



**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA VIDA**

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

# **Tomografia das árvores do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra: avaliação do estado de conservação**



**FILIPA D'ALMEIDA COSTA BARRETO DO SACRAMENTO**

**2013**



**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA VIDA**

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

# **Tomografia das árvores do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra: avaliação do estado de conservação**

Dissertação apresentada à Universidade de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal - Especialidade em Biotecnologia, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora, Cristina Nabais (Universidade de Coimbra)

**FILIPA D'ALMEIDA COSTA BARRETO DO SACRAMENTO**

**2013**

## ***AGRADECIMENTOS***

---

No final da realização deste trabalho, aproveito a oportunidade de agradecer as várias pessoas que por diversos motivos tornaram possível a sua concretização:

À Professora Doutora Cristina Nabais, pela orientação, pelo apoio científico, pela disponibilidade, isto é, acompanhamento em todas as amostragens que foram efetuadas, amizade, compreensão, pela revisão e sugestão, sobretudo pela confiança que demonstrou em mim na realização desse trabalho.

Aos Professores Doutores Jorge Canhoto e António Portugal pelos esclarecimentos.

Ao Senhor Arménio, pela ajuda na identificação e abordagem, que me permitiram obter informações sobre as espécies amostradas.

Aos funcionários do Instituto Botânico, pela boa disposição que sempre demonstraram ao cruzarem comigo.

Ao público que frequenta o Jardim Botânico, que muitas vezes por curiosidade, perderam algum tempo em perceber como funciona o Arbotom e motivo do rastreio.

Ao meu marido, às minhas filhas pelo apoio e em memória dos meus pais e avós, particularmente à minha avó materna por tudo que fez por mim.

# ÍNDICE

---

AGRADECIMENTOS.....	3
ÍNDICE.....	4
Resumo.....	6
Abstract .....	8
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
1.1.Descrição da madeira do ponto de vista anatómico.....	10
1.2.Parâmetros físicos e químicos da madeira e relação com a durabilidade das madeiras .	13
1.3.Principais causas do apodrecimento da madeira em árvores vivas .....	14
1.4.Avaliação do estado de conservação das árvores.....	15
1.5.Objetivo do trabalho .....	15
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	15
2.1. Caracterização do local de estudo .....	16
2.2. Avaliação do estado de conservação do tronco das árvores através de tomografia (ARBOTOM) .....	17
2.3. Avaliação do estado de conservação de árvores do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra utilizando o ARBOTOM .....	27
<b>3. RESULTADOS</b> .....	29
3.1. Caraterização geral da amostragem .....	29
3.2. Gimnospérmicas.....	29
3.2.2.1 Género Araucaria (Araucariaceae).....	30
3.2.2.2. Género Cedrus (Pinaceae) .....	35
3.2.2.3 Género Cryptomeria (Taxodiaceae).....	39
3.2.2.4 Género Nageia (Podocarpaceae) .....	41
3.2.2.5. Género Sequoia (Taxodiaceae) .....	42
3.2.2.6. Género Sequoiadendron (Taxodiaceae) .....	44
3.2. Angiospérmicas .....	47
3.3.2.1 Género Eucalyptus (Myrtaceae) .....	48
3.3.2.2 Género Liriodendron (Magnoliaceae).....	51

3.3.2.3 Género Platanus (Platanaceae).....	53
3.3.2.4 Género Populus (Salicaceae) .....	56
3.3.2.5 Género Robinia (Leguminosae).....	58
3.3.2.6. Género Tilia (Tiliaceae) .....	60
3.3.2.7. Género Washingtonia (Palmae).....	62
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>64</b>
<b>5. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>67</b>

## Resumo

---

A avaliação de risco de queda de uma árvore é extremamente importante, nomeadamente em meios urbanos. A avaliação do risco passa pela identificação de características da árvore que contribuam para a sua fragilidade mecânica. Essa avaliação passa por uma observação visual de sintomas de declínio (copa esparsa, descoloração das folhas), aparência do tronco (inclinação, sinais de apodrecimento). No entanto, muitas vezes a avaliação visual não é suficiente e é necessário saber quais as condições internas da árvore. Para tal desenvolveram-se técnicas de propagação de ondas de stress que permitem avaliar a condição interna das árvores. O conceito baseia-se na observação de que a propagação de ondas de stress é sensível à presença de madeira degradada. A velocidade da onda de stress está diretamente relacionada com as propriedades físicas e mecânicas da madeira. De uma forma geral, as ondas de stress são mais lentas em madeira deteriorada do que em madeira sólida.

O objetivo deste trabalho é utilizar o equipamento ARBOTOM para uma primeira avaliação do estado de conservação de alguns exemplares arbóreos do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra. Efetuou-se a tomografia a 25 espécimes arbóreas do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra, correspondendo a 21 espécies, 12 espécies pertencentes ao grupo das Gimnospérmicas e 9 espécies ao grupo das Angiospérmicas. Dos 14 exemplares de Gimnospérmicas estudados, 3 apresentaram uma perda de resistência à flexão residual, e nos outros 11 exemplares a perda de resistência não ultrapassou os 24% (entre 10 e 24%), abaixo do limite em que se considera haver fragilidade estrutural (>50%). Dos 11 exemplares de Angiospérmicas estudados, 3 exemplares apresentaram um valor residual de perda de resistência à flexão (<8%), 6 exemplares com perda de resistência entre 10 e 22% e 2 exemplares com perda de 56% (*Platanus hybrida*) e 50% (*Robinia pseudoacacia*), apresentando por isso alguma fragilidade estrutural.

Tendo em conta os exemplares que apresentaram redução de resistência à flexão (20), 6 apresentaram uma maior fragilidade a ventos com direção norte-sul, entre as quais o *Platanus hybrida* com perda de 56% de resistência à flexão, 3 a ventos com a direção sul-norte, 3 a ventos com a direção este-oeste, 3 a ventos com a direção oeste-este, 3 a ventos com a direção nordeste-sudoeste, entre as quais a *Robinia pseudoacacia* com perda

de 50% de resistência à flexão, e 2 a ventos com a direção sudeste-noroeste. Tendo em conta os ventos dominantes em Coimbra (NW e SE) a *Robinia pseudoacacia* poderá ser o exemplar que poderá representar maior fragilidade, especialmente durante os ventos de Primavera e Verão, com orientação NW, apesar da orientação mais frágil da árvore ser de um quadrante ligeiramente diferente (NE).

O ARBOTOM pode auxiliar na avaliação de risco de queda de ma árvore, mas a decisão de eventual corte de uma árvore não deve ser apenas baseada nos resultados obtidos a partir da tomografia. Têm de se fazer observações e testes adicionais para poder avaliar o risco e estabelecer critérios para a conservação ou corte de uma árvore. De qualquer maneira, o ARBOTOM deu indicações que, das árvores do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra em que se efetuou a tomografia, existem duas que requerem uma avaliação mais completa, um *Platanus hybridus* e uma *Robinia pseudoacacia*, ambas presentes no Terraço Júlio Henriques.

## *Abstract*

---

Tree risk assessment of urban trees is extremely important. The tree risk assessment takes into account certain characteristics of the trees that might contribute to their mechanical fragility. That evaluation must include a visual observation of decline symptoms (sparse crown, discoloration of leaves), aspect of the main stem (inclination, signs of decay). However, often the simple visual inspection is not enough and it is necessary to know the internal conditions of the tree. For that, techniques of stress wave transmission were developed that allow evaluate the internal conditions of trees. The concept of the technique is based on the observation that stress wave transmission is sensitive to the level of wood degradation. The speed of the stress wave is directly related to the physical and mechanical properties of wood. In general, the stress waves are slower on decayed wood, compared with sound wood. De uma forma geral, as ondas de stress são mais lentas em madeira deteriorada do que em madeira sólida.

The aim of this work is to use the equipment ARBOTOM for a first evaluation of the conservation status of some trees from the Botanical Garden of the University of Coimbra. A tomography was performed in 25 trees from the Botanical Garden of the University of Coimbra, corresponding to 21 species, 12 Gymnosperms and 9 Angiosperms. From the 14 specimens of Gymnosperms studied, 3 showed a residual loss of the moment of resistance to bend, and the other 11 showed a loss of less than 24% (between 10 and 24%), below the limit considered to represent structural fragility (>50%). From the 11 specimens of Angiosperms studied, 3 showed a residual loss of moment of resistance to bend (<8%), 6 showed a loss between 10 and 22%, and 2 specimens with a loss of 56% (*Platanus hybrida*) and 50% (*Robinia pseudoacacia*), thus presenting some structural fragility.

Taking into account the specimens that showed reduction in the moment of resistance to bend (20), 6 presented more fragility to winds in the north-south direction, among them the *Platanus hybrida* with a loss of 56% of resistance to bend, 3 to winds in the south-north direction, 3 to winds in the east-west direction, 3 to winds in the west-east direction, 3 to winds in the northeast-southwest, among them *Robinia pseudoacacia*



with a loss of 50% of resistance to bend, and 2 to winds in the direction southeast-northwest. Taking into account the dominant winds in Coimbra (NW and SE), *Robinia pseudoacacia* could be more susceptible to wind bend, especially during Spring and summer with dominant winds from NW, although the most fragile orientation of the tree is in a slight different quadrant (NE).

ARBOTOM can aid evaluating tree risk assessment, although the decision to fell a tree should not be based only on the tomography results. Other observations and additional tests must be performed to evaluate the risk and establish criteria to preserve or fell a tree. Further evaluation, *Platanus hybridus* and *Robinia pseudoacacia*, both present in the Júlio Henrique Terrace.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Descrição da madeira do ponto de vista anatômico

As plantas estão divididas em dois grandes grupos, as plantas sem sementes, onde se incluem os musgos, líquenes e fetos, e as plantas com sementes, onde se incluem as chamadas plantas superiores vasculares porque apresentam um sistema de transporte de água mais complexo. No grupo das plantas com sementes, distinguem-se as plantas que carecem de flores verdadeiras e têm as sementes sem proteção, designadas por Gimnospérmicas, e as plantas com flores verdadeiras e as sementes encerradas no interior do ovário, conhecidas por Angiospérmicas (Judd et al. 2002).

As Gimnospérmicas são plantas lenhosas caracterizadas genericamente por terem folhas em forma de agulha (por exemplo, os pinheiros) ou escamas (por exemplo, os cedros) e normalmente são perenes, ou seja, não perdem as folhas durante o Inverno. Dentro das Gimnospérmicas existem várias classes entre as quais as *Coniferopsida* ou *Pinaceae*, designadas por Coníferas ou, vulgarmente, por resinosas. É a classe mais importante das Gimnospérmicas e inclui, por exemplo, as árvores mais altas da Terra, as sequoias, que podem atingir 100 metros de altura, e as árvores mais velhas, a espécie *Pinus longaeva*, que pode atingir 4000 anos de idade. A madeira das Coníferas é macia e fácil de trabalhar, sendo utilizada em várias aplicações, desde o mobiliário à pasta de papel.

As Angiospérmicas são mais recentes do ponto de vista evolutivo e constituem um grupo mais numeroso, com cerca de 350.000 espécies descritas. As Angiospérmicas estão divididas em dois grandes grupos, as Monocotiledóneas e as Dicotiledóneas que, entre outras distinções morfológicas, a mais simples é o número de cotilédones, as primeiras estruturas que emergem da semente com capacidade fotossintética. As Dicotiledóneas incluem várias espécies de árvores (por exemplo carvalhos, faias, nogueiras, tílias, etc.) designadas genericamente por folhosas. A madeira das folhosas é mais densa e dura do que a das Coníferas, sendo aplicada em construção e mobiliário.

Em corte transversal, o tronco de uma árvore apresenta, do exterior para o interior, a casca, o floema, o câmbio vascular secundário e o xilema, vulgarmente conhecido por madeira. A casca resulta da morte dos tecidos do floema e tem um papel de isolamento

térmico e de proteção do tronco contra os herbívoros. O floema é um tecido vivo e é responsável pela circulação dos compostos nutritivos (por exemplo, os açúcares produzidos nas folhas) para os vários tecidos vivos da planta. O câmbio vascular secundário é uma camada de células entre o floema e o xilema, responsável pelo engrossamento do tronco das árvores. É um tecido meristemático, ou seja, não perde a capacidade de se dividir, e todos os anos adiciona células ao floema e ao xilema (Esau, 1965). O volume de floema presente nas árvores nunca atinge o volume de xilema porque, quando as células de floema morrem ‘transformam-se’ em casca e esta vai sendo perdida pela árvore. Basta ver como é fácil retirar pedaços da casca de um pinheiro. As células do câmbio vascular que vão formar o xilema, passam por um processo metabólico designado por morte celular programada. O xilema é então constituído, maioritariamente, por células mortas que, para além de ter um papel estrutural importante, também é responsável pelo transporte de água das raízes até ao topo das árvores, ‘puxada’ pela transpiração que ocorre nas folhas – teoria da coesão-tensão (Dickison 2000).

Uma das marcas visuais da madeira (ou xilema) é a presença dos anéis de crescimento, resultantes da atividade sazonal do câmbio vascular (Carvalho, 1996). Durante o Inverno o câmbio vascular está em hibernação e, no início da Primavera, quando as condições de temperatura e precipitação são ideais para o metabolismo celular, o câmbio vascular começa a dividir-se, acrescentando células ao floema e ao xilema. As células do xilema produzidas durante a Primavera apresentam um diâmetro maior para permitir a passagem de mais água das raízes para a parte aérea. Quando o Verão se começa a aproximar, as reservas de água são menores e começam a surgir células de xilema de diâmetro mais pequeno. Ainda há atividade metabólica, mas a árvore começa a ter um ‘comportamento’ mais defensivo em relação ao transporte de água. Numa situação de menor disponibilidade de água, as células do xilema com um diâmetro menor reduzem o risco de entrada de ar no xilema, evitando desta forma a interrupção do transporte de água (Dickison 2000). O conjunto de células de maior diâmetro (visualmente mais claras) e de menor diâmetro (visualmente mais escuras) representa um ano de crescimento. Nos climas temperados, com um Inverno bem demarcado, as árvores formam um anel por ano, o que permite fazer uma estimativa da idade de uma árvore contando os anéis de crescimento.

Macroscopicamente, podemos separar as Resinosas das Folhosas: a madeira das Resinosas apresenta um aspeto homogéneo, enquanto a das Folhosas tem um aspeto heterogéneo (Figura 1). O aspeto homogéneo e heterogéneo está relacionado com a constituição anatómica diferente (Hoadley, 2000). Quando a madeira é cortada há pouco tempo,

determinadas propriedades como a cor, o brilho, o odor e o peso também podem ajudar na sua identificação.

Microscopicamente, as células da madeira estão organizadas em dois eixos principais: axial ou vertical, e radial ou horizontal (Schweingruber, 1990). A madeira das Resinosas é mais simples do ponto de vista estrutural, sendo o sistema axial constituído, quase exclusivamente, por células designadas por traqueídos e daí o seu aspeto homogéneo (Schweingruber, 1990). Os traqueídos têm uma dupla função: transporte de água e estrutural. Nas Folhosas, o sistema axial apresenta vários tipos de células dando um aspecto heterogéneo à madeira: traqueídos (uma herança das Resinosas), vasos, fibras e parênquima axial (Schweingruber, 1990). Os vasos apresentam um diâmetro superior aos traqueídos e são células apenas dedicadas ao transporte de água, enquanto as fibras têm apenas um papel estrutural. O sistema radial das Resinosas e das Folhosas é composto, predominantemente, por células vivas designadas por células de parênquima, que funcionam como células de reserva de nutrientes e água.

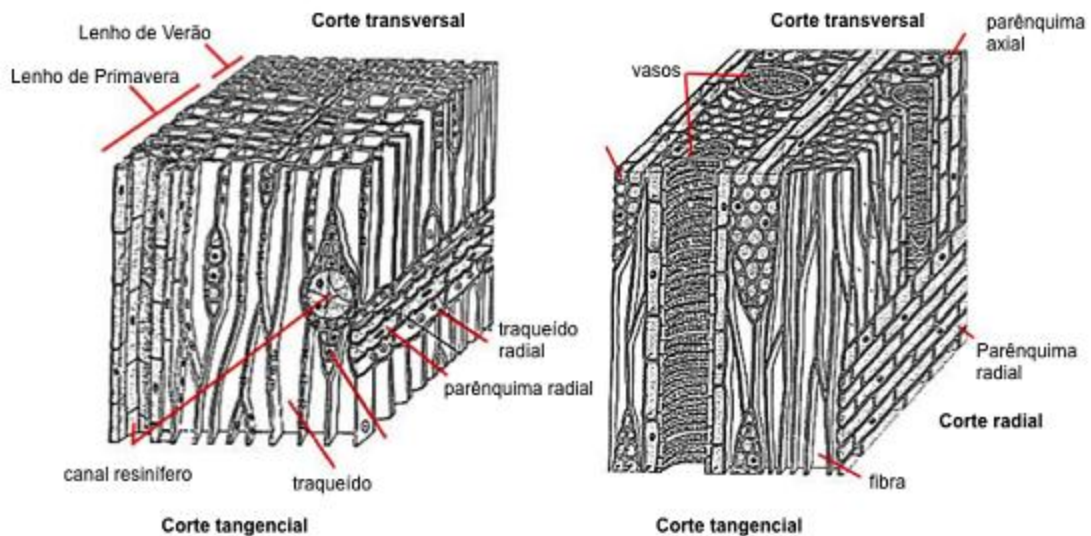


Figura 1.1 Corte transversal, tangencial e radial do xilema de Gimnospermas (esquerda) e Angiospermas (direita).

## ***1.2. Parâmetros físicos e químicos da madeira e relação com a durabilidade das madeiras***

A madeira é um polímero natural de celulose, hemicelulose e lenhina organizados numa matriz que fornece suporte à árvore e alguma resistência contra ataques de agentes patogénicos (Shortle & Dudzik, 2012). A celulose, devido à sua estrutura parcialmente cristalina, é de alguma forma resistente ao ataque microbiano. A lenhina é um polímero heterogéneo de unidades de fenil-propano e é extremamente resistente a alguns fungos patogénicos. No entanto, existem organismos que desenvolveram a capacidade de atacar um, ou vários polímeros das paredes celulares da madeira (Winandy & Morrell, 1993).

Algumas espécies de árvores produzem compostos que protegem a madeira, constituindo uma das principais barreiras à degradação (Pearce, 2000). Estes compostos são produzidos à medida que as células dos raios medulares no interior do alburno (parte funcional e viva do xilema) vão morrendo, formando o cerne (parte não funcional do xilema). As espécies que apresentam um cerne de longa duração, ocorrem uma série de reações nas células do parênquima, em que ocorre a conversão de açúcares e amido em compostos com características de fungicida, que se tornam constituintes do cerne. O cerne de algumas espécies pode apresentar uma cor mais escura do que o alburno, enquanto que em outras espécies não há distinção da cor entre o cerne e o alburno.

A densidade é a quantidade de substância lenhosa por unidade de volume. É muito variável devido a humidade ou teor de água e pela quantidade de infiltrações no lenho do cerne. A relativa rizeza ou brandura da madeira é um indicador corrente das suas propriedades físicas, visto que depende, todavia, da espessura das paredes celulares ou do tamanho do lúmen, variando, conseqüentemente, com a densidade (Carvalho, 1996). A densidade da madeira e outras propriedades físicas não afetam a resistência à degradação. Por exemplo, uma maior resistência à degradação está normalmente associada a um maior peso em muitas espécies tropicais, mas isto constitui uma consequência de um conteúdo maior de compostos secundários (incluindo antifúngicos), do que propriamente relacionado com uma maior densidade da madeira (Scheffer & Cowling, 1966).

O brilho é a propriedade que os corpos têm de refletir luz incidente, isto é, a propriedade de exibirem o lustro. O brilho da madeira depende da sua capacidade de refletora. Conseqüentemente as madeiras classificam-se em lustrosas e baças. Contudo, embora frequentemente associado, o brilho é distinto da cor. A perda de brilho está muitas

vezes relacionadas com patologia aparente da madeira, em regra a podridão incipiente (Carvalho, 1996). A principal causa do brilho é a natureza das infiltrações do lenho, consequentemente, o cerne é mais lustroso do que borne.

O risco de degradação da madeira, pode variar com a disponibilidade de humidade, as condições do solo e o clima. Por exemplo, uma madeira que pode ser de longa duração em Portugal, pode degradar-se rapidamente em condições de ambiente tropical.

### ***1.3. Principais causas do apodrecimento da madeira em árvores vivas***

O ponto de partida para o apodrecimento da madeira de árvores vivas é a presença de uma ferida (Shortle & Dudzik, 2012). As feridas podem ser provocadas por temporais, insetos, aves, animais de grande porte, etc. O tempo necessário para a árvore fechar a ferida depende do tamanho da ferida e da taxa de crescimento das árvores. O apodrecimento tem início no alburno vivo e espalha-se para o cerne. O apodrecimento termina no cerne, não porque os fungos que degradam a madeira preferem o cerne, mas porque a árvore cresce e adiciona madeira nova, e vai isolando a madeira infetada num processo ativo de proteção.

Na interação de patógenos com as árvores, podemos distinguir três tipos de relações: (1) patógenos obrigatórios que apenas interagem com células vivas das árvores; (2) patógenos facultativos que interagem com células vivas e mortas das árvores; (3) saprófitas obrigatórios que apenas atuam em tecidos mortos das árvores.

Um dos principais grupos de patógenos decompositores de madeira são os fungos (Blanchette et al., 1994). Os esporos ou pedaços de hifas dos fungos podem ser transportados pelo vento ou animais. Quando germinam, ou se desenvolvem, as hifas dos fungos espalham-se através da madeira. Estes fungos segregam enzimas que provocam uma descoloração da madeira e reduzem a sua resistência à degradação (Shortle et al., 2010). Com o desenvolvimento do fungo forma-se micélio e, com as condições apropriadas de temperatura e humidade, formam-se os corpos de frutificação do fungo. Na fronteira entre a área da madeira infetada e descolorada, ocorre normalmente uma margem escura. Esta área de reação retarda a infeção – processo designado por compartimentalização.

## ***1.4. Avaliação do estado de conservação das árvores***

A avaliação de risco de queda de uma árvore é extremamente importante, nomeadamente em meios urbanos. A avaliação do risco passa pela identificação de características da árvore que contribuam para a sua fragilidade mecânica. Essa avaliação passa por uma observação visual de sintomas de declínio (copa esparsa, descoloração das folhas), aparência do tronco (inclinação, sinais de apodrecimento). No entanto, muitas vezes a avaliação visual não é suficiente e é necessário saber quais as condições internas da árvore. Para tal desenvolveram-se técnicas de propagação de ondas de stress que permitem avaliar a condição interna das árvores (Nicolotti et al., 2003). Não existe apenas um equipamento que forneça a avaliação completa do estado de uma árvore. Para tal deve-se utilizar uma combinação de técnicas, desde a avaliação visual, tomografia (ARBOTOM), resistência a brocas (Resistograph), testes de quantificação da perda de estabilidade devido ao apodrecimento, etc.

## ***1.5. Objetivo do trabalho***

O objetivo deste trabalho é utilizar o equipamento ARBOTOM para uma primeira avaliação do estado de conservação de alguns exemplares arbóreos do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra. O ARBOTOM baseia-se na propagação de ondas de stress para detetar áreas degradadas do tronco (Rinn, 2011). O conceito baseia-se na observação de que a propagação de ondas de stress é sensível à presença de madeira degradada. A velocidade da onda de stress está diretamente relacionada com as propriedades físicas e mecânicas da madeira (Ross et al. 1997). De uma forma geral, as ondas de stress são mais lentas em madeira deteriorada do que em madeira sólida.

## ***2. MATERIAIS E MÉTODOS***

---

## 2.1. Caracterização do local de estudo

O Jardim Botânico da Universidade de Coimbra surge no âmbito da Reforma Pombalina de 1772 (Fonseca, 2005; Henriques, 1876). O Jardim surge assim como parte do novo método de aprendizagem com uma componente importante de observação e demonstração. Para tal, era fundamental ter exemplares vivos, em contraposição aos exemplares de plantas do Gabinete de História Natural em que se viam apenas os “cadáveres, seccos, macerados e embalsamados”. O local de construção, doado pelos frades Beneditinos em 1774, estava contíguo ao Colégio de S. Bento (Fonseca, 2005; Henriques, 1876). As obras de preparação para o jardim prolongaram-se por várias décadas, em parte causado pelo acentuado declive do terreno que teve de se “entulhar as partes para reduzir o terreno à igualdade possível”. Em 1790 ficou concluído o quadrado central e entre 1814 e 1821, após as invasões francesas, realizaram-se outras obras importantes, nomeadamente o gradeamento em ferro que veio de Estocolmo, os três terraços entre a rua central e a superior, e os canteiros para as plantas medicinais (escolas médicas), em 1818 a feitura do pórtico principal, em 1822 o pórtico do lado sul, em 1844 a porta de ferro da entrada principal feita por Manuel Bernardes Galinha (Fonseca, 2005; Henriques, 1876).

Domingos Vandelli e Avelar Brotero, os primeiros diretores do Jardim Botânico de Coimbra, moldaram inevitavelmente o formato e a função do jardim, dando relevo ao conhecimento das plantas “raras e preciosas” com utilidade prática, nomeadamente com aplicação farmacêutica e medicinal. Assim, o Jardim Botânico de Coimbra foi criado com o objetivo de complementar o estudo da História Natural e da Medicina.

O Jardim Botânico apresenta um património dendrológico muito rico, com exemplares arbóreos de várias partes do Mundo (Paiva, 2005). A maioria das árvores mais antigas e de grande porte foram plantadas entre a segunda metade do século XIX e início do século XX, sob a direção de Júlio Henriques (1873-1918). Atualmente uma das árvores mais altas do Jardim Botânico é a *Araucaria rulei* F. Muell. Ex Lindl., próxima do portão da rua Vandelli, com cerca de 50m, o *Eucalyptus obliqua* L'Hér, com cerca de 47m, junto às escadas que vão da avenida das tílias para o portão do Seminário (Paiva, 2005). Pelo porte, destaca-se a *Ficus macrophylla* Desf. Ex Pers., junto à estufa grande. No socalco das Gimnospermas há vários exemplares de araucárias de diferentes espécies (*Araucaria columnaris* (Forst. F.) Hook, *A. bidwillii* Hook., *A. angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *A. araucana* (Molina) K. Koch.), sequóias (*Sequoia sempervirens* (D. Don.) Endl., *Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) Bucholz), abetos (*Abies* spp. e *Picea* spp.) e o teixo (*Taxus*



*baccata* L.). Em outras partes do jardim ocorrem resinosas como os cedros (*Cedrus atlântica* (Endl.) Carrière, *C. deodara* (Roxb. Ex D. Don) G. Don, *C. libani* A. Rich), os ciprestes (*Cupressus sempervirens* L., *C. lusitânica* Mill. *C. arizonica* Greene), pinheiro-do-oregão (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), várias espécies de pinheiro (*Pinus* sp.), tuias (*Thuja* sp.) e os zimbros (*Juniperus* spp.).



Figura 2.1. Mapa do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra. A. Instituto Botânico; b. Estufa Grande; c. Estufa Vitória; d. Jardimetas; e. Recanto Tropical; f. Quadrado Central; g. Estufa Fria; h. Escolas Sistemáticas; i. Escola Médica; j. Terraço das Coníferas; k. Escola das Monocotiledóneas; l. Pomar; m. Bambuzal; n. Mata; 1. Portão dos Arcos; 2. Portão Principal; 3. Portão das Ursulinas; 4. Bilheteira; 5. Estátua de Júlio Henriques; 6. Estátua de Avelar Brotero; 7. Baixo-relevo de Luis Carrisso; 8. Portão de D. Maria I; 9. Fontanário; 10. Portão de acesso à Mata; 11. Capela de S. Ilídio; 12. Capela de S. Bento; 13. Miradouro; Fonte: <http://www.uc.pt/jardimbotanico/mapa>

## ***2.2. Avaliação do estado de conservação do tronco das árvores através de tomografia (ARBOTOM)***

### ***2.2.1. Princípios de funcionamento do ARBOTOM***

O ARBOTOM é um tomógrafo de impulso, tendo sido desenvolvido para a avaliação do estado do interior das árvores (Rinn, 2011). É baseado no princípio denominado de "*stress wave timing*" (medição linear de stress cronometrado). As velocidades dos impulsos ao percorrer a madeira, estão diretamente correlacionadas com a densidade do material, podendo assim ser usadas para a recolha de informação relativa à sua qualidade. A madeira densa transmite melhor as ondas de stress do que a madeira danificada por apodrecimento ou fraturas (Rinn, 2011).

Cada sensor do ARBOTOM está equipado com um vibrómetro e regulação eletrónica para a análise direta e em tempo-real dos impulsos recebidos. Uma simples pancada de martelo nos sensores gera ondas de stress que atravessam a madeira. O tempo que as ondas de stress levam a percorrer a distância entre os sensores é registado e convertido em velocidades. As velocidades dos impulsos são reunidas numa matriz, o que permite a sua representação num gráfico de linhas ou de superfície (Figura 2.2).

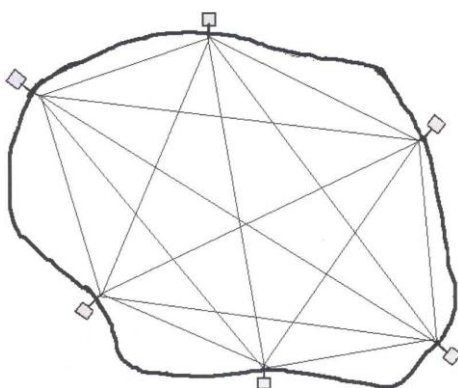


Figura 2.2. Representação esquemática das linhas de conexão entre os sensores do ARBOTOM.

### ***2.2.2. Componentes do equipamento ARBOTOM***

Os sensores do ARBOTOM constituem, literalmente, o "cérebro" de todo o sistema (Rinn, 2011). Para além do vibrómetro, contêm as unidades de processamento necessárias para digitalizar e interpretar os sinais. Na prática, os sensores estão ligados em linha. Portanto, cada um dos sensores possui dois encaixes para os cabos de ligação. Os sensores fixam-se à árvore com pinos de aço através de um dispositivo de suporte (Figura 2.3). Na parte frontal, encontra-se o perno de choque (Figura 2.3). Durante a medição, as ondas de impulso são induzidas na árvore através dos pernos de choque.

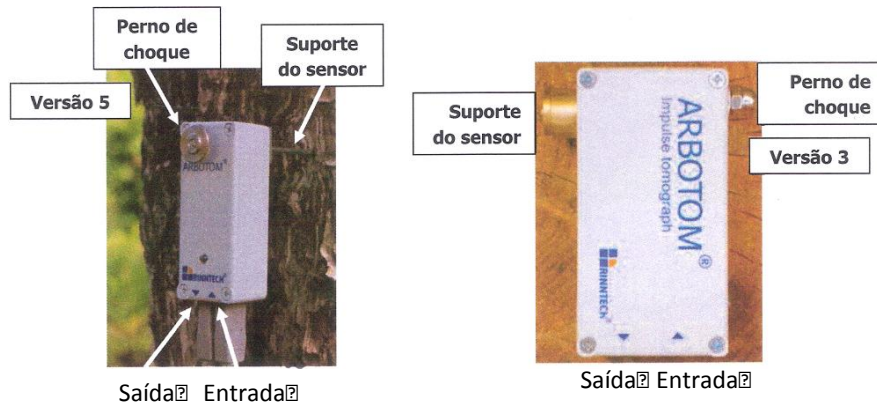


Figura 2.3. Sensores do ARBOTOM, com indicação do perno de choque e dos locais de entrada e saída para ligação de sensores contíguos.

O carregador fornece 13,7V DC. O tempo necessário para um carregamento completo é de 12-14 horas (Figura 2.4). Se a bateria estiver apenas parcialmente descarregada, o tempo de carregamento será correspondentemente menor.

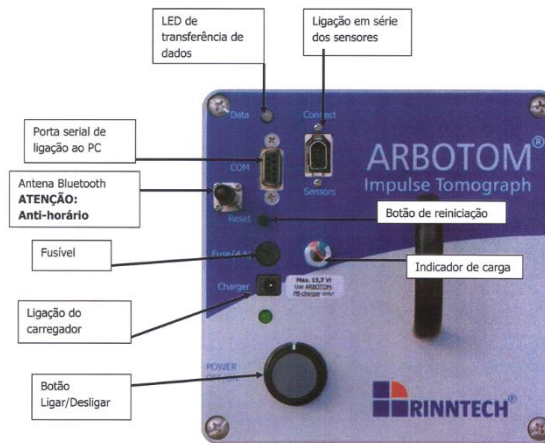


Figura 2.4. Bateria do ARBOTOM.

Para ligar o PC/computador portátil ao ARBOTOM utiliza-se um cabo de série USB, ou uma ligação Bluetooth. Na página inicial do software são definidos vários parâmetros sobre o espécime a estudar, nomeadamente a sua localização geográfica e a espécie. As árvores, dependendo da sua anatomia e propriedades físicas da madeira, podem influenciar a forma como o impulso se propaga no suporte físico da madeira. Nesta página também é definida a altura a que são colocados os sensores e em que posição na circunferência da árvore (Figura 2.5).

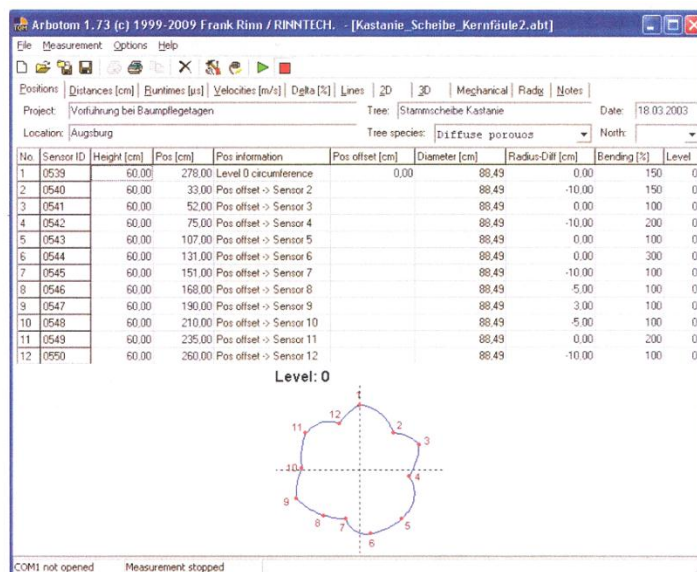


Figura 2.5. Menu inicial do software do ARBOTOM.

### 2.2.3. Preparação do ARBOTOM para efetuar a tomografia

O primeiro passo é medir a circunferência do tronco, com uma fita métrica. Depois de decidir quantos sensores são necessários (depende da dimensão da árvore), colocam-se os sensores à volta da árvore em distâncias mais ou menos equidistantes (Figura 2.6). Por uma questão prática, o sensor número 1 é colocado na orientação norte da árvore e os restantes no sentido dos ponteiros do relógio. Deve evitar-se colocar os sensores diretamente sobre madeira com sinais de apodrecimento, ou madeira exposta ao ar e que, conseqüentemente, se apresente desidratada (Rinn, 2011).

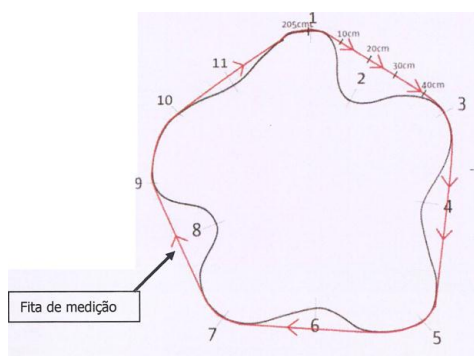


Figura 2.6. Exemplo do posicionamento dos sensores numa secção transversal assimétrica

Os sensores são fixos à árvore através de pregos de aço. Os pregos, para além de suportarem os sensores, têm de transmitir a onda de impulso à madeira, pelo que é fundamental que penetrem a casca da árvore e se fixem na madeira.

A informação da altura e posição relativa dos sensores deve ser introduzida na página inicial do software. No exemplo dado na figura 2.6, para uma árvore com uma circunferência de 205 cm, ao sensor número 1 é atribuído o valor de 205, ao sensor número 2 o valor de 20, etc.

Muitas vezes as árvores não apresentam um caule com um círculo perfeito, pelo que é necessário ajustar os desvios que possam ocorrer em relação a um círculo perfeito. No exemplo apresentado na figura 2.6 as posições dos sensores 2, 4, 6, 8 e 11 têm de ser corrigidas. Esta correção é efetuada no software na coluna “Radius-Difference”, em que desvios para o exterior terão valores positivos, e desvios para o interior valores negativos (Figura 2.7).

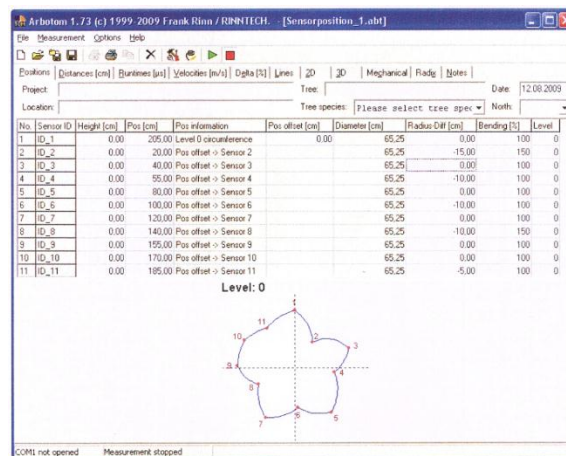


Figura 2.7. A aproximação à geometria da secção transversal da árvore é efetuada na coluna “Radius-Diff”.

No menu “Distances” estão discriminadas as distâncias entre os sensores, que são tidas em conta para o cálculo das velocidades de propagação das ondas de choque (Figura 2.8).

The screenshot shows the 'Distances [cm]' menu in the Arbotom 1.73 software. The table below represents the data displayed in the interface:

Sensor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		21	38	42	66	60	63	47	45	33	19
2	21		21	21	46	43	50	39	45	39	27
3	38	21		16	41	48	61	55	64	60	48
4	42	21	16		26	32	47	44	55	54	46
5	66	46	41	26		22	41	49	64	69	65
6	60	43	48	32	22		19	29	45	53	53
7	63	50	61	47	41	19		19	33	45	51
8	47	39	55	44	49	29	19		16	26	32
9	45	45	64	55	64	45	33	16		15	27
10	33	39	60	54	69	53	45	26	15		15
11	19	27	48	46	65	53	51	32	27	15	

Figura 2.8. No menu 'distances' está discriminado a distância entre os vários sensores instalados.

Os sensores são ligados entre si com cabos, sendo que o primeiro sensor tem um cabo de ligação específico para a conexão com a bateria, e o último sensor vai apresentar a porta de saída sem cabo de ligação. Quando se liga a bateria, se todos os sensores estão bem conectados devem aparecer com uma luz verde, com exceção do último sensor que aparece com uma luz amarela. A conexão entre a bateria e o computador portátil faz-se por um cabo USB. Para conectar o computador ao ARBOTOM tem de se ativar a porta COM (Figura 2.9).

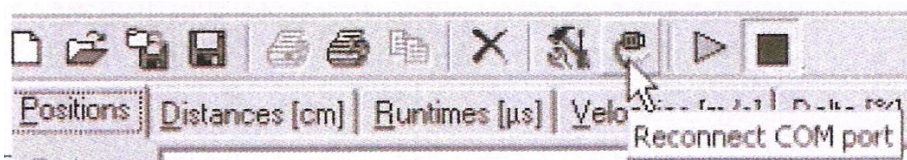


Figura 2.9. Botão "Reconnect COM port" para efetuar a ligação com o computador.

Para garantir que os sensores estão a ser reconhecidos pelo computador, golpeia-se qualquer dos sensores com um martelo, ouvindo-se um som de confirmação caso tudo esteja operacional. Para se iniciar a medição propriamente dita, tem de se ativar a tecla verde no software, ou utilizar as teclas "Ctrl+A" no teclado do computador (Figura 2.10).



Figura 2.10. Botão para dar início à medição.

Cada sensor recebe uma pancada, não devendo requerer qualquer uso de força e deve ser realizada com igual intensidade. Os sensores indicarão o sinal detectado com um piscar dos díodos vermelhos. Após cada medição, deve aguardar-se até ao sinal acústico surgir, e seguidamente pode-se avançar para a próxima medição. O sensor que está a enviar o sinal (aquele que é golpeado) exibirá uma luz branca ou rosa, os sensores que recebem o sinal exibirão uma luz azul e os sensores que não recebem qualquer sinal mostrarão uma luz vermelha (Rinn, 2011).

Se a árvore medida for muito grande em diâmetro, ou se o seu interior for oco, poderá dar-se o caso de nenhum sinal atingir os sensores do lado oposto da árvore. Isto pode ser regulado batendo ligeiramente com mais força nos sensores do que o habitual. Se mesmo assim não houver alterações ao resultado, isso pode não dever-se a uma avaria do aparelho, mas sim a um reflexo da condição atual da árvore. Para aumentar a precisão dos resultados, cada sensor deve ser golpeado 8 a 10 vezes. O menu “Delta%” indica se as medidas são fidedignas, em que os valores representam os desvios-padrão em percentagem (Figura 2.11). Para terminar a medição acionar o botão vermelho no software.

Sensor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			1	2	1	0	1	1	1	1	1	2
2		6		6	2	5	2	1	4	1	4	4
3		2	0		3	0	0	1	1	1	0	100
4		0	2	4		4	2	1	1	0	1	1
5		1	1	2	2		1	1	2	2	2	2
6		2	1	3	3	3		3	3	2	1	3
7		2	2	2	2	1	2		3	0	1	1
8		0	1	1	1	1	1	2		1	1	1
9		2	0	2	2	3	3	3	4		5	0
10		1	1	1	1	1	1	0	1	1		1
11		1	1	1	1	1	1	2	1	1		1
12		1	1	2	1	1	1	2	2	2	1	2

Percent dispersion of used measurement runtimes (coefficient of variation)

COM1 not opened      Measurement stopped

Figura 2.11 Menu ‘Delta (%)’ para controlar a variabilidade entre medidas diferentes.

Os resultados da medição podem ser analisados a vários níveis. No menu “Runtimes” são gravados os tempos de execução dos impulsos em  $\mu\text{s}$ . Se um impulso não chegar a um sensor, o tempo de execução tende para valores extraordinariamente elevados. Isto pode dever-se à ocorrência de grandes espaços vazios no interior do tronco. As medições que se encontram fora dos valores mínimos e máximos definidos no menu “Options” são realçados a vermelho escuro.

As velocidades dos impulsos são calculadas a partir dos tempos de execução (*runtimes*) e das distâncias entre os sensores. Constituem informação-chave para a avaliação da condição da madeira. Tem de se ter em conta que a velocidade do impulso está diretamente relacionada com a densidade e elasticidade da madeira. Densidades e elasticidades mais elevadas levam a velocidades de impulso maiores. É portanto variável consoante a espécie de árvore. Mesmo entre a mesma espécie, existe uma certa amplitude de valores.

Em termos gráficos o ARBOTOM permite a visualização dos resultados num gráfico de cores em 2D (Figura 2.12). É importante ter em conta que a paleta de cores representa apenas uma amplitude de valores, não sendo necessariamente um julgamento imediato da qualidade da madeira (Rinn, 2011). Por exemplo, diferentes espécies de árvores apresentam velocidade de impulso distintas em madeira sã. Este facto tem de ser tomado em conta quando se interpretam as tomografias.

O gráfico de superfície é calculado a partir do gráfico de linhas, usando um algoritmo matemático. Dependendo da densidade da rede de sensores, este procedimento permite a localização de defeitos da madeira. Como definição padrão, a gradação da paleta de cores está definida de acordo com a amplitude de velocidades - desde a mais baixa à mais elevada. Como foi dito anteriormente, tem de se levar em consideração que isto não representa necessariamente uma amplitude de qualidade da madeira, de apodrecida a sã. Por conseguinte, tem de se adaptar a amplitude manualmente em “Options” de acordo com os requisitos das diferentes espécies de árvores.

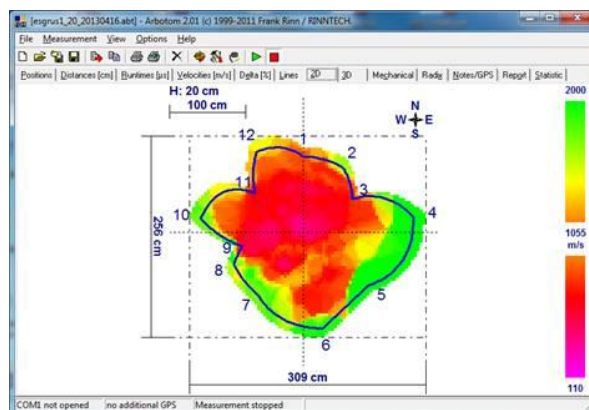




Figura 2.12. Tomografia 2D de uma secção transversal de uma árvore. As cores indicam valores de velocidade diferentes.

A outra componente gráfica importante é o gráfico mecânico que permite uma representação visual do momento relativo de resistência das árvores com qualquer geometria transversal (Rinn, 2011). As áreas degradadas e a força de tensão e compressão da madeira é tida em conta para este cálculo. O software representa o momento de resistência na forma gráfica para todas as direções do vento (Figura 2.13). O valor a 0° corresponde ao vento na direção oposta (180°). Se a curva dobra numa determinada posição, o momento de resistência atinge o seu mínimo nesse ponto. Graficamente é representado o momento geométrico ( $W_g$ ) que apenas tem em conta a forma geométrica, e não tem em consideração o decaimento interno ou outro tipo de danos; o momento pesado ( $W_w$ ), que tem em consideração o decaimento interno ou outro tipo de danos; e o momento relativo de resistência ( $W_w/W_g$ ), ou momento residual de resistência, uma medida da resistência à inclinação do tronco. Uma redução deste valor abaixo dos 50% significa que a árvore perdeu 50% da sua capacidade para resistir a cargas de vento (Rinn, 2011). Como exemplo, a partir da tomografia da árvore representada na figura 2.12, o gráfico mecânico resultante está representado na figura 2.13.

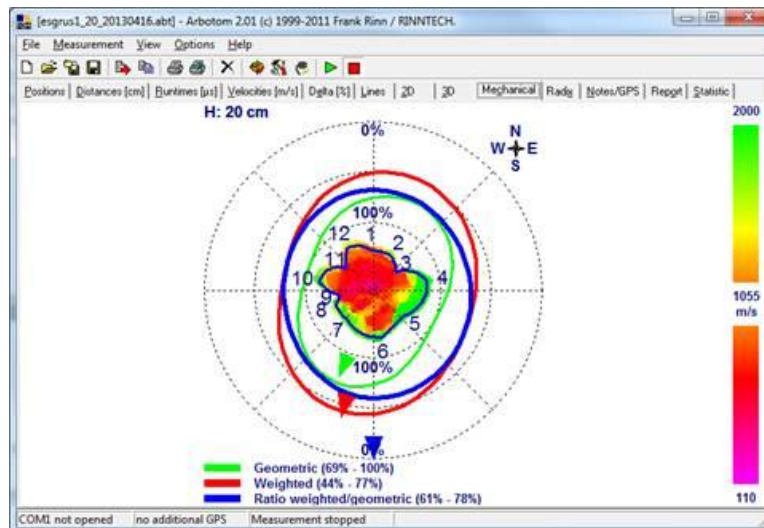


Figura 2.13. Modelo mecânico da tomografia da árvore da Figura 2.12.

A linha verde representa a resistência de flexão de uma secção transversal bem preservada (considera a superfície toda verde, ou seja, sem danos), contra todas as direções do vento (Figura 2.14). No exemplo apresentado, para ventos com direção oeste-este a resistência

à flexão é quase 100%, enquanto para ventos na direção norte-sul essa resistência é de 70%. Isto deve-se ao facto de a árvore não apresentar uma secção transversal circular. Uma árvore perfeitamente redonda apresenta uma estabilidade de 100% em relação a todas as direções do vento. A seta verde indica a direção para a qual a árvore tem uma resistência à flexão menor.

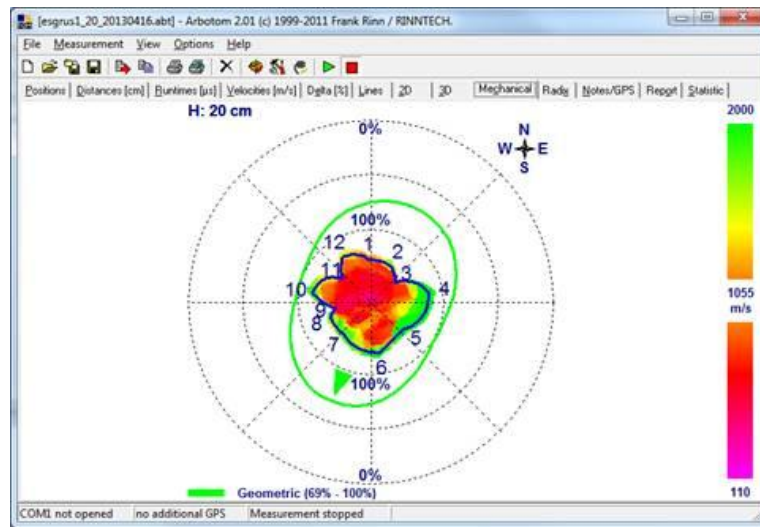


Figura 2.14. Linha verde do modelo mecânico baseia-se apenas na geometria da secção transversal da árvore.

A linha vermelha tem em conta a zona de decaimento da árvore. Para este cálculo são importantes as áreas amarelas e vermelhas, que representam áreas de maior fragilidade da árvore (Figura 2.15). Neste caso, a resistência à flexão foi perdida devido ao decaimento da madeira, ou à presença de cavidades.

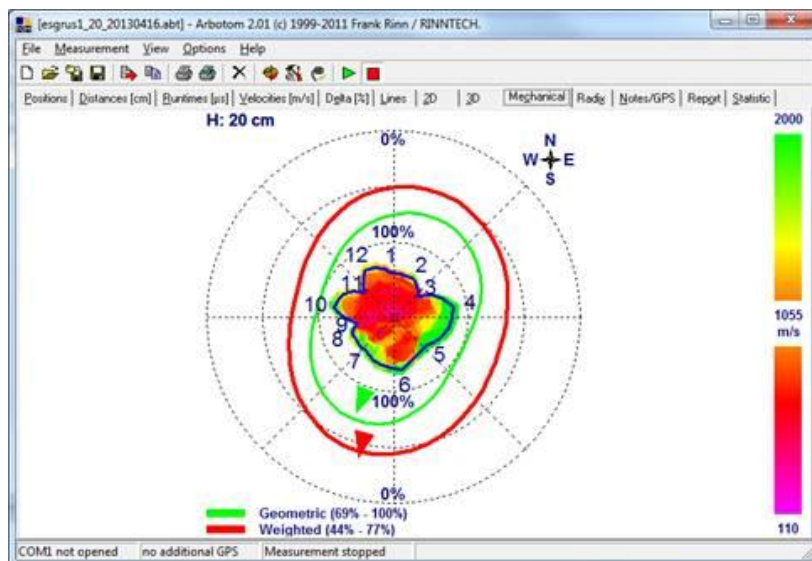


Figura 2.15. Linha vermelha do modelo mecânico baseia-se no decaimento da secção transversal da árvore.

A linha azul é a mais importante para a interpretação final dos resultados mecânicos (Figura 2.16). A curva azul é resultado do ratio da linha vermelha e verde. Mostra a percentagem de diminuição de resistência à flexão. No exemplo apresentado, a secção transversal perdeu 39% da sua resistência à flexão devido à presença de decaimento/cavidades, e tendo em consideração a forma da secção transversal. A seta azul representa a direção em que a força de resistência à flexão é menor.

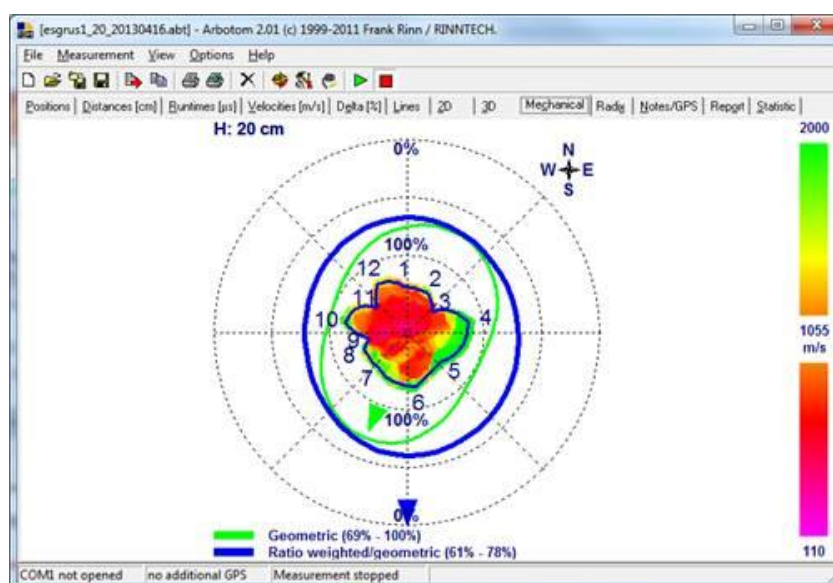


Figura 2.16. Linha azul do modelo mecânico resulta do ratio entre a linha vermelha e a linha verde.

### ***2.3. Avaliação do estado de conservação de árvores do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra utilizando o ARBOTOM***

No ano de 2013 foi efetuada a tomografia a 25 árvores do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra, utilizando o equipamento ARBOTOM (Figura 2.17). Para cada espécime registou-se: (i) a coordenada GPS; (ii) o perímetro à altura do peito, utilizando uma fita métrica; (iii) a altura da árvore, utilizando o clinómetro; (iv) registo foto-

gráfico da árvore para fazer uma avaliação visual do seu estado de conservação, destacando a presença de áreas degradadas e/ou de fungos que pudessem surgir à superfície do tronco.

Os pregos utilizados para fixar os sensores do ARBOTOM na árvore eram desinfetados com álcool para prevenir qualquer contaminação cruzada entre espécimes diferentes.



Figura 2.17. Exemplo de instalação dos sensores do ARBOTOM.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Caracterização geral da amostragem

Efetuiu-se a tomografia a 25 espécimes arbóreas do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra, correspondendo a 21 espécies, 12 espécies pertencentes ao grupo das Gimnospérmicas e 9 espécies ao grupo das Angiospérmicas. Uma vez que estes dois grandes grupos apresentam características da anatomia da madeira muito diferentes, a análise dos resultados será efetuada em separado.

### 3.2. Gimnospérmicas

#### 3.2.1. Caracterização geral dos espécimes

Foram amostrados um total de 14 espécimes, pertencentes a 12 espécies do grupo das Gimnospérmicas (Tabela 3.1, Figura 3.1).

Tabela 3.1. Caracterização geral dos exemplares estudados do grupo das Gimnospérmicas.

Espécie (Ref <sup>o</sup> Mapa)	Coordenadas GPS	Altura (m)	Diâmetro (cm)
<i>Araucaria bidwilli</i> Hook. (G1)	40.20422° N 8.42033°W	33,60	167
<i>Araucaria brasiliensis</i> Lamb. ex Loudon (G2)	40.20417°N 8.42065°W	20,90	60
<i>Araucaria columnaris</i> J.R.Forst. Hook. (G3)	40.20422°N 8.42033°W	27,80	73
<i>Araucaria cunninghamii</i> Aiton ex D. Don (G4)	40.20415°N 8.42068°W	27,40	65
<i>Araucaria heterophylla</i> (Salisb.) Franco (G5)	40.20422°N 8.42045°W	16,60	81
<i>Araucaria rulei</i> F. Muell. (G6)	40.20414°N 8.42080°W	21,20	91
<i>Cedrus atlantica</i> (Manetti ex Endl.) Carrière (G7)	40.20413°N 8.41996°W	25,30	122
<i>Cedrus deodara</i> (Roxb. Ex D. Don) G. Don (G8)	40.20413°N 8.41996°W	26,90	99
<i>Cedrus deodara</i> (Roxb. Ex D. Don) G. Don (G9)	40.20413°N 8.41996°W	24,60	105
<i>Cedrus deodara</i> (Roxb. Ex D. Don) G. Don (G10)	40.20637°N 8.42124°W	27,60	122
<i>Cryptomeria japonica</i> (L.f.) D. Don (G11)	40.20542°N 8.42118°W	24,50	87
<i>Nageia falcatus</i> (Thunb.) (G12)	40.20687°N 8.42167°W	12,40	68
<i>Sequoia sempervirens</i> (D. Don) Endl (G13)	40.20623°N 8.42046°W	24,50	97
<i>Sequoiadendron giganteum</i> (Lindl.) (G14)	40.20406°N 8.41996°W	13,00	77

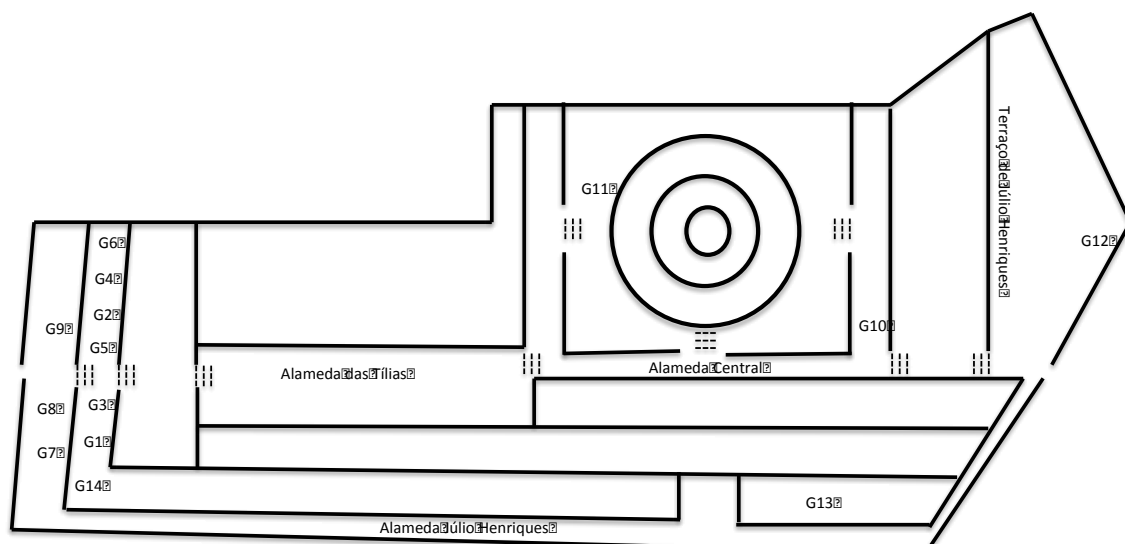


Figura 3.1. Localização dos indivíduos estudados do grupo das Gimnospérmicas. Ver Tabela 3.1 para identificação das espécies.

### 3.2.2. Resultados da tomografia

#### 3.2.2.1 Género *Araucaria* (*Araucariaceae*)

O nome *Araucaria* deriva dos índios araucanos, que por sua vez dão o nome a uma região do Chile, Arauco (López, 2007). É uma árvore perene, de porte piramidal, que pode alcançar até 50 m de altura, com o tronco direito, podendo medir até 1,80 m de diâmetro. Os ramos principais horizontais, estão dispostos em 4-7 verticilos regulares. A casca desprende-se em placas finas. Os ramos mais pequenos dispõem-se horizontalmente, ou colgados, e estão densamente cobertos por folhas que se dispõem em todas as direções. As folhas adultas estão imbricadas e curvadas na direção do ápice formando um cilindro largo e flexível e são quase planas. As folhas juvenis, com cerca de 12 mm, são perpendiculares ao ramo, encurvadas no ápice, de secção romboidal. Cones masculinos alargados, com cerca de 4 cm, de cor amarelada ou avermelhada, com numerosas escamas, com o bordo dentado, que levam 10-20 sacos polínicos largos e estreitos. As pinhas são ovoides ou globosas, erguidas, de 10-15 cm de comprimento, com escamas terminadas numa ponta larga triangular recurvadas para trás. As sementes são aladas, e ocorrem solitárias nas axilas das brácteas férteis. São árvores unissexuais dioicas, com pés masculinos e pés femininos. A floração ocorre na Primavera e madura as pinhas no Outono. As pinhas

demoram entre 2 a 3 anos a amadurecer. A floração não apresenta uma periodicidade muito estrita (López, 2007).

É uma árvore cultivada em regiões de clima suave uma vez que suporta mal as geadas. Ocorre principalmente em parque, praças ou jardins. De forma natural ocorre na costa da ilha de Norfolk, no este da Austrália. Na Península Ibérica é cultivada. É típico desta espécie que ramos pequenos se desprendam inteiro. A madeira é muito boa para construção naval, devido à retitude do tronco. Pensa-se que as folhas duras e picosas de algumas araucárias, assim como a sua capacidade de regeneração a partir de ramos caídos, são adaptações que se desenvolveram nestas plantas há muitos milhões de anos para evitar servirem de alimento a grandes herbívoros (provavelmente dinossauros) extintos há muito tempo. A espécie *Araucaria araucana*, que habita exclusivamente o Chile e Argentina, e é a única espécie resistente ao frio, pode chegar a viver 1000 anos (López, 2007).

Foi realizada a tomografia de seis espécies diferentes do género *Araucaria* (Figura 3.2), cujos resultados se apresentam a seguir.



Figura 3.2. Exemplos de *Araucaria bidwilli* Hook. (a), *A. brasiliensis* Lamb. ex Loudon (b), *A. columnaris* J.R.Forst. Hook. (c), *A. cunninghamii* Aiton ex D. Don (d) *A. heterophylla* (Salisb.) Franco (e) e *A. rulei* F. Muell. (f) localizados no Terraço das Coníferas do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra.

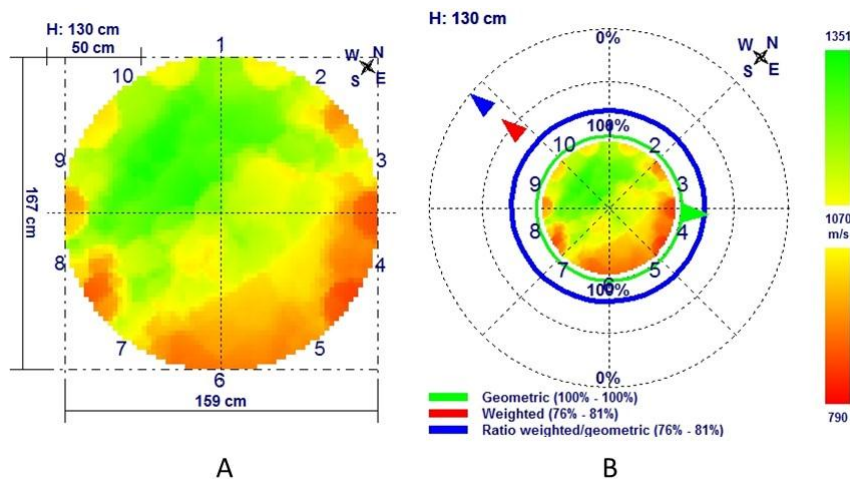


Figura 3.3. Tomografia da espécie *Araucaria bidwilli* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G1 na Figura 3.1). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *A. bidwilli* estudado, apresenta um tronco praticamente circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% para qualquer direção do vento (Figura 3.3). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar perdeu 24% da resistência à flexão, com uma resistência menor a ventos na direção este-oeste.

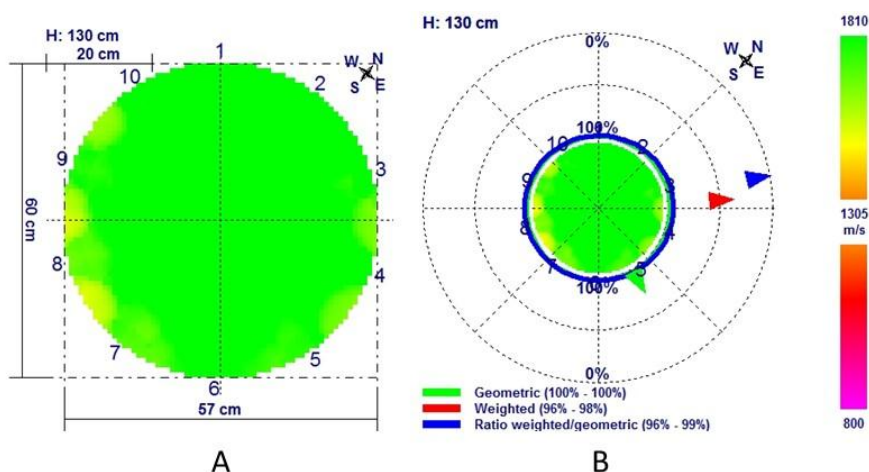


Figura 3.4. Tomografia da espécie *Araucaria brasiliensis* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G2 na Figura 3.1). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *A. brasiliensis* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.4). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este



exemplar está muito bem conservado, com uma perda residual de resistência à flexão (4%).

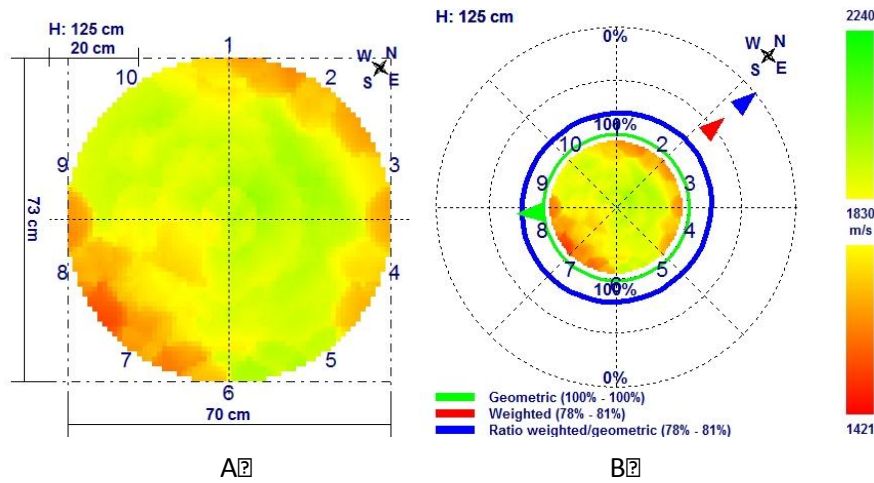


Figura 3.5. Tomografia da espécie *Araucaria columnaris* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G3 na Figura 3.1). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *A. columnaris* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.5). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar perdeu 22% da resistência à flexão, com uma resistência menor a ventos na direção sul-norte.

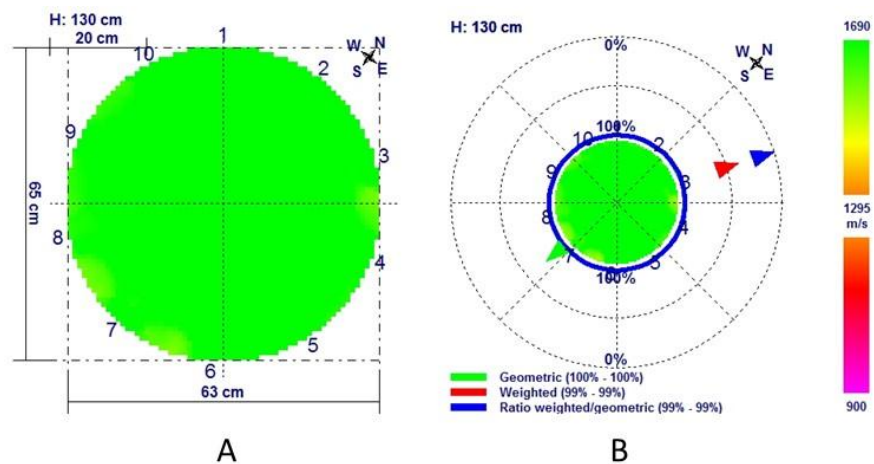


Figura 3.6. Tomografia da espécie *Araucaria cunninghamii* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G4 na Figura 3.1). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *A. cunninghamii* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.6). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar está muito bem conservado, com uma perda extremamente residual de resistência à flexão (1%).

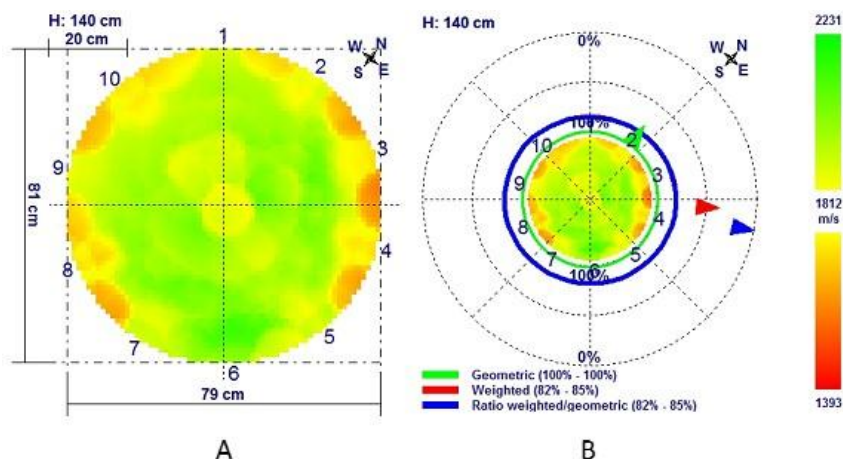


Figura 3.7. Tomografia da espécie *Araucaria heterophylla* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G5 na Figura 3.1). A. Gráfico 2D; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *A. heterophylla* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.7). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 16%, com uma resistência menor a ventos na direção oeste-este.

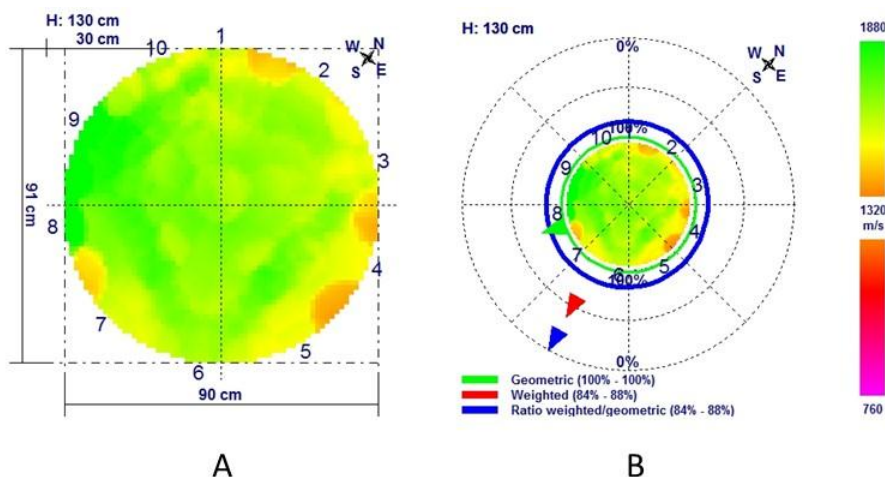


Figura 3.8. Tomografia da espécie *Araucaria rulei* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G6 na Figura 3.1). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *A. rulei* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.8). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 16%, com uma resistência menor a ventos na direção norte-sul.

### 3.2.2.2. Género *Cedrus* (*Pinaceae*)

Nome latino clássico de vários zimbros; apesar de serem plantas muito diferentes, a sua madeira tinha utilizações muito semelhantes (López, 2007). O nome procede do grego *kédros*: zimbro, referindo-se sobretudo ao *Juniperus excelsa* M. Bieb., do mediterrâneo oriental e do oeste e centro da Ásia, mas também ao *Juniperus oxycedrus*. É uma árvore majestosa, que pode atingir os 60 m. Apresenta ramos colgados, com agulhas compridas, com 30-50 mm, e as pinhas com 7-12 cm, arredondadas no ápice e de forma geralmente ovoide. A floração ocorre entre Setembro e Novembro.

Cresce em todo o tipo de terrenos, não aguentando os solos muito húmidos; adapta-se muito bem à sequia estival dos climas mediterrânicos e às baixas temperaturas. É cultivada frequentemente como ornamental. É uma espécie originária do Afeganistão e noroeste dos Himalaias. A madeira é de boa qualidade e muito aromática. É muito resistente à decomposição. Era utilizada sobretudo na construção e carpintaria. Da madeira extrai-se uma essência utilizada na indústria dos perfumes, apresentando também propriedades antissépticas (López, 2007).

Foi realizada a tomografia de duas espécies do género *Cedrus* (Figura 3.9), cujos resultados se apresentam a seguir.



Figura 3.9. (a) *Cedrus atlantica* (Manetti ex Endl.) Carrière (exemplar G7 na Figura 3.1); (b) *Cedrus deodara* (Roxb. Ex D. Don) G. Don (exemplar G8 na Figura 3.1); (c) *Cedrus deodara* (Roxb. Ex D. Don) G. Don (exemplar G9 na Figura 3.1); (d) *Cedrus deodara* (Roxb. Ex D. Don) G. Don (exemplar G10 na Figura 3.1). Os exemplares a, b e c estão localizados no terraço próximo do portão das Ursulinas e o exemplar está próximo da Alameda Central.

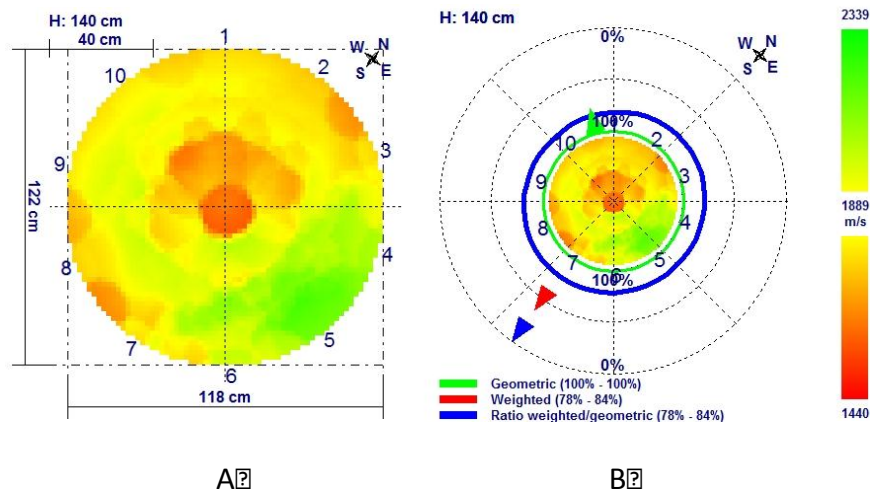


Figura 3.10. Tomografia da espécie *Cedrus atlantica* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G7 na Figura 3.1). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *C. atlantica* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.10). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 22%, com uma resistência menor a ventos na direção norte-sul.

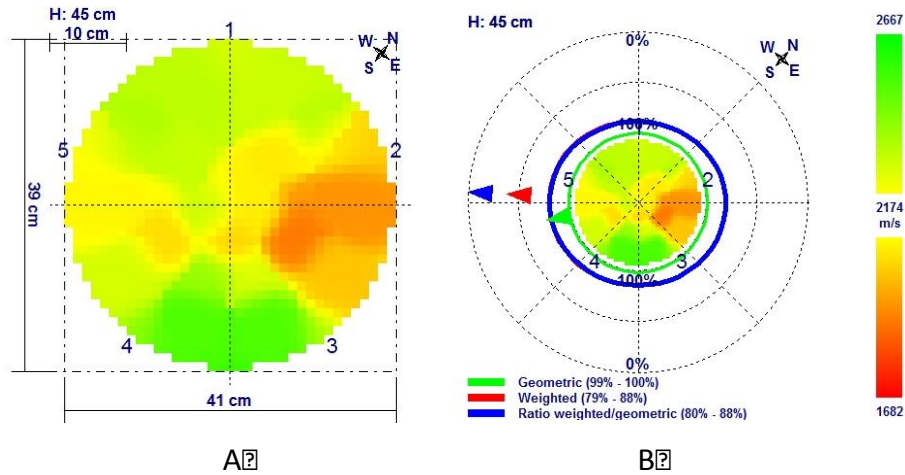


Figura 3.11. Tomografia de um ramo da espécie *Cedrus atlantica* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G8 da Figura 3.1). A. Gráfico 2D; B. Gráfico mecânico.

Efetuuou-se a tomografia de um ramo do exemplar de *C. atlantica* da figura 3.10. O tronco apresenta uma secção transversal circular e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.11). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, o ramo apresenta uma perda de resistência à flexão de 20%, com uma resistência menor a ventos na direção nordeste-sudoeste.

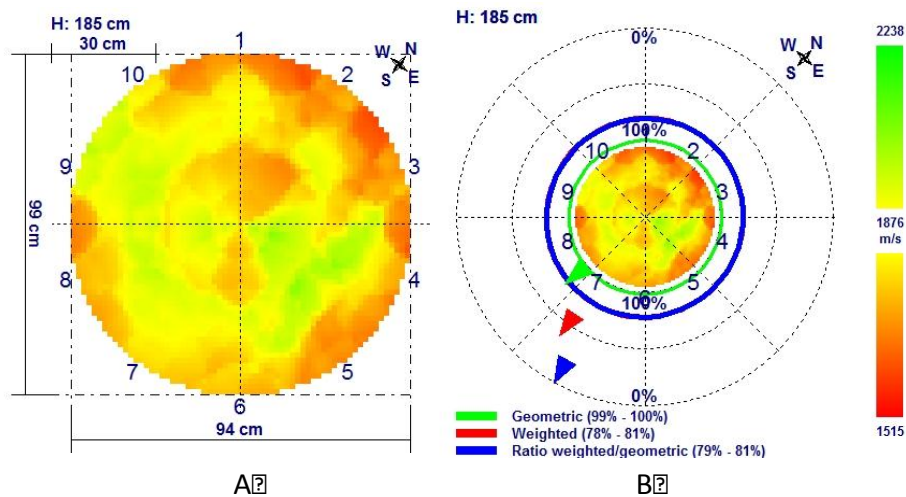


Figura 3.12. Tomografia da espécie *Cedrus deodara* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G8 da Figura 3.1). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O primeiro exemplar de *C. deodara* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.12). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica,

este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 21%, com uma resistência menor a ventos na direção norte-sul.

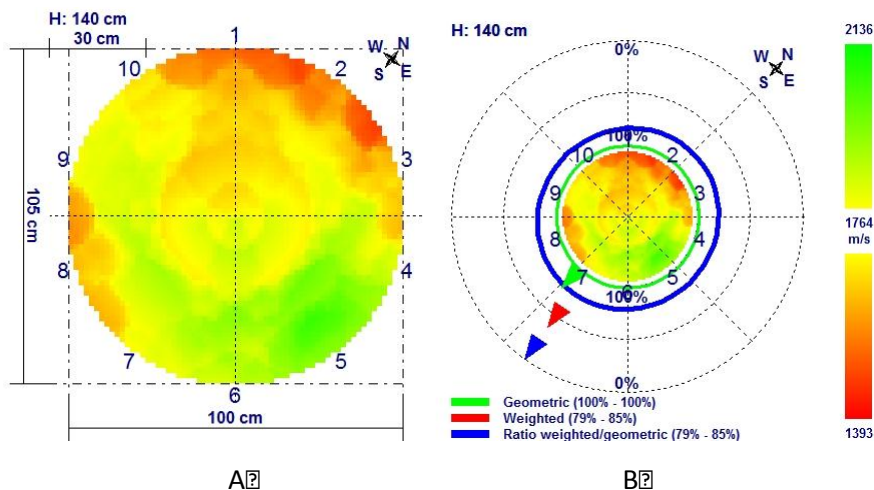


Figura 3.13. Tomografia da espécie *Cedrus deodara* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G9 da Figura 3.1). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O segundo exemplar de *C. deodara* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.13). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 21%, com uma resistência menor a ventos na direção norte-sul.

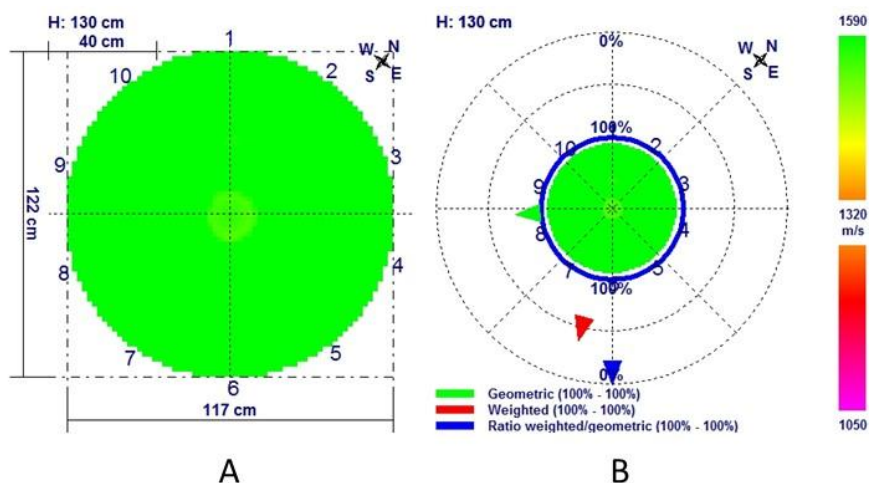


Figura 3.14. Tomografia da espécie *Cedrus deodara* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G10 da Figura 3.1). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O terceiro exemplar de *C. deodara* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.14). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar não apresentou quaisquer sinais de decaimento da madeira, sem perda de resistência à flexão.

### 3.2.2.3 Género *Cryptomeria* (*Taxodiaceae*)

O nome do género *Cryptomeria* deriva das palavras gregas *kryptós* (escondido, oculto) e de *mereía* (parte) (López, 2007). Refere-se a alguns órgãos da planta que permanecem ocultos, apesar de não ser muito claro quais são. É uma árvore perene, atingindo 50m de altura, podendo apresentar tamanhos menores, ou inclusivamente ocorrer na forma arbustiva, quando cultivada. As folhas estão dispostas em espiral, alargadas, com 5-12mm. Os cones masculinos apresentam escamas imbrincadas, cada uma com 5 sacos de pólen na face interna. Os cones femininos formam-se no outono e durante o inverno parecem pequenas rosetas de folhas. As pinhas, têm entre 1,5-3cm, mais ou menos esféricas, e com 20 a 30 escamas. Cada escama da pinha apresenta na sua axila 2-5 sementes largas, sem asas, ou asas rudimentares.

É procedente da China e do Japão e é cultivada como ornamental e para aproveitamento da madeira. A madeira apresenta grão grosso, com um odor forte, duradoura, fácil de trabalhar, resistente ao ataque de insectos, de cor avermelhada. É uma das madeiras comerciais mais utilizadas no Japão (López, 2007).

Foi realizada a tomografia de um exemplar da espécie *Cryptomeria japonica* (Figura 3.15), cujos resultados se apresentam a seguir.



Figura 3.15. Exemplar de *Cryptomeria japonica* (L.f.) D. Don localizado no Quadrado Central do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra.

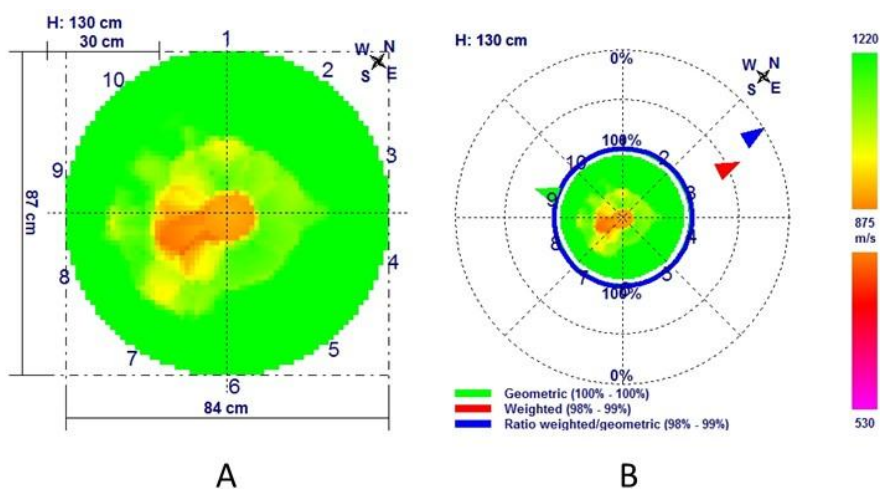


Figura 3.16. Tomografia da espécie *Cryptomeria japonica* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G11 da Figura 3.1). A Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *C. japonica* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.16). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este



exemplar apresenta uma perda residual de resistência à flexão (2%), com uma resistência menor a ventos na direção sul-norte.

#### 3.2.2.4 Género *Nageia* (*Podocarpaceae*)

O género inclui arbustos ou árvores perenes. As folhas variam entre 5-20cm de comprimento e 2-6cm de largura. Os cones apresentam várias escamas estéreis e uma fértil, que dá origem a uma semente. O tegumento da semente desenvolve-se numa espécie de drupa carnuda com 1 a 2cm de diâmetro que atrai os pássaros, dispersando as sementes nos excrementos. Ocorrem na África do Sul (Leistner, 1966). A madeira é amarelada.

Foi realizada a tomografia de um exemplar da espécie *Nageia falcatus* (Figura 3.17), cujos resultados se apresentam a seguir.



Figura 3.17. Exemplar de *Nageia falcatus* (Thunb.) localizado no Terraço Júlio Henriques do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra.

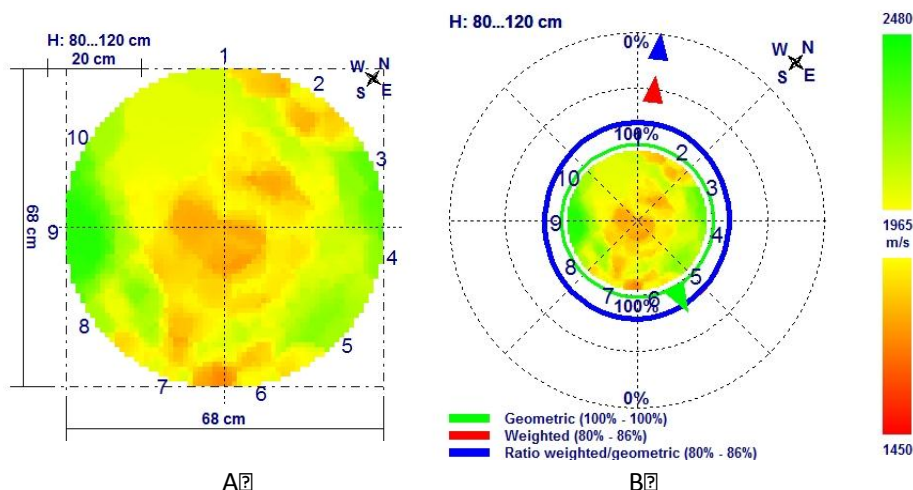


Figura 3.18. Tomografia da espécie *Nageia falcatus* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G12 da Figura 3.1). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *N. falcatus* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.18). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 20%, com uma resistência menor a ventos na direção sudeste-noroeste.

### 3.2.2.5. Género *Sequoia* (*Taxodiaceae*)

O nome do género é uma homenagem a Sequayah ou Sequoiah, um índio da tribo dos Cherokee, que viveu entre 1770 e 1843 (López, 2007). Foi educado na Geórgia (Estados Unidos) adotando o nome de George Gist, e inventou um alfabeto para o dialecto da sua tribo. É uma árvore muito robusta, perene, podendo atingir 50-80(100)m, copa mais ou menos piramidal e ramos abundantes. O tronco é grosso, direito, com casca castanho-escura, esponjosa, que se desprende em placas irregulares, deixando a descoberto novas capas de cor avermelhada. As folhas são aciculares, mais ou menos rígidas, de cor verde escura na face superior, e com duas bandas brancas na face inferior, com 6-30x2mm. Os cones masculinos são ovoides, solitários ou aos pares, e ocorrem na parte terminal dos ramos, as escamas apresentam 2-5 sacos de pólen. As pinhas são ovoides, com 1-3 cm e apresentam uma cor verde no início e, ao madurarem apresentam uma cor castanho-avermelhada. As sementes têm 4-5mm, e apresentam uma asa estreita. A floração ocorre entre Janeiro e Março, e a maturação das pinhas ocorre no outono do mesmo ano (López, 2007).

É cultivada em parques e passeios e ocorre de forma natural na costa do Pacífico nos Estados Unidos. É uma árvore de crescimento rápido e longeva (pode atingir os 1500 anos). A madeira é de qualidade aceitável, de cor castanho-avermelhada, ligeira, fácil de trabalhar. Permite obter peças de grande tamanho, e emprega-se em travessas e postes. Devido ao seu interesse económico foi sobre-explorada, encontrando-se hoje em dia cingida a poucas áreas de reserva. Esta sequoia compete com um eucalipto (*Eucalyptus regnans* F. Muell) para ser considerada a árvores mais alta do mundo. Conhecem-se exemplares que podem chegar aos 102m de altura (López, 2007).

Foi realizada a tomografia de um exemplar da espécie *Sequoia sempervirens* (Figura 3.19), cujos resultados se apresentam a seguir.



Figura 3.19. Exemplar de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. localizado no Terraço das Coníferas do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra.

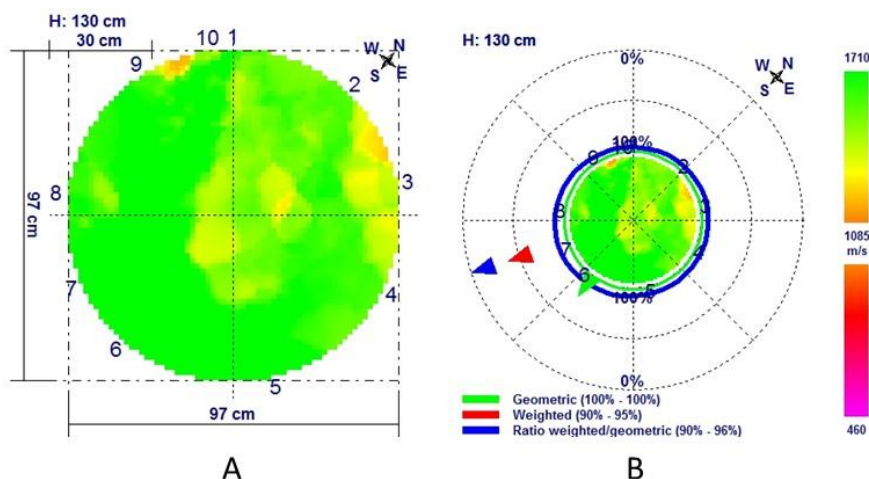


Figura 3.20. Tomografia da espécie *Sequoia sempervirens* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G13 da Figura 3.1). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *S. sempervirens* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.20). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 10%, com uma resistência menor a ventos na direção nordeste-sudoeste.

### 3.2.2.6. Género *Sequoiadendron* (*Taxodiaceae*)

O nome científico repete o do género *Sequoia*, unido à palavra grega *déndron*: árvore, não querendo insinuar que as outras plantas do género *Sequoia* não alcancem a categoria de árvores (López, 2007). É uma árvore perene, de 50-80/100=m de altura, e corpulenta. O seu porte é inicialmente cónico, e com a idade a copa vai ficando mais aberta. Os ramos apresentam-se caídos, curvados para cima. O tronco, que apenas se ramifica a partir de certa altura (em exemplares adultos às vezes apenas a partir dos 50m), apresenta uma casca grossa, fibrosa, mole e de cor avermelhada. As folhas dispostas em espiral são pequenas, com 3-10(12)mm de longitude, com cor verde-azulada. Os cones masculinos, com 4-6mm são solitários e localizam-se na terminação de ramos curtos. As pinhas medem 5-8cm, ovoides e mantêm-se verdes e unidas à árvore durante muitos anos. Têm 25-40 escamas que se separam com dificuldade. As sementes, 3-9 por escama, medem cerca de 6mm, apresentam duas asas laterais, e maduram no segundo ano. A floração ocorre no final do inverno e princípio da primavera. As pinhas necessitam de dois anos

para amadurecer as sementes, permanecendo verdes e vivas por vários anos (López, 2007).

É cultivada como planta ornamental em alguns parques e jardins. De forma natural crescem em grupos reduzidos, salpicadas em bosques com outras coníferas. É tolerante ao frio e também ao fogo, já que ocorre em comunidades em que os incêndios regulares têm um papel ecológico importante. Ocorre de forma natural nas encostas ocidentais da Serra Nevada, na Califórnia (Estados Unidos). A sequoia-gigante, também conhecida por árvore-mamute, é considerada como o ser vivo mais volumoso e é seguramente um dos mais longevos, podendo atingir os 3500 anos de idade. Pode alcançar até 100m de altura e a grossura do tronco é extraordinária (5-12m de diâmetro). O exemplar mais famoso (agora já desaparecido), ocorria no Parque Nacional de Yosemite, nos Estados Unidos, e apresentava um túnel no tronco por baixo do qual passava uma estrada. A madeira é de má qualidade, apresentando-se ligeira, suave, pouco resistente e frágil. É muito apreciada como planta ornamental, já que é mais rústica e resistente do que a outra sequoia (López, 2007).

Foi realizada a tomografia de um exemplar da espécie *Sequoiadendron giganteum* (Figura 3.21), cujos resultados se apresentam a seguir.



Figura 3.21. (a) Exemplar de *Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) Buchholz localizado no Terraço das Coníferas do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra; (b) Pormenor da copa; (c) Pormenor de uma secção de um tronco.

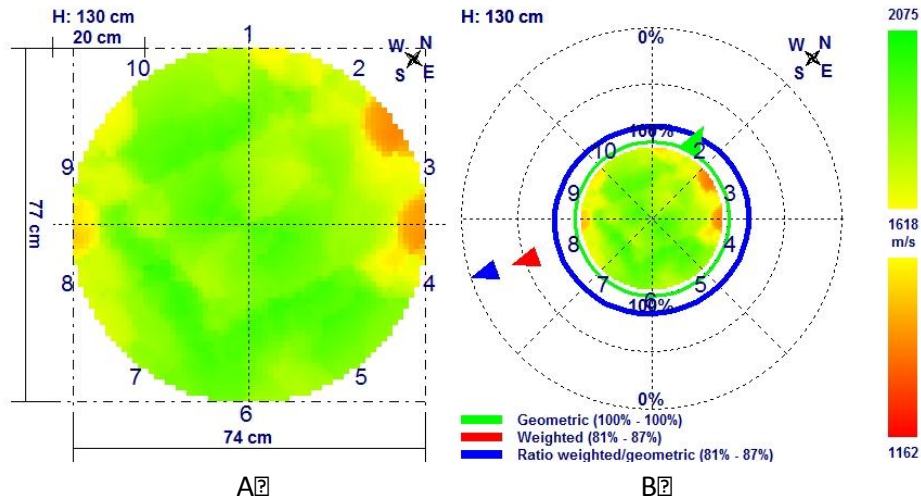


Figura 3.22. Tomografia da espécie *Sequoiadendron giganteum* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar G14 na Figura 3.1). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *S. giganteum* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.22). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 19%, com uma resistência menor a ventos na direção nordeste-sudoeste.

## 3.2. Angiospérmicas

### 3.2.1. Caracterização geral dos espécimes

Foram amostrados um total de 11 espécimes, pertencentes a 9 espécies do grupo das Angiospérmicas (Tabela 3.2, Figura 3.23).

Tabela 3.2. Caracterização geral dos exemplares estudados do grupo das Angiospérmicas.

Espécies (Ref <sup>o</sup> Mapa)	Coordenadas GPS	Altura (m)	Diâmetro (cm)
<i>Eucalyptus citriodora</i> L. (A1)	40.20444°N 8.42002°W	28,70	88
<i>Eucalyptus cornuta</i> Labill (A2)	40.20646°N 8.420053°W	31,30	154
<i>Eucalyptus obliqua</i> L'Hér. (A3)	40.20434°N 8.42034°W	39,90	194
<i>Liriodendron tulipifera</i> L. (A4)	40.20608°N 8.42045°W	15,40	87
<i>Platanus hybrida</i> Brot. (A5)	40.20665°N 8.42201°W	21,00	62
<i>Platanus hybrida</i> Brot. (A6)	40.20687°N 8.42167°W	12,40	71
<i>Platanus hybrida</i> Brot. (A7)	40.20682°N 8.42124°W	32,00	95
<i>Populus nigra</i> L. (A8)	40.20675°N 8.42200°W	1,20	73
<i>Robinia pseudoacacia</i> L. (A9)	40.20648°N 8.42232°W	8,40	91
<i>Tilia x vulgaris</i> Hayne (A10)	40.20450°N 8.42062°W	19,40	62
<i>Washingtonia filifera</i> (Linden ex André) H. Wendl. (A11)	40.20445°N 8.42043°W	12,10	71

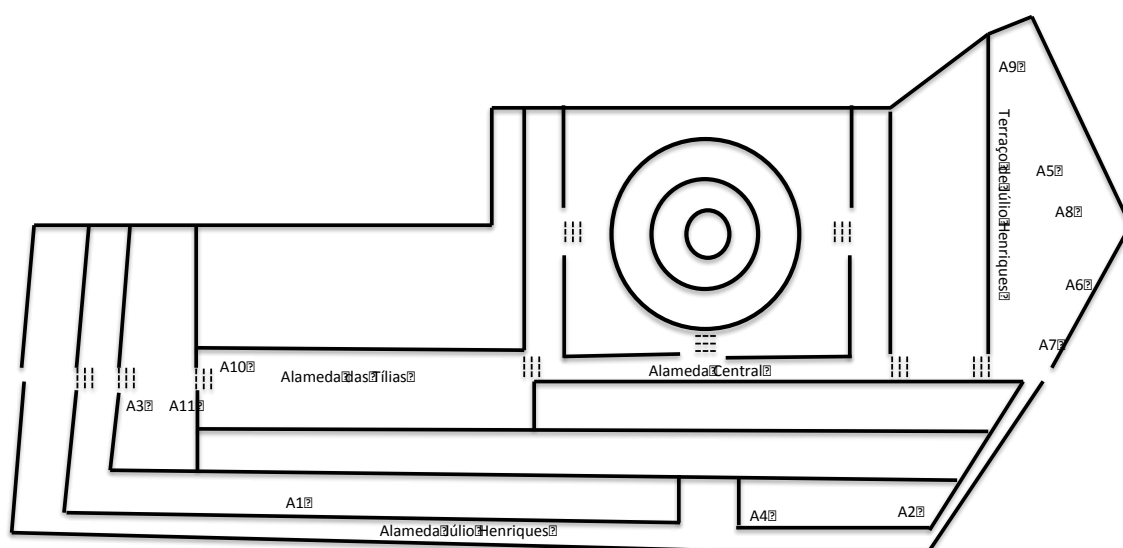


Figura 3.23 Localização dos indivíduos estudados do grupo das Angiospérmicas. Ver Tabela 3.2 para identificação das espécies.

### 3.2.1. Resultados da tomografia

#### 3.3.2.1 Género *Eucalyptus* (Myrtaceae)

O nome *Eucalyptus* significa “bem coberto” e refere-se às flores do eucalipto em que as pétalas estão unidas às sépalas formando uma coberta com uma tampa que, apenas quando se desprende é possível ver os estames (López, 2007). Deriva do grego *eû*: bem, e *kalyptós*: coberto, oculto. É uma árvore de médio a grande porte que pode atingir os 40 a 50 m de altura (excecionalmente os 70 m). Mantém as folhas durante todo o ano. O tronco é grosso, com uma tendência a produzir uma torção espiral, e está coberto por uma casca de cor acinzentada, lisa, que se desprende em tiras longitudinais. As folhas jovens são opostas, de contorno oval, de cor verde, quando observadas em contraluz podem ser observadas as glândulas que produzem as essências típicas da família das mirtáceas. As folhas adultas são largas e estreitas, com 12-25x1,7-3 cm, curvadas e inteiras; como as folhas juvenis, apresentam muitas glândulas translúcidas; as folhas apresentam-se numa posição vertical pelo que a árvore fornece pouca sombra. As flores nascem na axila das folhas, são solitárias, ocasionalmente em grupos de 3; têm uma forma característica de urna, com quatro ângulos muito marcados, coberta por uma cera branco-azulada; a tampa apresenta uma ligeira depressão, com um pico central e ao desprender-se no momento da floração liberta centenas de estames. O fruto é uma cápsula, com 10-21x14-24 mm, que se abre na parte apical por 3-5 valvas triangulares. As sementes são pequenas e mais ou menos numerosas. A floração ocorre entre o Outono e Inverno (López, 2007).

A espécie mais comum em Portugal, *Eucalyptus globulus*, é cultivada em zonas de clima oceânico, húmido e suave; requer solos húmidos mas bem drenados, e não suporta temperaturas muito baixas, pelo que não se cultiva para além dos 1000 m de altitude. Na sua pátria de origem cresce entre o nível do mar e 450 m de altitude, em climas húmidos. Ocorre de forma natural na Tasmânia, sobretudo na costa este, e na costa do sudeste da Austrália (Victoria) e ilhas adjacentes. É uma das espécies de eucalipto mais amplamente cultivada no Mundo. O nome científico desta espécie, do latim *globulus*: pequeno globo, pequeno botão, alude à forma das flores. É uma planta melífera (boa produtora de



pólen e néctar). As folhas do eucalipto apresentam propriedades balsâmicas e antissépticas devido ao seu óleo essencial, cujo componente principal é o cineol ou eucaliptol. É utilizada no tratamento de bronquite e catarro na forma de infusão ou inalações. Comprovou-se recentemente que tem um interesse terapêutico para combater a diabetes. A madeira é de cor escuro-amarelada, forte e moderadamente duradoura; na Austrália utiliza-se na construção; nas nossas latitudes a sua aplicação principal é na produção de pasta de papel. O seu crescimento rápido, inclusivamente em terrenos pobres, tornou-a uma árvore preferida em relação a outras espécies, para ser utilizada em plantações. No entanto, os restos do eucalipto, rico em óleos essenciais com propriedades antissépticas, o cineol, esterilizam o solo, impedindo o desenvolvimento de outras espécies; as suas raízes profundas são capazes de perfurar capas freáticas profundas, absorvendo grandes quantidades de água, até ao ponto de ter sido utilizada para secar zonas pantanosas para acabar com o paludismo. Estas características são particularmente problemáticas em zonas semiáridas, onde pode agravar a falta de água do solo. A sua capacidade de rebrotar quando são cortados, torna a sua eliminação posterior muito difícil (López, 2007).

Foi realizada a tomografia de três espécies do género *Eucalyptus* (Figura 3.24), cujos resultados se apresentam a seguir.



Figura 3.24. Exemplares de *Eucalyptus citriodora* L. (a), *E. cornuta* Labill. (b) e *E. obliqua* L'Hér. (c). Os exemplares a e b estão localizados no Terraço das Coníferas e o exemplar c está localizado na Jardimeta no topo da Alameda das Tílias.

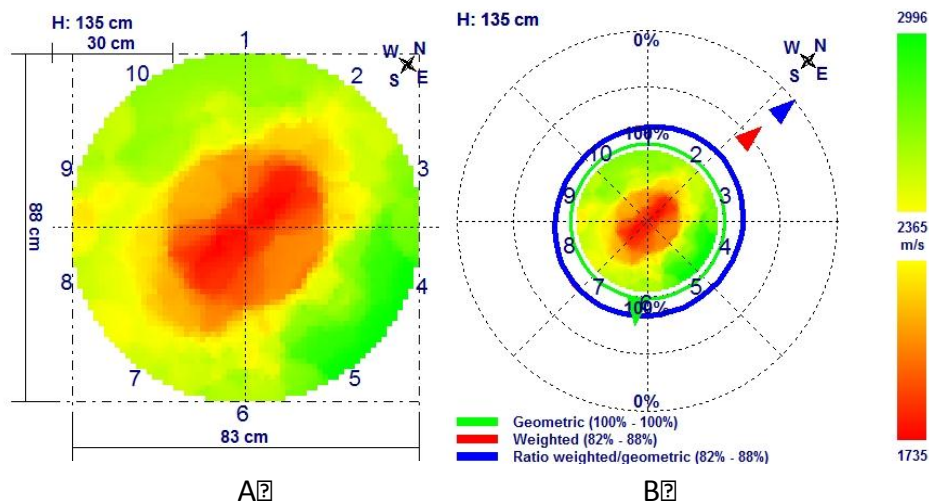


Figura 3.25. Tomografia da espécie *Eucalyptus citriodora* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar A1 na Figura 3.23). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *E. citriodora*, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.25). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 18%, com uma resistência menor a ventos na direção sul-norte.

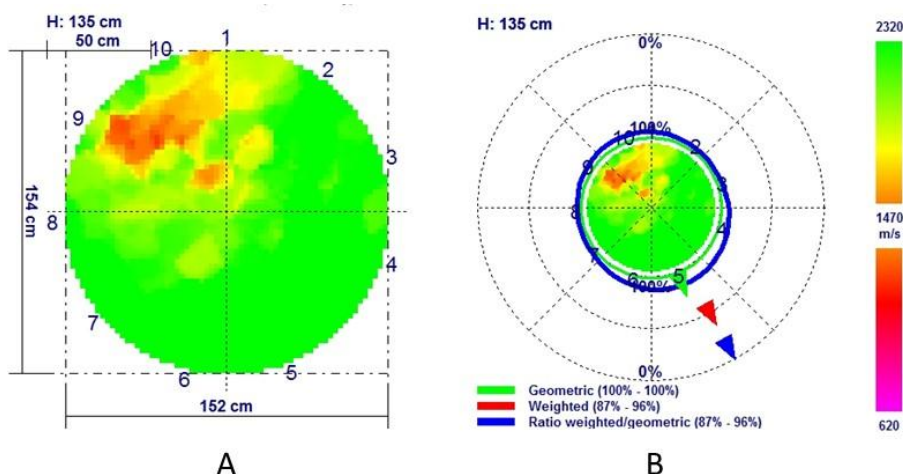


Figura 3.26. Tomografia da espécie *Eucalyptus cornuta* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar A2 na Figura 3.23). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *E. cornuta*, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100%

(Figura 3.26). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 13%, com uma resistência menor a ventos na direção oeste-este.

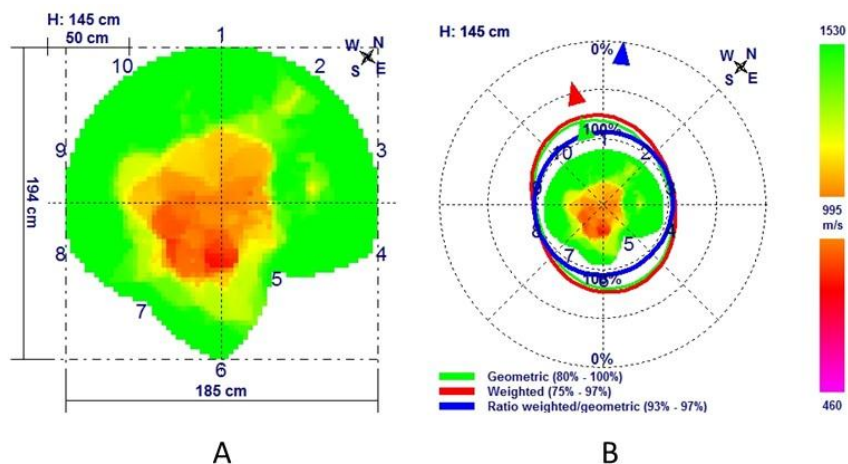


Figura 3.27. Tomografia da espécie *Eucalyptus obliqua* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (Exemplar A3 na Figura 3.23). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *E. obliqua*, não apresenta uma secção transversal circular (Figura 3.27). Tendo em conta a forma geométrica, apresenta uma redução da resistência à flexão de 10%, na direção sudeste-noroeste. Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 13%, com uma resistência menor a ventos na direção sudeste-noroeste.

### 3.3.2.2 Género *Liriodendron* (*Magnoliaceae*)

O nome do género deriva do grego *leírion* (lírio) e de *déndron* (árvore) porque as flores lembram as de algumas monocotiledóneas, apesar de se assemelharem mais a tulipas do que a lírios (López, 2007). É uma árvore grande e majestosa, de folha caduca, que se reconhece facilmente pela silhueta inconfundível das folhas trapezoidais, com 4(6) lóbulos pontiagudos, e pelas suas flores grandes e vistosas, em forma de sino, verde-amareladas, e com a base das pétalas laranjas. Floresce de Maio a Julho, mas apenas quando a árvore atinge 20 ou 30 anos de idade. Tem origem no este dos Estados Unidos. É uma planta tóxica, especialmente a casca e a madeira, causando às vezes alergia na pele. Contém glaucina e uma substância cíclica designada por liriodenina. Da casca obtém-se um

alcaloide, a tulipiferina, que serve como estimulante cardíaco. A madeira tem algum interesse comercial (López, 2007).

Foi realizada a tomografia de um exemplar da espécie *Liriodendron tulipifera* (Figura 3.28), cujos resultados se apresentam a seguir.



Figura 3.28. a. Exemplar de *Liriodendron tulipifera* L. localizado no Terraço das Coníferas do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra; b. Detalhe da parte superior do tronco.

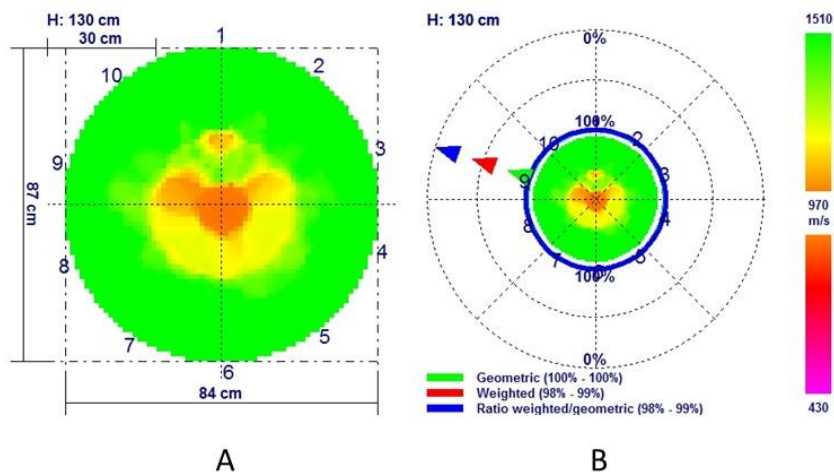


Figura 3.29. Tomografia da espécie *Liriodendrom tulipifera* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar A4 da Figura 3.23). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *L. tulipifera*, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.29). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este

exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 10%, com uma resistência menor a ventos na direção este-oeste.

### 3.3.2.3 Género *Platanus* (*Platanaceae*)

O nome latino, *platanus*, referia-se à espécie silvestre europeia (*Platanus orientalis* L.), e deriva do nome grego, plátanos; este por sua vez pensa-se que procede de *platys*: largo, espaçoso, devido à copa ampla e folhas largas desta árvore. O plátano é uma árvore caducifólia muito robusta, que pode alcançar 35 m de altura e tem uma copa muito ampla, oval ou arredondada, com uma ramificação aberta e ramos grossos e pesados. O tronco é grosso e direito, com uma casca de cor castanha que se desprende em placas irregulares. As folhas dispõem-se de forma alternada, palmeadas, de lâmina fendida quase até à metade em 3-5 lóbulos ovado-triangulares. As flores são muito pequenas e pouco vistosas. Os frutos são globosos e secos, com apenas uma semente. O fruto desprende-se da árvore após maturação de um ano e não se abrem para libertar a semente. A floração ocorre em Abril ou Maio e os frutos amadurecem no final do verão ou no outono (López, 2007).

É frequentemente cultivada em parques como árvore de sombra. Ocorre de forma natural no mediterrâneo oriental. A madeira do plátano é dura, parecida com a da faia mas mais resistente, de cor avermelhada. Como ornamental e árvore de sombra é muito apreciada: é de crescimento rápido, transplanta-se com facilidade e resiste a podas agressivas. É uma árvore estimada desde tempos antigos: crê-se que debaixo da sua copa, nos arredores de Atenas, Sócrates filosofava sobre a imortalidade da alma e que num exemplar majestoso na ilha de Cós reunia-se Hipócrates com os seus discípulos. Um dos inconvenientes do plátano é o pó fino que se desprende das folhas, muito irritante para as vias respiratórias (López, 2007).

Foi realizada a tomografia de três exemplares da espécie *Platanus hybrida* Brot. (Figura 3.30), cujos resultados se apresentam a seguir.



Figura 3.30. Três exemplares de *Platanus hybrida* Brot. localizados no Terraço Júlio Henriques no Jardim Botânico da Universidade de Coimbra. (a) Exemplar da tomografia da Figura 3.31; (b) Exemplar da tomografia da Figura 3.32; (c) Exemplar da tomografia da Figura 3.33. Detalhe do tronco principal e de um ramo.

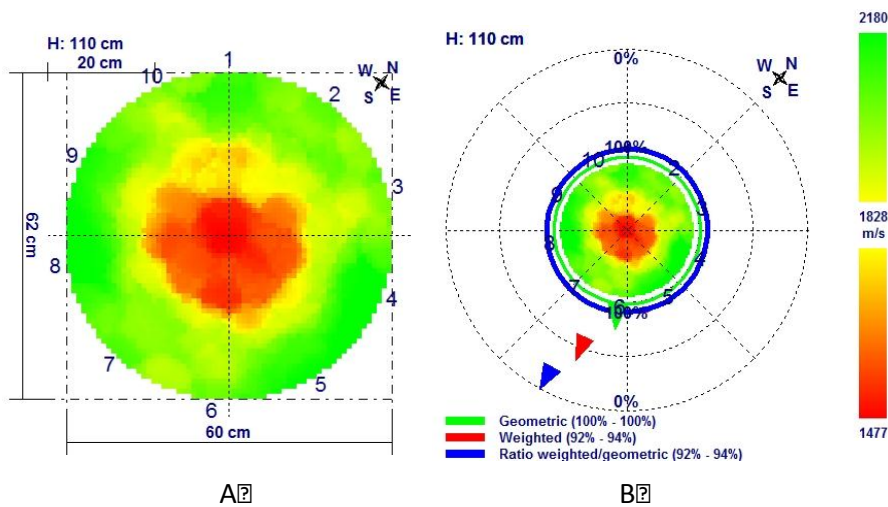


Figura 3.31. Tomografia da espécie *Platanus hybrida* Brot. do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar A5 da Figura 3.23). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O primeiro exemplar de *P. hybrida* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.31). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 8%, com uma resistência menor a ventos na direção norte-sul.

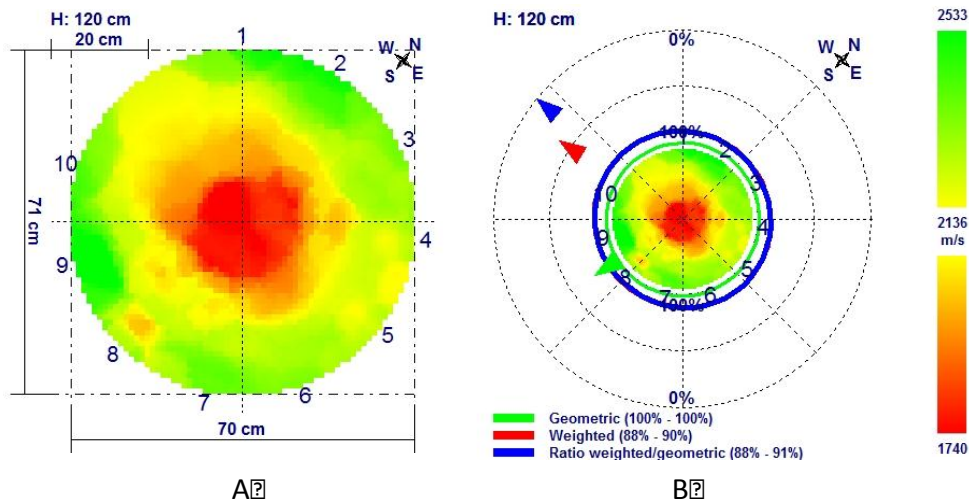


Figura 3.32. Tomografia da espécie *Platanus hybrida* Brot. do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar A6 da Figura 3.23). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O segundo exemplar de *P. hybrida* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.32). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 12%, com uma resistência menor a ventos na direção este-oeste.

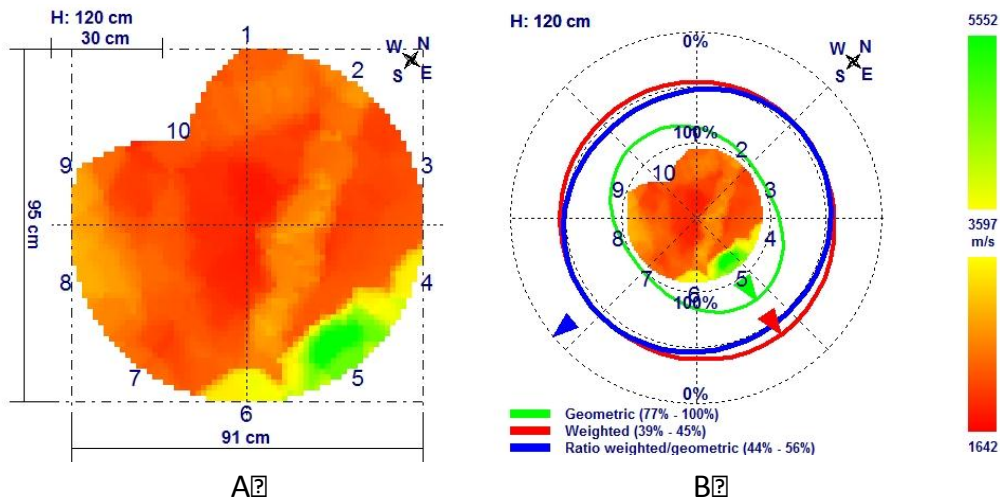


Figura 3.33. Tomografia da espécie *Platanus hybrida* Brot. do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar A6 da Figura 3.23). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O terceiro exemplar de *P. hybrida* estudado, não apresenta uma secção transversal circular (Figura 3.33). Tendo em conta a forma geométrica, apresenta uma redução da

resistência à flexão de 33%, na direção oeste-este. Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 56%, com uma resistência menor a ventos na direção norte-sul.

#### **3.3.2.4 Género *Populus* (*Salicaceae*)**

O nome *Populus* é o nome latino clássico dos choupos e da sua madeira (López, 2007). É uma árvore robusta, podendo alcançar 20 a 30 m de altura, com copa ampla, ovoide a cónica, ou muito estreita. O tronco é grosso, com casca acinzentada e requiebrada. As folhas nascem na primavera, depois da floração, e apresentam um pecíolo grande e achatado. A lâmina não apresenta qualquer tipo de pelos, com uma cor verde-intensa, em forma ovoide ou quase deltoide. As flores são unissexuais, agrupadas em amentos caídos, estando os machos e fêmeas separados em árvores diferentes. A floração ocorre por volta de Fevereiro ou Março e dissemina as sementes em Abril ou Maio (López, 2007).

Ocorre nas margens das ribeiras e rios, entre o nível do mar e até 1500 a 1800m de altitude, estando associada com frequência aos ulmeiros, salgueiros e freixos. Também ocorre em solos profundos, com acesso fácil ao nível freático, sobretudo em terrenos arenados e em lugares com muita luz, uma vez que não tolera a sombra. A sua distribuição ocorre em grande parte da Europa, Ásia e norte de África. Os choupos crescem muito rapidamente e é utilizada como planta medicinal. As gemas e a casca é utilizada como diurético, antisséptico urinário, etc. A madeira é ligeira, suave, branca a rosada, de textura fina e uniforme (López, 2007).

Foi realizada a tomografia de um exemplar da espécie *Populus nigra* (Figura 3.34), cujos resultados se apresentam a seguir.





Figura 3.34. Exemplar de *Populus nigra* L. localizado no Terraço Júlio Henriques no Jardim Botânico da Universidade de Coimbra.

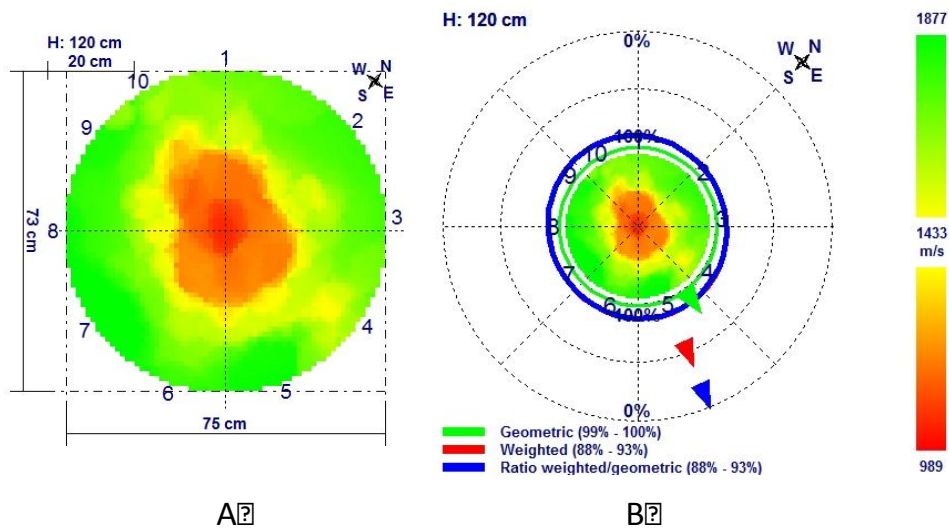


Figura 3.35 Tomografia da espécie *Populus nigra* L. do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar A7 da Figura 3.23). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *P. nigra* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100%

(Figura 3.35). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 22%, com uma resistência menor a ventos na direção oeste-este.

### 3.3.2.5 Género *Robinia* (*Leguminosae*)

O nome *Robinia* é dedicado a Jean Robin (1550-1629), professor e diretor do Jardim des Plantes de Paris, que publicou em 1601 um catálogo das plantas cultivadas no referido jardim (López, 2007). Segundo Lineu, teria sido o primeiro a estudar a falsa-acácia, apesar de outros autores atribuírem a sua introdução na Europa ao seu filho, Vespasien Robin (1579-1662). Por esse motivo foi chamada de *Acacia Robini* (acácia de Robin) que Lineu, por transmutação, passou a *Robinia*. É uma árvore caducifólia robusta, de copa ampla, podendo atingir os 25 m de altura. O tronco apresenta uma casca de cor escura, profundamente gretada ou requebrada. Os ramos são fortes, algo tortuosos. As folhas com 32cm, alternas, pecioladas e compostas. As flores apresentam um odor forte, de cor branca e dispostas em ramos pendentes. A vagem de 5-12 x 1-1,5cm apresenta-se fortemente comprimida, com uma sutura dorsal, de cor escura, com 3 a 18 sementes de cor escura. A floração ocorre de abril a julho (López, 2007).

É cultivada em parques, ruas, ou para fixar os taludes das estradas, empregando-se também em repovoamentos florestais. Multiplica-se com facilidade por cepa, ou a partir das sementes. Ocorre de forma natural no centro e este dos Estados Unidos. A falsa-acácia foi trazida para a Europa no ano de 1601 para o Real Jardim de Paris. É uma árvore agradável, tanto pelo seu porte como pelas suas folhas e flores, cresce rapidamente e não é muito exigente. As flores, de cheiro e sabor agradável (apresentam néctar), em alguns lugares é adicionada à sopa. No entanto, não se devem comer porque é uma planta bastante tóxica. A casca é utilizada em homeopatia contra o excesso de acidez. Com as flores preparava-se antigamente uma água destilada à qual se atribuía propriedades anti-histéricas. A madeira, ao ser cortada, adquire uma cor escura-dourada, é pesada, dura, de grão apertado e duradoira ao contacto com o solo, pelo que se utiliza para fabricar postes. Quando seca, tende a torcer-se e racha com facilidade, mas apesar disso era utilizada na construção de edifícios e barcos. Considera-se também uma boa planta melífera. Das sementes pode obter-se um óleo que era muito utilizado pelos nativos Norte-americanos (López, 2007).

Foi realizada a tomografia de um exemplar da espécie *Robinia pseudoacacia* (Figura 3.36), cujos resultados se apresentam a seguir.



Figura 3.36. (a) Exemplar de *Robinia pseudoacacia* L. localizado no Terraço Júlio Henriques no Jardim Botânico da Universidade de Coimbra; (b) Detalhe de um ramo; (c) Presença de fungos no tronco principal.

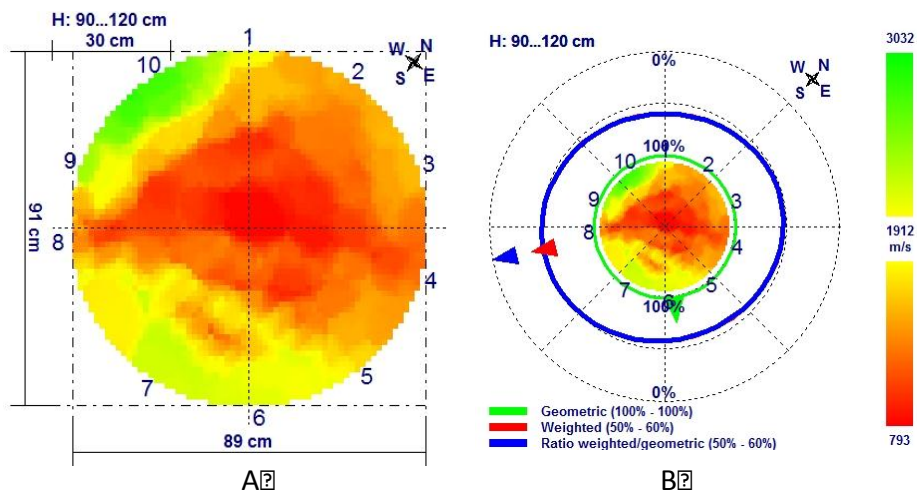


Figura 3.37. Tomografia da espécie *Robinia pseudoacacia* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar A8 da Figura 3.23). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *R. pseudoacacia* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.37). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de 50%, com uma resistência menor a ventos na direção nordeste-sudoeste.

### 3.3.2.6. Género *Tilia* (*Tiliaceae*)

*Tilia* era o nome latino clássico da tília, cuja origem é desconhecido (López, 2007). A tília é uma árvore robusta que pode medir até 30 m de altura, de tronco direito e acinzentado, lisa e quebrada longitudinalmente nos exemplares mais velhos. A copa é ampla, com folhagem apertada e, por causa da orientação quase horizontal das folhas projeta uma sombra muito densa. As folhas são grandes, em forma de coração e ligeiramente assimétricas na base, com a margem finamente serrada e com as nervuras muito marcadas, especialmente na página inferior; dispõem-se alternadamente e apresentam pecíolos grandes; têm uma cor verde intensa na página superior e um verde mais pálido na página inferior. As flores são abundantes, de cor branca ou amareladas, com um odor forte. O fruto é seco, ovoide e muito peludo: contem 1-3 sementes. O mais característico das tílias é a localização das flores, que nascem em pequenos ramos sobre um pedúnculo grande que nasce do nervo médio de uma bráctea coriácea, e de cor verde-claro, que por sua vez têm origem na axila das folhas. A floração ocorre a partir de Junho e os frutos amadurecem no final do verão e durante o outono (López, 2007).

Ocorre em bosques frescos e sombrios e pode encontrar-se a 1700 m de altitude. É cultivada como planta ornamental. Está distribuído em grande parte da Europa, sobretudo no centro e sul, e no oeste da Ásia. A tília é muito apreciada em jardinagem, como árvore de sombra ou ornamental; destaca-se pela folhagem e odor agradável das flores. São conhecidas as suas propriedades sedantes e antiespasmódicas. Também é diurética, devido ao seu conteúdo em flavonoides. Da seiva pode obter-se açúcar. A madeira é macia, leve, com uma cor castanho clara, excelente para a talha, sendo utilizada por escultores (López, 2007).

Foi realizada a tomografia de um exemplar da espécie *Tilia x vulgaris* (Figura 3.38), cujos resultados se apresentam a seguir.



Figura 3.38 (a) Exemplar de *Tilia x vulgaris* Hayne localizado na Alameda das Tílias; (b) Por-menor do tronco principal.

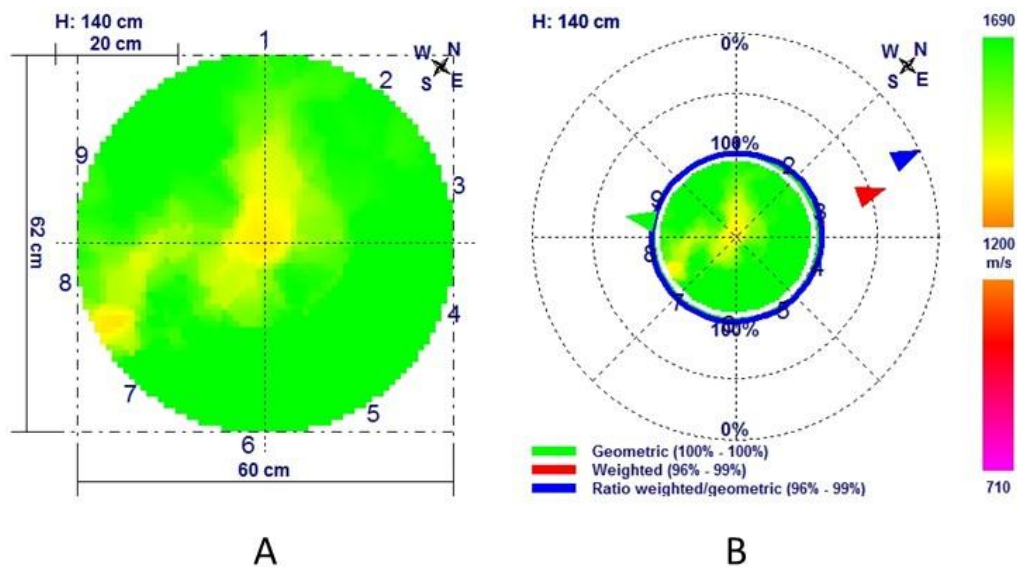


Figura 3.39. Tomografia da espécie *Tilia x vulgaris* do Jardim Botânico da Universidade de Co-imbra (exemplar A10 da Figura 3.23). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *T. vulgaris* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.39). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão de apenas 4%, com uma resistência menor a ventos na direção sul-norte.

### 3.3.2.7. Género *Washingtonia* (*Palmae*)

O nome do género está dedicado a George Washington (1732-1799), general e comandante do exército na Revolução Norte-americana e primeiro presidente dos Estados Unidos (López, 2007). É uma palmeira robusta, com um tronco até 15(25)m de altura e 1m de diâmetro, de cor acinzentada. As folhas são grandes, apresentando um pecíolo com 1-2m, a margem com dentes espinhosos, e uma lâmina com 1-2m de largo. As inflorescências nascem entre as folhas e são muito grandes (até 5m), pendentes, com flores esbranquiçadas. Os frutos são ovoides, com 5-10mm. Procede do sudoeste dos Estados Unidos e noroeste do México (López, 2007).

Foi realizada a tomografia de um exemplar da espécie *Washingtonia filifera* (Figura 3.40), cujos resultados se apresentam a seguir.



Figura 3.40. Exemplar de *Washingtonia filifera* (Linden ex André) H. Wendl. localizado nas Jardinetas no topo da Alameda das Tílias.

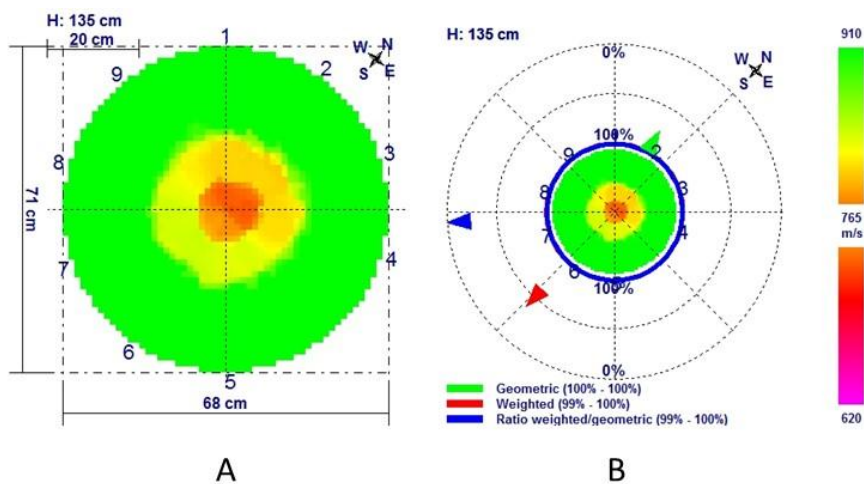


Figura 3.41. Tomografia da espécie *Washingtonia filifera* do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (exemplar A11 na Figura 3.23). A. Gráfico da tomografia; B. Gráfico mecânico.

O exemplar de *W. filifera* estudado, apresenta um tronco circular, e por isso, a sua resistência à flexão, não tendo em conta o estado de conservação da madeira, é de 100% (Figura 3.41). Tendo em conta a qualidade da madeira e a forma geométrica, este exemplar apresenta uma perda de resistência à flexão extremamente baixa (1%).

## 4. DISCUSSÃO

---

De acordo com os resultados obtidos com o ARBOTOM, de uma maneira geral, o tronco dos 25 exemplares arbóreos estudados no Jardim Botânico da Universidade de Coimbra apresentaram um bom estado de conservação da madeira.

Dos 14 exemplares de Gimnospérmicas estudados, 3 apresentaram uma perda de resistência à flexão residual, e nos outros 11 exemplares a perda de resistência não ultrapassou os 24% (entre 10 e 24%), abaixo do limite em que se considera haver fragilidade estrutural (>50%). Na listagem de durabilidade natural da madeira de Scheffer e Morrel (1998), o género *Araucaria* é considerado como pouco resistente, o *Cedrus deodara* como moderadamente resistente, *Cryptomeria japonica* de muito a pouco resistente e *Sequoia sempervirens* como resistente.

Dos 11 exemplares de Angiospérmicas estudados, apenas 3 exemplares apresentaram um valor residual de perda de resistência à flexão (<8%), 6 exemplares com perda de resistência entre 10 e 22% e 2 exemplares com perda de 56% (*Platanus hibrida*) e 50% (*Robinia pseudoacacia*), apresentando por isso alguma fragilidade estrutural. Na listagem de durabilidade natural da madeira de Scheffer e Morrel (1998), o *Eucalyptus citriodora*, *E. cornuta* e *E. obliqua* são considerados como tendo uma madeira resistente, o *Liriodendron tulipifera*, *Populus nigra* e *Tilia* spp. são muito pouco resistentes, e a *Robinia pseudoacacia* é muito resistente.

Tendo em conta os exemplares que apresentaram redução de resistência à flexão (20), 6 apresentaram uma maior fragilidade a ventos com direcção norte-sul, entre as quais o *Platanus hibrida* com perda de 56% de resistência à flexão, 3 a ventos com a direcção sul-norte, 3 a ventos com a direcção este-oeste, 3 a ventos com a direcção oeste-este, 3 a ventos com a direcção nordeste-sudoeste, entre as quais a *Robinia pseudoacacia* com perda de 50% de resistência à flexão, e 2 a ventos com a direcção sudeste-noroeste. Num estudo efetuado entre 1975 e 1986 sobre os ventos dominantes em Coimbra, com base em dados recolhidos no Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra, verificou-se que a direcção predominante do vento ocorre em dois quadrantes principais e opostos, NW e SE, com 47% e 35% dos registos, respetivamente (Lourenço, 1987). No fim do Outono e no Inverno a circulação dominante é no quadrante SE, isto é, de terra, enquanto na Primavera e no Verão, predomina o quadrante NW, ou seja do mar (Lourenço, 1987). Tendo em



conta os ventos dominantes em Coimbra, em conjugação com a resistência à flexão, a *Robinia pseudoacacia* poderá ser o exemplar que poderá representar maior fragilidade, especialmente durante os ventos de Primavera e Verão, com orientação NW, apesar da orientação mais frágil da árvore ser de um quadrante ligeiramente diferente (NE). No entanto, tem de se ter em conta que as árvores dentro de cidades estão sujeitas a diferentes padrões de vento em comparação com árvores de florestas, devido à presença de edifícios (Matheny & Clark, 2009). As árvores das cidades estão sujeitas a mais turbulência do que as de florestas mais ou menos uniformes.

Quando as árvores estão sujeitas a ventos fortes, as células da parte do tronco que está exposto ao vento são esticadas, enquanto as células que estão abrigadas do vento são comprimidas (Rinn 2011b). O peso da copa também tem de ser tido em conta, resultando numa carga de compressão maior para copas mais pesadas (Alméras & Fournier 2009; Skatter & Kucera, 2000). Para descrever a capacidade de uma árvore aguentar estas forças de flexão, utiliza-se aquilo que o “momento de resistência” ( $W$ ). Caracteriza a estabilidade mecânica de uma secção transversal que depende do seu tamanho e forma geométrica. O momento de resistência de uma secção circular com diâmetro  $D$  é sumariada pela fórmula:

$$W = \pi \times \frac{D^3}{32}$$

Se o diâmetro aumenta para o dobro, o momento de resistência aumenta 8x. Se o diâmetro do tronco cresce 1%, o momento de resistência aumenta em cerca de 3% (Rinn 2011b). Um anel de crescimento anual de 5mm numa árvore com uma secção transversal com 500mm de diâmetro aumenta a estabilização do tronco da árvore em cerca de 6%. Desta forma, uma árvore saudável adquire estabilidade pelo crescimento anual dos anéis, independentemente se há alterações na copa, carga de ventos ou degradação interna (Rinn 2011b).

As árvores que crescem entre edifícios localizados no lado norte e sul, em que o vento está limitado de oeste ou este, desenvolvem secções transversais ovais, com um diâmetro E-W maior do que o diâmetro N-S.

No caso simples de um tronco com uma secção transversal circular, com uma cavidade no centro, o diâmetro interno desta cavidade é agora incluído no cálculo do momento de resistência:

$$W = \pi \times \frac{D^4 - d^4}{32 \times D}$$

Por exemplo, o diâmetro de um tronco com  $D = 1$  m com uma cavidade central com um diâmetro de  $d = 0,5$  m, apresenta 50% de perda do raio, e corresponde a uma perda de 25% da superfície da secção transversal, mas apenas a uma perda de 6% do momento de resistência (Rinn 2011b). Quando cerca de 70% do raio está perdido, a secção transversal perdeu cerca de 50% da área mas apenas 25% do momento de resistência. Consequentemente, a perda de resistência é significativamente menor do que o expectável quando se observam deteriorações externas ou internas (Rinn 2011b).

Quando a deterioração do tronco ocorre numa das extremidades (e não no centro como exemplificado anteriormente), o momento de resistência no sentido oposto ao da deterioração diminui num grau maior porque a força de tensão na madeira é maior do que a força de compressão. Portanto, a perda de resistência de uma secção transversal de um tronco depende não só da extensão da degradação, mas acima de tudo da sua localização (Rinn 2011b).

O ARBOTOM pode auxiliar na avaliação de risco de queda de uma árvore, mas a decisão de eventual corte de uma árvore não deve ser apenas baseada nos resultados obtidos a partir da tomografia. Têm de se fazer observações e testes adicionais para poder avaliar o risco e estabelecer critérios para a conservação ou corte de uma árvore. De qualquer maneira, o ARBOTOM deu indicações que, das árvores do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra em que se efetuou a tomografia, existem duas que requerem uma avaliação mais completa, um *Platanus hybridus* e uma *Robinia pseudoacacia*, ambas presentes no Terraço Júlio Henriques.

## **5. REFERÊNCIAS**

---

- Alméras T & Fournier M (2009) Biomechanical design and long-term stability of trees: Morphological and wood traits involved in the balance between weight increase and the gravitropic reaction. *J. Theoretical Biology* 256: 370-381.
- Blanchette RA, Obst JR & Timell TE (1994) Biodegradation of Compression Wood and Tension Wood by White and Brown Rot Fungi. *Holzforschung* 48: 34-42.
- Carvalho A (1996) Madeiras Portuguesas. Estrutura Anatómica, Propriedades, Utilizações. Volumes I e II. Direção Geral de Florestas.
- Dickison WC (2000) *Integrative Plant Anatomy*. Harcourt Academic Press, San Diego.
- Esau K (1965) *Plant Anatomy*, 2ª edição, John Wiley & Sons, New York.
- Fonseca FT (2005) Jardim Botânico de Coimbra – Um Museu Vivo. *Rua Larga*, 8: 2-3.
- Henriques JA (1876) *O Jardim Botânico da Universidade de Coimbra*. Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Hoadley, RB (2000) *Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology*. The Taunton Press, Inc.
- Judd WS, Campbell CS, Kellogg EA, Stevens PF & Donoghue MJ (2002) *Plant Systematics: A Phylogenetic Approach*, 2nd Edition. Sinauer Assoc., Sunderland, MA.
- Leistner, OA (1966) Podocarpaceae. In LE Codd, B winter & HB Rycrodt (eds), *Flora of Southern Africa, Volume I*. Republic of South Africa Department on Agricultural Technical Services

- López G (2007) *Guía de los árboles y arbustos de la Península Ibérica y Baleares*. 3ª ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Lourenço L (1987) Ventos em Coimbra – Nota preliminar. Análise dos valores registados no Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (1975-86). *Cadernos de Geografia*, Coimbra, 6: 181-199.
- Matheny N & Clark J (2009) Tree Risk Assessment: What We Know (and What We Don't Know). *Arborist News*: 28-33.
- Nicolotti G, Socco LV, Martinis R, Godio A & Sambuelli L (2003) Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees. *J. Arboriculture* 29: 66-78.
- Paiva J (2005) Dendrodiversidade relevante – As árvores do Jardim Botânico. *Rua Larga*, 8: 4-7.
- Pearce RB (2000) Decay development and its restriction in trees. *J. Arboriculture* 26(1) 1-11.
- Rinn F (2011) ARBOTOM 3-D Tree Impulse Tomograph – User Manual. RINNTECH.
- Rinn F (2011b) Basic Aspects of Mechanical Stability of Tree Cross-Sections. *Arborist News*. 52-54.
- Ross RJ, DeGroot RC, Nelson WJ & Lebow PK (1997) The relationship between stress wave transmission characteristics and the compressive strength of biologically degraded wood. *Forest Products Journal* 47: 89-93.
- Scheffer TC & Cowling EB (1966) Natural resistance of wood to microbial deterioration. *Ann. Rev. Phytopatol.* 4: 147-170.

Scheffer TC & Morrell JJ (1998) Natural Durability of Wood: A Worldwide Checklist of Species. Forest Research Laboratory, Oregon State University. Research Contribution 22.

Schweingruber F (1990) Microscopic Wood Anatomy. Third ed. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Versão on-line disponível [<http://www.woodanatomy.ch>]

Shortle WC & Dudzik KR (2012) Wood Decay in Living and Dead Trees: A Pictorial Overview. United States Department of Agriculture (USDA), General Technical Report NRS-97.

Shortle WC, Dudzik KR & Smith KT (2010) Development of wood decay in wound-initiated discolored wood of eastern red cedar. *Holzforschung* 64: 529-536.

Skater S & Kucera B (2000) Tree breakage from torsional wind loading due to crown asymmetry. *Forest Ecology and Management* 135: 97-103.

Winandy JE & Morrell JJ (1993) Relationship between incipient decay, strength, and chemical composition of douglas-fir heartwood. *Wood and Fiber Science* 25: 278-288.