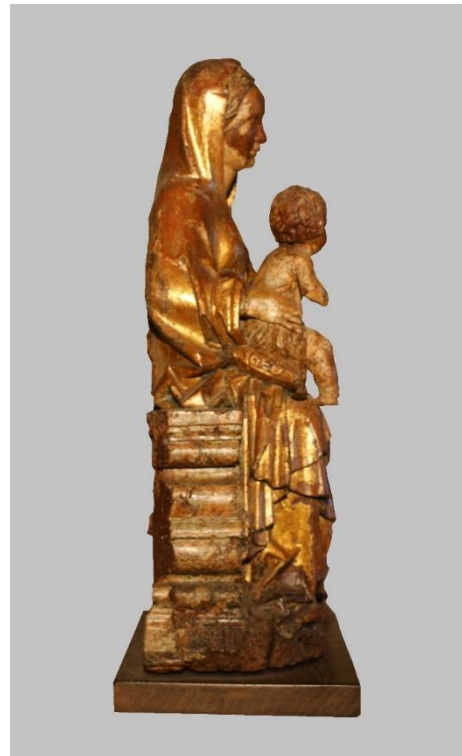


Figura 345 - Vista geral do perfil direito.



Figura 346 - Vista a 3/4 da face esquerda da Nossa Senhora



Figura 347 - Vista a 3/4 da face direita do Menino.

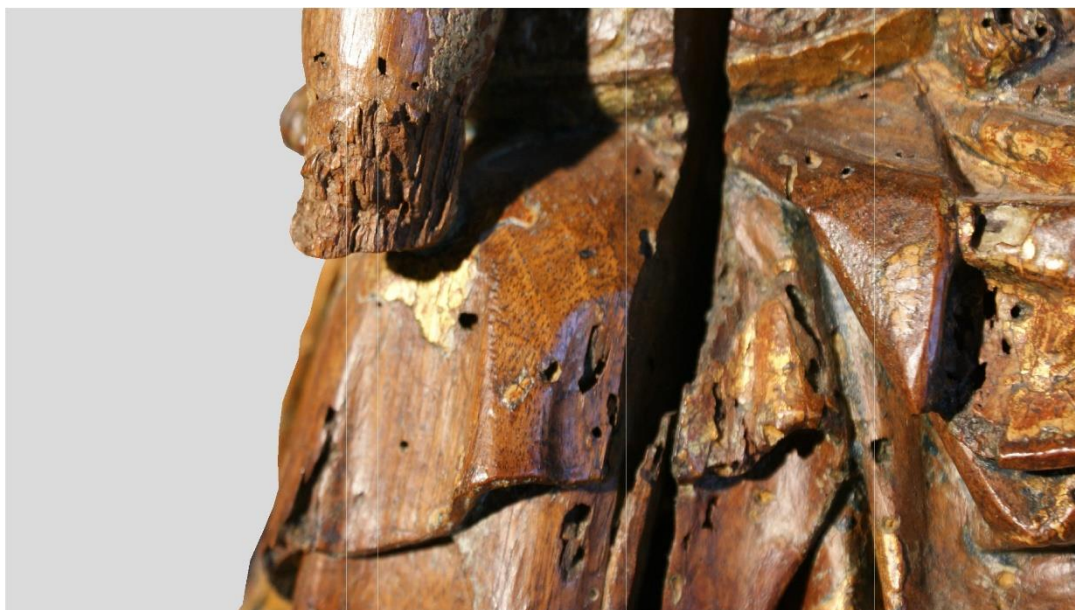


Figura 348 - Pormenor da cintura de Nossa Senhora e do pé do Menino.

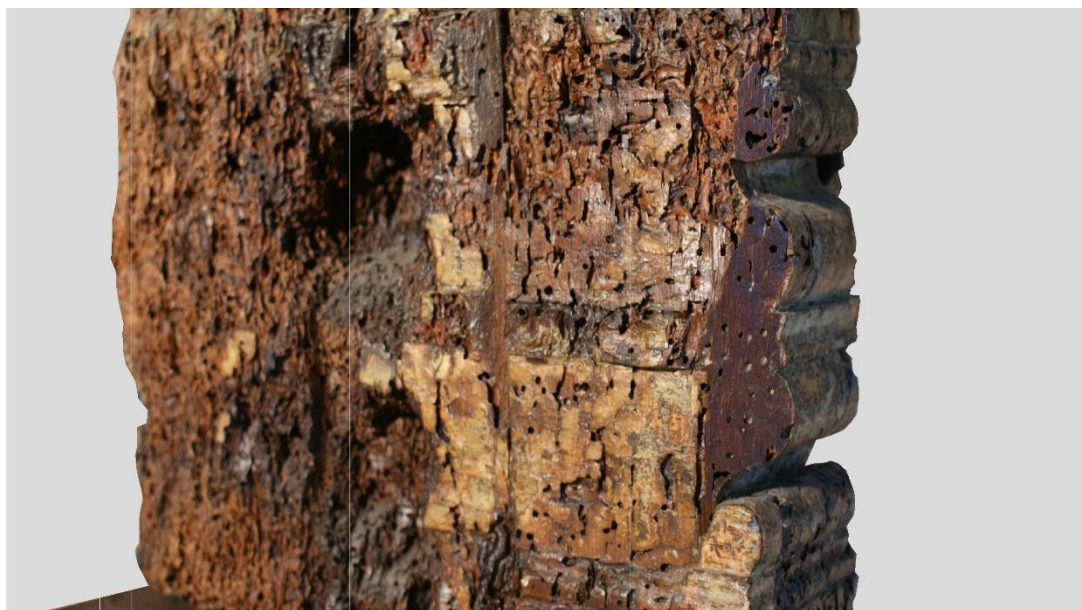


Figura 349 - Pormenor do reverso da base.



Figura 350 - Pormenor do joelho esquerdo de Nossa Senhora.

### São Bartolomeu



Figura 351 - Vista geral do Anverso.



Figura 352 - Vista geral do Reverso.



Figura 353 - Vista geral do perfil direito.



Figura 354 - Vista geral do perfil esquerdo.



Figura 355 - Vista a 3/4 da face esquerda.

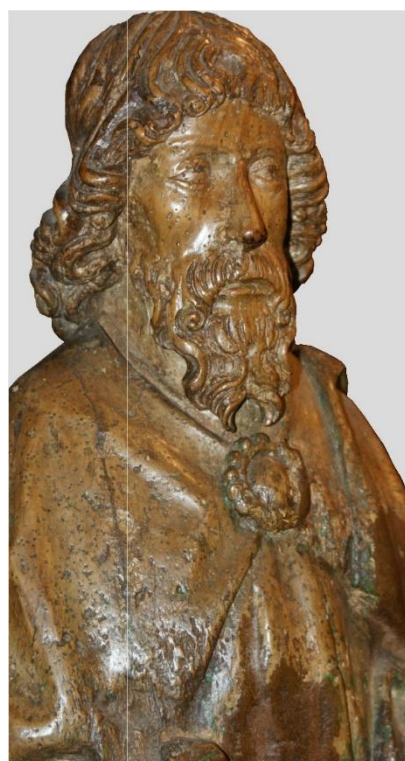


Figura 356 - Vista a 3/4 do peito e face direita.

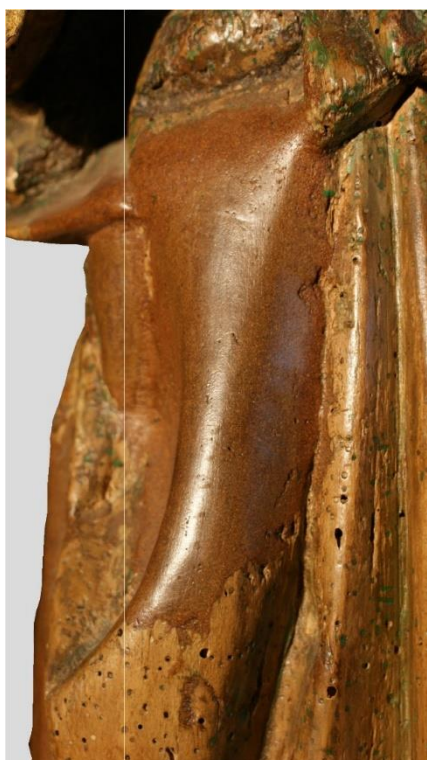


Figura 357 - Pormenor do lado esquerdo da cintura.



Figura 358 - Pormenor do ombro esquerdo.

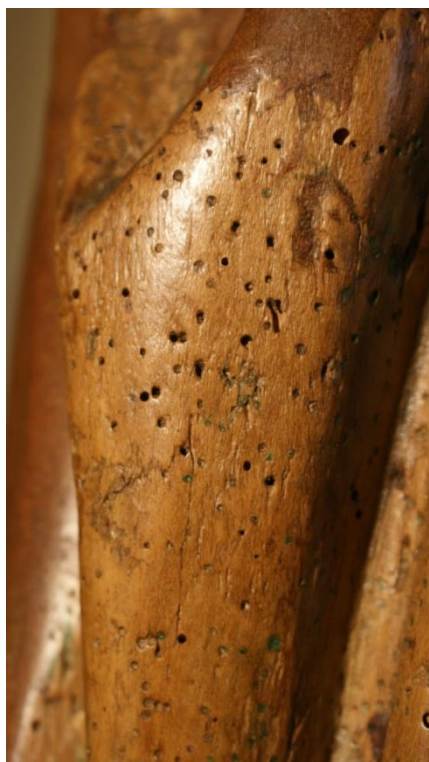


Figura 359 - Pormenor do drapeado esquerdo.



Figura 360 - Pormenor do reverso.

## São João Evangelista



Figura 361 - Vista geral do Anverso.



Figura 362 - Vista geral do Reverso.



Figura 363 - Vista geral do perfil direito.



Figura 364 - Vista geral do perfil esquerdo.



Figura 365 - Vista a 3/4 da face esquerda.



Figura 366 - Vista a 3/4 da face direita.

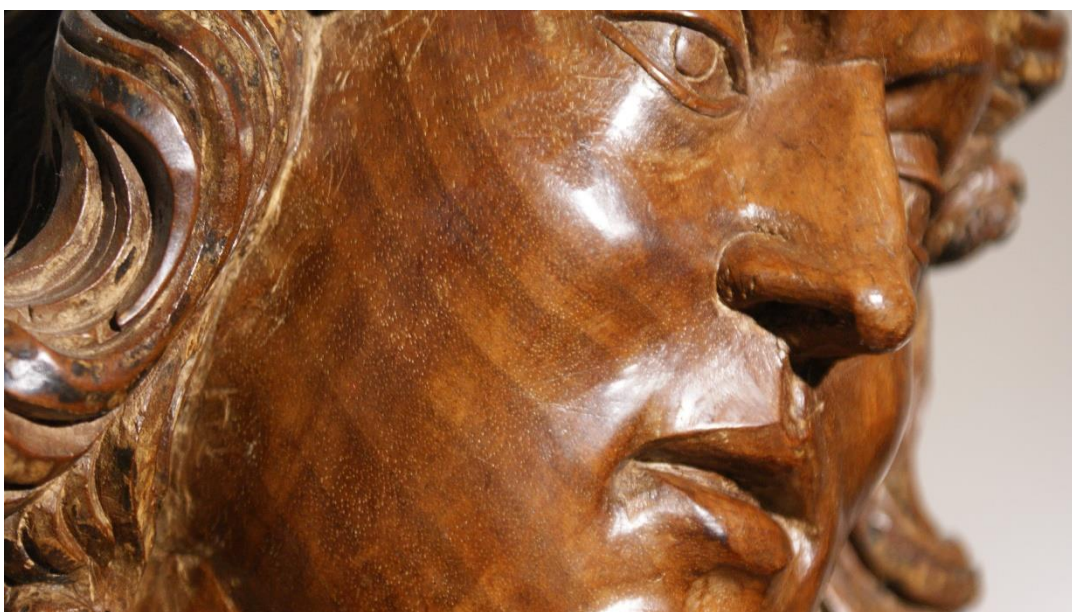


Figura 367 - Pormenor da face direita.

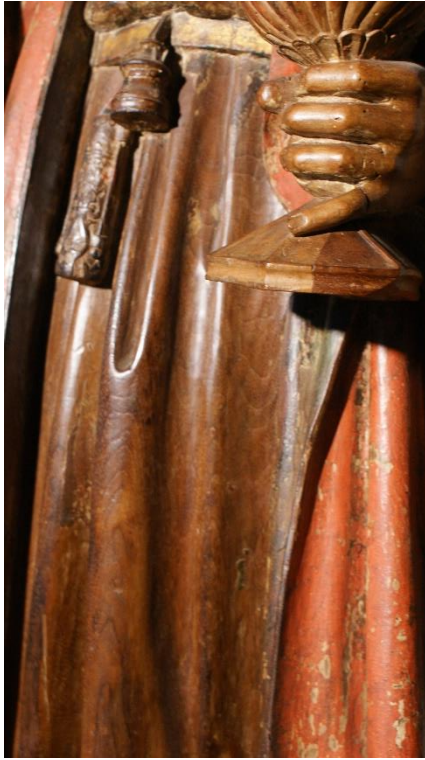


Figura 368 - Pormenor do drapeado esquerdo.

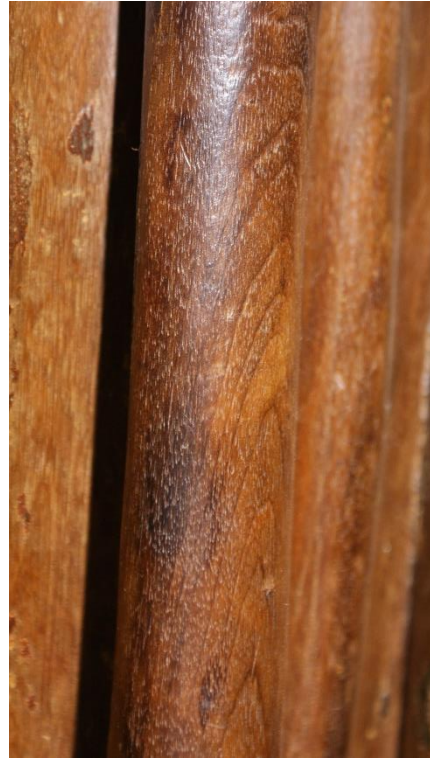


Figura 369 - Pormenor do drapeado direito.

**Anexo B: Levantamento fotográfico do teste com *Sonda de Pressler* (Imagens do autor).**



Figura 370 – Medição do diâmetro da boca.



Figura 371 – Medição do diâmetro do corpo.

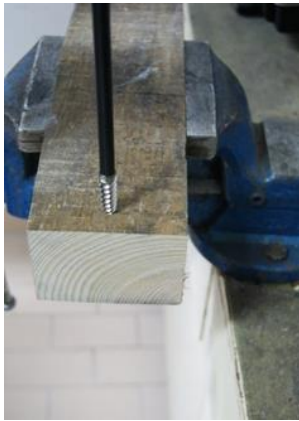


Figura 372 – Início da perfuração para recolha da amostra.



Figura 373 – Durante o processo de perfuração.

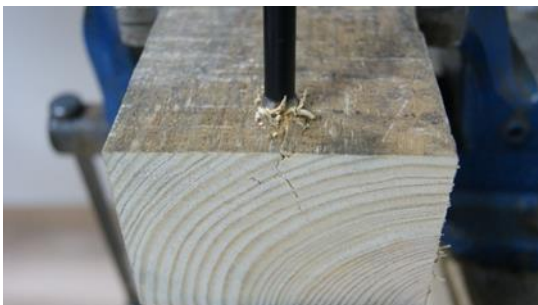


Figura 374 – Fissuração do lenho durante a recolha.



Figura 375 – Pormenor da fissuração.



Figura 376 – Remoção da amostra da sonda.

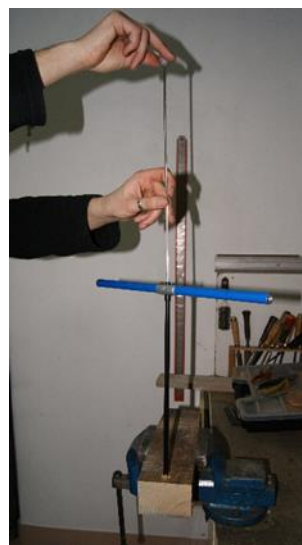


Figura 377 – Pormenor da remoção da amostra da sonda

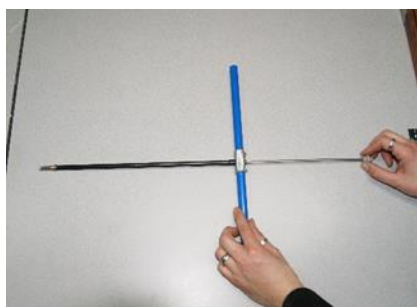


Figura 378 – Colocação da sonda para auferir resultados.



Figura 379 – Pormenor da amostra recolhida no teste.



Figura 380 – Medição do diâmetro da amostra.



Figura 381 – Medição do diâmetro da lacuna no suporte de extração.

**Anexo C: Levantamento fotográfico da recolha das amostras de madeira das esculturas flamengas selecionada para estudo de caso. (Imagens do autor).**



Figura 382 - Reconhecimento da orientação do veio da madeira.



Figura 383 - Análise da obra para identificação da área alvo de colheita.



Figura 384 - Colheita de amostra de lenho da face inferior da base de uma das obras.



Figura 385 - Amostra resultante da colheita anterior.



Figura 386 - Colheita de amostra de lenho de uma zona afetada por ataque de inseto xilófago.



Figura 387 - Colheita de amostra de lenho de uma zona afetada por colonização fúngica.



Figura 388 - Colheita de amostra de lenho do tardo de uma obra vazada.

**Anexo D: Etapas do protocolo de inclusão de amostras de madeira em resina acrílica LRwhite “LRwhite Medium Grade Acrylin Resin 500g. London Resin Company Ltd” (Imagens do autor)**



Figura 389 - Remoção de ar do interior da madeira em câmara de vácuo

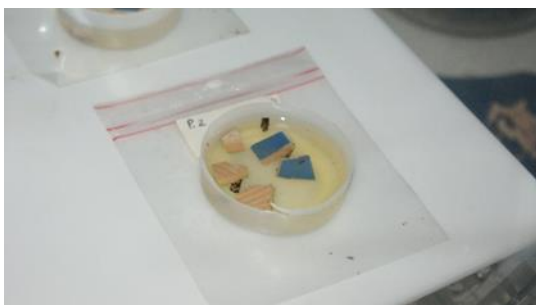


Figura 390 - Pormenor das amostras submersas em água dentro da câmara



Figura 391 - Etapa do processo de desidratação com recurso a etanol



Figura 392 - Pormenor da saída de ar no interior da madeira durante o processo de desidratação



Figura 393 - Etapa da substituição do etanol pela resina acrílica LRwhite.



Figura 394 - Introdução da amostra incluída em resina acrílica LRwhite nas cápsulas de polimerização



Figura 395 - Pormenor do fecho das cápsulas no suporte com as amostras e resina no interior.



Figura 396 – Amostras prontas a ser polimerizadas em estufa com temperaturas entre os 50 e 60 °C, durante 10 a 12 horas.



Figura 397 - Amostras resultantes do processo de inclusão



Figura 398 - Pormenor das amostras incluídas.

Madeiras usadas em escultura policromada.  
Revisão da metodologia e das técnicas histológicas necessárias à sua identificação.



Figura 399 - Micrótomo de faca fixa.



Figura 400 - Seccionamento de amostras incluídas em resina.



Figura 401 - Etapa do processo de montagem dos cortes histológicos entre lâmina e lamela.



Figura 402 - Cortes histológicos montados.



Figura 403 - Resultado dos cortes histológicos obtidos.

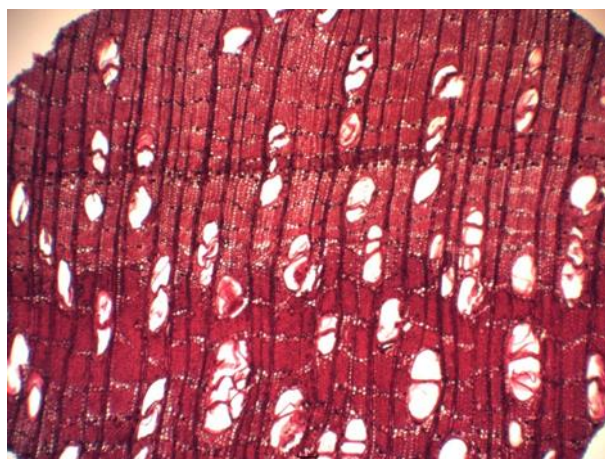


Figura 404 - Corte transversal em secção de 10 µm de espessura. Captado com recurso a microscópio ótico com luz transmitida e câmara digital acoplada.

### Anexo E: Etapas do protocolo de inclusão de amostras de madeira em Metacrilato Histroresin, Leica (Imagens do autor)



Figura 405 - Remoção de ar do interior da madeira em câmara de vácuo.



Figura 406 - Conjunto de amostras submersas em água dentro da câmara.



Figura 407 - Etapa do processo de desidratação com recurso a etanol.



Figura 408 - Etapa da substituição do etanol pela resina Metacrilato.

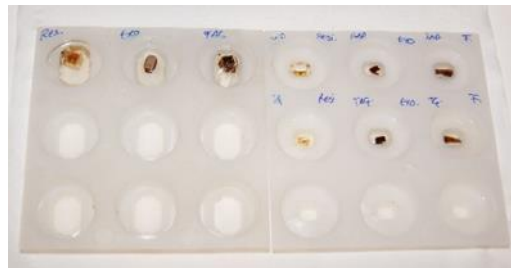


Figura 409 - Polimerização de amostras incluídas em resina.



Figura 410 - Conjunto de amostras resultantes do processo de inclusão.

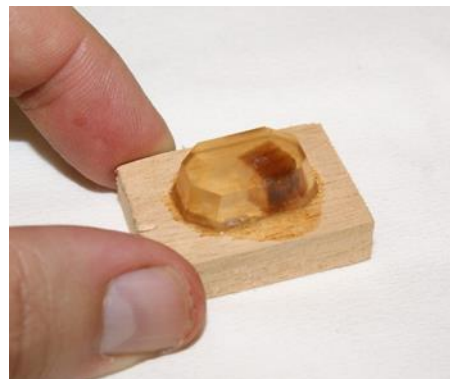


Figura 411 - Pormenor de amostra incluída.



Figura 412 - Seccionamento de amostras incluídas em resina com recurso a micrótomo de faca fixa.



Figura 413 - Cortes resultantes das amostras seccionadas.

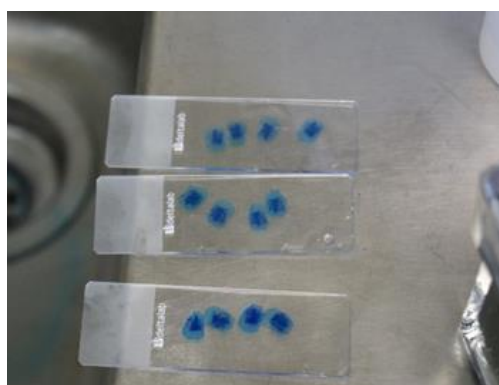


Figura 414 - Coloração dos cortes histológicos.



Figura 415 - Resultado dos cortes histológicos obtidos.



Figura 416 - Corte transversal em secção de 10 µm de espessura. Captado com recurso a microscópio ótico com luz transmitida e câmara digital acoplada.

## Anexo F: Cortes histológicos de amostras incluídas em Metacrilato Histo-resin, Leica. (Imagens do autor)

### Espécie conífera

Seccionada com 5  $\mu\text{m}$  de espessura



Figura 417 - Corte transversal (4x).



Figura 418 - Corte radial (4x).



Figura 419 - Corte tangencial (4x).

Seccionada com 10  $\mu\text{m}$  de espessura



Figura 418 - Corte transversal (4x).



Figura 419 - Corte radial (10x).



Figura 420 - Corte tangencial (4x).

Seccionada com 16  $\mu\text{m}$  de espessura



Figura 421 - Corte transversal (4x).



Figura 422 - Corte radial (4x).



Figura 423 - Corte tangencial (4x).

### Outras ampliações

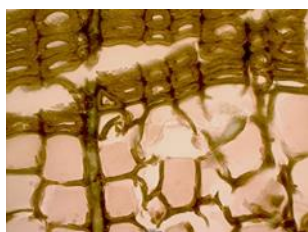


Figura 424 - Corte transversal (40x).



Figura 425 - Corte radial (20x).



Figura 426 - Corte tangencial (40x).

### **Espécie folhosa**

Seccionada com 5  $\mu\text{m}$  de espessura



Figura 427 – Corte transversal (4x).



Figura 428 - Corte radial (4x).



Figura 429 - Corte tangencial (4x).

Seccionada com 10  $\mu\text{m}$  de espessura

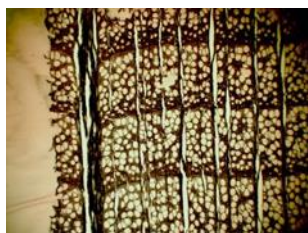


Figura 430 – Corte transversal (4x).

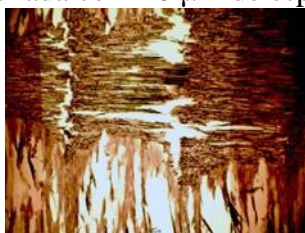


Figura 431 - Corte radial (4x).



Figura 432 - Corte tangencial (4x).

Seccionada com 16  $\mu\text{m}$  de espessura



Figura 433 - Corte transversal (4x).



Figura 434 - Corte radial (4x).



Figura 435 – Corte tangencial (4x).

Outras ampliações

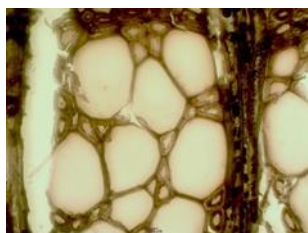


Figura 436 - Corte transversal (20x).

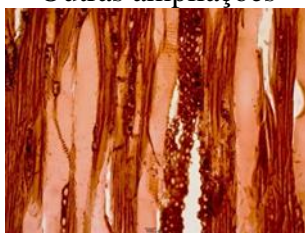


Figura 437 - Corte radial (40x).



Figura 438 – Corte tangencial (40x).

### Espécie exótica

Seccionada com 5 µm de espessura



Figura 439 - Corte transversal (4x).



Figura 440 - Corte radial (4x).



Figura 441 – Corte tangencial (4x).

Seccionada com 10 µm de espessura



Figura 442 - Corte transversal (4x).

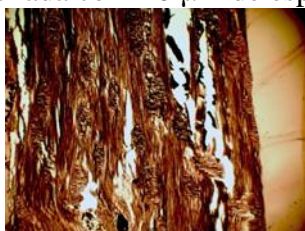


Figura 443 - Corte radial (4x).



Figura 444 – Corte tangencial (4x).

Seccionada com 16 µm de espessura



Figura 445 - Corte transversal (4x).



Figura 446 - Corte radial (4x).

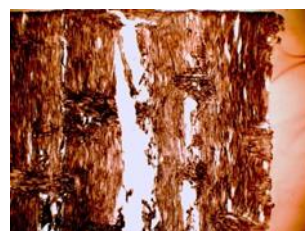


Figura 447 – Corte tangencial (4x).

Outras ampliações

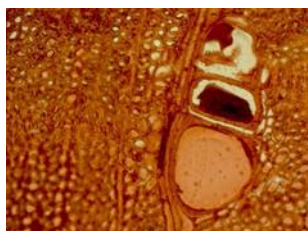


Figura 448 - Corte transversal (20x).

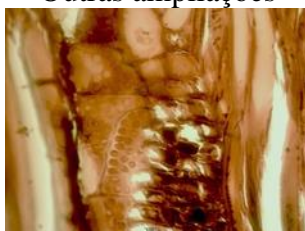


Figura 449 - Corte radial (40x).

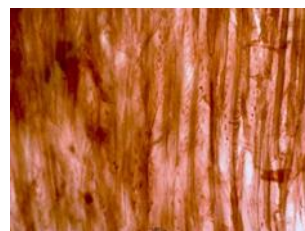


Figura 450 - Corte tangencial (40x).

## Anexo G: Espécies predominantes no centro/norte europeu antes do século XVIII

CONNAISSANCE DES PRIMITIFS PAR L'ÉTUDE DU BOIS

RÉPARTITION DES FORÊTS EN EUROPE.  
AVANT LE XVIII<sup>e</sup> SIÈCLE.

RÉGIONS NATURELLES	ESPÈCES FEUILLUES		ESPÈCES RÉSINEUSES	
	Dominantes	Accessoires	Dominantes	Accessoires
1. <i>Plaines septentrionales.</i> Secteur Baltique Est.		Chêne pédonculé, aune, tremble, bouleau.	Épicéa, pin sylvestre.	
Secteur Baltique Ouest.	Hêtre.	Chêne pédonculé, bouleau.	Pin sylvestre.	Épicéa.
Secteur Prusse } Orientale. } Centrale.	Chêne pédonculé.	Bouleau, tremble, charme, tilleul.	Pin sylvestre.	
Secteur Plaines polono-roumaines.	Chêne pédonculé, tilleul.	Charme, hêtre.		
2. <i>Hautes montagnes.</i>		Bouleau, tremble.	Mélèze, épicéa.	Pin Cembro, pin de montagne.
3. <i>Collines et basses montagnes.</i> Secteur continental.	Hêtre, chêne rouvre.	Charme.	Sapin, épicéa, pin sylvestre.	
Secteur atlantique.	Hêtre, chêne rouvre.	Charme, fruitiers.		Sapin, pin sylvestre.
4. <i>Plaines et vallées alluviales.</i> Secteur oriental.	Chêne pédonculé, tilleul.	Frêne, orme, tremble, charme, aune, hêtre.		
Secteur central.	Chêne rouvre.	Frêne, châtaignier, bouleau.		
Secteur occidental.	Chêne pédonculé.	Chêne tauzín.	Pin maritime.	
Italie. Continentale.	Hêtre, châtaignier.	Chêne rouvre.	Sapin, épicéa, pin sylvestre.	Autres pins.
Plaine du Pô.	Chêne pédonculé, Frêne.	Tilleul, peuplier.		
Italie. Péninsulaire.	Chênes divers.	Hêtre, olivier.	Pin.	Sapin.
5. <i>Péninsule ibérique.</i> Plaines et basses montagnes continentales.	Chênes divers.	Olivier.		
Secteur atlantique.	Chênes divers.	Hêtre, peuplier.	Pin maritime.	
Montagnes centrales.	Chênes divers.	Fruitiers.	Pin sylvestre.	
Montagnes méridionales.	Chênes divers.	Fruitiers.	Sapin, pinsapo.	

35

Figura 451 – Distribuição de “florestas” na Europa anteriores ao século XVIII. (Marette:1961, p.35). Assinalado a vermelho, a zona correspondente ao território onde a Flandres se integrava.

Nomes científicos das espécies e géneros supra mencionadas:

<b>Hêtre</b> – <i>Fagus</i> spp.	<b>Chêne pédonculé</b> – <i>Quercus pedunculata</i>	<b>Bouleau</b> – <i>Betula</i> spp.
<b>Aune</b> – <i>Alnus glutinosa</i>	<b>Charme</b> – <i>Carpinus</i> spp.	<b>Tilleul</b> – <i>Tilia</i> spp.
	<b>Coníferas</b>	
<b>Épicéa</b> – <i>Picea</i> spp.	<b>Pin sylvestre</b> – <i>Pinus sylvestris</i>	<b>Mélèze</b> – <i>Larix</i> spp.
<b>Pin Cembro</b> – <i>Pinus cembra</i>	<b>Pin de montagne</b> – <i>Pinus mugo</i>	



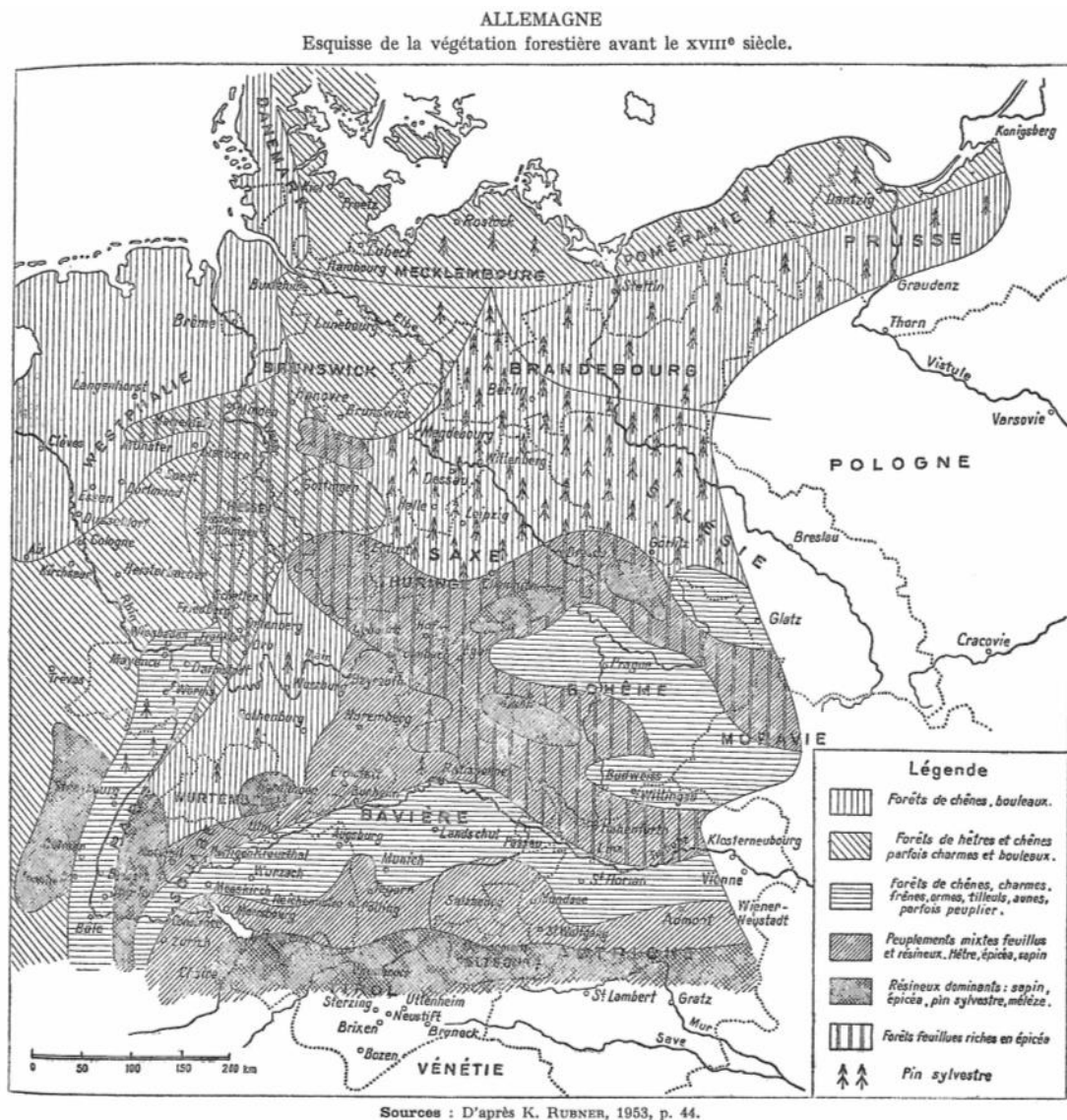









Figura 453 – Alemanha. Esboço da vegetação florestal antes do século XVIII. (Marette:1961, p.39).  
 Sobreposição do mapa anterior representando parte do Centro e Norte europeu, com as espécies arbóreas predominantes

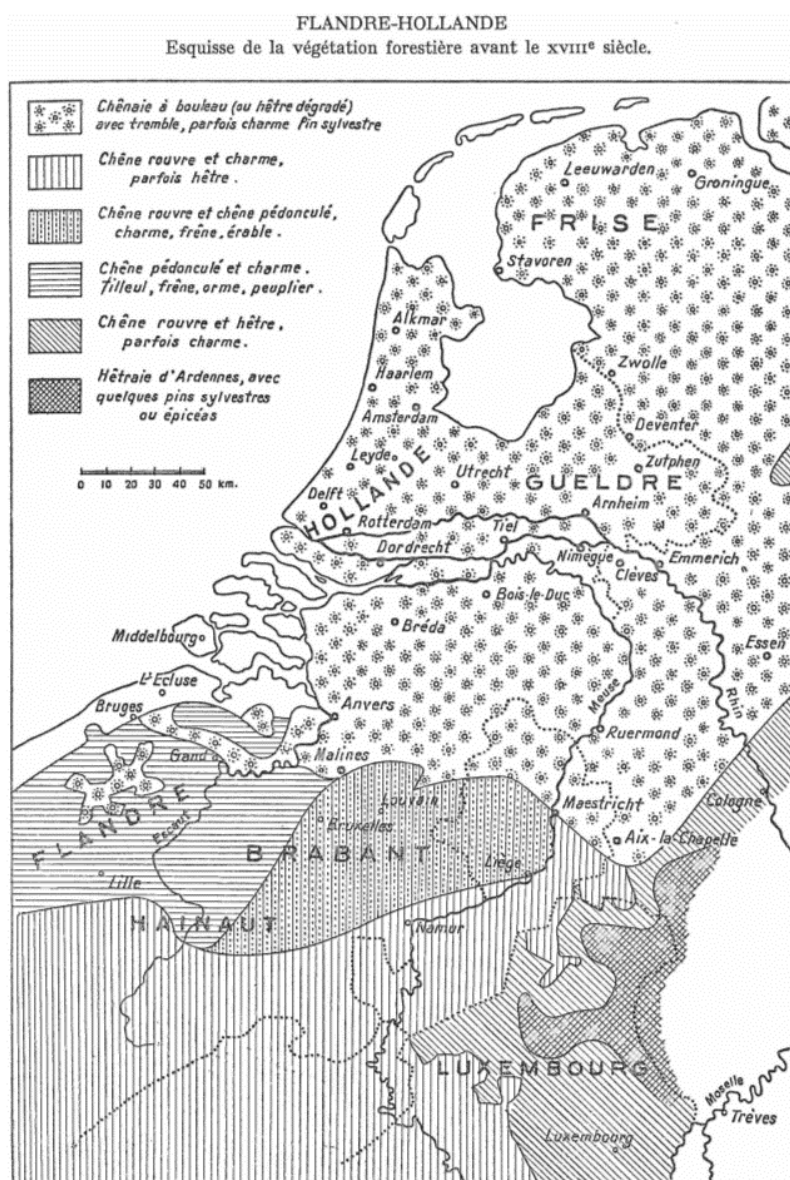
Legenda:

-  Floresta de *Quercus* spp. e *Betula* spp.
-  Floresta de *Quercus* spp. e *Fagus* spp, ocasionalmente *Carpinus* spp. e *Betula* spp.
-  Floresta de *Quercus* spp., *Carpinus* spp., *Fraxinus* spp., *Ulmus* spp., *Tilia* spp., *Alnus* spp., *Populus* spp.
-  Povoamentos mistos de folhosas e coníferas. *Fagus* spp., *Picea* spp. *Abies* spp.
-  Coníferas dominantes: *Abies* spp.; *Picea* spp.; *Pinus sylvestris*; *Larix* spp.
-  Florestas de folhosas abundantes em *Picea* spp.
-  *Pinus sylvestris*.



Sources : D'après F. SCHRADER, 1896  
(Extrait de la carte n° 29 : Europe Centrale et Occidentale en 1494).

Figura 454 – *Flandres – Holanda (1494)*. (Marette:1961, p.40).  
Mapa representando a Flandres no século XV.









Sources : D'après K. RÜBNER, 1953, p. 118.

Nota. Peuplier : Le peuplier existe dans les vallées des Pays-Bas.

Figura 455 – *Flandres-Holandia. Esboço da vegetação florestal anterior ao século XVIII.* (Marette:1961, p.41).  
 Sobreposição do mapa anterior representando a região da Flandres com as espécies arbóreas predominantes.

Legenda:

-  Bosques de *Quercus* spp. e *Betula* spp. e pontualmente *Fagus* spp. com *Carpinus* spp. e *Pinus sylvestris*.
-  *Quercus* spp. e *Carpinus* spp. ocasionalmente *Fagus* spp.
-  *Quercus* spp., *Quercus pedunculata*, *Carpinus* spp., *Fraxinus* spp., *Acer* spp.
-  *Quercus pedunculata*, *Carpinus* spp., *Tilia* spp., *Fraxinus* spp., *Ulmus* spp., *Populus* spp.
-  *Quercus* spp., *Fagus* spp., ocasionalmente *Carpinus* spp.
-  *Fagus* spp com pontuais *Pinus sylvestris* e *Picea* spp.

CONNAISSANCE DES PRIMITIFS PAR L'ÉTUDE DU BOIS

## ÉCOLE

ÉCOLE :	FRANCE			FRANCE NORD											
	XIV	XV	XVI	Picardie Amiens			Paris			Troyes			Loire Touraine		
XIV				XV	XVI	XIV	XV	XVI	XIV	XV	XVI	XIV	XV	XVI	
Chêne		2	27	2	15	4	5				1	3		8	
Epicéa															
Noyer		1	9											1	
Orme															
Peuplier													1		
Pin sylvestre															
Sapin															
Saule															
Tilleul			1				1								
TOTAL :		40		21		6		4		10					

LÉGENDE  XII<sup>es</sup>  XIII<sup>es</sup>

ÉCOLE FRANÇAISE : STATISTIQUE DE LA NATURE DU BOIS DES SUPPORTS AU NORD DE LA LOIRE,  
 D'APRÈS LES EXAMENS SCIENTIFIQUES.

50

Figura 456 – *Escola Francesa (Norte)*. (Marette:1961, p. 50).  
 Tabela representando o número de amostras de madeira recolhidas de obras de arte datadas de entre os séculos XIV e XVI consoante a espécie identificada e a região.



CONNAISSANCE DES PRIMITIFS PAR L'ÉTUDE DU BOIS

**ÉCOLE  
HOLLANDAISE**

ÉCOLE:	Hollande		TOTAL
SIÈCLE:	XV	XVI	
Chêne	2	17	19
<b>TOTAL :</b>	19		19

ÉCOLE HOLLANDAISE : STATISTIQUE DE LA NATURE DU BOIS DES SUPPORTS, EN HOLLANDE, D'APRÈS LES EXAMENS SCIENTIFIQUES.

**ÉCOLE  
FLAMANDE**

ÉCOLE:	Flandre		TOTAL
SIÈCLE:	XV	XVI	
Chêne	26	38	64
Noyer	2		2
<b>TOTAL :</b>	66		66

ÉCOLE FLAMANDE : STATISTIQUE DE LA NATURE DU BOIS DES SUPPORTS, EN FLANDRE, D'APRÈS LES EXAMENS SCIENTIFIQUES.

LÉGENDE					
■	XII <sup>es</sup>	■	XIII <sup>es</sup>	■	XIV <sup>es</sup>
■	XV <sup>es</sup>	■	XVI <sup>es</sup>		

56

Figura 458 – Escola Holandesa e Escola Flamenga. (Marette:1961, p. 56)  
 Tabelas representando o número de amostras de madeira recolhidas de obras de arte datadas de entre os séculos XV e XVI consoante a espécie identificada e a região.

## Anexo H: Entrevistas

### Entrevista realizada pelo autor à Dra. Lília Esteves, do Laboratório José de Figueiredo, via correio eletrónico em 15-06-2015.

1. Quando o fim é a identificação da madeira constituinte de uma obra de arte, tem alguma metodologia específica para o caso ou fatores que devem ser levados em conta?

R: Se estamos a identificar numa obra de arte, geralmente não podemos tirar uma amostra que permita ver as três secções (transversal, tangencial e radial), normalmente só conseguimos ver uma das secções, quando vemos. **Primeiro temos de perceber onde se situa a secção transversal (a que nos dá mais informação) fazer um corte, para ver melhor** e tentar concluir de que madeira se trata. O que é muito difícil quando a área a observar é escassa.

2. Ainda dentro do âmbito das obras de arte, além do óbvio volume da amostra analisada, que outras condicionantes à identificação salienta?

R: O volume é a grande condicionante, pois impede uma preparação da madeira para cortes com micrótomo e impede também uma visão abrangente da disposição das estruturas que formam a madeira, mas também fatores como a idade da madeira ou os tratamentos com cera, etc. podem dar-lhe uma coloração diferente e induzir em erro a sua identificação. Outro fator é o seu estado de conservação pois insetos e/ou fungos podem destruir a estrutura levando a amostra a desfazer-se, não permitindo a sua identificação.

3. Quando se trata da quantidade de material a remover de uma obra, qual o volume mínimo que considera passível de se manipular e identificar?

R: Um cubo com cerca de 6 mm de lado.

A inclusão de amostras de dimensões muito reduzidas ou em mau estado de conservação em resina, para com isto facilitar a sua manipulação e seccionamento (conhecimento que obtive após a investigação que levei a cabo e a formação fornecida pelo Professor Doutor José Pissarra - Departamento de Biologia - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto) é, aparentemente, uma metodologia recorrente quando se lida com a identificação de madeiras em obras de arte.

4. A inclusão de amostras de dimensões muito reduzidas ou em mau estado de conservação em resina, para com isto facilitar a sua manipulação e seccionamento (conhecimento que obtive após a pesquisa que levei a cabo e a formação fornecida pelo Professor Doutor José Pissarra - Departamento de Biologia - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto) é, aparentemente, uma metodologia recorrente quando se lida com a identificação de madeiras em obras de arte.

4.1 Pergunto portanto se este método é um recurso frequente no seu trabalho, em particular quando lidando com obras de arte e, se sim, que marcas e metodologias acha importante salientar?

Há colegas que fazem a inclusão em resina, eu também já tenho feito, mas geralmente a amostra tem um volume mínimo aceitável, por exemplo não é cúbica e um dos lados é mais largo. Mas se não tem dimensões que permitam ver a disposição das estruturas (raios, vasos, etc.) não vale a pena fazer a inclusão, basta fazer uma dissociação e ver se é resinosa ou folhosa.

Há centenas de madeiras e é impossível, com apenas alguns milímetros, chegar a alguma conclusão.

5. Que sistema de chaves dicotómicas usa? Em papel ou eletrónicas e quais?  
Geralmente uso em papel - estes são os principais, mas por vezes tenho de consultar mais

Tabelas

- João de Carvalho e Vasconcelos (1929)

- Albino de Carvalho (1954-55)

-Jacquiot et al. (1973)

Comparação vendo fotos

-Jacquiot et al. (1973)

-Anne Miles (1978)

Comparação com xilotecas

(Instituto José de Figueiredo, Instituto Superior de Agronomia, Instituto de Investigação de Ciências Tropicais, Digitais)

6. Que casos conhece em que a identificação de madeira, tenha sido um fator de viragem no que se sabia da peça?

Em relação à identificação da madeira, não tem sido fator de viragem, mas pode explicar o seu melhor (ou pior) estado de conservação. Por exemplo uma cadeira de braços em que toda a cadeira estava boa exceto um braço, mostrou que este era de madeira diferente. Agora com a dendrocronologia, já foi possível saber qual a pintura original e qual a cópia posterior, por exemplo.

**Entrevista realizada pelo autor à Doutora Raquel Carreras, via correio eletrónico em 14-07-2015.**

1. Quando o fim é a identificação da madeira constituinte de uma obra de arte, tem alguma metodologia específica para o caso ou fatores que devem ser levados em conta?

Sim, acima de tudo a forma como o objeto foi feito e, determinando-a poderás obter as amostras pertinentes (transversal, tangencial e radial) para poderes proceder à identificação.

Por exemplo, na escultura da imagem poderás obter a partir do interior algumas amostras transversais, tangenciais e radiais se te conseguires orientar bem quanto à orientação dos elementos.



Figura 459 – Imagem concedida pela Doutora. Raquel Carreras.

2. Ainda dentro do âmbito das obras de arte, além do óbvio volume da amostra analisada, que outras condicionantes à identificação salienta?

Óbvio volume??? Eu procuro onde estão e retiro uma micro-amostra com um bisturi! Isso de sacar um pedaço (grande) é uma barbaridade, é o que pedem os laboratórios, mas não é possível em obras de arte de talha fina.

3. Quando se trata da quantidade de material a remover de uma obra, qual o volume mínimo que considera passível de se manipular e identificar?

Se há que retirar material, peço sempre 1 cm cúbico mas com menos também é possível, dependendo da qualidade da amostra, do tipo de madeira (se de anéis porosos, porosidade difusa ou conífera).

4. A inclusão de amostras de dimensões muito reduzidas ou em mau estado de conservação em resina, para com isto facilitar a sua manipulação e seccionamento (conhecimento que obtive após a pesquisa que levei a cabo e a formação fornecida pelo Professor Doutor José Pissarra - Departamento de Biologia - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto) é, aparentemente, uma metodologia recorrente quando se lida com a identificação de madeiras em obras de arte.

4.1 Pergunto portanto se este método é um recurso frequente no seu trabalho, em particular quando lidando com obras de arte e, se sim, que marcas e metodologias acha importante salientar?

Não uso quase nunca, só quando não me resta outra opção e o ideal é a congelação se a madeira estiver húmida, já para madeira seca qualquer um dos métodos que aparecem descritos na bibliografia, dependendo dos materiais...

5. Que sistema de chaves dicotómicas usa? Em papel ou eletrónicas e quais?

Agora, depois de velha, a que tenho na minha cabeça!!! Mas respondendo-te mais seriamente, dependendo da procedência que tenha a amostra. Repara, quando nos habituamos a isso, o que a mente nos fornece é mais rápido do que o que procuras no computador quando sabes de onde procede a amostra (região geográfica), mas quando esse dado falta, há que ir buscar tudo o que é possível e comparar com amostras de xilotecas e com amostras de cortes anatómicos, porque se conjugam características macro, micro, estéticas e se tem em conta inclusivamente a possível variação de coloração e alterações por ação do meio ou outros agentes... uma boa base de dados fotográfica dá-te mais do que uma chave sem ela. Há muitíssima bibliografia sobre o tema...

<http://delta-intkey.com/wood/es/>

6. Que casos conhece em que a identificação de madeira, tenha sido um fator de viragem no que se sabia da peça?

Muitos!!!! Muitíssimos. Por exemplo, a Cruz de Colombo em Cuba que se dizia que tinha sido trazida da Europa e é de madeira cubana. Um modelo de uma cúpula que se atribuía a um pintor cubano, sendo que a madeira do modelo nunca tinha entrado em cuba e era italiana. Móveis do museu de Viana do Castelo que se pensava ser de Ébano e eram de Pau-rosa do Brasil etc., etc., etc.

## BIBLIOGRAFIA

### Fontes eletrónicas

BARATA, Carolina – *Caracterização de Materiais e de Técnicas de Policromia da Escultura Portuguesa sobre Madeira de Produção Erudita e de Produção Popular da Época Barroca*. Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Dpt. Química e Bioquímica, 2008 (PDF). *In:*

[http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&ved=0CCcQFjAB&url=http%3A%2F%2Frepositorio.ul.pt%2Fbitstream%2F10451%2F1243%2F1%2F18975\\_ULFC086638\\_TM.pdf&ei=xdPTU7rhCuTY0QW-oIDoDw&usq=AFQjCNH31t9dw7\\_289nUg\\_9VAhi9gtYfLg&bvm=bv.71778758,d.bGQ](http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&ved=0CCcQFjAB&url=http%3A%2F%2Frepositorio.ul.pt%2Fbitstream%2F10451%2F1243%2F1%2F18975_ULFC086638_TM.pdf&ei=xdPTU7rhCuTY0QW-oIDoDw&usq=AFQjCNH31t9dw7_289nUg_9VAhi9gtYfLg&bvm=bv.71778758,d.bGQ)  
(2014.07.05; 11h.).

BOTELHO, Leonor; COSTA, Patrícia - *Catedral do Porto / Sé do Porto / Igreja Paroquial da Sé / Igreja de Nossa Senhora da Assunção, IPA.00001086, Portugal, Porto, Porto, União das freguesias de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória*. 2004. *In* [http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=1086](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=1086). (2014.06.28; 15h.).

BRANDL, Rainer – «*Art or Craft?: Art and the Artist in Medieval Nuremberg*». *In* Cat. «Gothic and Renaissance art in Nuremberg, 1300-1550» New York: The Metropolitan Museum of Art, 1986. *In:* [http://books.google.pt/books?id=OD8g4Eb-3EsC&printsec=frontcover&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](http://books.google.pt/books?id=OD8g4Eb-3EsC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false). (2014.11.09; 16h.).

CARVALHO, Maria João Vilhena de – *Normas de Inventário, Escultura, Artes Plásticas e Artes Decorativas*. [S.l.]: Instituto Português de Museus, 2004 (PDF). *In* [http://www.matriznet.dgpc.pt/matriznet/Download/Normas/AP\\_AD\\_Escultura.pdf](http://www.matriznet.dgpc.pt/matriznet/Download/Normas/AP_AD_Escultura.pdf)  
(2012.03.07; 18h.).

CHAPUIS, Julien - *Late Medieval German Sculpture*. *In* *Heilbrunn Timeline of Art History*. New York: The Metropolitan Museum of Art, 2000. *In:* [http://www.metmuseum.org/toah/hd/grmn\\_1/hd\\_grmn\\_1.htm](http://www.metmuseum.org/toah/hd/grmn_1/hd_grmn_1.htm) (2014.11.06; 22h.).

CRUZ, António João - *Sobre o uso e o desuso de alguns termos relacionados com os materiais constituintes das obras de arte. Conservar Património*, 3-4, 2006, pp. 73-78. In: <http://ciarte.no.sapo.pt/textos/html/200603.html>. (2015.06.06; 10h.)

CRUZ, Helena; NUNES, Lina - *A MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO*. Núcleo de Estruturas de Madeira. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. [2008?] (PDF). In: <http://www.oasrn.org/3R/conteudos/areareservada/areareservada8/Madeira%20material%20de%20construcao-%20HC.pdf>. (2014.06.28; 11h.)

DERBYSHIRE, Alan - Wolbers' Course – A Review. *V&A Conservation Journal*. 35 (Summer 2000). In: [http://www.vam.ac.uk/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/177459/27954\\_file.pdf](http://www.vam.ac.uk/__data/assets/pdf_file/0006/177459/27954_file.pdf) (2014.07.31; 21h.).

DORGE, Valerie, HOWLETT, F. Carey - *Painted Wood: History and Conservation*. Los Angeles, California: Getty Conservation Institute, 1998. In: [http://hdl.handle.net/10020/gci\\_pubs/paintedwood](http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/paintedwood). (2014.06.28; 19h.).

FENLON, John Francis - *St. Bartholomew. The Catholic Encyclopedia*. Vol. 2. New York: Robert Appleton Company, 1907. In: <http://www.newadvent.org/cathen/02313c.htm>. (2015.07.15, 9h.).

FERREIRA-ALVES, Natália Marinho - *O douramento e a policromia no Norte de Portugal à luz da documentação dos séculos XVII e XVIII*. Revista da Faculdade de Letras. Ciências e Técnicas do Património. - Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Departamento de Ciências e Técnicas do Património. I Série, vol. III, pp. 85-93. In: <http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/4084.pdf>. (2014.06.08; 15h.).

FONCK, Leopold. – *St. John the Evangelist. The Catholic Encyclopedia*. Vol. 8. New York: Robert Appleton Company, 1910. In: <http://www.newadvent.org/cathen/15321c.htm>. (2015.07.15, 10h.).

LÓPEZ DE LETONA, Ana Carrassón - *Las encarnaciones y algunas reflexiones sobre sus tratamientos. Pátina*. Mayo 2006. Época II. Nº 13-14, pp. 87-93. In: <http://www.esrcb.es/patina/13-14/087a094> (2014.06.29; 15h.).

PIMENTEL, U.M.B. - *DUTCH AND FLEMISH ART AT THE UTAH MUSEUM OF FINE ARTS. A Guide to the Collection*. Salt Lake City: Utah Museum of Fine Arts, University of Utah, 1993. In: [http://centralpt.com/upload/417/4610\\_Dutch\\_Flemish\\_Art\\_UMFA.pdf](http://centralpt.com/upload/417/4610_Dutch_Flemish_Art_UMFA.pdf) (2014.11.07 23h.).

SCHELLMANN, Nanke – *Animal Glues: A review of their key properties relevant to conservation*. Reviews in Conservation, n°7, 2007, p.56. In: [https://www.academia.edu/4220133/Animal\\_glues\\_a\\_review\\_of\\_their\\_key\\_properties\\_relevant\\_to\\_conservation](https://www.academia.edu/4220133/Animal_glues_a_review_of_their_key_properties_relevant_to_conservation) (2014.07.26; 11h.).

<http://digitarq.dgarq.gov.pt/details?id=4229516> (2014.06.08; 12h.).

[http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha\\_completa1.asp?consulta=TOLUENO](http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=TOLUENO) (2015.07.28; 16h.).

<http://www.fcsh.unl.pt/cham/eve/content.php?printconceito=1149> (2014.06.11; 18h.).

[http://www.mba.tours.fr/index.php?idtf=5189&TPL\\_CODE=TPL\\_COLLECTIONPIECE&PIECENUM=145](http://www.mba.tours.fr/index.php?idtf=5189&TPL_CODE=TPL_COLLECTIONPIECE&PIECENUM=145) (2014.06.4; 22h.).

<http://www.notredamealarose.com/le-musee/oeuvres/statuaire/> (2014.06.07; 14h.).

<http://www.latribunedelart.com/les-sculpteurs-malinois-en-europe-1780-1850> (2014.06.07; 15h.).

<http://www.louvre.fr/etude-et-restauration-de-l%E2%80%99enfant-jesus-de-malines> (2014.06.02; 19h.).

[http://www.mba.tours.fr/index.php?idtf=5189&TPL\\_CODE=TPL\\_COLLECTIONPIECE&PIECENUM=145](http://www.mba.tours.fr/index.php?idtf=5189&TPL_CODE=TPL_COLLECTIONPIECE&PIECENUM=145) (2014.06.05; 10h.).

[http://www.musee-moyenage.fr/documents/ang\\_salle14.pdf](http://www.musee-moyenage.fr/documents/ang_salle14.pdf) (2014.06.08; 23h.).

[http://www.museuartesacrafunchal.org/arteflamenga/flamenga\\_escultura.html](http://www.museuartesacrafunchal.org/arteflamenga/flamenga_escultura.html) (2014.06.04; 11h.).

<http://www.museumofcostume.co.uk/> (2014.07.11; 18h.).

*[http://www.360portugal.com/Distritos.QTVR/Porto.VR/vilas.cidades/Porto/a6\\_seintern  
a.html](http://www.360portugal.com/Distritos.QTVR/Porto.VR/vilas.cidades/Porto/a6_seintern<br/>a.html)* (2014.06.07; 15h.).

*[http://www.phototravel360.com/porto\\_catedral/](http://www.phototravel360.com/porto_catedral/)* (2014.06.07; 15h.).

*<http://www.portopatrimoniomundial.com/se-catedral-do-porto.html>* (2014.06.28; 11h).

*<http://www.wga.hu/tours/sculptor/>* (2014.11.06; 17h.).

*<http://www.youtube.com/watch?v=9Wb-T1F033Q>* (2014.07.05; 16h.).

### Fontes bibliográficas

ALARCÃO, Catarina – *Prevenir para preservar o património museológico. A Conservação Preventiva*. REVISTA DO MUSEU MUNICIPAL DE FARO. Faro: CMF/DCP/MMF. Museal (2).

ASENSIO, R. C; TAPOL, Benoît de; ORDOÑEZ, Ana; DOMEDEL, Lourdes. - *LOW MOLECULAR WEIGHT VARNISHES*. Interview to E. René de la Rie, National Gallery of Art, Washington, DC. Ge-conservación. Madrid: Ge-conservación. N°2, 2011, pp. 33-42.

BARÓN, J. et al. – *La senda española de los artistas flamencos*. Madrid: Fundación Amigos del Museo del Prado, 2009.

BESSA, Fernanda M. S. – *Criação de uma xiloteca electrónica (e-xiloteca) tropical e sua utilização para identificação e caracterização de madeiras com fins científicos e económicos*. Doutoramento em Engenharia Florestal. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, 2009.

BOWES, B. G. – *A Color Atlas of Plant Structure*. Manson Publishing Ltd, 1996.

BRAY, Xavier – *El choque de lo real: la influencia del arte flamenco sobre la escultura policromada española*. In BARÓN, J. et al. (2009) – *La senda española de los artistas flamencos*. Madrid: Fundación Amigos del Museo del Prado – Círculo de Lectores, S.A., pp. 249-264.

BRUNEAU, P.; TORELLI, M.; ALTET, X. B. (2006) – *Sculpture – From Antiquity to the Middle Ages – From the Eighth Century BC to the Fifteenth Century Part. I*. Koln: TASCHEN.

BURGER, L. M., RICHTER, H. G. – *Anatomía da Madeira*. Livraria Nobel S. A., São Paulo, 1991.

CALVO, Ana – *Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos de la A a la Z*. Barcelona: Ediciones del Serbal, 1997.

CARAFFA, Monsignore Filippo (Dir.) - *Enciclopedia dei Santi. Bibliotheca Sanctorum*. Secondo volume. 3ª ed. Roma: Città Nuova, 1998.

CARAFFA, Monsignore Filippo (Dir.) - *Enciclopedia dei Santi. Bibliotheca Sanctorum*. Sesto volume. 2ª ed. Roma: Città Nuova, 1996.

CARLQUIST, S. – *Comparative Wood Anatomy. Systematic, Ecological, and Evolutionary Aspects of Dicotyledon Wood*. Springer-Verlag, Germany, 1988.

CARLQUIST, S. – *Stain Technology*, Vol. 57, No 5. Williams & Wilkins Co., 1982.

CASSANELLI, Roberto; VEGAS, Liana Castelfranchi; CRIPPA, Maria Antonietta; GUERRIERO, Elio - *Iconografia e arte cristiana*. Milano: Edizioni San Paolo s.r.l., 2004.

CHAFFEY, Nigel – *Wood formation in trees – Cell and Molecular Biology Techniques*. Taylor & Francis, N.Y., 2002.

CHAMBERLAIN, C. J. – *Methods in plant histology*. 1.<sup>a</sup> ed. University of Chicago Press Chicago, Illinois, U.S.A., 1932.

CREMONESI, P. - *L'uso dei solventi organici nella pulitura di opere policrome*. Padova: Il Prato, 2000.

CREMONESI, P. - *L'uso di tensioattivi e chelanti nella pulitura di opere policrome*. Roma: Padova Il Prato, 2001.

CUTTER, E. G. – *Plant Anatomy* 2.<sup>a</sup> ed. Edward Arnold, 1978.

CUTLER, D. F. – *Applied plant anatomy*. Longman Group Limited, 1978.

*Enciclopedia dei Santi. Bibliotheca Sanctorum*. 4<sup>a</sup> ed. Roma: Città Nuova, 1998.

ESAU, K. – *Anatomy of Seed Plants*. John Wiley & Sons, 1977.

ESTEBAN, G. L., PALACIOS, P. P., CASASÚS G. P., A., DURÁN L., I., FERNÁNDEZ, G., Labrador L., R., FERNÁNDEZ G. F., MALDONADO B., ATALAYA, C. A. – *Anatomía e identificación de maderas de coníferas a nível de espécie*. 1.<sup>a</sup> ed. Coedición Fundación Conde del Valle de Salazar-Ediciones Mundi-prensa. Madrid, 2002.

ESTEBAN, L. G., CASASÚS, A. G., ORAMAS, C. P., PALACIOS, P. P. – *La Madera y su Anatomía. Anomalías y defectos, estrutura microscópica de coníferas y frondosas, identificación de maderas, descripción de espécies y pared celular*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 2003.

ESTEVEZ, Lília. – *A Madeira – Estudo Técnico*. Sebenta para apoio aos alunos das áreas de conservação e restauro. Instituto Português de Conservação e Restauro. Lisboa, 2001.

FELLER, Robert L.; STOLOW, Nathan; JONES, Elizabeth H. - *On picture varnishes and their solvents*. National Gallery of Art, 1985.

FENG Z., WANG J., RÖBLER R., KERP H., WEI H. - *Complete tylosis formation in a latest Permian conifer stem*. Annals of Botany 30 Jan, 2013: 1-7.

FERRÃO, Bernardo - *Imagens de Malines. In Estudos Sobre Escultura e Escultores do Norte da Europa em Portugal*. Arte Flamenga - Museu de Arte Sacra do Funchal

FUSTER-LÓPEZ, Laura; CASTELL-AGUSTÍ, Maria; GUEROLA-BLAY, Vicente — *EL ESTUCO EN LA RESTAURACIÓN DE PINTURA SOBRE LIENZO: CRITÉRIOS, MATERIALES Y PROCESOS*. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2004.

FUSTER-LÓPEZ, Laura [et al.]. - *FILLING MATERIALS FOR EASEL PAINTINGS: When the ground reintegration becomes a structural concern. Preparation for Painting. The Artist's Choice and its Consequences*, London, Archetype, 2008, pp. 180-186.

GARCÍA, J. M. B. - *Imágenes y sedimentos: La limpieza en la conservación del patrimonio pictórico*. Col·lecció Formes Plàstiques. Valencia: Institució Alfons el Magnànim, 2005.

HAMANN, T., SMETS E., LENS F. - *A comparison of paraffin and resin-based techniques used in bark anatomy*. TAXON 60 (3), June 2011.

HATHER, J. G. – *The Identification of the Northern European Woods. A guide for archaeologists and conservators*. Archetype Publications Ltd, 2000.

HOADLEY, R. Bruce – *Identifying Wood. Accurate results with simple tools*. Newtown: The Tanton Press, Inc., 1990.

IAWA List of Microscopic Features for Hardwood Identification. IAWA Bulletin n.s. 10(3): 219-332. IAWA Committee. 1989.

JANSON, H. W. – *História da Arte*. 6ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1998.

LARSON, Philip – *The Vascular Cambium – Development and Structure*. Springer Series in Wood Science. Springer-Verlag, 1994.

LAVÉ, James; CARVALHO, Glória Maria de Mello (trad.) – *A Roupas e a Moda, uma história concisa*. São Paulo: Editora Schwarcz Ltda., 1996.

LEITCH, M. A., SAVIDGE R. A., DOWNES G. M., HUDSON I. L. - Induction of tyloses in *Eucalyptus globulus* 'crops'. IAWA Journal. Vol. 20 (2), 1999: 193-201.

LEFFTZ, Michel (2002) – *POLICROMIA – A escultura policromada religiosa dos séculos XVII e XVIII. Estudo comparativo das técnicas, alterações e conservação em Portugal, Espanha e Bélgica*. In Congresso Internacional Lisboa: actas, Lisboa, 2002. Lisboa Instituto Português de Conservação e Restauro, pp. 59-62.

LEONARDI, C.; RICCARDI, A.; ZARRI, G. – *Diccionario de los SANTOS*. Madrid: San Pablo, 2000.

LÓPEZ, M. J. G. et al. (2002) – *POLICROMIA – A escultura policromada religiosa dos séculos XVII e XVIII. Estudo comparativo das técnicas, alterações e conservação em Portugal, Espanha e Bélgica*. In Congresso Internacional Lisboa: actas, Lisboa, 2002. Lisboa Instituto Português de Conservação e Restauro, pp. 261-284.

MARETTE, J. – *Connaissance des primitifs par l'étude du bois du XIIIe au XVIe siècle*. 6<sup>a</sup> ed. Éditions A. & J. Picard & CIE. Paris, 1961.

MARRUCCHI, Giulia; BELCARI, Riccardo – *A Grande História da Arte*. 3. *Renascimento e Maneirismo*. Lisboa: Mediasat Group, S.A., 2006.

MARRUCCHI, Giulia; BELCARI, Riccardo – *A Grande História da Arte*. 7. *Arte Barroca*. Lisboa: Mediasat Group, S.A., 2006.

MATTEINI, Mauro; MOLES, Arcangelo; MARTÍNEZ DE MARAÑÓN, Marina (trad.) – *Ciencia y restauración. Método de investigación*. Nerea, 2001.

MAUSETH, J. D. – *Plant Anatomy*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc, California, 1988.

MICHELIN, Simone (coord.); ANDRADE, Isabel *MATERIAIS EMPREGADOS EM CONSERVAÇÃO RESTAURAÇÃO DE BENS CULTURAIS*. Rio de Janeiro: ABRACOR – Associação Brasileira de Conservadores – Restauradores de Bens Culturais, 1990

MONCRIEFF, Anne; WEAVER, Graham - *Science for Conservators Vol 2 – Cleaning*. Londres: Museums & Galleries Commission, 1992.

MOREIRA, Ilídio – *Anatomia das Plantas – Estruturas*. ISAPress, 2010.

NICOLAUS, Knut – *Manual de Restauración de Cuadros*. Barcelona: KÖNEMAN, 1999.

NUNES, Filipe – *Arte da pintura. Symmetria, e perspectiva*. Porto: Editorial Paisagem, 1982.

PEREIRA, Paulo, dir. – *História da Arte Portuguesa. O «Modo» Gótico (Séculos XIII-XV)*. Barcelona: Círculo de Leitores e Autores, 1995, vol. I.

PERUSINI, G., *Il restauro dei dipinti e delle sculture lignee – storia, teorie e tecniche*, Udine: Del Bianco Editore, 1994.

PINTO, Ana Lúcia; MEIRELES, Fernanda; CAMBOTAS, Manuela Cernadas – *A Grande História da Arte*. 19. *Arte em Portugal*. Lisboa: Mediasat Group, S.A., 2006.

RÉAU, Louis – *Iconografía del arte cristiano. Iconografía de los santos: De la A a la F*. 2<sup>a</sup> ed. Barcelona: Ediciones del Serbal, SA. 2000.

RÉAU, Louis – *Iconografía del arte cristiano. Iconografía de los santos: De la G a la O*. Tomo 2/vol. 4 2ª ed. Barcelona: Ediciones del Serbal, SA. 2001.

RIVERY, Raquel Carreras – *Cómo conocer la estructura de la madera. Manual teórico-práctico*. Martín Impresores, S.L., 1997.

RIVERY, Raquel Carreras – *Técnicas aplicadas al estudio de la Madera de objetos culturales y su relación con las pruebas de autenticidad. Manual de Estudio*. 2006. [S.I]; [s.n].

SCHWEINGRUBER, F. H. – *Anatomy of European woods*. Springer-Verlag Kessel, 1990.

SCHWEINGRUBER, F. H. – *Wood Structure and Environment*. Springer-Verlag Berlin, 2007.

SIMÕES, A.Veiga – *Portugal, a Flandres e os primórdios do capitalismo moderno: Conferência proferida em 29 de Fevereiro de 1932 no Instituto de Altos Estudos de Bruxelas. Publicada em separata da Revue Economique International, Bruxelas, Goemaere, 1933.*

SMITH, Robert C. – *Frei Cipriano da Cruz. Escultor de Tibães*. Barcelos: Editora do Minho. 1968.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MØLLER, Ian M.; MURPHY, Angus - *Plant Physiology and Development*. 6 Ed. Sinauer Associates USA, 2014.

TAVARES, Jorge Campos – *Dicionário de Santos*. Porto: Lello Editores, 2004.

TEIXEIRA, Madalena Braz - *Roteiro do Museu Nacional do Traje*. Lisboa: Museu Nacional do Traje, 1995, vol.3. 2005.

WILCOX, W. W. – *Preparation of Decayed Wood for Microscopical Examination*. U. S. Forest Service Research Note FPL – 056, August 1964.

WOLBERS, R. - *Cleaning painted surfaces: aqueous methods*. London: Archetype, 2000.

YEUNG, E. – *A beginner's guide to the study of plant structure*. In Tested studies for laboratory teaching, Volume 19 (S. J. Karcher, Editor). Proceedings of the 19<sup>th</sup> Workshop/Conference of the Association for Biology Laboratory Education (ABLE), 1998.