

RELATÓRIO TÉCNICO

Avaliação fitossanitária e biomecânica de arvoredo urbano da Rua Lourenço de Almeida Azevedo, Coimbra

Elaborado por:

Cristina Nabais

Professora Associada c/ Agregação

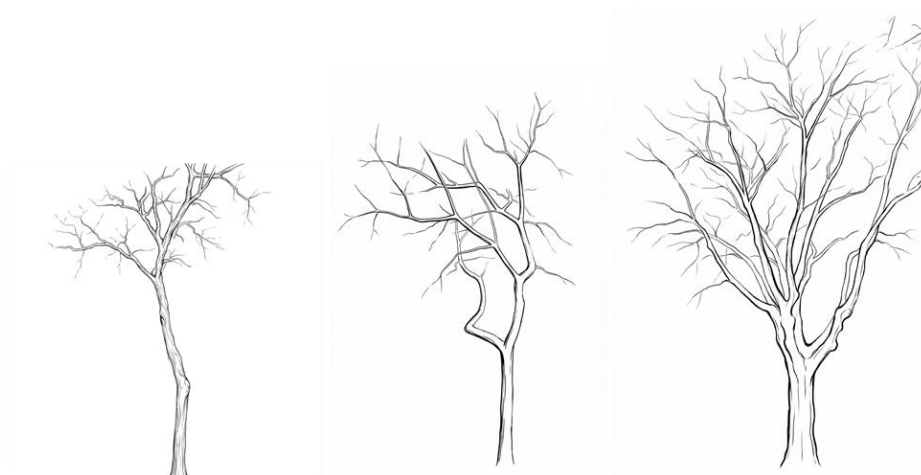
Centro de Ecologia Funcional

Departamento de Ciências da Vida

Universidade de Coimbra

Solicitado por:

Câmara Municipal de Coimbra



Coimbra, janeiro de 2026



Índice

Sumário executivo.....	3
Introdução e Enquadramento do trabalho	4
Metodologia da Avaliação Arborícola	5
A Importância das Árvores Adultas no Espaço Urbano.....	10
Avaliação Arborícola das Árvores Existentes e Análise de Compatibilidade	12
Conclusões	15
Anexo A	18
Ficha Individual Jacarandá #5.....	19
Ficha Individual Jacarandá #37.....	24
Ficha Individual Jacarandá #39.....	29
Ficha Individual Jacarandá #41.....	35
Ficha Individual Jacarandá #44.....	41
Ficha Individual Jacarandá #49.....	46
Ficha Individual Jacarandá #52.....	51
Ficha Individual Jacarandá #55.....	56
Ficha Individual Tipuana #2.....	61
Ficha Individual Tipuana #3.....	67
Ficha Individual Tipuana #21.....	72
Ficha Individual Sofora #16	77
Anexo B	82
Referências.....	83

Sumário executivo

A Câmara Municipal de Coimbra solicitou a avaliação fitossanitária e biomecânica de 12 árvores localizadas na Rua Lourenço de Almeida Azevedo (8 Jacarandás, 3 Tipuanas e 1 Sófora), atualmente em contexto de obra para implementação do MetroBus. A avaliação incluiu medições dendrométricas (DAP, diâmetro da base, altura total e altura da copa), análise visual (VTA - Visual Tree Assessment) e análise interna da madeira com Resistógrafo, seguindo metodologia normalizada e parâmetros consistentes entre exemplares.

Os índices de esbeltez, conicidade e a altura da copa foram usados para caracterizar a estabilidade mecânica e a arquitetura de cada árvore. A análise VTA permitiu identificar defeitos estruturais (fissuras, ocos, ramos mortos, problemas de união, sintomas de podridão, inclinações) e o estado geral de vitalidade. O Resistógrafo possibilitou avaliar a integridade interna da madeira e estimar a razão t/R , importante para aferir o risco de rutura em troncos com cavidades ou podridões internas.

As árvores avaliadas são maduras e desempenham um papel crucial no contexto urbano como melhoria da qualidade do ar, mitigação do efeito de ilha de calor, regulação hídrica, suporte à biodiversidade, qualificação estética do arruamento, bem-estar psicológico da população e valorização económica da envolvente. A perda destes exemplares gera um défice de serviços ecossistémicos que não é compensável a curto ou médio prazo por novas plantações.

A análise das fichas individuais (resumidas na Tabela 1) indica que todas as árvores apresentam fragilidades que, em ausência de obra, seriam em grande parte mitigáveis com arboricultura especializada. Todavia, as Jacarandás #44 e #49, as Tipuanas #2 e #21 e a Sófora #16 revelam maior vulnerabilidade estrutural, pelo que, mesmo com intervenção, a sua manutenção teria horizonte de curto/médio prazo e exigiria monitorização intensiva.

A maioria dos exemplares desenvolveu-se em caldeiras pequenas, com raízes em conflito com pavimentos e faixa de rodagem, revelando um sistema radicular há muito condicionado. As obras do MetroBus implicam escavações, compactação de solos e instalação de infraestruturas numa zona que coincide, em grande medida, com a Zona Crítica das Raízes (ZCR), estimada em $5 \times \text{DAP}$ (entre 1,4 m e 4,5 m para os exemplares avaliados). O traçado original do MetroBus é, na prática, incompatível com a preservação segura das árvores, especialmente as que estão localizadas no lado direito (Jardim da Sereia), implicando o seu abate.

Foram analisadas soluções alternativas (Soluções 2 e 3 da Infraestruturas de Portugal), que preveem o deslocamento (ripagem) do canal do MetroBus 0,30 m e 0,70 m em direção às habitações, permitindo reduzir o número de árvores a abater. Estudos prévios com Air Spade indicam que, a 30 cm para o interior da via, não foram detetadas raízes estruturais significativas em alguns dos exemplares avaliados, sugerindo que deslocamentos de 30-70 cm podem mitigar parcialmente o impacto sobre o sistema radicular. No entanto, em árvores confinadas há décadas, a ZCR real tende a estar já reduzida e/ou assimétrica, o que aumenta a vulnerabilidade a novos cortes de raízes e à compactação.

A manutenção de árvores sob as Soluções 2 ou 3 só será viável se forem aplicadas medidas rigorosas de “Cuidados Intensivos”: poda de redução de copa (20–25%) para compensar perda

de ancoragem, corte limpo de raízes expostas, inoculação de micorrizas e aplicação de bioestimulantes, plano de rega dedicado, uso de solo estrutural nas zonas intervencionadas e monitorização contínua.

Caso se opte pelo traçado original, com remoção dos exemplares em conflito com o corredor do MetroBus, será imprescindível um plano exigente de compensação arbórea, com desenho de caldeiras e volumes de solo adequados, evitando repetir padrões de confinamento radicular e risco estrutural.

A análise de compatibilidade com o projeto do MetroBus revela um cenário complexo. A solução original de traçado implica uma incompatibilidade física direta, sobretudo para as árvores situadas no lado do Jardim da Sereia. As soluções alternativas de "ripagem" do canal (deslocamento de 30 cm ou 70 cm), permitiriam teoricamente a preservação de um maior número de exemplares. Contudo, mesmo nestes cenários, o risco de danos radiculares durante a obra permanece elevado, exigindo protocolos de proteção rigorosos.

Conclui-se que a preservação dos exemplares exige um compromisso técnico e financeiro significativo para mitigar os impactos da obra. Caso se opte pela remoção devido à incompatibilidade com o projeto, é imperativo um plano de compensação robusto que garanta condições adequadas para as novas plantações.

1. Introdução e Enquadramento do trabalho

Foi solicitado pela Câmara Municipal de Coimbra a avaliação fitossanitária e biomecânica de 12 exemplares arbóreos da Rua Lourenço de Almeida Azevedo, sendo oito exemplares da espécie *Jacaranda minosifolia* D. Don (Jacarandá), 3 exemplares da espécie *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze (Tipuana) e 1 exemplar de *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott (Sofora), com a localização dos exemplares na Figura 1.



Figura 1. Localização dos 12 exemplares arbóreos da Rua Lourenço de Almeida Azevedo, Coimbra, para avaliação fitossanitária e biomecânica: 8 exemplares de Jacarandá (#5, 37, 39, 41, 44, 49, 52, 55); 3 exemplares de Tipuana (#2, 3, 21); 1 exemplar de Sofora (#16). Mapeamento e numeração dos exemplares fornecido pela Câmara Municipal de Coimbra.

A Rua Lourenço de Almeida Azevedo tem uma orientação de sudoeste (SW) para nordeste (NE), no sentido ascendente. Neste momento, a rua encontra-se em obras destinadas à implementação do *MetroBus*.

Para cada exemplar foram registados: 1. Dados dendrométricos (diâmetro à altura do peito, diâmetro da base, altura total e altura da copa); 2. Análise visual, documentada com fotografias, que passou pela avaliação da vitalidade e defeitos estruturais; 3. Análise com Resistógrafo, que permite avaliar a integridade da madeira.

Os dados dendrométricos e a avaliação visual dos 12 exemplares foram efetuadas no dia 22 de dezembro de 2025. O Resistógrafo foi efetuado no dia 29 de dezembro de 2025, porque foi necessário ter um dia de sol.

2 Metodologia da Avaliação Arborícola

2.1 Dados dendrométricos

Para os dados dendrométricos foi utilizada uma fita métrica (medição do perímetro à altura do peito e da base do tronco). Para a altura da árvore e da copa foi utilizado um hipsómetro (Vertex 5, Haglöf, Suécia). Estes parâmetros permitem calcular o índice de esbeltez, conicidade e altura da copa.

2.1.1 Índice de Esbeltez

O Índice de Esbeltez (*Slenderness Ratio*) de uma árvore é uma medida simples que descreve a relação entre a sua altura total e a espessura do seu tronco. É um indicador importante da sua estabilidade mecânica e da forma como a árvore pode reagir a forças externas, como o vento. É calculado dividindo a altura da árvore pelo diâmetro à altura do peito (DAP). Um índice elevado (por exemplo, 60:1 ou mais) significa que a árvore é muito alta em proporção à espessura do seu tronco. Árvores esguias são mais propensas a balançar excessivamente com o vento, a dobrar, a partir ou a desenraizar-se, especialmente se não tiverem proteção de árvores vizinhas ou se as suas raízes estiverem comprometidas. Este tipo de arquitetura é comum em árvores que tiveram de competir por luz, por exemplo. Um índice baixo (por exemplo, 30:1 ou menos) indica que a árvore tem um tronco proporcionalmente mais grosso em relação à sua altura. Árvores robustas são geralmente mais estáveis e mais resistentes a forças de vento, típicas de árvores que crescem em espaços abertos.

Apesar de não existir um valor único e universalmente "ótimo", pois o que é ideal varia com a espécie, a idade da árvore, as condições de crescimento e o ambiente. No entanto, existem diretrizes gerais:

- Muito Robusta (Muito Estável): < 30:1

Características: Árvores muito grossas em relação à altura. Extremamente estáveis ao vento. Típicas de crescimento em campo aberto ou árvores muito maduras com bom desenvolvimento do tronco.

- Robusta a Moderadamente Esguia (Boa Estabilidade): 30:1 a 50:1

Características: É uma faixa considerada boa para a maioria das árvores em ambientes urbanos, indicando um bom equilíbrio entre altura e espessura do tronco. Ainda são bastante resistentes ao vento.

- Esguia (Atenção / Limiar de Risco): 50:1 a 70:1

Características: Árvores que começam a ser consideradas esguias. A sua estabilidade pode ser comprometida em ventos fortes, especialmente se houver outros fatores de risco (raízes comprometidas, apodrecimento). Requerem monitorização.

- Muito Esguia (Alto Risco): > 70:1

Características: Árvores muito altas e finas. Têm um risco significativamente elevado de falha do tronco (dobrar ou partir) ou desenraizamento em condições de vento. É um rácio comum em árvores florestais jovens ou em árvores que foram expostas subitamente (ex: após o corte de árvores vizinhas).

2.1.2 Índice de Conicidade

O Índice de Conicidade (*Taper Ratio*) de uma árvore é uma medida que descreve como o diâmetro do tronco diminui à medida que se sobe da base para cima. Uma árvore com boa conicidade é mais larga na base e afina progressivamente em direção à copa. O Índice de Conicidade é geralmente expresso como a diferença percentual entre o diâmetro da base (imediatamente acima da gola radicular) e o diâmetro à altura do peito (DAP). Este índice dá indicações sobre:

- Estabilidade Mecânica: A conicidade é um indicador crucial da estabilidade mecânica da árvore. Um tronco com boa conicidade funciona como um cone ou um pilar bem fundado, distribuindo eficientemente as forças (como o vento) para o sistema radicular e resistindo melhor à flexão e à quebra.
- Força da Ancoragem: Uma boa conicidade está diretamente ligada a um desenvolvimento saudável da gola radicular (*root flare*), que são os contrafortes de madeira que se formam na base do tronco para ancorar a árvore ao solo.
- Crescimento em Ambiente Aberto: Árvores que crescem em espaços abertos, expostas a ventos desde jovens, tendem a desenvolver uma conicidade mais pronunciada como resposta adaptativa para se tornarem mais estáveis.

As causas principais associadas a um índice baixo de conicidade são:

- Crescimento Suprimido: Árvores que crescem em florestas densas, ou em condições de sombra intensa, podem desenvolver pouca conicidade (tornando-se mais parecidas com "postes de telefone").
- Gola Radicular Enterrada: A elevação do nível do solo, plantação demasiado profunda ou a presença de pavimentos/detritos em redor da base da árvore impede o desenvolvimento natural da gola radicular.
- Restrição de Raízes: Raízes estranguladas em canteiros pequenos ou por infraestruturas subterrâneas.
- Danos/Doenças na Base: Apodrecimento ou danos na base podem impedir o desenvolvimento da conicidade.

Tal como o Índice de Esbeltez, não existe um valor "ótimo" único e universal, pois varia com a espécie e as condições. No entanto, existem diretrizes gerais:

- Conicidade Muito Fraca / Problema Grave: < 20%

Características: A base é apenas marginalmente mais larga que o DAP. A árvore assemelha-se a um "poste de telefone" que entra diretamente no solo. Indica a ausência de gola radicular ou que está enterrada/restrita.

Implicação: A árvore é mecanicamente muito fraca na base e altamente suscetível ao desenraizamento, especialmente em ventos fortes. É um fator de alto risco.

- Conicidade Moderada / Mínima Aceitável: 20% a 30%

Características: Há alguma diferença entre a base e o DAP, mas não é tão robusta quanto o ideal. Pode ser aceitável para algumas espécies ou árvores jovens, mas requer monitorização, especialmente se existirem outros fatores de stress.

- Boa Conicidade / Saudável: > 30% a 50%

Características: A base é visivelmente mais larga que o DAP. Indica um bom desenvolvimento da gola radicular e uma base mecânica sólida.

- Excelente Conicidade / Muito Robusta: > 50%

Características: A base alarga-se de forma muito pronunciada, formando uma base piramidal forte. Típico de árvores velhas em campo aberto, com grande estabilidade.

2.1.3 Altura da copa

A altura da copa é a distância vertical desde o início da copa (primeiro ramo vivo significativo) até ao topo da árvore. É crucial para calcular o Rácio de Copa Viva e para determinar o espaço livre necessário por baixo da copa (ex: para veículos, peões). Pode também ser um indicador da capacidade fotossintética da árvore. Uma copa saudável é aquela que é cheia, densa, sem grandes espaços vazios ou ramos secos, com uma boa proporção de folhagem em relação à altura total da árvore, e com um diâmetro proporcional ao tamanho da árvore, sem sinais de stress ou doença. A "otimalidade" é sempre avaliada em função da espécie, idade, ambiente e, no caso urbano, da segurança e funcionalidade do espaço.

Tal como no Índice de Esbeltez e Conicidade, não há um valor "ótimo" universal, mas sim intervalos e características consideradas saudáveis e funcionais, dependendo da espécie, idade, ambiente e objetivos. Em ambiente urbano, a árvore é muitas vezes podada para permitir a passagem de peões (mín. 2.5m) e veículos (mín. 4.5-5.5m). Uma base de copa muito alta (tronco nu) pode reduzir a área fotossintética total. Uma base de copa muito baixa pode causar conflitos e risco de danos.

2.2 Análise visual (*Visual Tree Assessment – VTA*)

A avaliação VTA é abrangente e foca-se em várias áreas críticas da árvore e do seu ambiente:

A. Condição Fisiológica e Fitossanitária (Saúde Geral):

- Folhagem: Cor (clorose/necrose), tamanho, densidade, presença de folhas mortas, queda precoce de folhas.
- Casca: Presença de feridas, rachas, cancrios, descamação anormal, exsudados (fluxo de seiva/sangramento).
- Ramos: Presença de ramos mortos, secura, rebentações epicórmicas (sinais de stress).
- Pragas e Doenças: Sinais visíveis de infestação por insetos, fungos (ex: corpos de frutificação, como cogumelos), bactérias.

B. Integridade Estrutural e Biomecânica (Estabilidade Mecânica):

Tronco:

- Ocos e Cavidades: Sinais visuais de ocos (ex: buracos, áreas afundadas).
- Fissuras e Rachas: Qualquer tipo de fenda no tronco, sua localização e extensão.
- Feridas: Feridas abertas, cicatrizadas, ou em processo de compartimentação.
- Inclusão de Casca: Uniões entre troncos ou ramos onde a casca ficou presa (uniões em "V"), que são pontos de fraqueza intrínseca.
- Inclinação: Grau e direção da inclinação, sinais de levantamento da placa radicular.
- Corpos de Frutificação Fúngica: Presença, tipo e localização de cogumelos, que são o sinal visível de apodrecimento interno.

Ramos Principais e Copa:

- Uniões: Avaliação das uniões dos ramos, especialmente em termos de ângulos ("U" vs "V") e inclusão de casca.
- Ramos Mortos ou Suspensos: Ramos que morreram e podem cair.
- Ramos Cruzados: Ramos que se tocam e causam feridas.
- Ramos com Defeitos: Rachas, apodrecimento, cavidades.

C. Condições do Local e Fatores Ambientais:

- Histórico de Obras/Construção: Danos visíveis ou potenciais na zona de raízes (solo perturbado, escavações, compactação).
- Tipo de Pavimento: Restrições ao desenvolvimento das raízes.
- Alterações de Nível do Solo: Enterramento da gola radicular.
- Condições do Solo: Compactação, humidade excessiva/insuficiente.
- Histórico de Ventos Dominantes: Impacto na arquitetura da árvore.

2.3 Resistógrafo

O Resistógrafo é um equipamento que perfura a madeira da árvore com uma agulha muito fina e regista, de forma contínua, a resistência que essa agulha encontra ao longo do seu percurso. O coração do aparelho é uma agulha de perfuração (tipicamente 1,5–3 mm de diâmetro), que gira a alta rotação. Um motor faz a agulha girar e, simultaneamente, um mecanismo empurra-a para dentro da madeira a uma velocidade de avanço controlada (definida pelo operador, por exemplo em cm/min). O sistema mede a força necessária para manter a agulha a essa velocidade constante: essa força corresponde à resistência à perfuração.

A resistência é registada ao longo da profundidade e apresentada graficamente:

Eixo X: profundidade de penetração da agulha (da superfície para o interior do tronco);

Eixo Y: amplitude da resistência encontrada (geralmente expressa em percentagem, %).

A forma da curva e os valores de amplitude fornecem informação sobre a condição e a estrutura da madeira:

- Amplitudes elevadas: em geral indicam madeira mais densa e resistente (por exemplo cerne denso, madeira de reação, nós);
- Amplitudes baixas: em geral indicam madeira menos densa, mais macia ou potencialmente degradada;
- Amplitude próxima de zero: indica cavidades, fendas ou zonas onde a agulha praticamente não encontra resistência.

Contudo, a amplitude registada não depende apenas do estado de sanidade local: é também influenciada por parâmetros de perfuração (velocidade de avanço, rotação da agulha) e pela densidade inerente da espécie. Sob as mesmas condições de perfuração (mesmos parâmetros de velocidade e rotação), espécies de baixa densidade tendem a apresentar amplitudes relativamente baixas, enquanto espécies de alta densidade podem atingir amplitudes muito superiores. Assim, o valor de amplitude é uma leitura relativa da resistência à perfuração nas condições específicas de ensaio, e não uma medida absoluta e universal de “dureza” comparável entre espécies ou entre medições realizadas com parâmetros diferentes.

Por este motivo, para que as comparações sejam fiáveis (entre diferentes árvores, diferentes pontos na mesma árvore ou ao longo do tempo), é fundamental:

- Utilizar os mesmos parâmetros de velocidade de avanço e rotação em todas as medições;
- interpretar os valores de amplitude no contexto da espécie em causa e do padrão interno de variação (diferenças locais face ao “nível de base” dessa espécie/árvore), mais do que em comparação direta com valores absolutos de outras espécies.

Outro fator relevante é a humidade da madeira. Madeiras mais húmidas oferecem, em geral, menor resistência à perfuração. A água nas células e nos espaços intercelulares atua como lubrificante e facilita o corte e a passagem da agulha. Assim, uma madeira muito húmida pode apresentar amplitudes mais baixas do que a mesma madeira, com a mesma densidade e integridade estrutural, em condições mais secas.

Os dados do Resistógrafo permitem também estimar a razão t/R , ou seja, a razão entre a espessura da madeira sã (t), medida da superfície exterior para dentro até ao limite interior da madeira sã (isto é, até ao início de uma cavidade ou podridão avançada), e o raio do tronco (R). Na biomecânica de árvores, a razão t/R é um indicador simples de quão “oca” ou estruturalmente reduzida está uma árvore e de quanta madeira sã ainda existe para suportar cargas.

Os valores frequentemente citados em arboricultura são:

- $t/R \geq 0,3$: Geralmente considerado estruturalmente aceitável para muitas espécies e situações. O tronco mantém um anel de madeira sã suficientemente espesso para suportar cargas de vento usuais.
- $t/R \approx 0,2-0,3$: Zona intermédia / de cautela. A árvore pode manter-se em pé, mas a margem de segurança diminui. O contexto (dimensão da copa, exposição, defeitos, área

de queda potencial, espécie) torna-se crítico. Costuma justificar avaliação mais detalhada (p. ex. tomografia, testes estáticos, ou gestão mais conservadora).

- $t/R < 0,2$: Frequentemente considerado nível crítico / de alto risco. A camada de madeira sã é fina em relação ao raio. O risco de rutura sob ação do vento pode estar significativamente aumentado. Em muitas orientações técnicas, este é um patamar a partir do qual se ponderam podas fortes, escoramento/cablagem ou até abate, consoante o risco para pessoas/bens e o valor da árvore.

Estes valores são orientações gerais, não garantias de segurança ou de falha. A resistência real depende também de:

- Propriedades da madeira (espécie, tipo de podridão, humidade)
- Localização do defeito (base vs. mais acima)
- Dimensão da copa e área de exposição ao vento
- Exposição ao vento e condições do local

Para este trabalho foi utilizado o Resistógrafo IML PD400 (a agulha vai a uma profundidade máxima de 400mm). Para remover o impacto da velocidade e rotação da agulha na amplitude do Resistógrafo, foi selecionado, para os 12 exemplares em avaliação, a mesma velocidade e rotação: 50 cm/min e 2000 rotações por minuto.

Em relação ao teor de humidade, as medições foram efetuadas no dia 29 de dezembro de 2025, com um dia de sol. No entanto, as árvores estiveram sujeitas a precipitação nas semanas anteriores. É expectável que o teor de humidade da madeira seja elevado, o que pode diminuir a amplitude dos gráficos do Resistógrafo, se comparado com madeira mais seca.

Para cada exemplar foram feitas 4 perfurações a cerca de 70-80cm da base, nas orientações N, S, W, E, e uma perfuração adicional mais próxima da base (mais próxima da raiz). Nos casos de árvores de maiores dimensões, ou de pontos críticos avaliados durante a análise visual, foram efetuadas perfurações adicionais mais próximas da raiz. A profundidade máxima de perfuração foi definida pelo cálculo do raio da árvore. Entre cada perfuração a agulha é limpa com etanol a 96%.

3. A Importância das Árvores Adultas no Espaço Urbano

A presença de árvores maduras no ambiente urbano transcende a mera estética, constituindo um pilar fundamental para a qualidade de vida nas cidades e para a sustentabilidade ambiental. É crucial reconhecer que os benefícios proporcionados por árvores adultas são o resultado de décadas de crescimento e desenvolvimento, e são insubstituíveis a curto ou médio prazo por novas plantações.

Os múltiplos e interligados serviços ecossistémicos e sociais prestados pelas árvores adultas incluem:

A. Melhoria da Qualidade do Ar e Mitigação das Alterações Climáticas

Filtração de Poluentes: As folhas das árvores retêm partículas poluentes (PM10, PM2.5), poeiras e gases nocivos (óxidos de nitrogénio, dióxido de enxofre), funcionando como filtros naturais essenciais em áreas urbanas densas.

Sequestro de Carbono e Produção de Oxigénio: Árvores adultas são sumidouros de carbono significativos, absorvendo grandes quantidades de dióxido de carbono da atmosfera e libertando oxigénio, contribuindo ativamente para a mitigação do efeito de estufa.

B. Regulação Climática e Redução do Efeito de Ilha de Calor Urbano (EIHC)

Sombra e Arrefecimento: A densa copa de uma árvore adulta oferece uma sombra vasta e eficaz, reduzindo as temperaturas da superfície do pavimento e do ar em vários graus Celsius. Esta sombra minimiza a absorção e irradiação de calor por edifícios e pavimentos, que são os principais catalisadores do EIHC.

Evapotranspiração: Através da transpiração, as árvores libertam vapor de água para a atmosfera, um processo que consome energia térmica e tem um efeito de arrefecimento natural, funcionando como "ar-condicionado" biológico.

Conforto Térmico: Contribuem significativamente para o conforto térmico de peões e utilizadores do espaço público durante os meses mais quentes, promovendo a utilização de espaços exteriores.

C. Gestão da Água e Redução do Escoamento Superficial

Intercepção Pluvial: As copas das árvores interceptam parte da água da chuva, reduzindo a quantidade que atinge o solo diretamente e diminuindo a pressão sobre os sistemas de drenagem urbanos.

Infiltração: O sistema radicular e a matéria orgânica no solo à volta das árvores melhoram a capacidade de infiltração da água no solo, recarregando os aquíferos e minimizando o risco de inundações.

D. Biodiversidade e Ecologia Urbana

Habitat: Árvores adultas fornecem habitat, alimento e refúgio para uma vasta gama de espécies de fauna urbana, incluindo aves, insetos e pequenos mamíferos, contribuindo para a resiliência dos ecossistemas urbanos.

Corredores Ecológicos: Podem integrar corredores verdes que facilitam o movimento de espécies na paisagem fragmentada da cidade.

E. Impacto Estético, Social e Psicológico

Beleza Cénica e Carácter Urbano: A dimensão, forma e folhagem das árvores maduras conferem uma beleza e um carácter imponentes à rua, criando uma identidade visual única e um ambiente mais acolhedor e convidativo.

Bem-Estar e Saúde Mental: Estudos demonstram que a presença de árvores e espaços verdes reduz os níveis de stress, melhora o humor, fomenta a atividade física e promove a interação social entre os cidadãos.

Redução de Ruído: As copas densas ajudam a absorver e dispersar o ruído urbano, criando ambientes mais tranquilos.

F. Valorização Económica e Imobiliária

Aumento do Valor dos Imóveis: A presença de árvores maduras e bem cuidadas está consistentemente associada ao aumento do valor de mercado de propriedades residenciais e comerciais.

Atração Comercial: Ruas arborizadas são mais agradáveis para compras e lazer, potenciando o comércio local e o turismo.

A perda de árvores adultas, mesmo com planos de replantação, representa um hiato temporal de décadas nos benefícios descritos, dada a lentidão do seu crescimento. Portanto, qualquer decisão que envolva a sua remoção deve ser sempre ponderada com o máximo rigor e a consciência da magnitude da perda, sendo justificada apenas por incompatibilidades técnicas insuperáveis e em prol de um benefício público global devidamente validado.

4. Avaliação Arborícola das Árvores Existentes e Análise de Compatibilidade com o projeto MetroBus

A Tabela 1 resume os fatores de risco principais de cada árvore avaliada, retirados das fichas individuais que se encontram no Anexo A deste relatório. Todas as árvores apresentam fragilidades que, em contexto de ausência de obras, poderiam ser mitigadas com a intervenção especializada de arboricultura. Ainda assim, as Jacarandás #44 e #49, as Tipuanas #2 e #21 e a Sófora #16 são os exemplares com maior vulnerabilidade estrutural e, mesmo com intervenção, a sua manutenção seria de curto/médio prazo e exigiria uma monitorização mais frequente.

A maioria das árvores desenvolveram-se em caldeiras pequenas, com a deformação de passeios e da faixa de rodagem um sinal de que o sistema radicular está há muito condicionado, e em conflito com as infraestruturas. Neste momento, todas as árvores da Rua Lourenço de Almeida Azevedo já estão sujeitas a um stress adicional provocado pela ocorrência de obras preparatórias conducentes à implementação do MetroBus. Durante a obra, as raízes das árvores sofrerão uma agressão adicional pela abertura de valas e compactação do solo provocado pela passagem de máquinas pesadas. A manutenção destas árvores passa por assegurar que a Zona Crítica das Raízes (ZCR) é protegida durante a obra.

Em termos teóricos, a ZCR corresponde, em regra, a um círculo em redor do tronco com um raio de 5 a 10x o diâmetro do tronco à altura do peito (DAP), dentro do qual se concentra a maior parte das raízes estruturais (ancoragem) e para absorção (função fisiológica). Na Tabela 1 apresenta-se, para cada exemplar, o cálculo teórico da ZCR calculado com $5 \times \text{DAP}$. Os valores calculados de ZCR para os exemplares em avaliação neste relatório variam entre 1.4 e 4.5 metros.

Tabela 1. Fatores e nível de risco das árvores avaliadas.

#	Espécie	Altura (m)	DAP (cm)	ZCR (m)	Nível de risco	Fatores de Risco
5	Jacarandá mimosifolia	12.6	28	1.4	moderado a elevado	• Falha na união codominante em V; • Instabilidade/arrancamento em caso de danos radiculares significativos.
37	Jacarandá mimosifolia	16.3	57	2.85	moderado a elevado a elevado	• Rotura na união codominante em V; • Falha na zona degradada a sul; • Instabilidade radicular agravada pelas obras.
39	Jacarandá mimosifolia	16.3	55	2.75	moderado a moderado elevado	• Copa baixa (3,1 m), com ~81% da altura a funcionar como “vela” ao vento. • Estrutura codominante em “V” (potencial fraqueza, sobretudo se houver inclusão de casca). • Bissuras no tronco (não se sabe se superficiais ou profundas). • Proteção da CRZ insuficiente em contexto de obra.
41	Jacarandá mimosifolia	17	56	2.8	moderado a moderado elevado	• Estrutura multi-caule / multi-líder com uniões potencialmente em “V” - vulnerável a rotura em vento forte, sobretudo em árvores maduras. • Perturbação severa pela construção na ZCR (escavações, solo revolvido, risco de corte/ esmagamento de raízes e compactação) - ameaça séria à ancoragem e funcionalidade radicular, mesmo quando o tronco e a madeira interna estão em bom estado.
44	Jacarandá mimosifolia	19	62.4	3.1	elevado	• Carga de vento elevada: copa inicia-se baixa (3,1 m), com ~84% da altura a funcionar como “vela” - momento fletor significativo na base/tronco em vento forte. • Ferida longitudinal extensa (“faixa branca” sem casca) no tronco: perda de proteção; possível comprometimento local da madeira subjacente a médio prazo. • Assumindo $t \approx 12$ cm de madeira saudável (considerando o lado mais frágil, orientação norte) e $R \approx 31$ cm, obtém-se $t/R \approx 0,38$, apenas moderadamente acima do limiar de 0,3 habitualmente referido como início de zona crítica.
49	Jacarandá mimosifolia	19.4	73.2	3.65	elevado	• Fenda vertical profunda e escura, típica de troncos codominantes com casca inclusa; • Com $t \approx 14$ cm e $R \approx 37$ cm - $t/R \approx 0,37$, apenas moderadamente acima do limiar crítico 0,3: secção ainda funcional, mas com margem de segurança reduzida, sobretudo em setores degradados. • Copa baixa e volumosa (carga de vento forte, com ~85% da altura a atuar como “vela”).
52	Jacarandá mimosifolia	18.4	58.2	2.9	moderado	• Copa relativamente baixa (cerca de 82% da altura a funcionar como “vela” ao vento). • Estrutura ramificada com uniões em “V” (potencial fraqueza, embora sem defeito crítico evidente). • Curvatura / inclinação do fuste principal - pode aumentar assimetria de cargas, mas a árvore aparenta ter-se adaptado. • Sulco profundo na base do tronco - possível união codominante antiga / casca inclusa; ponto de concentração de tensões, merece vigilância. • Perturbação por construção e proteção da ZCR claramente insuficiente.
55	Jacarandá mimosifolia	20.9	55.7	2.8	moderado a elevado	• Muitas uniões em “V” e eventualmente com casca inclusa - pontos de fraqueza. • Sulco/fenda basal profunda: pode representar casca inclusa antiga ou fenda de tensão; constitui possível defeito estrutural sério no tronco inferior. • Perturbação por construção na ZCR
2	Tipuana tipu	19.7	44.6	2.25	elevado	• Esbelteza elevada: rácio ~44,2:1 - tronco esguio, dependente da flexibilidade e da ancoragem. • Fissura longitudinal na casca (defeito crítico) • ZCR em risco por obra: solo perturbado, vedação próxima - probabilidade de danos radiculares/compactação, reduzindo a ancoragem. • Resistômetro: anel de madeira são relativamente espesso ($t/R \approx 0,55$ - ainda bom do ponto de vista geométrico), mas com fragilidade nos 2-4 cm externos a Norte, onde coincide o maior esforço em flexão sob determinados vetores de vento.
3	Tipuana tipu	15.4	32.5	1.65	moderado	• Esbelteza elevada: rácio ~ 47:1 - tronco esguio, muito mais flexível do que robusto. • Base da copa a 3,3 m: grande parte da massa foliar concentrada acima desse “cotovelo”, aumentando o momento fletor sobre essa zona. • Perturbações na ZCR: risco de perda de ancoragem numa árvore que depende quase totalmente da placa radicular para se manter estável.
21	Tipuana tipu	22.2	90	4.5	elevado	• Dimensão e forma: 22,2 m de altura; base da copa a 3,6 m - ~84% da altura como “vela”. • Base tipo “poste telefónico”: base apenas ~17% mais larga que o DAP, gola radicular provavelmente enterrada/restringida - ancoragem mecanicamente desfavorecida. • Troncos codominantes em “V” - uniões estruturalmente frágeis; • Lion's tailing com ramos longos e folhagem nas extremidades - grande braço de alavanca e torque nas uniões; • Ramos cruzados e feridas - portas de entrada para decomposição. • Pavimento levantado em conflito com raízes; • Passeio a ser levantado / provável corte de raízes estruturais; • Compactação e perturbação da ZCR - perda de ancoragem. • Madeira muito degradada a Sul próximo da base - ponto de fragilidade basal exatamente onde o momento fletor é maior.
16	Styphnolobium japonicum	14	33.4	1.65	elevado	• Esbelteza elevada: rácio ~ 42:1 - tronco esguio, muito dependente da ancoragem radicular. • Bonidade muito pobre: base apenas ~11% mais larga que o DAP, sem gola visível - forte suspeita de gola enterrada e desenvolvimento radicular desfavorável. • Efeito vaso: anel de betão / canteiro estreito - raízes confinadas, pouca possibilidade de expansão lateral, risco de estrangulamento. • Contexto de construção hostil na base: detritos pesados, compactação, provável esmagamento de raízes superficiais.

No anexo B encontra-se o perfil transversal da Rua Lourenço de Almeida Azevedo com o plano original de implementação do MetroBus. A imagem foi retirada de documentação fornecida pela empresa TUU. O plano original prevê duas faixas para o MetroBus (ascendente e descendente), encostadas ao lado direito da rua, do lado do Jardim da Sereia. No lado esquerdo, irá ocorrer uma faixa para a circulação de automóveis (apenas no sentido descendente, no sentido da Praça da República), e uma faixa para estacionamento. No perfil transversal também é possível observar as infraestruturas que serão implementadas por baixo do pavimento.

As árvores adultas que estão neste momento na Rua Lourenço de Almeida Azevedo estão encostadas ao bordo mais externo do passeio, ou seja, mais próximo da via. O plano original implica o abate das árvores do lado direito da rua (ao lado do Jardim da Sereia), logo por uma incompatibilidade física para a passagem do MetroBus com a presença de árvores desse lado do passeio. A isto, adicionando a natureza e a escala da obra prevista – escavações profundas, implantação de via dedicada, necessidade de compactação estrutural do subleito e instalação/reforço de infraestruturas, tornam, na prática, incompatível a execução do projeto tal como desenhado e a manutenção segura e sustentável das árvores existentes ao longo do corredor.

No sentido de preservar algumas das árvores do lado do Jardim da Sereia, a Infraestruturas de Portugal elaborou um documento com duas soluções adicionais. A solução 2 “prevê a ripagem do canal 0.30m em direção às habitações, o que “permite poupar 19 árvores do lado do jardim da Sereia, face à Solução 1, das quais apenas 7 destas (caso reúnam condições fitossanitárias) são espécies consideradas com interesse em serem preservadas pela CMC para uniformização do coberto arbóreo do arruamento (Jacarandás e Tipuanas)”. A solução 3 “prevê a ripagem do canal 0.70m em direção às habitações, com poupança de 6 árvores inclinadas” o que “permite poupar 25 árvores do lado do jardim da Sereia face à solução 1 (6 face à solução 2), das quais apenas 11 destas (caso reúnam condições fitossanitárias) são espécies consideradas com interesse em serem preservadas pela CMC para uniformização do coberto arbóreo do arruamento (Jacarandás e Tipuanas).”

Num relatório anterior feito pela empresa Floresta Vertical, relativo ao mesmo corredor viário, foi realizada uma prospeção manual e assistida com Air Spade a 30 cm de afastamento para o interior da via. Nesta nova localização não foram detetadas estruturas radiculares de dimensão ou função significativa que inviabilizassem a instalação das infraestruturas do MetroBus. Entre os exemplares analisados neste relatório estão os indivíduos 2, 3, 5, 16, 37,39, 41, 44, 49, 52 e 55, que estão a ser avaliados no presente relatório. Estes resultados indicam que a deslocação de 30 cm, ou de 70 cm, que daria uma maior margem de segurança, poderia implicar que a parte radicular seria menos afetada. Saliento, no entanto, que em árvores que há décadas crescem em caldeiras pequenas e confinadas, a ZCR real pode estar já parcialmente “encolhida” e/ou assimétrica, mas isso representa uma condição de vulnerabilidade, revelando uma menor área de ancoragem, ou uma ancoragem desequilibrada, e menor volume de solo funcional, logo maior sensibilidade a cortes adicionais de raízes, escavações e compactação. Destaco também alguma preocupação de ordem prática que, em cenário de obra, a margem de 30 ou 70 cm seja respeitada.

Caso a opção seja a solução 2, ou 3 (esta com maior margem de segurança para as árvores), torna-se imperativo implementar um protocolo de "Cuidados Intensivos" para mitigar a potencial perda de área radicular. Recomenda-se para as árvores do lado direito (ao lado do Jardim da Sereia) e do lado esquerdo (ao lado dos edifícios) as seguintes medidas:

- **Poda de Compensação de Copa:** Execução de uma poda de redução de coroa (20-25%) para diminuir a "área de vela" (resistência ao vento). Esta medida é biomecanicamente crítica para compensar a perda de ancoragem no solo e prevenir o colapso da árvore (*windthrow*).
- **Protocolo de Corte Limpo:** Proibição de corte de raízes por arranque mecânico. Todas as raízes expostas (>5cm) devem ser cortadas manualmente com ferramentas de corte afiadas (serrote/tesoura) para promover a cicatrização e evitar a entrada de patógenos radiculares.
- **Bioestimulantes:** Aplicação de bioestimulantes na zona radicular remanescente para potenciar a capacidade de absorção de água e nutrientes das raízes sobreviventes.
- **Plano de Rega Dedicado:** Implementação de um plano de rega de apoio durante os primeiros 24 meses pós-obra (período crítico de adaptação), compensando a redução da massa radicular absorvente.
- **Solo Estrutural:** Nas zonas de aterro da vala (junto às raízes), recomenda-se a utilização de solo estrutural (mistura de inerte e terra vegetal) que permita a re-colonização radicular sob o pavimento sem causar danos futuros à infraestrutura viária.
- **Monitorização:** estas árvores requerem monitorização frequente durante e após a obra. Vão estar localizadas numa área sensível de passagem de peões e veículos.

Se a opção for a solução original, que implica assumir a remoção dos exemplares em conflito direto com o corredor MetroBus, em especial no lado direito, tem de se elaborar um plano exigente de compensação/plantação, garantindo às novas árvores volumes de solo, condições radiculares e espaço aéreo adequados, de forma a evitar a repetição do padrão de caldeiras pequenas, raízes em conflito com pavimentos e risco estrutural elevado. No passeio do lado esquerdo, onde a intervenção parece ser menos intrusiva, poderá haver margem para manutenção seletiva de alguns exemplares, mas apenas se forem rigorosamente respeitadas as recomendações referidas para as soluções 2 e 3.

5. Conclusões

A. Valor das árvores existentes

As árvores adultas da Rua Lourenço de Almeida Azevedo possuem elevado valor ecológico, funcional e paisagístico, prestando serviços ecossistémicos que não são rapidamente substituíveis por novas plantações. A sua eventual remoção implica uma perda relevante e prolongada de benefícios ambientais e sociais.

B. Estado fitossanitário e estrutural

Todas as árvores apresentam algum nível de fragilidade, mas, em cenário sem obras, a maioria poderia ser mantida com intervenções especializadas e monitorização. As Jacarandás #44 e #49, as Tipuanas #2 e #21 e a Sófora #16 destacam-se como estruturalmente mais vulneráveis, com expectativa de manutenção mais limitada no tempo.

C. Conflito com o projeto MetroBus (solução original)

O traçado original do MetroBus é, na prática, incompatível com a preservação segura das árvores, especialmente do lado direito (Jardim da Sereia), dada a sobreposição com a ZCR e a intensidade das obras (escavação, compactação, instalação de infraestruturas). A manutenção das árvores nestas condições não garante, de forma realista, a sua estabilidade e longevidade.

D. Potencial das soluções 2 e 3

As soluções alternativas que preveem a ripagem do canal (0,30 m e 0,70 m) permitem reduzir o número de árvores a abater e aumentar a probabilidade de conservação de alguns exemplares estruturalmente mais interessantes (Jacarandás e Tipuanas). A solução 3, com maior afastamento, oferece melhor margem de segurança do ponto de vista radicular.

E. Limitações e riscos na preservação

Mesmo com ripagem do canal, a preservação das árvores continua a envolver risco elevado se não forem rigorosamente respeitados afastamentos mínimos às raízes e procedimentos de obra adequados. A ZCR destas árvores está já limitada, pelo que novos cortes de raízes e compactação podem precipitar falhas estruturais (inclinação, queda) no curto/médio prazo.

F. Condições para manutenção de árvores

A manutenção de exemplares sob as Soluções 2 ou 3 deve estar condicionada:

- à implementação obrigatória de medidas de “Cuidados Intensivos” (poda de compensação de copa, corte limpo de raízes, inoculação de micorrizas, plano de rega, solo estrutural);
- a uma monitorização frequente durante e após a obra, com reavaliações periódicas fitossanitárias e biomecânicas;
- à possibilidade de intervenção corretiva (podas adicionais, escoramentos ou eventual remoção) se a estabilidade ficar comprometida.

G. Plano de compensação arbórea (em caso de abate)

Se prevalecer a solução original (com abate da maioria ou totalidade dos exemplares em conflito), é imprescindível:

- definir um plano de compensação ambicioso, com número, espécie e porte de novas árvores adequados ao corredor urbano;
- assegurar volumes de solo suficientes, desenho correto das caldeiras e condições radiculares e aéreas que evitem futuros conflitos com infraestruturas;
- privilegiar espécies compatíveis com o espaço, com boa estabilidade mecânica e valor ecológico, garantindo a continuidade do caráter arborizado da Rua Lourenço de Almeida Azevedo.

O plano de compensação/plantação não deve ser entendido apenas como reposição numérica, mas como uma requalificação estrutural do arvoredo da rua, garantindo que as novas árvores dispõem, desde o início, de espaço radicular e aéreo adequados à sua longevidade, evitando a repetição dos conflitos que levaram à situação atual.

H. Síntese

A decisão final deve equilibrar segurança, funcionalidade do MetroBus e preservação do património arbóreo. A via tecnicamente mais conservadora para as árvores passa pela adoção de uma solução de ripagem (preferencialmente a Solução 3), associada a um protocolo rigoroso de proteção e gestão arbórea. Quando a remoção seja inevitável, deverá ser sempre acompanhada de um plano robusto de reposição e melhoria estrutural do arvoredo urbano.

Anexo A

Fichas de avaliação individual das árvores. As fichas estão ordenadas por grupos de espécies, começando pelos 8 exemplares de Jacarandá, seguido dos 3 exemplares de Tipuana e do exemplar de Sófora.

Relatório Individual da Jacarandá #5

A. Dados da Árvore e Análise Dimensional

Diâmetro à Altura do Peito (DAP): ~28 cm (calculado de 88 cm de perímetro).

Diâmetro na Base: ~33.4 cm (calculado de 105 cm de perímetro).

Altura Total: 12.6 metros.

Base da copa: 3 metros

B. Análise Arquitetônica Visual (VTA)

B.1 Rácio de Esbeltez (Estabilidade):

Cálculo: $12.6 / 0.28 = \sim 45$.

Análise: Um rácio de 45:1 indica uma árvore muito esguia. Esta árvore é alta e fina, dependendo da sua flexibilidade para resistir ao vento em vez de uma rigidez robusta do tronco. Esta característica torna a sua ancoragem radicular absolutamente crítica (Figura 2).

B.2 Conicidade e Condição da Base (O "Problema do Lápis"):

Análise: A base é apenas cerca de 19% mais larga do que o tronco ao nível do peito, o que é considerado uma conicidade fraca.

Confirmação Visual: As fotografias mostram o tronco a entrar diretamente no solo, sem uma gola radicular (*root flare*) visível (Figura 2).

Risco: Sugere que a gola radicular pode estar enterrada (plantada demasiado profundamente ou com elevação do nível do solo). Uma base sem o alargamento adequado é mecanicamente mais fraca e propensa ao desenraizamento, agravado pelo elevado rácio de esbeltez da árvore.

B.3 Arquitetura da Copa (Defeitos Estruturais):

Troncos Codominantes ("V"): O tronco principal divide-se numa forma de "V" relativamente baixa. Esta união suporta o peso de toda a copa superior e, devido à aparente inclusão de casca, é um ponto de fraqueza estrutural clássico (Figura 2).

Ramos Cruzados: Ramos menores que crescem e podem chocar contra os troncos principais, criando feridas abertas que servem de portas de entrada para pragas e doenças.

C. Impacto da Construção (A Ameaça Crítica) e Características da Madeira

Contexto da Construção: As fotografias indicam uma ameaça significativa à zona de estabilidade da árvore. A presença de obras perto da "zona de proteção" e solo perturbado muito próximo do tronco sugere danos radiculares. A caixa de proteção de madeira, embora útil para o tronco, é demasiado pequena para salvaguardar a Zona Crítica da Raiz (ZCR). Pode haver ruturas de raízes alimentadoras e, potencialmente, raízes estruturais cruciais para a ancoragem (Figura 2).

Características da Madeira da Jacarandá: A madeira de *Jacaranda mimosifolia* é notoriamente frágil e quebradiça, partindo-se facilmente sob tensão ou carga súbita (como rajadas de vento). Esta característica, combinada com a arquitetura esguia e os defeitos estruturais, cria uma estrutura intrinsecamente frágil.



Figura 2. Exemplantar #5 de Jacarandá. A. Vista geral do exemplar; B. Desenho esquemático do tronco e ramos principais; C. Divisão dos ramos em forma de V; D. Detalhe da base do tronco sem observação da gola radicular; E. A seta mostra uma raiz estrutural exposta.

D. Avaliação da Integridade Interna (Resultados do Resistógrafo)

Foram realizadas cinco perfurações. Quatro ao DAP (80cm de altura) nas direções Norte, Sul, Oeste e Este. Uma perfuração adicional foi feita mais próxima da base (14cm de altura), na direção Este e inclinada a 20° na direção das raízes.

Os resultados do Resistógrafo mostram que a resistência da madeira foi mais ou menos homogênea ao longo do raio da árvore, nas quatro direções (Figura 3, 4). Os valores de amplitude foram próximos de zero na casca (cor laranja), o que é expectável, e na madeira, a amplitude foi, em geral, ligeiramente inferior a 20%. A madeira foi genericamente classificada como *sã* (cor verde), pela homogeneidade que apresentou ao longo do raio (só na direção Este apresentou um valor mais baixo assinalado a vermelho no gráfico).

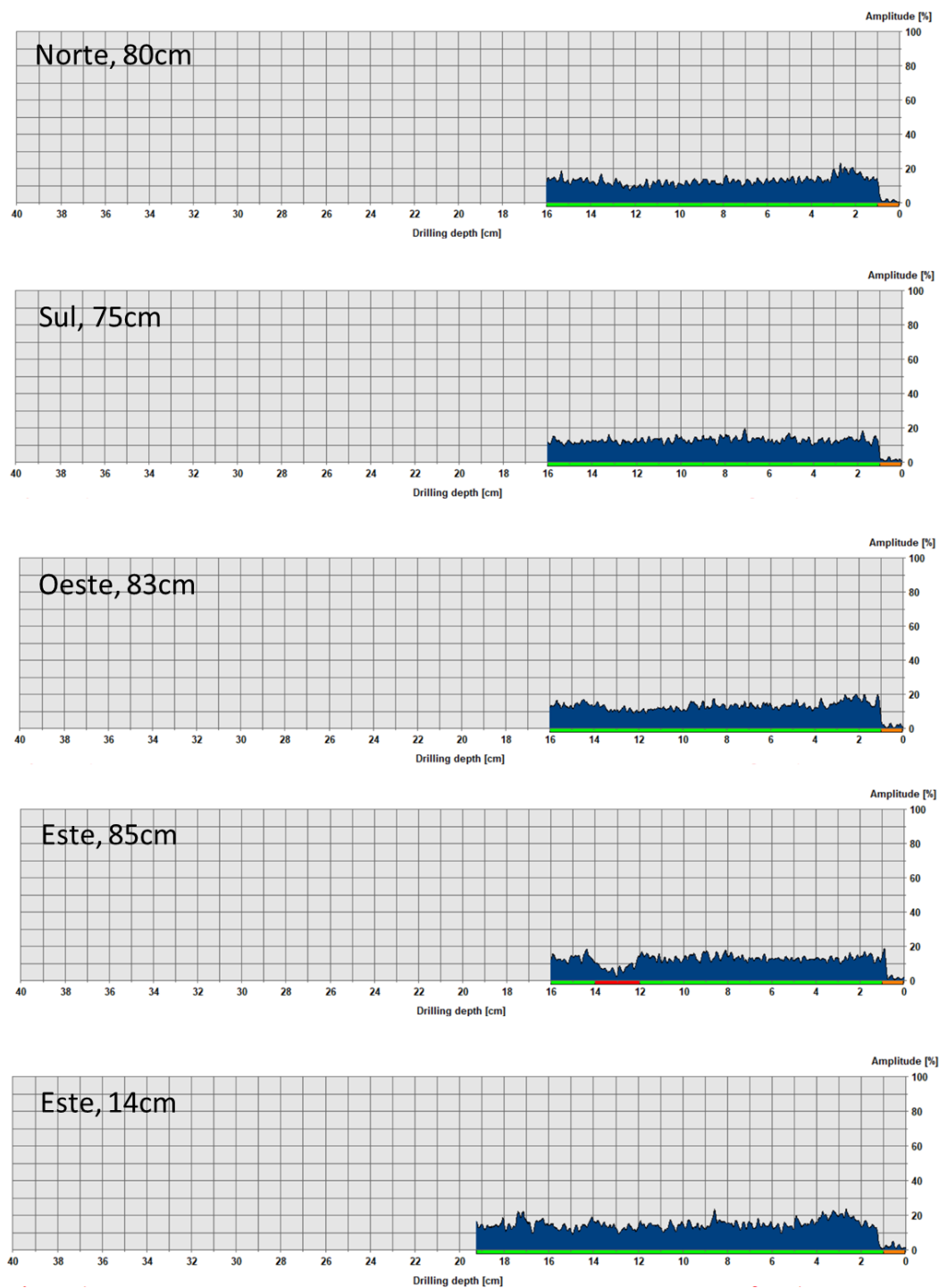


Figura 3. Resultados do Resistógrafo do exemplar #5 de Jacarandá. Os gráficos representam o perfil de resistência da madeira em quatro orientações (N, S, W, E) e a altura a que foram efetuados. A profundidade da perfuração foi até 16cm, estimada a partir do cálculo do raio da árvore. O último gráfico mostra uma medição efetuada a 14cm do solo, com um ângulo de 20°, sendo a profundidade de perfuração maior para compensar o ângulo. Código de cores: laranja – casca; verde - madeira sã; amarelo: - madeira com alguma degradação; vermelho - madeira degradada.

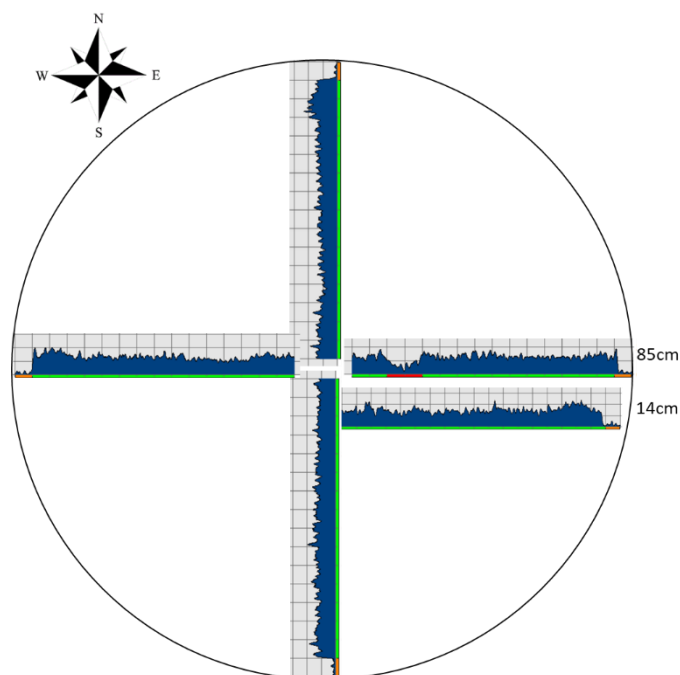


Figura 4. Representação espacial dos perfis do Resistógrafo da figura 3. Por simplicidade assumiu-se que a árvore tem uma secção circular perfeita.

E. Nível de risco

Tendo em conta:

- árvore jovem/média (12,6 m, DAP 28 cm) com copa a partir dos 3 m;
- rácio de esbeltez elevado (~45:1);
- conicidade fraca e ausência de gola radicular visível (sugestão de colar enterrado);
- codominância baixa em “V” com provável inclusão de casca;
- impacto de obra muito próximo da zona crítica de raízes;
- madeira estruturalmente contínua e homogênea ao Resistógrafo (sem cavidades ou podridão avançada detetável);

a leitura global é de:

Probabilidade de falha - moderada a moderado-elevada, sobretudo por risco de:

- falha na união codominante em V;
- instabilidade/arrancamento em caso de danos radiculares significativos.

F. Medidas de mitigação propostas

Cenário 1

Manutenção condicionada

A. Poda de redução estrutural moderada

- Reduzir carga na união codominante e diminuir o “efeito vela” da copa.

- Encurtar ramos mais longos/sobre-estendidos.

B. Proteção efetiva da zona crítica de raízes (CRZ)

- Ampliar significativamente a área de proteção em torno da árvore ((idealmente 8–10× o diâmetro do tronco).
- Evitar escavações, cortes de raízes e compactação por maquinaria.

C. Gestão do alvo durante a obra

- Minimizar permanência de pessoas e equipamentos sob a projeção da copa (desvio de passagens, sinalização, barreiras físicas sempre que possível).

D. Monitorização frequente

- Reavaliações visuais periódicas, especialmente após trabalhos de escavação próximos ou episódios de vento forte.
- Critério pré-definido para remoção imediata se surgirem sinais de instabilidade (inclinação nova, fendas na base, levantamento de solo, evolução rápida de defeitos).

Cenário 2

Gestão prudente em contexto de obra

Remoção da árvore antes ou no início das fases mais intrusivas da obra, fundamentada por:

- arquitetura esguia + codominância frágil;
- ancoragem potencialmente comprometida (colar enterrado + obra na ZCR);
- alvo relevante (rua, trabalhadores, circulação futura).

Relatório Individual da Jacarandá #37

A. Dados da Árvore e Análise Dimensional

Diâmetro à Altura do Peito (DAP): ~57 cm (calculado de 180 cm de perímetro).

Diâmetro na Base: ~66.8 cm (calculado de 210 cm de perímetro).

Altura Total: 16.3 metros.

Base da copa: 2.8 metros

B. Análise Arquitetônica e Fisiológica Visual (VTA)

B.1 Rácio de Esbeltez (Estabilidade):

Cálculo: $16.3 \div 0.57 = \sim 28$.

Análise: Um rácio de 28:1 indica um tronco robusto em termos de espessura relativa à altura. No entanto, a copa inicia-se muito baixa (2.8m), o que significa que 83% da árvore funciona como uma "vela" que capta o vento, impondo um stress elevado no tronco e nas raízes durante tempestades (Figura 5).

B.2 Conicidade e Condição da Base (O "Problema do Lápis"):

Análise: A base é apenas cerca de 16% mais larga do que o tronco ao nível do peito. Carece de uma gola radicular significativa.

Confirmação Visual: As fotografias mostram o tronco a entrar diretamente no solo (Figura 5).

Risco: Sugere que a gola radicular pode estar enterrada (plantada demasiado profundamente ou com elevação do nível do solo), o que fragiliza a ancoragem radicular e serve de porta de entrada para patógenos.

B.3 Arquitetura da Copa (Defeitos Estruturais):

Troncos Codominantes ("V"): O tronco principal divide-se numa forma de "V" relativamente baixa, suportando o peso da copa superior. A aparente inclusão de casca nesta união representa um ponto de fraqueza estrutural (Figura 5).

Ramos Cruzados: Ramos menores que chocam contra os troncos principais, criando feridas abertas, portas de entrada para pragas e doenças.

Ramos Laterais Sobre Estendidos: Atuam como alavancas pesadas, induzindo forças de torção significativas no tronco durante tempestades.

Corpos de Frutificação Fúngica: Presença de pequenos cogumelos aglomerados a crescer diretamente das fissuras da casca (Figura 5).

C. Impacto da Construção

Contexto da Construção: As fotografias indicam valas abertas e solo perturbado perto do tronco, sugerindo danos radiculares. A caixa de proteção de madeira é inadequada para proteger a *Critical Root Zone* (CRZ) (Figura 5).

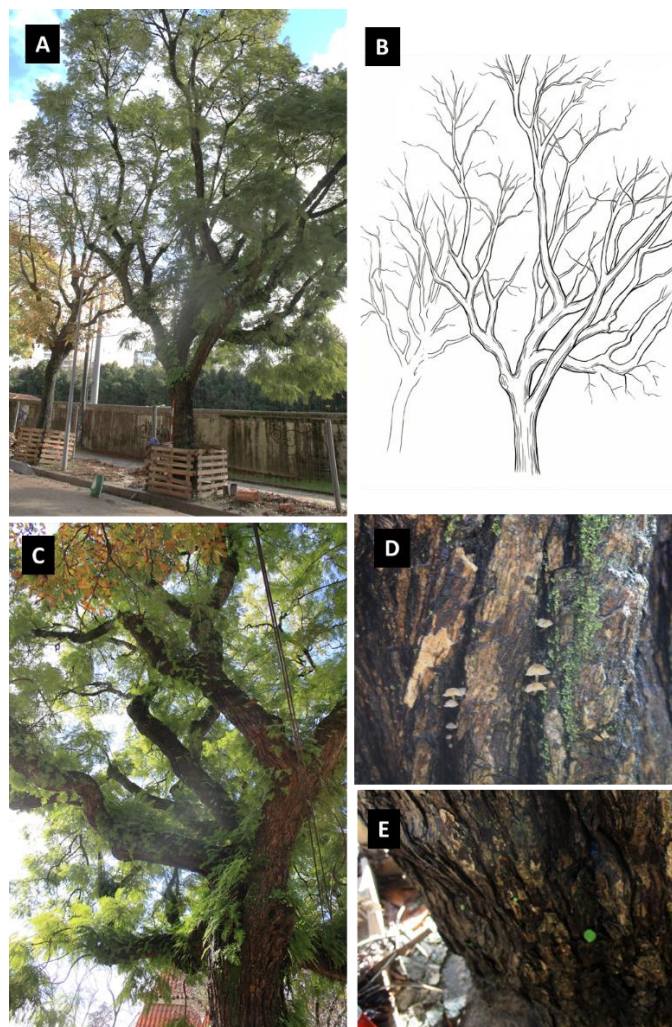


Figura 5. Exemplantar #37 de Jacarandá. A. Vista geral do exemplar; B. Desenho esquemático do tronco e ramos principais; C. Divisão dos ramos em forma de V; D. Presença de corpos de frutificação fúngica; E. Detalhe da base do tronco sem observação da gola radicular.

D. Avaliação da Integridade Interna (Resultados do Resistógrafo)

Foram realizadas cinco perfurações: Quatro ao DAP (75-90 cm de altura) nas direções Norte, Sul, Oeste e Este. Uma perfuração adicional foi feita mais próxima da base (17 cm de altura), na direção Sul e inclinada a 20° na direção das raízes.

Os resultados do resistógrafo mostram que, de uma forma geral, a resistência da madeira é maior nos primeiros 16–18 cm do raio, com valores de amplitude entre 20 e 25%, representando madeira sã, diminuindo a partir desse ponto para valores inferiores a 10%, correspondentes já a madeira com algum nível de degradação (Figura 6). No lado exposto a sul, quer a 75 cm quer a 17 cm de altura a partir da base do tronco, observa-se uma porção entre aproximadamente 18 e 24 cm bastante degradada (Figura 7). Se calcularmos a razão entre a espessura de madeira

sã (~16 cm) e o raio (~29 cm), obtemos um valor de 0,55. Atendendo a que t/R é superior a 0,3, pode considerar-se que, do ponto de vista geométrico, a secção é mecanicamente robusta.

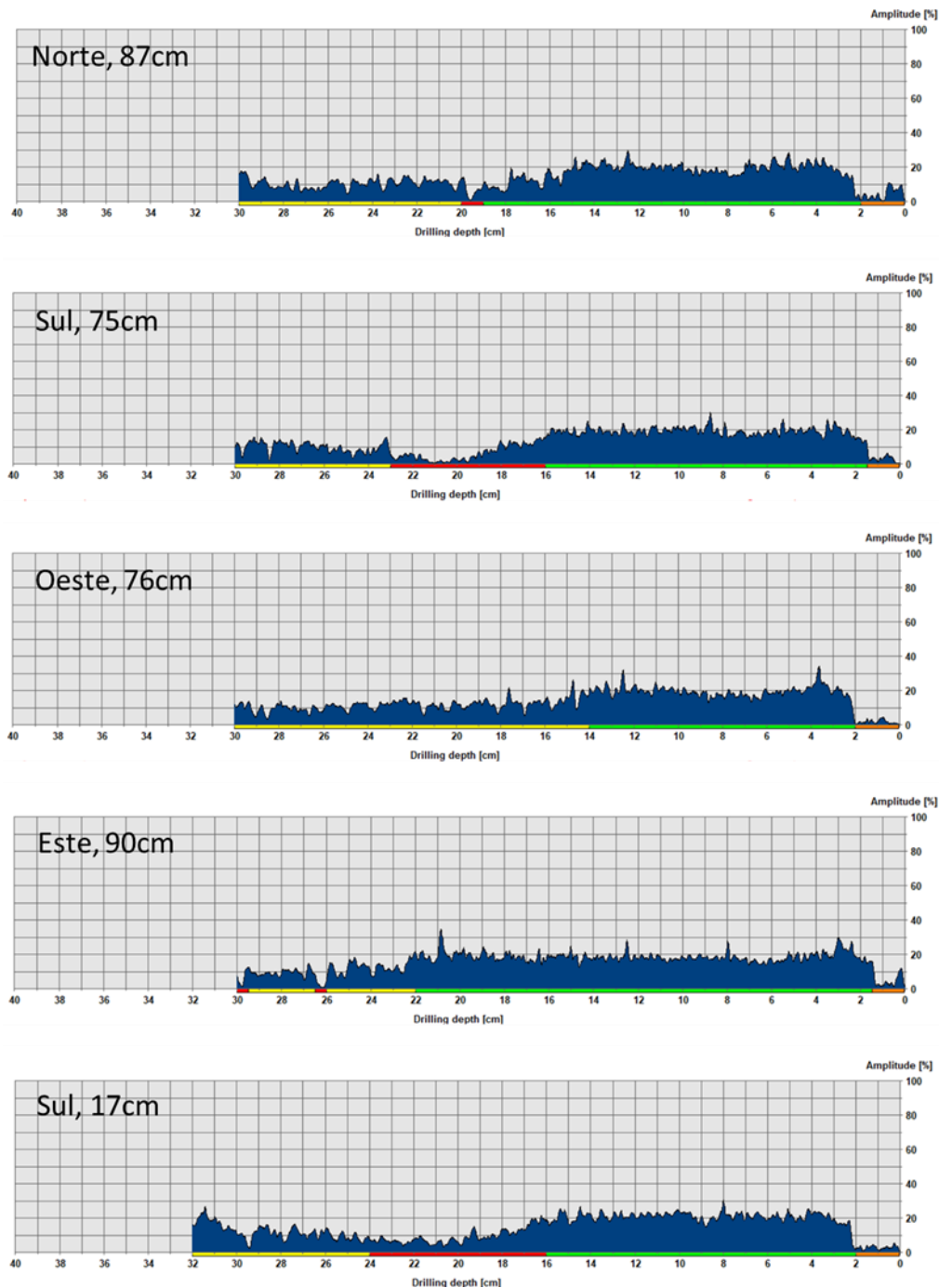


Figura 6. Resultados do Resistógrafo do exemplar #37 de Jacarandá. Os gráficos representam o perfil de resistência da madeira em quatro orientações (N, S, W, E) e a altura a que foram efetuados. A profundidade da perfuração foi até 30cm, estimada a partir do cálculo do raio da árvore. O último gráfico mostra uma medição efetuada a 17cm do solo, com um ângulo de 20°, sendo a profundidade de perfuração maior para compensar o ângulo. Código de cores: laranja – casca; verde - madeira sã; amarelo: - madeira com alguma degradação; vermelho - madeira degradada.

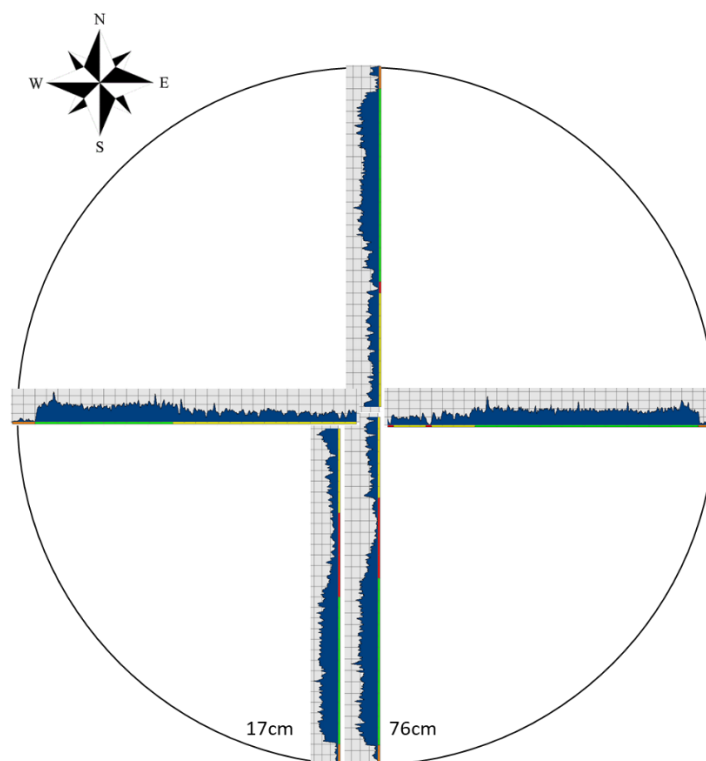


Figura 7. Representação espacial dos perfis do Resistógrafo da figura 6. Por simplicidade assumiu-se que a árvore tem uma secção circular perfeita.

E. Nível de risco

Com base no conjunto dos fatores:

- Dimensões: árvore já de porte considerável (16,3 m; DAP 57 cm), copa a partir de 2,8 m - grande “vela” ao vento.
- Esbeltez: rácio ~28:1 - tronco relativamente robusto, mas muito solicitado pelo grande volume de copa baixa.
- Base / ancoragem: conicidade fraca, ausência de gola radicular visível e solo perturbado por obras - suspeita séria de colar enterrado.
- Arquitetura da copa: codominância baixa em “V” com provável inclusão de casca, ramos sobre-estendidos e cruzados - pontos clássicos de rotura sob vento.
- Sinais de atividade fúngica: corpos de frutificação no tronco - indicação de colonização por fungos degradadores de madeira/casca.
- Integridade interna (Resistógrafo): ~16 cm de madeira considerada sã, depois zona interna com redução clara de resistência (valores <10%) sobretudo a sul; $t/R \approx 0,55$ – geometricamente ainda há secção resistente suficiente, mas já com núcleo degradado.

No contexto de rua urbana com obras (Metrobus), alvo elevado e tolerância ao risco muito baixa, esta combinação sustenta a classificação de:

Probabilidade de falha: moderada-elevada a elevada, por risco combinado de:

- rotura na união codominante em V;
- falha na zona degradada a sul;
- instabilidade radicular agravada pelas obras.

F. Medidas de mitigação propostas

Cenário 1

Manutenção condicionada e de risco controlado, só defensável com um pacote de medidas cumulativas.

A. Poda de redução estrutural da copa

Reduzir altura e volume da copa (especialmente no setor sul e ramos sobre-estendidos), diminuindo:

- carga ao vento;
- esforços na união codominante;
- momento fletor na base/tronco.

B. Proteção efetiva da Critical Root Zone (CRZ)

- Ampliar significativamente a área vedada em torno da árvore (pelo menos 8-10x o diâmetro do tronco);
- evitar novas escavações na CRZ;
- minimizar cortes de raízes estruturais;
- impedir circulação/estacionamento de maquinaria pesada nessa zona.

C. Gestão do alvo durante a obra

- Criar, tanto quanto possível, zona de exclusão sob a projeção da copa para trabalhadores e peões;
- Ajustar logística da obra (circulação de máquinas, parques de materiais) de forma a não aumentar o risco em caso de falha.

D. Monitorização apertada

- Inspeções visuais frequentes (especialmente após escavações próximas e episódios de vento forte);
- Critério pré-definido para remoção imediata se surgirem sinais adicionais de instabilidade (inclinação nova, fissuras no colo, levantamento de solo, aumento de frutificações fúngicas, etc.).

Cenário 2

Remoção da árvore antes (ou no início) das fases mais intensas da obra, fundamentada por:

- defeitos estruturais relevantes (codominância, ramos sobre-estendidos);
- evidência de degradação interna em parte da secção;
- alvo elevado durante e após a obra.

Relatório Individual da Jacarandá #39

A. Dados da Árvore e Análise Dimensional

Diâmetro à Altura do Peito (DAP): ~55 cm (calculado de 174 cm de perímetro)

Diâmetro da base: ~64 cm (calculado de 200 cm de perímetro)

Altura Total: 16.3 metros.

Base da copa: 3.1 metros

B. Análise Arquitetônica e Fisiológica Visual (VTA)

B.1 Rácio de Esbeltez (Estabilidade):

Cálculo: $16.3 \div 0.55 = \sim 29.6$.

Análise: Um rácio de 29.6:1 é considerado muito bom (robusto) para uma árvore urbana, indicando que o tronco possui uma espessura adequada em relação à sua altura (Figura 8).

B.2 Conicidade e Gola Radicular: A transição de um perímetro na base de 200 cm para um PAP de 174 cm demonstra uma conicidade saudável e natural do tronco. A tela branca que envolve a base do tronco não deixa observar a base do tronco, podendo ser uma gola radicular, ou raiz estrangulada.

B.3 Arquitetura da Copa (Defeitos Estruturais):

Carga de Vento: A copa inicia-se muito baixa (3.1m), o que significa que 81% da árvore funciona como uma "vela" que capta o vento. Isto impõe um stress considerável no tronco e nas raízes durante tempestades.

Estrutura dos Ramos: Revela uma estrutura ramificada em forma de "V" (troncos codominantes) que se bifurca relativamente baixa. As uniões aparentam ser geralmente fortes, embora morfologias em "V" possam ser um ponto de fraqueza se houver inclusão de casca (Figura 8).

Tronco: Fissuras do tronco (Figura 8).

Rebentações Epicórmicas e Cortes de Poda/Feridas: Observam-se rebentações e alguns cortes de poda antigos. Alguns cicatrizaram bem, mas outros podem ser pontos de entrada para patógenos.

C. Impacto da Construção

Proteção na Base: A base da árvore está protegida por uma barreira de ripas de madeira, uma excelente prática para salvaguardar a gola radicular e o tronco de danos mecânicos. No entanto, a caixa de proteção de madeira é inadequada para proteger a Critical Root Zone (CRZ) (Figura 8)



Figura 8. Exemplar #39 de Jacarandá. A. Vista geral do exemplar; B. Desenho esquemático do tronco e ramos principais; C. Divisão dos ramos em forma de V com eventual inclusão de casca; D. Presença de fissura no tronco, com possível inclusão de casca; E. Detalhe da base do tronco. A tela branca não deixa observar a base do tronco, podendo ser uma gola radicular, ou raiz estrangulada.

D. Avaliação da Integridade Interna (Resultados do Resistógrafo)

Foram realizadas quatro perfurações ao DAP (variando entre ~58-66 cm e ~60 cm de altura) nas direções Norte, Sul, Oeste e Este. Foram efetuadas duas perfurações adicionais mais próximas da base (18 cm a Oeste e 11 cm de altura a Este), e inclinada a 20° na direção das raízes.

Os resultados do Resistógrafo mostram que a resistência da madeira é mais ou menos homogênea ao longo do raio, nas quatro direções, variando entre 20 a 25% de amplitude. Na orientação oeste e a 18 cm de altura, a amplitude baixa para cerca de 10% entre os 12 e os 20 cm de profundidade. No entanto, essa perda de qualidade da madeira aparenta estar compartimentada.

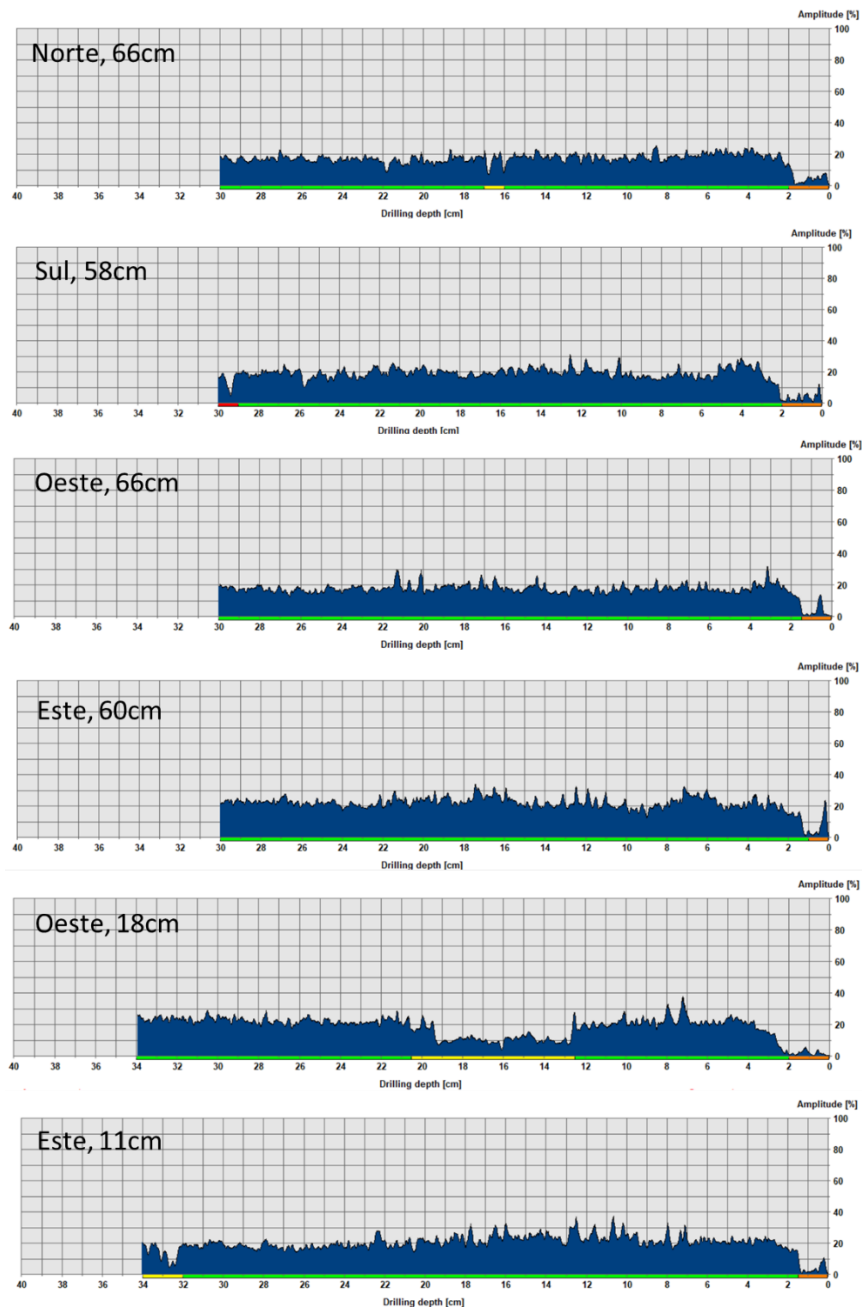


Figura 9. Resultados do Resistógrafo do exemplar #39 de Jacarandá. Os gráficos representam o perfil de resistência da madeira em quatro orientações (N, S, W, E) e a altura a que foram efetuados. A profundidade da perfuração foi até 30 cm, estimada a partir do cálculo do raio da árvore. Os últimos dois gráficos mostram uma medição efetuada a 18 e 11 cm do solo, com um ângulo de 20°, sendo a profundidade de perfuração maior para compensar o ângulo. Código de cores: laranja – casca; verde - madeira sã; amarelo - madeira com alguma degradação; vermelho - madeira degradada.

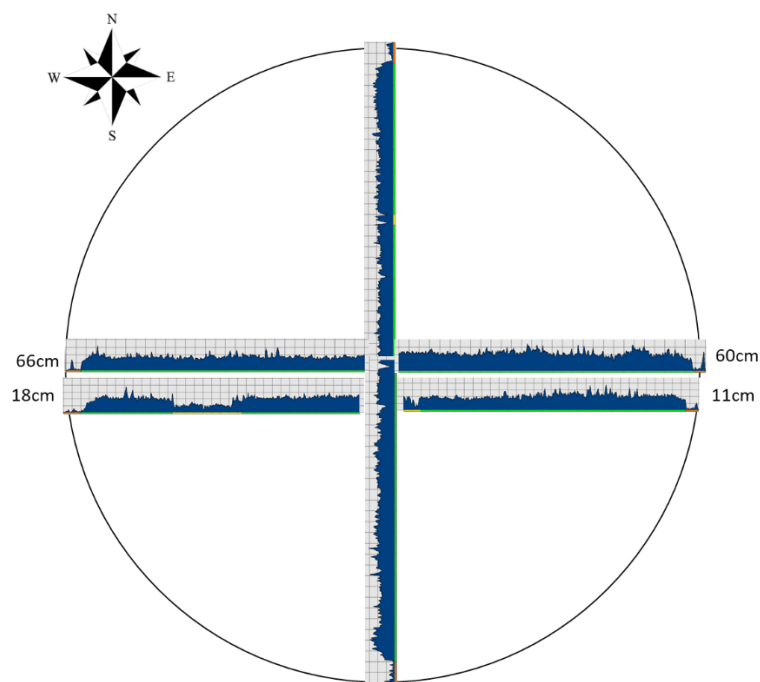


Figura 10. Representação espacial dos perfis do Resistógrafo da figura 9. Por simplicidade assumiu-se que a árvore tem uma secção circular perfeita.

E. Nível de risco

Pontos favoráveis

- Rácio de esbeltez muito bom ($\sim 29,6:1$) - tronco robusto em termos geométricos.
- Conicidade saudável da base para o DAP.
- Resistógrafo: madeira globalmente homogênea, com amplitudes 20–25% em todas as direções; apenas uma zona oeste, perto da base, com queda para $\sim 10\%$ entre 12–20 cm, aparentemente bem compartimentada.

Pontos desfavoráveis / incertezas

- Copa baixa (3,1 m), com $\sim 81\%$ da altura a funcionar como “vela” ao vento.
- Estrutura codominante em “V” (potencial fraqueza, sobretudo se houver inclusão de casca).
- Fissuras no tronco (não se sabe se superficiais ou profundas).
- Rebentações epicórmicas e feridas de poda antigas (possíveis pontos de entrada de patógenos).
- Tela branca na base impede observar se há gola radicular normal ou raiz estrangulada.
- Proteção da CRZ insuficiente em contexto de obra.

Nível de risco global: moderado (tendência para moderado-elevado se a CRZ for muito afetada pela obra ou se as fissuras forem profundas)

F. Medidas de mitigação recomendadas

A. Inspeção detalhada e ajustes imediatos

Retirar ou abrir parcialmente a tela branca na base para:

- confirmar presença/ausência de gola radicular;
- verificar se há raízes estranguladas e, se apropriado, corrigi-las com cortes controlados.

Avaliar a profundidade e extensão das fissuras do tronco:

- se forem superficiais / de casca - registo e monitorização;
- se forem estruturais (envolvendo madeira) - reclassificar risco (pode subir para elevado).

B. Gestão da copa

Poda de redução estrutural ligeira a moderada, para:

- reduzir carga ao vento nos troncos codominantes;
- encurtar ramos mais expostos/sobre-estendidos;
- favorecer uma hierarquia mais clara (reduzir um dos codominantes, se possível).

C. Proteção da zona crítica de raízes (CRZ)

Ampliar significativamente a área de proteção em torno da árvore:

- proibir escavações profundas e cortes de raízes de maior diâmetro nessa zona;
- evitar compactação por maquinaria pesada e depósito de materiais.
- A barreira de madeira atual deve ser vista apenas como proteção do tronco, não da CRZ.

D. Monitorização

Reavaliações periódicas (p.ex. anuais ou após fases críticas da obra / ventos fortes), com:

- controlo da evolução das fissuras;
- nova perfuração pontual se surgirem sintomas anómalos na zona onde o Resistógrafo indicou perda localizada (oeste, 12–20 cm).

E. Critério de gestão adaptativa

Se, durante a obra, se verificarem:

- cortes importantes de raízes estruturais;
- agravamento das fissuras;
- sinais de instabilidade (inclinação nova, fendas no colo, levantamento de solo);

então o nível de risco deverá ser revisto para elevado, e deve ser considerada a remoção.

No estado atual, com madeira interna maioritariamente contínua e sem grandes defeitos internos, a árvore parece gerível com mitigação (poda estrutural + proteção radicular + monitorização), em vez de exigir remoção imediata, desde que a obra respeite efetivamente a CRZ.

Relatório Individual da Jacarandá #41

A. Dados da Árvore e Análise Dimensional

Diâmetro à Altura do Peito (DAP): ~56 cm (calculado de 176 cm de perímetro)

Diâmetro da base: ~65 cm (calculado de 203 cm de perímetro)

Altura Total: 17 metros.

Base da Copa: 3.5 metros de altura.

B. Análise Arquitetônica e Fisiológica Visual (VTA)

B.1 Rácio de Esbeltez: ~30.3:1, considerado robusto para uma árvore urbana (Figura 11)

B.2 Análise de Conicidade: A transição de um perímetro na base de 203 cm para um PAP de 176 cm demonstra uma conicidade saudável e natural do tronco, indicando boa estabilidade e desenvolvimento da gola radicular.

B.3 Arquitetura da Copa (Defeitos Estruturais):

Estrutura Multi-caule / Multi-líder: Revela uma estrutura multi-caule ou multi-líder, com vários caules grandes a emergir relativamente baixos no tronco principal (Figura 11).

Unões Estruturais: As uniões em estruturas multi-caule, especialmente se em "V" ou com casca inclusa, são pontos de fraqueza intrínsecos.

Vigor da Copa: A folhagem aparece cheia e saudável, indicando um bom vigor geral da copa.

Folhagem e Casca: As folhas apresentam-se verdes e densas. A casca exibe a textura fissurada e rugosa, típica de um Jacarandá maduro.

Crescimentos Epífitos: Observa-se a presença generalizada de fetos e musgo nos ramos e na casca, indicando humidade constante e potencialmente obscurecendo problemas subjacentes (Figura 11).

Ferida/Decomposição em Ramo: Ferida ativa num dos ramos maiores necessita de avaliação (Figura 11).

C. Contexto Urbano e Manutenção Existente

Perturbação Severa por Construção: Evidências claras de atividade de construção no perímetro da árvore, com solo revolvido e solto. A escavação e a perturbação do solo na Zona Crítica de Raízes (ZCR) são altamente suscetíveis de terem causado danos severos às raízes (corte, esmagamento, desidratação), comprometendo a sua capacidade de absorção de água e nutrientes, bem como a ancoragem da árvore. A compactação do solo também é uma preocupação (Figura 11).

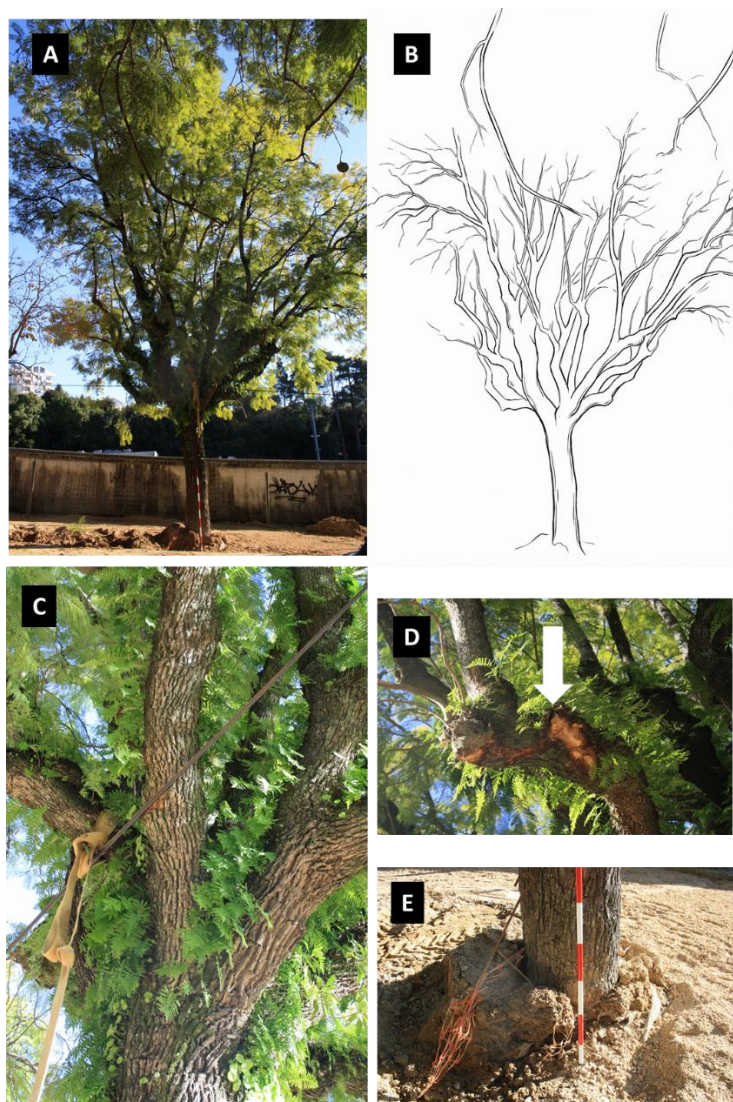


Figura 11. Exemplar #41 de Jacarandá. A. Vista geral do exemplar; B. Desenho esquemático do tronco e ramos principais; C. Divisão dos ramos em forma de V com crescimento intenso de epífitas; D. Presença de ferida em tronco (seta); E. Detalhe da base do tronco evidenciado obras na ZCR.

D. Avaliação da Integridade Interna (Resultados do Resistógrafo)

Foram realizadas cinco perfurações: Quatro ao DAP (variando entre 60-70 cm de altura) nas direções Norte, Sul, Oeste e Este. Uma perfuração adicional foi feita mais próxima da base (22 cm de altura), na direção Este.

Os resultados do Resistógrafo mostram, de uma maneira geral, uma amplitude maior (~30%) até à profundidade de 6 cm, diminuindo para ~20% até ao centro da árvore, não se detetando níveis de degradação da madeira extensos (Figura 12 e 13). Há alguma perda de qualidade pontual da madeira, especificamente à profundidade de 31 cm no lado Norte, e entre 20 e 24 cm na orientação Oeste. No entanto essa degradação parece estar compartimentada.



Figura 12. Resultados do Resistógrafo do exemplar #41 de Jacarandá. Os gráficos representam o perfil de resistência da madeira em quatro orientações (N, S, W, E) e a altura a que foram efetuados. A profundidade da perfuração foi até 32 cm, estimada a partir do cálculo do raio da árvore. O último gráfico mostra uma medição efetuada a 22 cm do solo, com um ângulo de 20°, sendo a profundidade de perfuração maior para compensar o ângulo. Código de cores: laranja – casca; verde - madeira sã; amarelo: - madeira com alguma degradação; vermelho - madeira degradada.

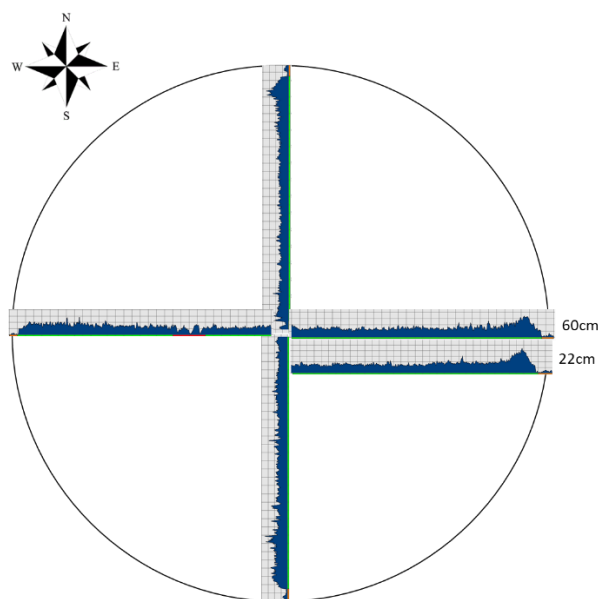


Figura 13. Representação espacial dos perfis do Resistógrafo da figura 12. Por simplicidade assumiu-se que a árvore tem uma secção circular perfeita.

E. Nível de risco

Fatores favoráveis

Dimensões e geometria:

- DAP 56 cm; altura 17 m; base da copa 3,5 m.
- Rácio de esbeltez ~30,3:1 - robusto para meio urbano.
- Boa conicidade: gola radicular bem desenvolvida, indício de ancoragem estruturalmente correta.

Estado interno (Resistógrafo):

- Amplitudes ~30% nos primeiros 6 cm e ~20% depois, sem zonas extensas de perda de resistência.
- Apenas defeitos pontuais e compartimentados (N aos 31 cm; O entre 20–24 cm) - não há evidência de cavidades grandes ou podridão avançada generalizada.

Vigor: copa densa, folhas verdes, casca típica de árvore madura - bom vigor fisiológico.

Fatores desfavoráveis / de atenção

- Estrutura multi-caule / multi-líder com uniões potencialmente em “V” - vulnerável a rotura em vento forte, sobretudo em árvores maduras.
- Ferida ativa num ramo maior - possível foco de decomposição futura.
- Presença abundante de epífitas (fetos, musgos) - pode ocultar fissuras/feridas.
- Perturbação severa pela construção na ZCR (escavações, solo revolvido, risco de corte/esmagamento de raízes e compactação) - ameaça séria à ancoragem e funcionalidade radicular, mesmo quando o tronco e a madeira interna estão em bom estado.

Classificação global: risco moderado, com tendência para moderado-elevado se não houver mitigação na ZCR e na estrutura da copa.

F. Medidas de mitigação recomendadas

A. Zona Crítica de Raízes (prioritário)

Definir perímetro mínimo (idealmente $\geq 8-10 \times \text{DAP}$ em raio, ajustado ao contexto) onde se evitam:

- novas escavações profundas;
- cortes de raízes estruturais;
- circulação/estacionamento de maquinaria pesada;
- depósito de materiais.

Se já houve cortes de raízes grossas: registar, documentar e considerar isso na revisão futura do risco.

B. Gestão da copa / estrutura

Poda de redução estrutural moderada, dirigida a:

- reduzir a carga ao vento sobre os caules principais (particularmente nos multi-líderes mais expostos);
- encurtar ramos longos/sobre-estendidos;
- diminuir o risco de rotura nas uniões multi-caule em “V”.

Tratar o ramo com ferida ativa:

- avaliar se a extensão da degradação justifica redução mais forte ou mesmo remoção desse ramo;
- recortes de saneamento bem executados para favorecer compartimentação.

C. Inspeção detalhada de defeitos

Verificar tipo de uniões (em “U” vs “V”, com ou sem inclusão de casca) e profundidade de quaisquer fissuras ocultas por epífitas.

Onde existirem uniões multi-caule críticas e se o valor da árvore e o alvo justificarem, ponderar suportes/cablagem estrutural entre caules, em complemento à poda de redução.

D. Monitorização

Reavaliações periódicas (por exemplo anuais ou em fases chave da obra), com atenção a:

- sinais de declínio foliar, morte de ramos, alterações de cor na casca;
- sinais de instabilidade (inclinação nova, fendas no colo, levantamento de solo);
- evolução das zonas pontuais de menor resistência identificadas no Resistógrafo (N e O).
- Após episódios de vento forte, efetuar inspeção rápida orientada às uniões multi-caule.

E. Critério de gestão futura

Se forem observados:

- agravamento rápido de defeitos estruturais;
- perda significativa de vigor;
- sinais de instabilidade radicular;

então o nível de risco deverá ser revisto para elevado e a remoção com substituição passa a ser uma opção a considerar seriamente.

No estado atual, com boa conicidade, robustez geométrica e madeira interna globalmente sã, a árvore parece viável com: proteção eficaz da ZCR + poda estrutural + monitorização, sem necessidade imediata de remoção, desde que a obra respeite efetivamente as raízes.

Relatório Individual da Jacarandá #44

A. Dados da Árvore e Análise Dimensional

Diâmetro à Altura do Peito (DAP): ~62.4 cm (calculado de 196 cm de perímetro)

Diâmetro da base: ~73 cm (calculado de 229 cm de perímetro)

Altura Total: 19 metros.

Base da copa: 3.1 metros

B. Análise Arquitetônica e Fisiológica Visual (VTA)

B.1 Rácio de Esbeltez (Estabilidade):

Cálculo: $19 \div 0.624 = \sim 30.4$.

Análise: Um rácio de 30.4:1 é considerado robusto para uma árvore urbana deste porte. No entanto, a copa inicia-se muito baixa (3.1m), o que significa que 84% da árvore funciona como uma "vela" que capta o vento, impondo um stress considerável no tronco e nas raízes durante tempestades (Figura 14).

B.2 Conicidade e Gola Radicular: A conicidade saudável e natural é um indicador positivo de estabilidade mecânica e de um desenvolvimento robusto da gola radicular.

Análise de Conicidade: A transição de um perímetro na base de 229 cm para um PAP de 196 cm demonstra uma conicidade saudável e natural do tronco.

B.3 Arquitetura da Copa (Defeitos Estruturais):

Estrutura dos Ramos: Revela uma copa larga e extensa, com múltiplos ramos de grande porte.

Folhagem e Casca: Folhagem verde e densa na copa superior, indicando boa saúde fotossintética. A casca exibe a textura fissurada e rugosa, típica de um Jacarandá maduro.

Feridas/Danos no Tronco e Ramos: Existe uma grande "faixa branca" vertical onde a casca exterior está em falta. Esta é uma ferida substancial que compromete a barreira protetora da árvore e constitui um ponto de elevada vulnerabilidade para a entrada de patógenos e início de processos de decomposição interna. Ramos com feridas que, caso não estejam compartimentadas, funcionam como ponto de entrada para patógenos (Figura 14).

C. Contexto Urbano e Manutenção Existente

Proteção e Obras: A base da árvore está rodeada por uma vedação de obra cor de laranja para proteção do tronco da árvore.



Figura 14. Exemplar #44 de Jacarandá. A. Vista geral do exemplar; B. Desenho esquemático do tronco e ramos principais; C. Faixa branca vertical no tronco; D. Presença de ferida em tronco; E. Detalhe da base do tronco.

D. Avaliação da Integridade Interna (Resultados do Resistógrafo)

Foram realizadas cinco perfurações: Quatro ao DAP (variando entre 62-72 cm de altura) nas direções Norte, Sul, Oeste e Este. Uma perfuração adicional foi feita mais próxima da base (24 cm de altura), na direção Sul.

Os resultados do Resistógrafo evidenciaram alguma heterogeneidade nas quatro orientações. Na orientação norte ocorre madeira sã com uma amplitude de ~20% entre a profundidade de 2 e 12 cm, seguido de uma área que mostra bastante decaimento, entre a profundidade 14 e 28 cm (Figura 14). A orientação sul mostra madeira sã até cerca de 27 cm de profundidade, sendo os últimos cm madeira degradada. Este perfil ocorre a 67 cm e 24 cm de profundidade (Figura 15). O lado Oeste apresenta madeira sã, com uma amplitude ~20% em todo o perfil. A orientação Este foi efetuada numa fissura do tronco e mostra que os primeiros 4 cm parecem ser casca, ou seja, um caso de intrusão de casca no tronco principal (Figura 14). Após esta zona de baixa resistência, a madeira mostra consistência ao longo de todo o perfil. Assumindo uma espessura ~12 cm de madeira saudável (limitado pelo lado Norte), e um Raio de ~31 cm, o rácio $t/R = 0.38$.

Este valor aproxima-se do limiar em que a estabilidade mecânica pode começar a estar comprometida.



Figura 15. Resultados do Resistógrafo do exemplar #44 de Jacarandá. Os gráficos representam o perfil de resistência da madeira em quatro orientações (N, S, W, E) e a altura a que foram efetuados. A profundidade da perfuração foi até 33 cm, estimada a partir do cálculo do raio da árvore. O último gráfico mostra uma medição efetuada a 24 cm do solo, com um ângulo de 20°, sendo a profundidade de perfuração maior para compensar o ângulo. Código de cores: laranja – casca; verde - madeira sã; amarelo: - madeira com alguma degradação; vermelho - madeira degradada.

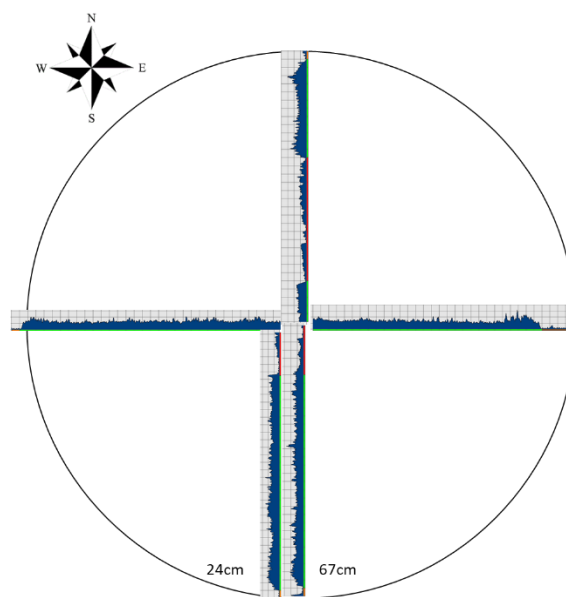


Figura 16. Representação espacial dos perfis do Resistógrafo da figura 15. Por simplicidade assumiu-se que a árvore tem uma secção circular perfeita.

E. Avaliação do nível de risco

Fatores favoráveis

Dimensões e geometria:

- DAP ~62 cm; altura 19 m; base da copa 3,1 m.
- Rácio de esbeltez ~30,4:1 – robusto para árvore urbana deste porte.
- Conicidade base - boa transição de diâmetros, indício de gola radicular bem desenvolvida.

Vigor aparente:

- Copa larga, folhagem verde e densa na parte - saúde fotossintética.
- Madeira sã e relativamente homogênea no lado Oeste e em boa parte dos perfis N e S (até ~20–27 cm).

Fatores desfavoráveis / críticos

- Carga de vento elevada: copa inicia-se baixa (3,1 m), com ~84% da altura a funcionar como “vela” - momento fletor significativo na base/tronco em vento forte.
- Ferida longitudinal extensa (“faixa branca” sem casca) no tronco: perda de proteção; possível comprometimento local da madeira subjacente a médio prazo.
- Estado interno:
 1. Norte: madeira sã (~20% de amplitude) apenas entre 2–12 cm; entre 14–28 cm há “bastante decaimento”.
 2. Sul: madeira sã até ~27 cm, últimos cm degradados (a 67 cm e 24 cm de altura).
 3. Este: intrusão de casca nos primeiros 4 cm; depois madeira consistente.

4. Assumindo $t \approx 12$ cm de madeira saudável (considerando o lado mais frágil, orientação norte) e $R \approx 31$ cm, obtém-se $t/R \approx 0,38$, apenas moderadamente acima do limiar de 0,3 habitualmente referido como início de zona crítica.

Nível de risco global: elevado em contexto urbano sensível.

F. Medidas de mitigação

Opção tecnicamente mais defensável implica a remoção do exemplar #44, fundamentada em:

- presença de degradação interna significativa em pelo menos um setor (N);
- rácio t/R já relativamente próximo do limiar crítico;
- ferida longitudinal ampla, facilitando progressão da decomposição;
- copa baixa e volumosa, aumentando o momento fletor;
- alvo elevado (rua, obras, circulação futura).

A manutenção implica um pacote de mitigação forte, assumindo risco residual significativo:

Poda de redução estrutural da copa:

Redução moderada a forte do volume e comprimento de ramos principais, em especial:

- nos setores N e S (onde existe degradação);
- em ramos longos/sobre-estendidos.

Objetivo: diminuir a carga ao vento e o momento fletor sobre a secção enfraquecida.

Gestão da ferida longitudinal e fissuras

- Inspeção detalhada da “faixa branca” e da intrusão de casca a Este;
- registo fotográfico e cartográfico das zonas críticas para seguimento.

Proteção da Zona Crítica de Raízes (ZCR)

Alargar a proteção para além da vedação laranja do tronco, evitando:

- escavações/cortes de raízes estruturais;
- compactação e circulação de maquinaria pesada na ZCR.

Monitorização frequente

- Reavaliações anuais (ou mais frequentes durante a obra) e após episódios de vento forte;
- Eventual repetição de perfurações em N e S se surgirem novos sintomas externos.

Relatório Individual da Jacarandá #49

A. Dados da Árvore e Análise Dimensional

Diâmetro à Altura do Peito (DAP): ~73.2 cm (calculado de 230 cm de perímetro)

Diâmetro da base: ~80 cm (calculado de 250 cm de perímetro)

Altura Total: 19.4 metros.

Base da copa: 2.9 metros

B. Análise Arquitetônica e Fisiológica Visual (VTA)

B.1 Rácio de Esbeltez (Estabilidade):

Cálculo: $19.4 \div 0.732 = \sim 26.5$.

Análise: Um rácio de 26.5:1 é considerado muito bom (robusto) para uma árvore urbana, indicando que o tronco possui uma espessura adequada em relação à sua altura (Figura 17).

B.2 Conicidade e Gola Radicular: A conicidade saudável e natural é um indicador positivo de estabilidade mecânica e de um desenvolvimento robusto da gola radicular.

Análise de Conicidade: A transição de um perímetro na base de 250 cm para um PAP de 230 cm pode ser descrita como conicidade presente e globalmente adequada, mas não muito acentuada (Figura 17)

B.3 Arquitetura da Copa (Defeitos Estruturais):

Base da Copa: Inicia-se a 2.9 metros de altura. A altura relativamente baixa do início da copa significa que a carga estrutural principal começa perto do solo, colocando stress direto sobre quaisquer defeitos existentes no tronco inferior.

Estrutura dos Ramos: Revela várias inserções de ramos com ângulos agudos (em forma de "V"). Estas uniões são geralmente mais fracas do que as em forma de "U" e podem constituir pontos de falha, especialmente numa espécie conhecida pela madeira algo quebradiça (Figura 17).

Vigor da Copa: A copa aparenta estar razoavelmente cheia, indicando atividade fotossintética ativa e contínua.

Defeito Estrutural Crítico – Inclusão de Casca (Troncos Codominantes): A questão mais significativa visível é a fenda vertical profunda e escura que percorre o tronco principal. Isto é altamente indiciador de casca incluída entre dois troncos codominantes. As uniões com casca incluída são inerentemente fracas e criam um ponto de falha de alto risco, especialmente sob ventos fortes. A cor escura pode também sugerir decomposição interna associada a este defeito (Figura 17).

C. Contexto Urbano e Manutenção Existente

Perturbação por Construção: Presença de rede de segurança laranja, tecido branco/sacos de areia e perturbação geral do solo na base da árvore. As atividades de construção levam frequentemente a danos nas raízes (corte, esmagamento), compactação do solo e feridas mecânicas no tronco. Estes fatores de stress podem comprometer severamente a estabilidade e a sobrevivência a longo prazo.

Cabos/Fios na Base: Existem cabos ou fios soltos enrolados no tronco, que podem indicar preocupações estruturais passadas (Figura 17).



Figura 17. Exemplar #49 de Jacarandá. A. Vista geral do exemplar; B. Desenho esquemático do tronco e ramos principais; C. Fissura ao longo do tronco; D. Arquitetura de ramos irregular e ramificada, com múltiplos eixos de crescimento

D. Avaliação da Integridade Interna (Resultados do Resistógrafo)

Foram realizadas cinco perfurações: Quatro ao DAP (variando entre 62-70 cm de altura) nas direções Norte, Sul, Oeste e Este. Uma perfuração adicional foi feita mais próxima da base (19 cm de altura), na direção Norte.

Os resultados do Resistógrafo revelaram alguma heterogeneidade nas quatro orientações (Figura 18). No lado Norte a madeira é considerada sã em quase todo o perfil, com exceção de uma degradação pontual entre os 14 e 15 cm de profundidade, aparentemente

compartimentada. No entanto, na mesma orientação para a 19 cm de altura, a madeira aparece com decaimento evidente a partir dos 14 cm até aos 36 cm de profundidade. Este apodrecimento pode estar a progredir na direção vertical, ainda não sendo visível a 65 cm de altura na mesma orientação (Figura 19). O lado sul apresenta madeira sã até aos 31 cm de profundidade, sendo depois madeira com elevada degradação. O lado Oeste apresenta madeira sã até cerca de 16 cm de profundidade, seguido de madeira com elevada degradação até ao final do registo. O lado Este apresenta um perfil de madeira sã em praticamente todo o perfil analisado. Se assumirmos uma espessura de madeira sã com ~14 cm, tendo em conta que o Raio é ~ 37 cm, o rácio $t/R = 0.37$. Este valor aproxima-se do limiar em que a estabilidade mecânica pode começar a estar comprometida.

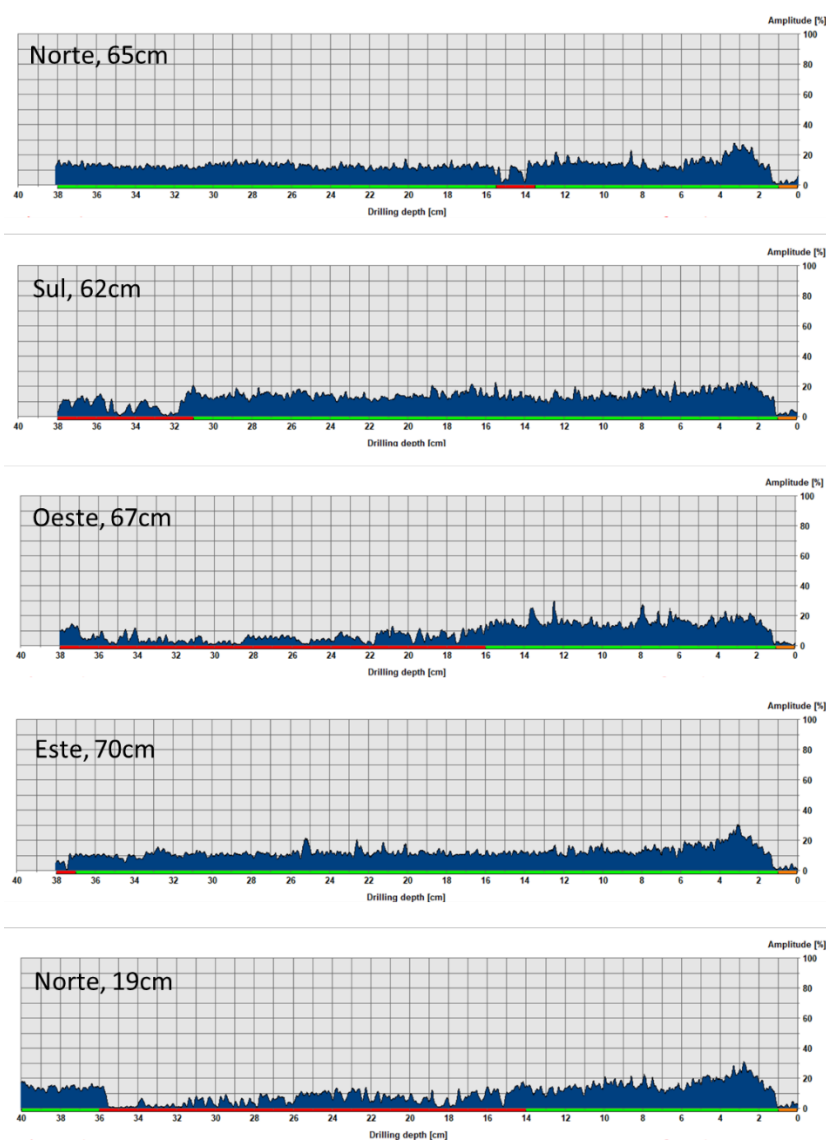


Figura 18. Resultados do Resistógrafo do exemplar #49 de Jacarandá. Os gráficos representam o perfil de resistência da madeira em quatro orientações (N, S, W, E) e a altura a que foram efetuados. A profundidade da perfuração foi até 38 cm, estimada a partir do cálculo do raio da árvore. O último gráfico mostra uma medição efetuada a 19 cm do solo, com um ângulo de 20°, sendo a profundidade de perfuração maior para compensar o ângulo. Código de cores: laranja – casca; verde - madeira sã; amarelo: - madeira com alguma degradação; vermelho - madeira degradada.

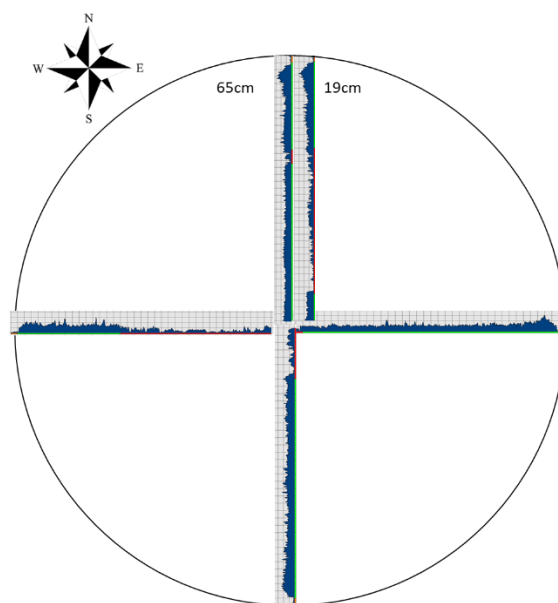


Figura 19. Representação espacial dos perfis do Resistógrafo da figura 18. Por simplicidade assumiu-se que a árvore tem uma secção circular perfeita.

E. Avaliação do nível de risco

Fatores favoráveis

- DAP ~73 cm; altura 19,4 m; base da copa 2,9 m.
- Rácio de esbeltez ~26,5:1 - muito robusto do ponto de vista geométrico.
- Conicidade presente e globalmente razoável.
- Perfil de Resistógrafo com setores ainda sãos (Este e boa parte do Norte; madeira sã até 31 cm a Sul; até 16 cm a Oeste).

Fatores desfavoráveis / críticos

Defeito estrutural grave:

- fenda vertical profunda e escura, típica de troncos codominantes com casca inclusa;
- trata-se de uma união intrinsecamente fraca, com risco de rotura súbita em vento forte, especialmente numa espécie de madeira algo quebradiça.

Degradação interna significativa (Resistógrafo):

- Norte aos 19 cm de altura: decaimento dos 14–36 cm potencial progressão vertical de podridão;
- Sul: madeira sã até ~31 cm, depois madeira com elevada degradação;
- Oeste: madeira sã até ~16 cm, seguido de madeira muito degradada até ao fim do perfil;
- Com $t \approx 14$ cm e $R \approx 37$ cm - $t/R \approx 0,37$, apenas moderadamente acima do limiar crítico 0,3: secção ainda funcional, mas com margem de segurança reduzida, sobretudo em setores degradados.
- Copa baixa e volumosa (carga de vento forte, com ~85% da altura a atuar como “vela”).

- Perturbação por construção na base (solo revolvido/compactado, risco de dano radicular).
- Presença de cabos/fios na base - possível historial de preocupações estruturais?

Classificação global: risco elevado, não compatível com um nível de tolerância baixo sem intervenção forte.

F. Medidas de mitigação

Opção tecnicamente mais defensável

Remoção da árvore #49, com base em:

- defeito crítico de codominância com casca inclusa e fenda profunda;
- degradação interna setorial extensiva (N baixo, S e O), com t/R já em zona de segurança limitada;
- provável progressão da podridão;

Opção de manutenção

Apenas justificável com um conjunto cumulativo de medidas e aceitação explícita do risco residual:

Poda de redução estrutural forte da copa

Reduzir altura e volume da copa, sobretudo:

- aliviando o setor associado à união codominante defeituosa;
- encurtando ramos longos/sobre-estendidos;

Objetivo: diminuir o momento fletor e a probabilidade de rotura súbita.

Gestão do defeito de codominância

- Avaliação detalhada da fenda (profundidade, extensão, evolução).
- Ponderar cablagem/suporte estrutural.

Proteção da Zona Crítica de Raízes (ZCR)

Alargar efetivamente a área de exclusão à volta da árvore:

- evitar novas escavações/cortes de raízes estruturais;
- minimizar compactação por maquinaria pesada.

Monitorização apertada

Reavaliações frequentes (p.ex. anuais e após ventos fortes), com:

- controlo da fenda (alargamento/propagação);
- sinais de instabilidade (inclinação, fissuras novas, levantamento de solo);
- eventual repetição de medições com Resistógrafo em zonas-chave, se surgirem novos sintomas.

Relatório Individual da Jacarandá #52

A. Dados da Árvore e Análise Dimensional

Diâmetro à Altura do Peito (DAP): ~58.2 cm (calculado de 183 cm de perímetro)

Diâmetro da base: ~65 cm (calculado de 203 cm de perímetro)

Altura Total: 18.4 metros.

Base da copa: 3.4 metros

B. Análise Arquitetônica e Fisiológica Visual (VTA)

B.1 Rácio de Esbeltez (Estabilidade):

Cálculo: $18.4 \div 0.582 = \sim 31.6$.

Análise: Um rácio de 31.6:1 é considerado robusta para uma árvore urbana (Figura 20).

B.2 Conicidade e Gola Radicular: A conicidade saudável e natural é um indicador positivo de estabilidade mecânica e de um desenvolvimento robusto da gola radicular.

Análise de Conicidade: A transição de um perímetro na base de 203 cm para um PAP de 183 cm demonstra uma conicidade saudável e natural do tronco.

B.3 Arquitetura da Copa (Defeitos Estruturais):

Vigor da Copa: A copa aparenta estar relativamente cheia de folhagem, sugerindo boa função fisiológica e atividade fotossintética ativa. O tamanho e altura gerais indicam que a árvore tem mantido o vigor durante um tempo considerável.

Estrutura dos Ramos: Estrutura fortemente ramificada. Algumas uniões de ramos parecem ter ângulos agudos (em forma de "V"), que são inerentemente mais fracos do que as uniões em "U" (Figura 20).

Inclinação/Curvatura: Observa-se uma curvatura ou inclinação notável no fuste principal à medida que ascende. Embora possa contribuir para uma distribuição de peso desigual, se a árvore se tiver adaptado bem ao longo do tempo, não constitui necessariamente um defeito crítico, mas merece monitorização.

Preocupação Estrutural Potencial – Caules Codominantes / Sulcos Profundos: sulco profundo na base do tronco principal. Isto pode indicar uma união de crescimento forte entre múltiplos caules ou uma união com casca inclusa profunda e desenvolvida. Tais características são pontos de concentração de tensão e fraqueza potencial, especialmente sob ventos fortes (Figura 20)

C. Contexto Urbano e Manutenção Existente

Perturbação por Construção: A presença de rede de segurança laranja próxima do tronco é insuficiente para proteger a parte radicular com atividades de construção a decorrer.

Crescimentos Epífitos: A presença generalizada de fetos e musgo nos ramos e na casca pode obscurecer a visibilidade de problemas subjacentes (Figura 20).

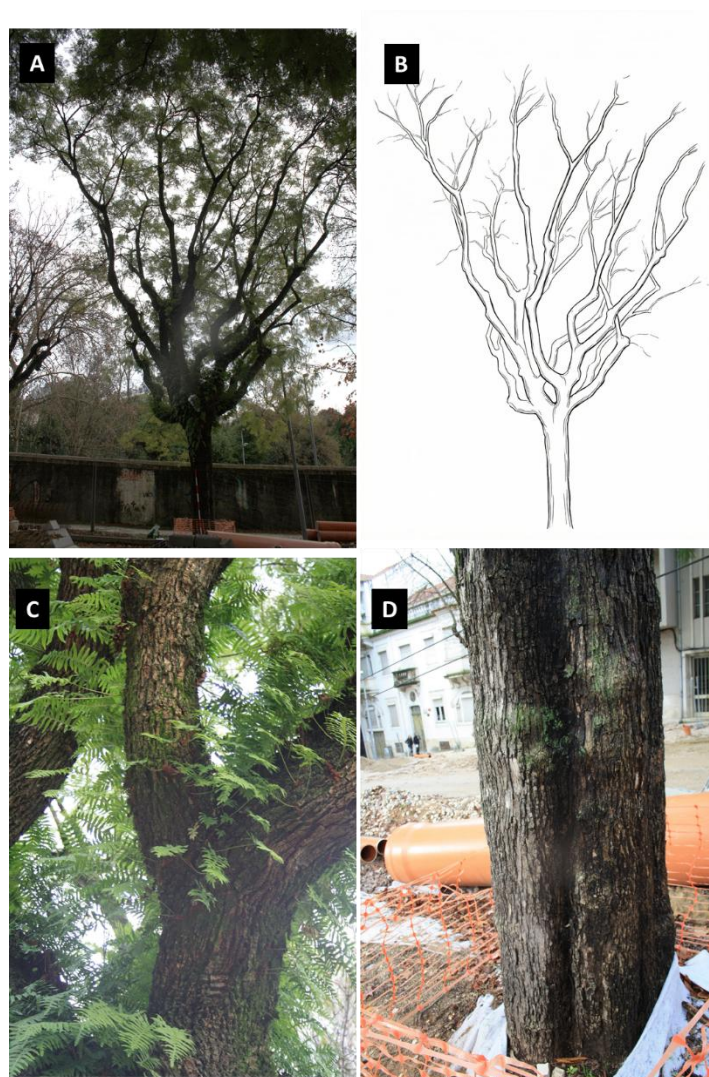


Figura 20. Exemplar #52 de Jacarandá. A. Vista geral do exemplar; B. Desenho esquemático do tronco e ramos principais; C. Profusão de epífitas e ramos com bifurcação em V; D. Sulco vertical do tronco.

D. Avaliação da Integridade Interna (Resultados do Resistógrafo)

Foram realizadas cinco perfurações: Quatro ao DAP (variando entre 58-73 cm de altura) nas direções Norte, Sul, Oeste e Este. Uma perfuração adicional foi feita mais próxima da base (14 cm de altura), na direção Noroeste.

Os resultados do Resistógrafo mostraram, genericamente um perfil similar nas quatro orientações, com madeira sã em praticamente toda a profundidade (Figura 21 e 22). Apenas no lado Oeste há a presença de madeira degradada (entre os 24 e os 26 cm), mas aparenta estar bem compartimentada.

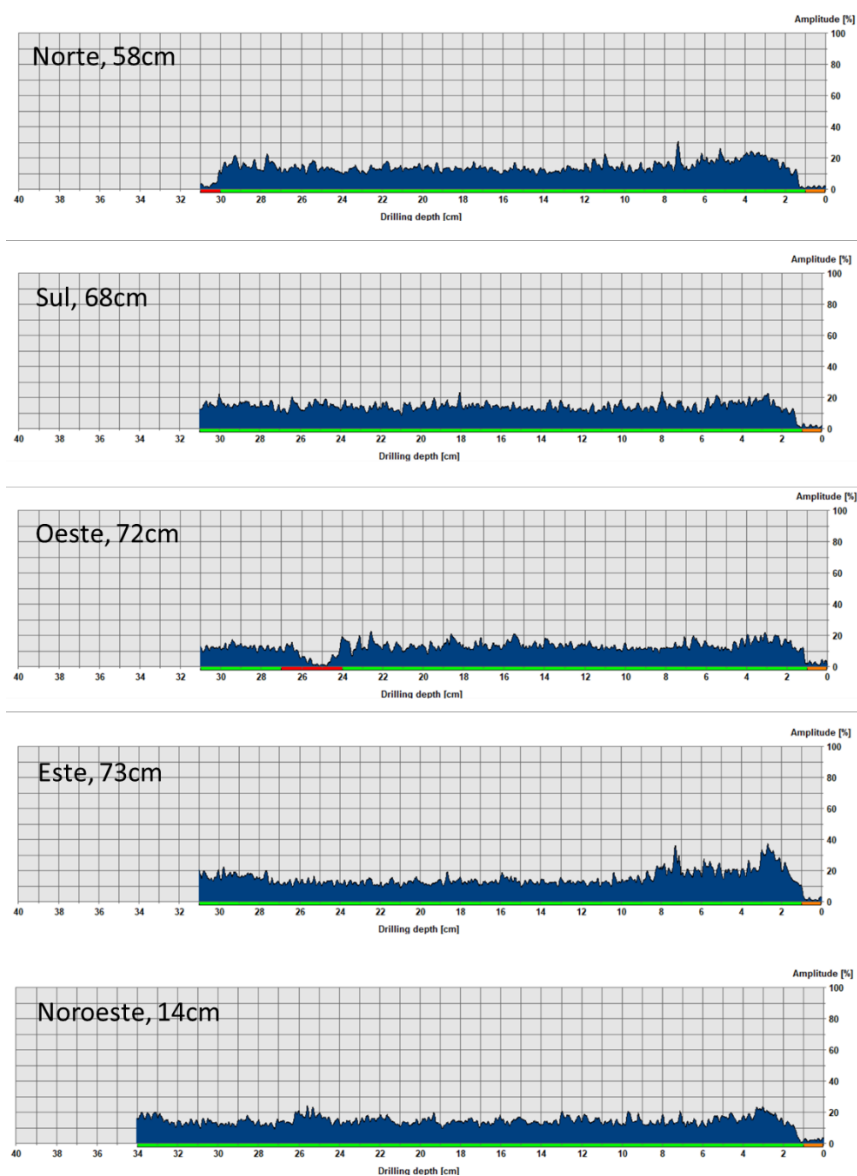


Figura 21. Resultados do Resistógrafo do exemplar #52 de Jacarandá. Os gráficos representam o perfil de resistência da madeira em quatro orientações (N, S, W, E) e a altura a que foram efetuados. A profundidade da perfuração foi até 31 cm, estimada a partir do cálculo do raio da árvore. O último gráfico mostra uma medição efetuada a 14 cm do solo, com um ângulo de 20°, sendo a profundidade de perfuração maior para compensar o ângulo. Código de cores: laranja – casca; verde - madeira sã; amarelo: - madeira com alguma degradação; vermelho - madeira degradada.

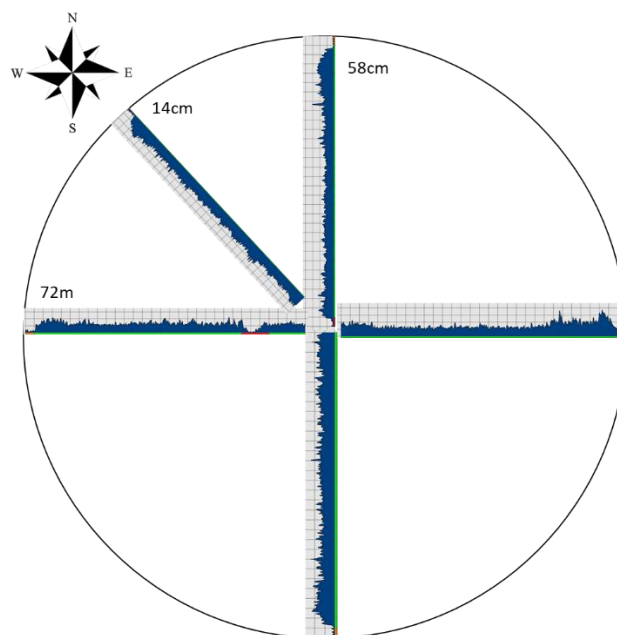


Figura 22. Representação espacial dos perfis do Resistógrafo da figura 21. Por simplicidade assumiu-se que a árvore tem uma secção circular perfeita.

E. Avaliação do nível de risco

Fatores favoráveis

- Geometria: DAP ~58 cm; altura 18,4 m; base da copa 3,4 m; rácio de esbeltez ~31,6:1 - robusto para meio urbano.
- Conicidade - indica boa gola radicular e ancoragem, em princípio.
- Vigor: copa relativamente cheia, folhagem verde - boa função fisiológica.
- Resistógrafo: madeira sã em praticamente toda a profundidade nas quatro orientações; apenas uma pequena zona degradada a Oeste (24–26 cm), aparentemente bem compartimentada.

Fatores desfavoráveis / de atenção

- Copa relativamente baixa (cerca de 82% da altura a funcionar como “vela” ao vento).
- Estrutura ramificada com uniões em “V” (potencial fraqueza, embora sem defeito crítico evidente).
- Curvatura / inclinação do fuste principal - pode aumentar assimetria de cargas, mas a árvore aparenta ter-se adaptado.
- Sulco profundo na base do tronco - possível união codominante antiga / casca inclusa; ponto de concentração de tensões, merece vigilância.
- Perturbação por construção e proteção da ZCR claramente insuficiente.
- Epífitas (fetos/musgos) podem ocultar fissuras/feridas.

Nível de risco global: moderado, aceitável apenas com mitigação e monitorização em contexto de obra.

F. Medidas de mitigação recomendadas

Proteção da Zona Crítica de Raízes (prioritário)

Alargar muito para além da rede laranja:

- evitar escavações profundas e cortes de raízes estruturais;
- minimizar compactação por maquinaria pesada;
- não usar a zona como área de depósito de materiais.

Gestão da copa / estrutura

Poda ligeira a moderada de redução estrutural:

- encurtar ramos mais longos/sobre-estendidos;
- aliviar uniões em “V” mais carregadas;
- não fazer cortes agressivos que criem novos grandes focos de doença.

Inspeção detalhada do sulco na base

Verificar se é:

- apenas um sulco superficial de crescimento; ou
- uma união codominante com casca inclusa/fissura estrutural.

Se houver sinais de fenda profunda ou evolução, reavaliar o risco (pode subir para moderado-elevado) e considerar:

- redução adicional da copa;
- eventualmente cablagem se houver justificação.

Monitorização

Reavaliações periódicas (p.ex. anuais, e após fases críticas da obra / ventos fortes), com atenção a:

- evolução do sulco/fissuras;
- sinais de instabilidade (inclinação nova, fendas no colo, levantamento de solo);
- evolução da pequena zona degradada detetada a Oeste (apenas se surgirem sintomas externos).

No estado atual, com boa conicidade, robustez geométrica e madeira interna maioritariamente sã, a árvore #52 é candidata à manutenção, desde que haja proteção efetiva da ZCR, alguma redução estrutural da copa e monitorização regular durante e após a obra.

Relatório Individual da Jacarandá #55

A. Dados da Árvore e Análise Dimensional

Diâmetro à Altura do Peito (DAP): ~55.7 cm (calculado de 175 cm de perímetro)

Diâmetro da base: ~70 cm (calculado de 220 cm de perímetro)

Altura Total: 20.9 metros.

Base da copa: 3.6 metros

B. Análise Arquitetônica e Fisiológica Visual (VTA)

B.1 Rácio de Esbeltez (Estabilidade):

Cálculo: $20.9 \div 0.557 = \sim 37.8$

Análise: Um rácio de 37.8:1 é considerado robusta para uma árvore urbana (Figura 23).

B.2 Conicidade e Gola Radicular: A conicidade saudável e natural é um indicador positivo de estabilidade mecânica e de um desenvolvimento robusto da gola radicular.

Análise de Conicidade: A transição de um perímetro na base de 220 cm para um PAP de 175 cm demonstra uma conicidade saudável e natural do tronco.

B.3 Arquitetura da Copa (Defeitos Estruturais):

Vigor da Copa: A copa aparenta estar cheia, com folhagem verde e exuberante, sugerindo uma boa função fisiológica e atividade fotossintética geral.

Estrutura Multi-caule e Uniões com Casca Inclusa (Defeito Estrutural Crítico): A árvore apresenta uma estrutura multi-caule ou vários líderes codominantes grandes com origem relativamente baixa no tronco. Muitas das uniões entre estes caules e os ramos principais parecem ser uniões em "V" apertadas com casca inclusa. Estes são pontos inerentemente fracos e propensos a rachar ou falhar, especialmente numa espécie com madeira quebradiça como o Jacarandá (Figura 23).

Crescimentos Epífitos: A presença de fetos e musgo nos caules principais pode esconder problemas subjacentes (Figura 23)

Defeito Basal (Sulco/Fenda): Existe um sulco profundo ou fenda vertical aparente que se estende da base para cima, o que pode ser outra casca inclusa ou sinal de uma ferida antiga/fenda de tensão, comprometendo a estabilidade do tronco inferior (Figura 23)

C. Contexto Urbano e Manutenção Existente

Perturbação Severa por Construção: As imagens mostram atividade de construção extensa em redor da base (rede de segurança laranja, solo revolvido, materiais de construção/tubagens).

Esta perturbação no solo e na Zona Crítica de Raízes (ZCR) é altamente suscetível de ter causado danos às raízes.

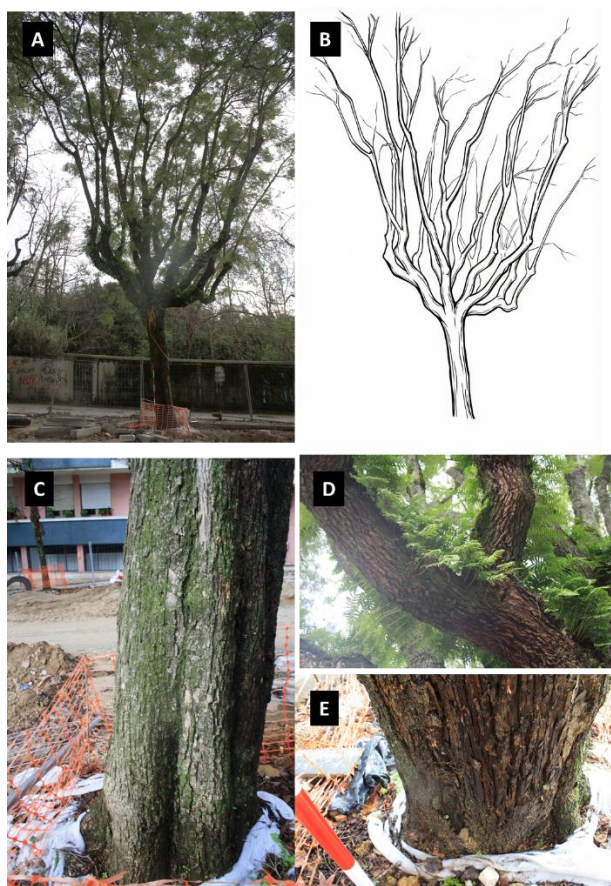


Figura 23. Exemplar #55 de Jacarandá. A. Vista geral do exemplar; B. Desenho esquemático do tronco e ramos principais; C. Sulco vertical do tronco; D. Profusão de epífitas e ramos com bifurcação em V; E. Detalhe da base do tronco.

D. Avaliação da Integridade Interna (Resultados do Resistógrafo)

Foram realizadas cinco perfurações. Quatro ao DAP (variando entre 62-85 cm de altura) nas direções Norte, Sul, Oeste e Este. Uma perfuração adicional foi feita mais próxima da base (22 cm de altura), na direção Este.

Os resultados do Resistógrafo mostraram, genericamente um perfil similar em todas as orientações, com a presença de madeira sã em praticamente toda a profundidade (Figura 24, 25). Na orientação Oeste, entre os 24 e 26 cm de profundidade deteta-se madeira degradada, mas aparenta estar compartimentada. Na orientação Este, a 85 cm de altura, a madeira diminui de amplitude a partir dos 11 cm de profundidade, passando de uma amplitude de 25-30% para cerca de 15 a 20%.

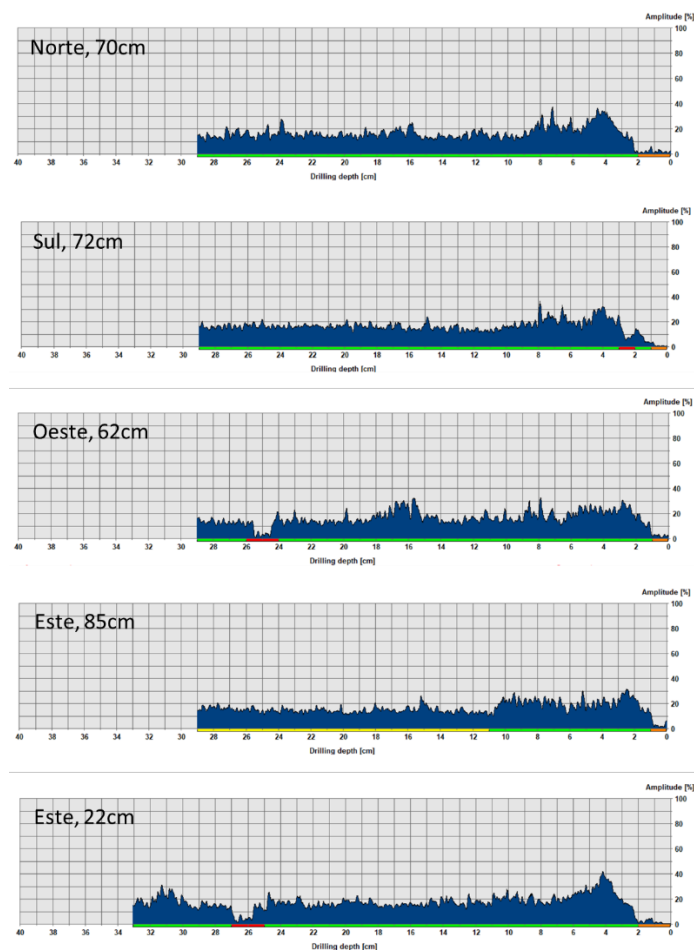


Figura 24. Resultados do Resistógrafo do exemplar #55 de Jacarandá. Os gráficos representam o perfil de resistência da madeira em quatro orientações (N, S, W, E) e a altura a que foram efetuados. A profundidade da perfuração foi até 29 cm, estimada a partir do cálculo do raio da árvore. O último gráfico mostra uma medição efetuada a 22 cm do solo, com um ângulo de 20°, sendo a profundidade de perfuração maior para compensar o ângulo. Código de cores: laranja – casca; verde - madeira sã; amarelo - madeira com alguma degradação; vermelho - madeira degradada.

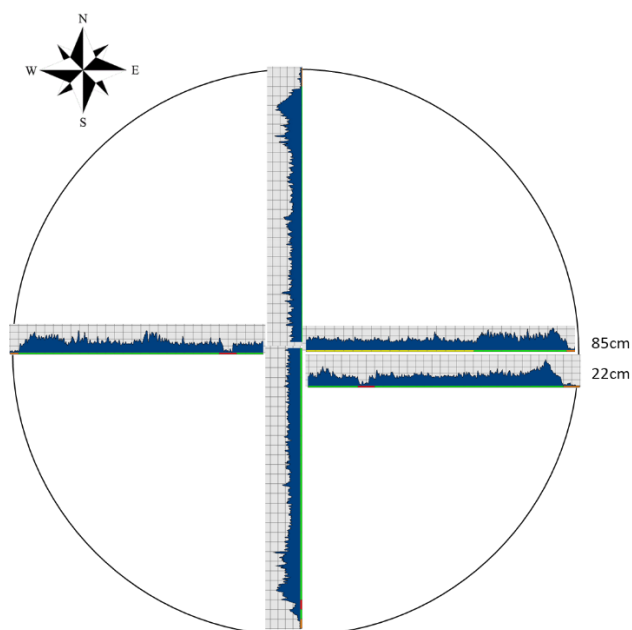


Figura 25. Representação espacial dos perfis do Resistógrafo da figura 24. Por simplicidade assumiu-se que a árvore tem uma secção circular perfeita.

E. Avaliação do nível de risco

Fatores favoráveis

- Dimensão/forma: DAP ~55,7 cm; altura 20,9 m; base da copa 3,6 m; rácio de esbeltez ~37,8:1 - aceitável/robusto para meio urbano.
- Conicidade: boa conicidade e gola radicular, em princípio.
- Vigor: copa cheia, folhagem verde e exuberante - boa condição fisiológica.
- Resistógrafo: madeira maioritariamente sã em todas as orientações; apenas com pequena zona degradada a Oeste (24–26 cm), compartimentada; redução de amplitude a Este a partir dos 11 cm (25-30% para 15-20%), sem evidência de cavidade extensa.

Fatores desfavoráveis / críticos

Estrutura multi-caule / vários líderes codominantes, com:

- muitas uniões em “V” e eventualmente com casca inclusa - pontos de fraqueza.
- Sulco/fenda basal profunda: pode representar casca inclusa antiga ou fenda de tensão; constitui possível defeito estrutural sério no tronco inferior.
- Perturbação por construção na ZCR

Nível de risco global: moderado a elevado, com necessidade de medidas de mitigação e monitorização em contexto de obra.

F. Medidas de mitigação

Poda de redução estrutural significativa

Reduzir altura e volume da copa, em especial:

- aliviando os caules codominantes mais críticos;
- encurtando ramos longos/sobre-estendidos.

Objetivo: diminuir a carga ao vento e reduzir o risco de rotura nas uniões com casca inclusa e no defeito basal.

Proteção e gestão da ZCR

Alargar a área de exclusão em redor da árvore:

- evitar novas escavações;
- evitar cortes de raízes grossas;
- reduzir ao mínimo a compactação por maquinaria.

Inspeção estrutural detalhada

Avaliar profundidade/continuidade do sulco basal e das uniões com casca inclusa;

Ponderar cablagem/suporte entre caules, sabendo que, com madeira quebradiça e defeitos múltiplos, a eficácia é limitada.

Monitorização apertada

Reavaliações frequentes durante a obra e após ventos fortes;

Critérios claros para remoção imediata se surgirem:

- aumento de fendas;
- inclinação nova;
- levantamento de solo;
- declínio rápido da copa.

Relatório Individual da Tipuana #2

A. Dados da Árvore e Análise Dimensional

Diâmetro à Altura do Peito (DAP): ~44,6 cm (calculado de 140 cm de perímetro)

Diâmetro da base: ~50.9 cm (calculado de 160 cm de perímetro)

Altura total: 19,7 m

Base da copa: 9.5 metros

B. Análise Arquitetônica e Fisiológica Visual (VTA)

B.1 Arquitetura do Tronco – Curvatura em “S” e Inclinação

Observação: O tronco apresenta uma forma sinuosa, com curva em “S”: flete para um lado, corrige e volta a inclinar-se fortemente para a esquerda (Figura 26).

Interpretação: Padrão compatível com crescimento fototrópico, procurando luz (provavelmente em resposta a sombra de edifícios/árvores).

Implicação estrutural: Arquitetura globalmente desequilibrada, com o centro de gravidade potencialmente deslocado em relação à placa radicular. A curvatura em “S” cria pontos de concentração de tensões ao longo do tronco, onde o grão da madeira muda de direção, aumentando o risco de fratura sob vento forte.

B.2 Rácio de Esbeltez (Estabilidade Global)

Cálculo: $19,7 / 0,446 = \sim 44,2:1$.

Análise: Valor elevado para árvore urbana (acima de 50:1 é considerado muito esguio; 40–50:1 já traduz esbeltez acentuada). Sugere um tronco relativamente fino para a altura, com comportamento mais flexível (“efeito chicote”) do que maciço/robusto.

Risco associado: A árvore depende fortemente da flexibilidade e da ancoragem radicular para resistir ao vento. Com alterações do ambiente (remoção de árvores vizinhas, alterações de edifícios/obras), a exposição ao vento pode aumentar subitamente, tornando-a mais suscetível a flexão excessiva ou fratura, sobretudo na zona da curvatura.

B.3 Conicidade e Gola Radicular

Diferença de diâmetros base - DAP

Base ~ 50,9 cm; DAP ~ 44,6 cm - aumento de cerca de 14,3%.

Análise: Indica alguma conicidade, compatível com desenvolvimento moderadamente saudável da gola radicular. Visualmente, a casca na base aparenta estar limpa, sem sinais evidentes de estrangulamento por pavimento. Contudo, a vedação de obra muito próxima e os sinais de distúrbio do solo sugerem risco de compromisso da Zona Crítica de Raízes (ZCR).

B.4 Copa

Observação: A copa começa a 9,5 m e está muito desequilibrada para um lado (Figura 26).

Braço de alavanca maior: quase toda a massa da copa está no terço superior do tronco; qualquer carga de vento gera um momento fletor muito elevado na zona da curvatura em “S” e junto à fissura/cancro.

Carga assimétrica: como a copa está deslocada para um lado, o centro de gravidade afasta-se ainda mais do eixo do tronco e da placa radicular, aumentando o risco de fratura no tronco (sobretudo na zona da curva/fissura), ou instabilidade radicular, se as raízes estiverem afetadas pela obra.

B.5 Condição da casca - Fissura Longitudinal (Defeito Crítico)

Observação: Fissura vertical profunda na casca (Figura 26).

Avaliação: Sugere morte ou degradação da madeira subjacente naquela faixa. Cria um ponto fraco na estrutura do tronco, reduzindo a sua capacidade de resistir a esforços de flexão e torção. Potencial porta de entrada para patógenos e progressão de decomposição interna ao longo do tempo.

C. Contexto Urbano e Impacto da Construção

Presença de vedação de construção muito próxima do tronco e sinais de solo perturbado na envolvente (Figura 26). Os riscos associados são:

- Possíveis danos em raízes estruturais e alimentadoras (corte, esmagamento, desidratação);
- Compactação do solo, reduzindo a oxigenação e capacidade de ancoragem;
- A proximidade da frente de obra aumenta o alvo humano e de equipamentos sob a projeção da copa.

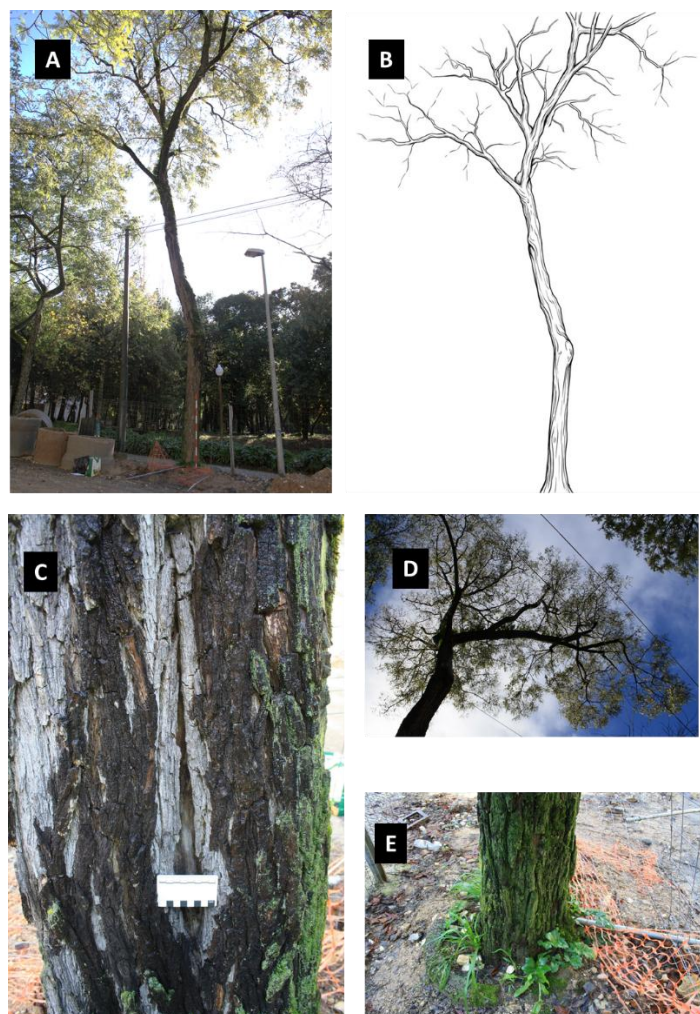


Figura 26. Exemplar #2 de Tipuana. A. Vista geral do exemplar; B. Desenho esquemático do tronco e ramos principais; C. Fissura no tronco; D. Copa desequilibrada; E. Detalhe da base do tronco.

D. Avaliação da Integridade Interna (Resultados do Resistógrafo)

Foram realizadas cinco perfurações. Quatro ao DAP (variando entre 80-93 cm de altura) nas direções Norte, Sul, Oeste e Este. Uma perfuração adicional foi feita mais próxima da base (27 cm de altura), na direção Norte.

Os resultados do Resistógrafo mostra, de uma maneira geral, que a madeira ao longo da profundidade da perfuração, não apresenta zonas extensas de decaimento (Figura 27, 28). A parte mais externa apresenta madeira mais resistente (amplitudes entre 30 e 40%), e a partir de ~12cm de profundidade há uma redução suave da resistência da madeira, com amplitudes ~20%. Na orientação Norte, entre os 2 e os 4 cm de profundidade, há um decaimento da resistência da madeira. Se considerarmos que a madeira sã tem uma espessura ~12cm a toda a volta do tronco, e considerando que o raio é ~22 cm, o rácio $t/R = \sim 0.55$. Este valor indica que o tronco mantém um anel de madeira sã suficientemente espesso para suportar cargas de vento usuais. No entanto, de destacar que na orientação Norte, os primeiros 4 cm apresentam alguma fragilidade.

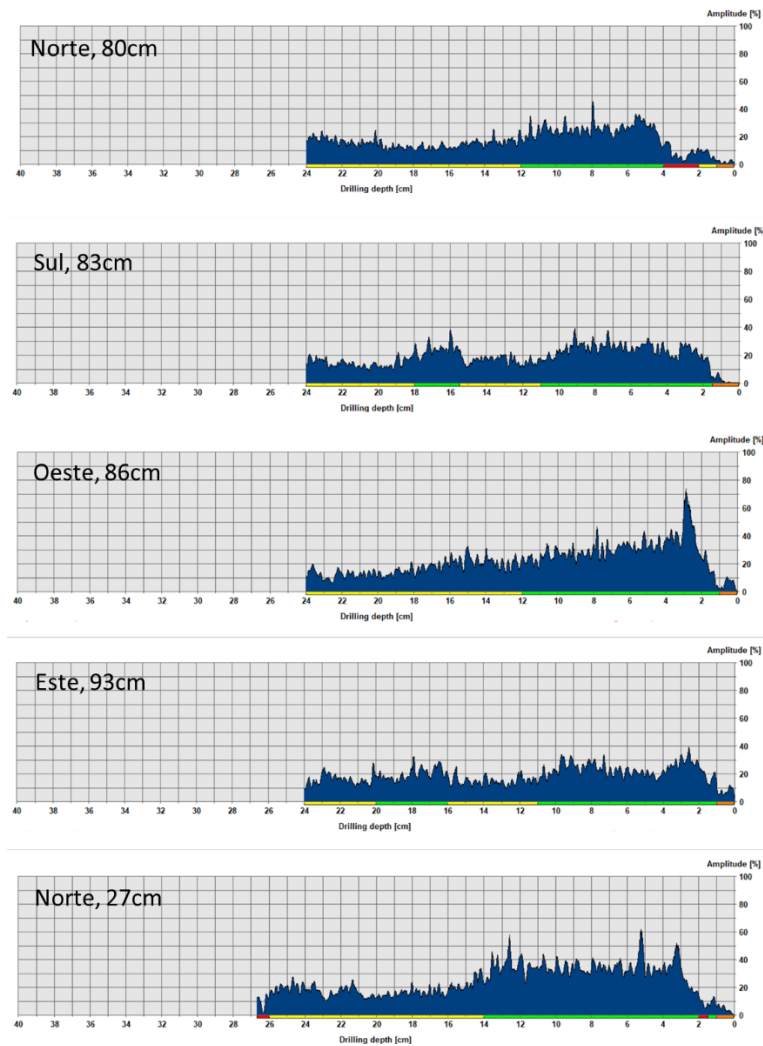


Figura 27. Resultados do Resistógrafo do exemplar #2 de Tipuana. Os gráficos representam o perfil de resistência da madeira em quatro orientações (N, S, W, E) e a altura a que foram efetuados. A profundidade da perfuração foi até 24 cm, estimada a partir do cálculo do raio da árvore. O último gráfico mostra uma medição efetuada a 27 cm do solo, com um ângulo de 20°, sendo a profundidade de perfuração maior para compensar o ângulo. Código de cores: laranja – casca; verde - madeira sã; amarelo: - madeira com alguma degradação; vermelho - madeira degradada.

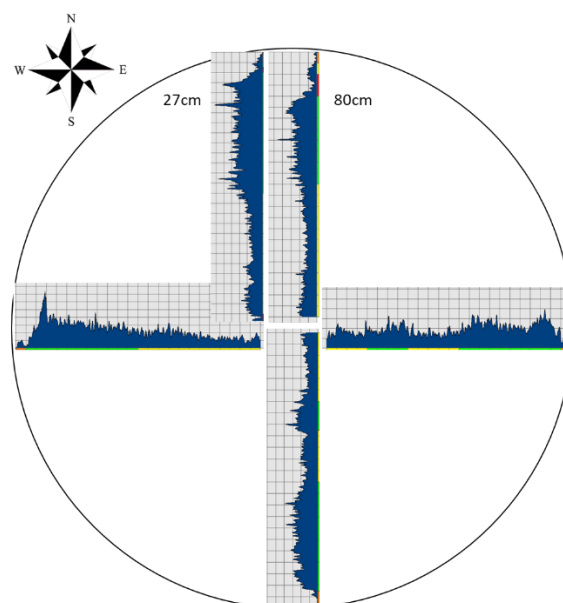


Figura 28. Representação espacial dos perfis do Resistógrafo da figura 27. Por simplicidade assumiu-se que a árvore tem uma secção circular perfeita.

E. Nível de risco

Fatores que aumentam o risco

Esbeltez elevada: rácio $\sim 44,2:1$ - tronco esguio, dependente da flexibilidade e da ancoragem.

Arquitetura desequilibrada: tronco em “S” + inclinação + copa muito deslocada para um lado - centro de gravidade afastado do eixo do tronco e da placa radicular, com fortes concentrações de tensão na zona da curva.

Copa alta (base aos 9,5 m): quase toda a massa da copa no terço superior - grande braço de alavanca, aumento do momento fletor no tronco inferior.

Fissura longitudinal na casca (defeito crítico): zona estruturalmente enfraquecida, sobretudo em flexão/torção; potencial foco de degradação interna futura.

ZCR em risco por obra: solo perturbado, vedação próxima - probabilidade de danos radiculares/compactação, reduzindo a ancoragem.

Resistógrafo: anel de madeira são relativamente espesso ($t/R \approx 0,55$ - ainda bom do ponto de vista geométrico), mas com fragilidade nos 2–4 cm externos a Norte, onde coincide o maior esforço em flexão sob determinados vetores de vento.

Nível de risco global: elevado, exigindo mitigação forte ou remoção.

F. Medidas de mitigação

Cenário 1: Se a opção for manter (com risco assumido)

Poda de redução estrutural dirigida

Reduzir volume e comprimento de ramos do lado mais carregado da copa (direcional), para:

- baixar o centro de gravidade;
- reduzir o momento fletor na zona da curvatura e da fissura;
- limitar o “efeito chicote” em vento forte.

Proteção efetiva da ZCR

Alargar área de exclusão em redor da árvore:

- evitar escavações/cortes de raízes de maior diâmetro;
- evitar compactação por maquinaria e depósito de materiais.

Monitorização apertada

Inspeções frequentes durante a obra e após ventos fortes:

- evolução da fissura (alargamento, extensão);
- alterações da inclinação / levantamentos de solo;
- novos sinais de decaimento onde o Resistógrafo mostrou fragilidade (N, 0–4 cm).

Critério de remoção

Se ocorrer agravamento rápido da fissura, aumento da inclinação, danos radiculares evidentes ou declínio do vigor, rever a classificação para risco muito elevado e recomendar remoção.

Cenário 2: Se o alvo local for muito sensível (paragem, movimento pedonal intenso, zona de obra crítica)

Dado o conjunto: esbeltez + copa alta e excêntrica + fissura + ZCR comprometida – é tecnicamente defensável propor a remoção, registando que a manutenção só é aceitável com as medidas acima e com aceitação explícita do risco residual pelo gestor.

Relatório Individual da Tipuana #3

A. Dados da Árvore e Análise Dimensional

Diâmetro à Altura do Peito (DAP): ~32,5 cm (calculado de 102 cm de perímetro)

Diâmetro na base: ~46 cm (calculado de 145 cm de perímetro)

Altura total: 15,4 m

Base da copa: 3.3 metros

B. Análise Arquitetônica e Fisiológica Visual (VTA)

B.1 Arquitetura do tronco – “crescimento tortuoso” (curva em cotovelo)

Observação: O tronco segue um traçado em ziguezague marcado. A cerca de 3–4 m de altura, executa uma curva abrupta de ~90° para a direita (“cotovelo”), torce-se e volta a subir (Figura 29).

Interpretação: Arquitetura altamente reativa, típica de árvore que cresceu sob forte sombreamento, “contorcendo-se” para encontrar aberturas de luz.

Implicação estrutural: As curvaturas acentuadas são pontos de concentração de tensões. O grão da madeira não é linear no cotovelo, tornando esse ponto um potencial local de rutura sob cargas de vento intensas (flexão + torção).

B.2 Rácio de esbeltez (estabilidade global)

Cálculo: $15,4 / 0,325 \sim 47$

Análise: Esbeltez elevada para árvore urbana ($\geq 50:1$ é muito esguio; 40–50:1 já é claramente esbelto). Confirma um padrão de “crescimento de floresta/suprimido” com crescimento rápido em altura, tronco relativamente fino.

Implicação: Tronco flexível e sujeito a grande amplitude de oscilação com o vento. A estabilidade depende fortemente da placa radicular e da integridade do “cotovelo”.

B.3 Conicidade e gola radicular

Base ~ 46 cm; DAP ~ 32,5 cm - aumento de cerca de 41%.

Análise: Conicidade marcada e favorável, bom indicador de desenvolvimento saudável da gola radicular. A casca na base aparenta estar limpa, sem sinais óbvios de estrangulamento por pavimento. A vedação de obra próxima indica, contudo, risco de intervenção na Zona Crítica de Raízes (ZCR).

B.4 Defeito estrutural crítico – “cotovelo” / curva pronunciada

Observação: Curva abrupta no tronco principal (cotovelo), claramente visível em fotografia e esboço (Figura 29).

Biomecânica: A carga de vento não se transmite de forma linear ao solo, propaga-se ao longo do tronco, concentra-se na curvatura horizontal (gerando torque elevado), e só depois segue para a base/raízes.

Risco: As fibras de madeira no lado interno da curva sofrem compressão extrema, as do lado externo tensão extrema. Qualquer início de apodrecimento nessa “articulação” aumentará muito a probabilidade de falha localizada nesse ponto.

C. Contexto Urbano e Impacto da Construção

Observação: Escavações diretamente junto ao tronco, em zona compatível com a ZCR (Figura 29).

Avaliação: Para uma árvore com rácio de esbeltez 47:1 e tronco tortuoso, a estabilidade depende quase totalmente da placa radicular intacta. Cortes de raízes no lado oposto à inclinação ou no lado que trabalha em tensão aumentam de forma significativa o risco de tombamento.

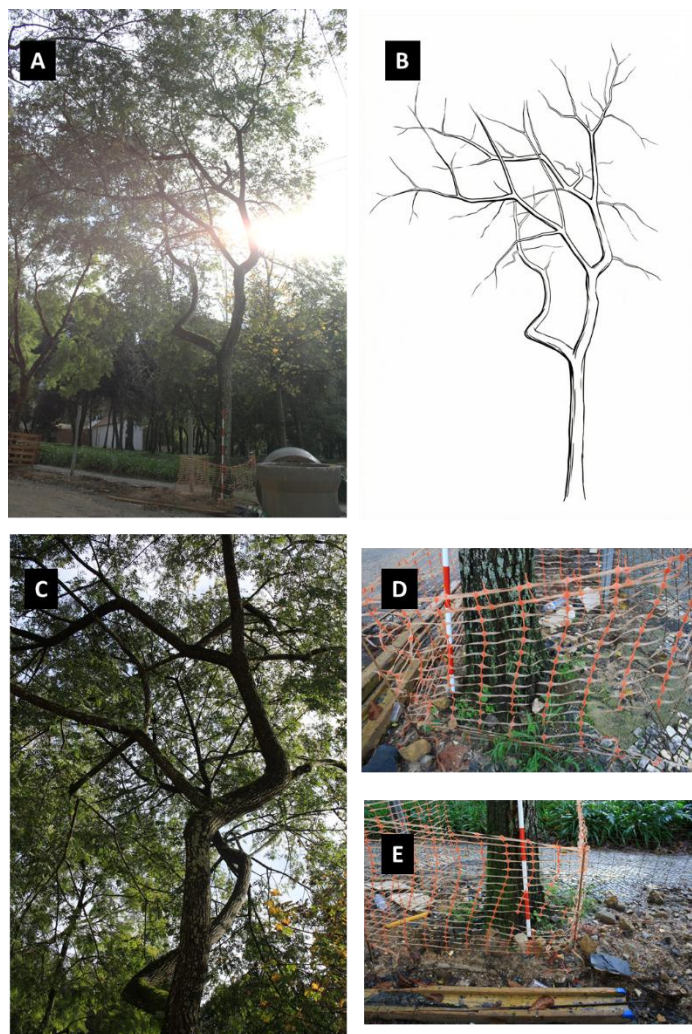


Figura 29. Exemplar #3 de Tipuana. A. Vista geral do exemplar; B. Desenho esquemático do tronco e ramos principais; C. Detalhe do tronco em cotovelo; D. Detalhe da base do tronco; E. Detalhe da base do tronco.

D. Avaliação da Integridade Interna (Resultados do Resistógrafo)

Foram realizadas cinco perfurações. Quatro ao DAP (variando entre 77-86 cm de altura) nas direções Norte, Sul, Oeste e Este. Uma perfuração adicional foi feita mais próxima da base (18 cm de altura), na direção Oeste.

Os resultados do Resistógrafo mostram, de uma maneira geral que a madeira apresenta boas condições de resistência em toda a profundidade, em todas as orientações (Figura 30, 31). Nos primeiros 10 cm a resistência da madeira é mais elevada, com amplitudes entre 30 e 40%, decaindo progressivamente para o centro da árvore, com amplitudes ~20%. Se assumirmos uma espessura de madeira sã com ~10 cm a toda a volta do tronco, e tendo em conta que o raio é ~16 cm, o rácio $t/R \approx 0.63$. Este valor indica que o tronco mantém um anel de madeira sã suficientemente espesso para suportar cargas de vento usuais.

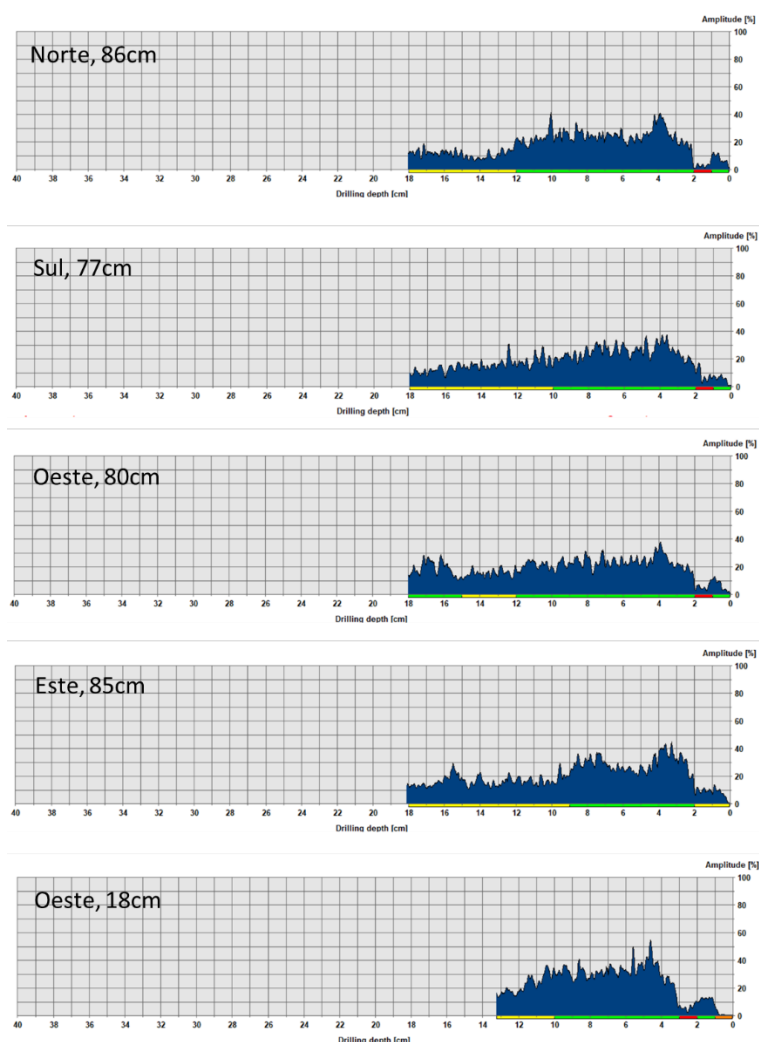


Figura 30. Resultados do Resistógrafo do exemplar #3 de Tipuana. Os gráficos representam o perfil de resistência da madeira em quatro orientações (N, S, W, E) e a altura a que foram efetuados. A profundidade da perfuração foi até 18 cm, estimada a partir do cálculo do raio da árvore. O último gráfico mostra uma medição efetuada a 18 cm do solo, com um ângulo de 20°. Por alguma razão, o Resistografo

não completou a perfuração até uma maior profundidade. Código de cores: laranja – casca; verde - madeira sã; amarelo - madeira com alguma degradação; vermelho - madeira degradada.

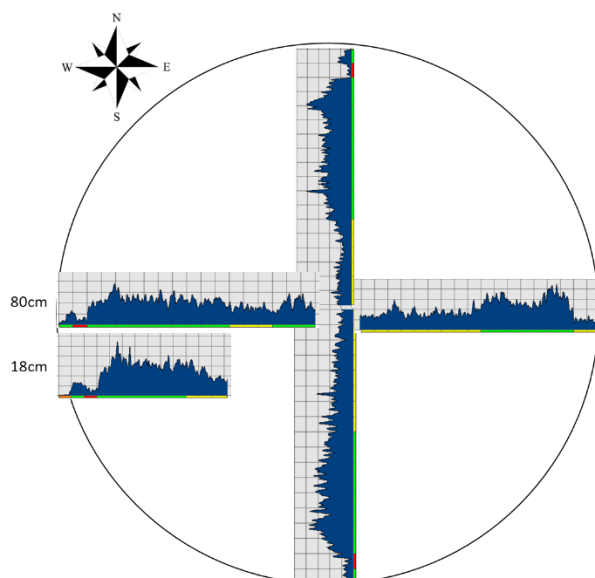


Figura 31. Representação espacial dos perfis do Resistógrafo da figura 30. Por simplicidade assumiu-se que a árvore tem uma secção circular perfeita.

E. Avaliação do nível de risco

Fatores que aumentam o risco

Esbeltez elevada: rácio ~ 47:1 - tronco esguio, muito mais flexível do que robusto.

Arquitetura tortuosa com “cotovelo” a ~3–4 m: forte concentração de tensões em flexão/torção nesse ponto; local anatómico clássico de rutura em vento forte.

Base da copa a 3,3 m: grande parte da massa foliar concentrada acima desse “cotovelo”, aumentando o momento fletor sobre essa zona.

Perturbações na ZCR: risco de perda de ancoragem numa árvore que depende quase totalmente da placa radicular para se manter estável.

Fatores que reduzem o risco

Boa conicidade (base ~46 cm vs. DAP ~32,5 cm, +41%): gola radicular bem desenvolvida, em princípio.

Integridade interna da madeira: Resistógrafo com perfis bons em todas as orientações; anel de madeira sã espesso ($t/R \approx 0,63$) → secção resistente ainda confortável para cargas de vento usuais.

Nível de risco global: moderado (tendência para moderado-elevado em cenário de obra e vento forte).

F. Medidas de mitigação

Gestão da copa (prioritário)

Poda de redução estrutural moderada e direcional, para:

- reduzir volume e comprimento de ramos acima e a jusante do “cotovelo”;
- diminuir o momento fletor/torque nessa zona;
- limitar o “efeito chicote” em vento forte.

Proteção efetiva da Zona Crítica de Raízes (ZCR)

Alargar a área de exclusão em redor da árvore:

- evitar novas escavações ou cortes de raízes de maior diâmetro;
- minimizar compactação por maquinaria.

Monitorização

Reavaliações periódicas (e após episódios de vento forte):

- observar fissuras, deformações ou alterações visíveis na zona do “cotovelo”;
- verificar sinais de instabilidade (inclinação nova, solo fendido).

CrITÉrio de gestão futura

Se se confirmarem cortes importantes de raízes, agravamento da curvatura/fissuras ou declínio rápido da copa, reclassificar o risco para elevado e ponderar remoção.

Relatório Individual da Tipuana #21

A. Dados da Árvore e Análise Dimensional

Diâmetro da base: ~ 90 cm (calculado de 282 cm de perímetro)

Diâmetro à altura do peito: ~ 77 cm (calculado de 242 cm de perímetro)

Altura total: 22.2 m

Base da copa: 3.6 m

B. Análise Arquitetônica e Fisiológica Visual (VTA)

B.1 Rácio de esbeltez (estabilidade global)

Cálculo: $22.2 / 0.9 = \sim 24.7$

Análise: Esbeltez robusta para árvore urbana.

B.2 Conicidade e Gola Radicular (“Problema do Poste Telefónico”)

Observação: A base do tronco é apenas moderadamente mais larga do que o DAP (~17%).

Análise: Para uma árvore madura de ~22 m seria expectável uma gola radicular robusta, com base 50–100% mais larga que o tronco à altura do peito. A forma aproxima-se de um “poste telefónico”, sugerindo que a verdadeira gola radicular pode estar enterrada (elevação/alteração de nível do solo) ou restrita pelo pavimento.

Implicação estrutural: Redução significativa da capacidade de dissipar cargas de vento pela base. A árvore comporta-se mais como um cilindro vertical cravado no solo do que como uma estrutura alargada bem ancorada.

B.3 Carga de vento vs. ancoragem

Dados: Altura total ~ 22,2 m; base da copa ~ 3,6 m - rácio de copa viva ~ 84%.

Análise: Quase toda a árvore funciona como uma “vela” de cerca de 18 m de altura. Esta grande superfície exerce esforços elevados sobre uma base com conicidade insuficiente e gola enterrada/restringida (Figura 32).

B.4 Arquitetura da copa (defeitos estruturais)

Troncos codominantes: Divisão em vários líderes de grande porte por volta dos 3,6 m, formando uniões em “V” clássicas, propensas a casca inclusa.

“Lion’s tailing” (cauda de leão): Folhagem concentrada nas extremidades de ramos longos e arqueados, sobretudo para um lado. Cria braços de alavanca longos, com o peso distante do tronco, aumentando o torque nas uniões já frágeis (Figura 32).

Ramos cruzados: Padrão de ramificação caótico, com ramos que se tocam/chocam, gerando feridas e potenciais portas de entrada para decomposição.

C. Contexto Urbano e Impacto da Construção

Observações:

- Pavimento levantado em conflito com raízes (Figura 32)
- Perturbação por obras (passeio a ser levantado, provável intervenção na zona radicular).

Implicações:

- Elevada probabilidade de corte de raízes estruturais para correção de pavimento;
- Compactação e perturbação do solo na Zona Crítica de Raízes (ZCR);
- A combinação de grande “vela” + base pouco cônica + ZCR comprometida aumenta substancialmente o risco de falha estrutural.

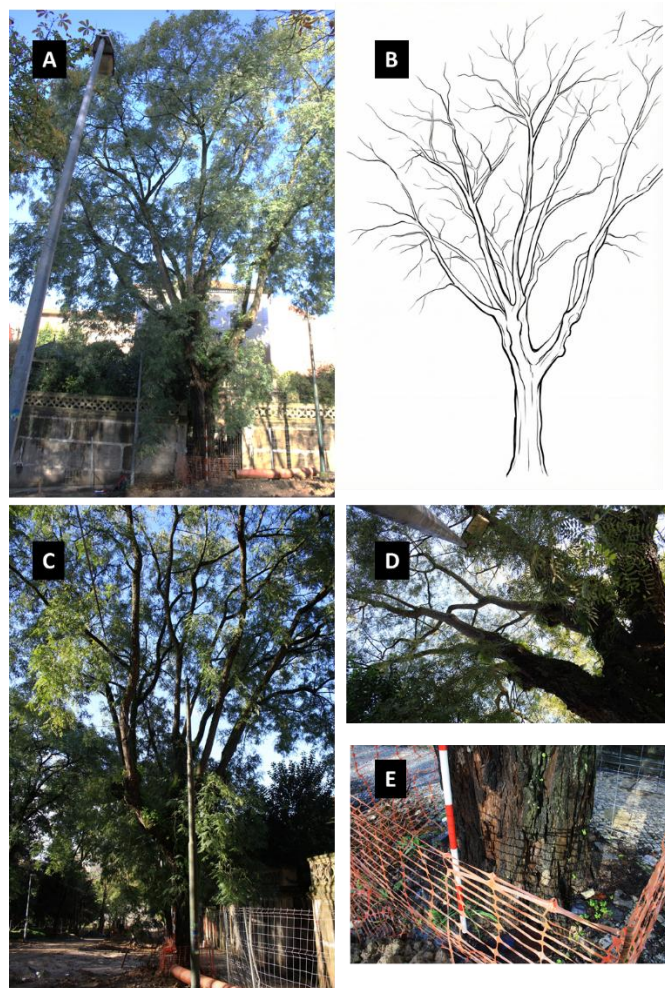


Figura 32. Exemplar #21 de Tipuana. A. Vista geral do exemplar no sentido sul-norte; B. Desenho esquemático do tronco e ramos principais; C. Vista geral do exemplar no sentido este-oeste; D. Detalhe da copa; E. Detalhe da base do tronco.

D. Avaliação da Integridade Interna (Resultados do Resistógrafo)

Foram realizadas oito perfurações, quatro ao DAP (variando entre 77-86 cm de altura) e quatro mais próximas da base do tronco (variando de 11 a 19 cm), nas direções Norte, Sul, Oeste e Este.

Os resultados do Resistógrafo mostraram que, de uma maneira geral, à altura de 77-86 cm, a resistência é maior nos primeiros 10-12 cm, com amplitudes entre 30% e 40%, diminuindo gradualmente para o interior da árvore, com amplitudes de 20% (Figura 33, 34). No entanto, na orientação Este, os primeiros 8 cm mostram madeira com algum nível de degradação. Na parte mais próxima da base do tronco, de destacar a orientação Sul que apresenta notoriamente madeira muito mais degradada (Figura 33, 34), constituindo um ponto de fragilidade.

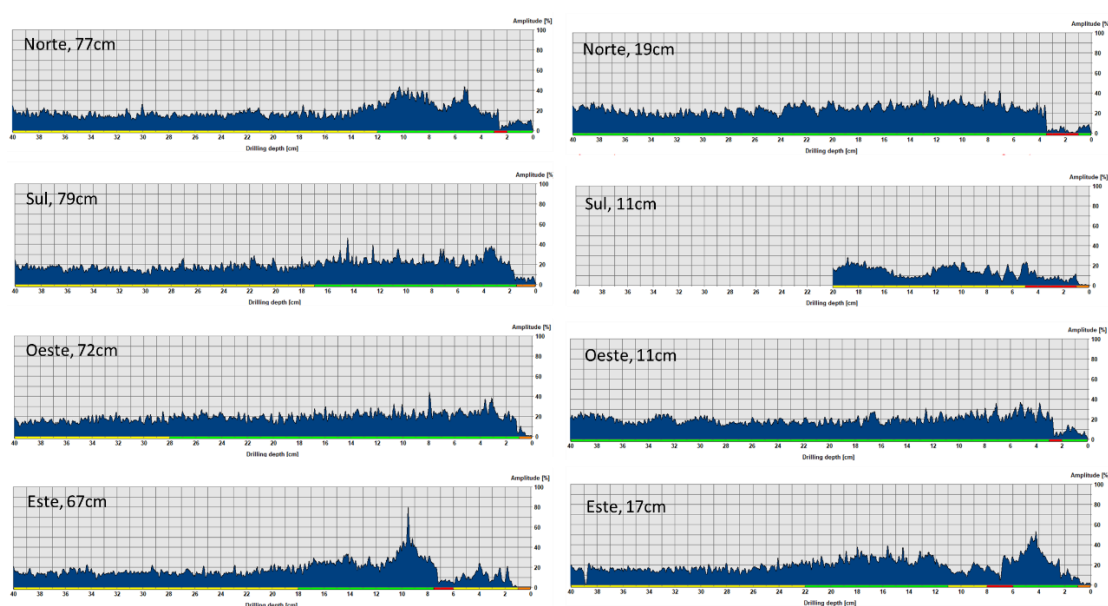


Figura 33. Resultados do Resistógrafo do exemplar #21 de Tipuana. Os gráficos representam o perfil de resistência da madeira em quatro orientações (N, S, W, E) e a altura a que foram efetuados. A profundidade da perfuração foi até 40 cm, a perfuração máxima permitida pelo equipamento, chegando até ao centro da árvore, com um raio ~39 cm. Na perfuração Sul, a 11 cm de altura, a agulha do Resistógrafo foi recolhida automaticamente pelo equipamento. Provavelmente encontrou um objeto de densidade muito dura (p. ex. uma pedra). Código de cores: laranja – casca; verde - madeira sã; amarelo: - madeira com alguma degradação; vermelho - madeira degradada.

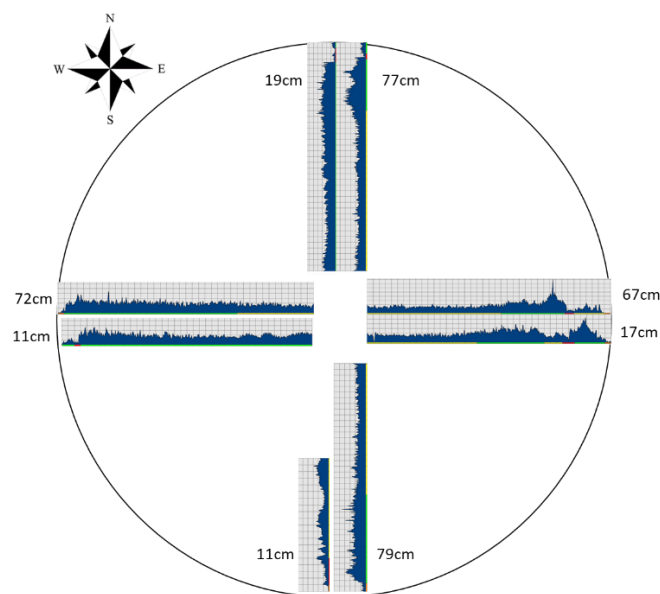


Figura 34. Representação espacial dos perfis do Resistógrafo da figura 33. Por simplicidade assumiu-se que a árvore tem uma secção circular perfeita.

E. Nível de risco

Principais fatores de risco

Dimensão e forma: 22,2 m de altura; base da copa a 3,6 m - ~84% da altura como “vela”.

Esbeltez: ~ 24,7:1 - tronco robusto em termos geométricos, mas...

Base tipo “poste telefónico”: base apenas ~17% mais larga que o DAP, gola radicular provavelmente enterrada/restringida - ancoragem mecanicamente desfavorecida.

Arquitetura da copa:

- troncos codominantes em “V” - uniões estruturalmente frágeis;
- “lion’s tailing” com ramos longos e folhagem nas extremidades - grande braço de alavanca e torque nas uniões;
- ramos cruzados e feridas - portas de entrada para decomposição.

Contexto de obra:

- pavimento levantado em conflito com raízes;
- passeio a ser levantado / provável corte de raízes estruturais;
- compactação e perturbação da ZCR - perda de ancoragem.

Resistógrafo:

- degradação nos 8 cm externos a Este;
- madeira muito degradada a Sul próximo da base - ponto de fragilidade basal exatamente onde o momento fletor é maior.

Nível de risco global: elevado, pouco compatível com obra pesada e via estruturante se mantida sem intervenção drástica.

F. Medidas de mitigação

Opção tecnicamente mais defensável (recomendada):

Remoção da árvore #21, fundamentada em:

- ancoragem comprometida (gola “escondida” + ZCR perturbada/cortes de raízes);
- defeitos estruturais na copa (codominâncias, lion’s tailing);
- fragilidade basal a Sul evidenciada pelo Resistógrafo;
- alvo elevado.

Se for mantida (manutenção com risco assumido):

Poda de redução estrutural forte

- Reduzir significativamente o comprimento e a massa dos ramos longos (sobretudo no lado mais pesado).
- Reduzir carga sobre as uniões codominantes em “V”.

Proteção e limitação de danos na ZCR

- Definir zona de exclusão maior em redor do tronco;
- Evitar novos cortes de raízes grossas e compactação por maquinaria.

Monitorização apertada

- Inspeções frequentes durante a obra e após ventos fortes;
- vigilância específica da zona basal Sul (onde o Resistógrafo indicou madeira muito degradada) e das uniões codominantes.

Relatório Individual da Sofora #16

A. Dados da Árvore e Análise Dimensional

Diâmetro à Altura do Peito: ~33.4 cm (calculado de 105 cm de perímetro)

Diâmetro na base ≈ 37.2 cm (calculado de 117 cm de perímetro)

Altura total: 14 m

Base da copa: 6.3 m

B. Análise Arquitetônica e Fisiológica Visual (VTA)

B.1 Rácio de esbeltez (estabilidade global)

Cálculo: $14 / 0.34 = \sim 42$.

Análise: Rácio de esbeltez elevado, aproximando-se da categoria de árvore esguia em meio urbano (Figura 35).

Implicação: A estabilidade baseia-se mais na flexibilidade do tronco e na integridade radicular do que numa grande massa de madeira; maior susceptibilidade a grandes amplitudes de oscilação sob vento forte.

B.2 Conicidade e condição da base (conflito principal)

Cálculo: Base ~ 37,2 cm; DAP ~ 33,4 cm: base apenas ~11% mais larga.

Avaliação: Conicidade muito pobre, uma árvore saudável deste porte deveria ter base ~1,5–2× o diâmetro ao peito.

Evidência visual: A base encontra-se enterrada em solo de aterro, pedras e detritos de betão. Não há gola radicular visível porque está provavelmente enterrada.

“Efeito vaso”: A árvore aparenta estar contida num anel de betão / antiga estrutura de canteiro. Isto restringe a expansão das raízes e cria um efeito de estrangulamento, limitando a ancoragem.

Gola enterrada: Solo/entulho encostado ao tronco acima da gola natural, retém humidade junto à casca e favorece apodrecimento da base e infeções fúngicas.

B.3 Arquitetura da copa (centro de gravidade elevado)

Base da copa: 6,3 m; altura total: 14 m - rácio de copa viva ~ 55%.

Análise: O primeiro ramo surge a uma altura considerável, resultando num longo troço de tronco nu antes do início da massa foliar (Figura 35).

Biomecânica: Quando o vento atinge a copa, o “braço de alavanca” sobre a base é grande, pois a “vela” está relativamente elevada.

Estrutura da copa: Tronco com forma tortuosa / torcida, com curvaturas (“cotovelos”) que criam pontos de concentração de tensão. Copa algo esparsa e ligeiramente assimétrica, com alguma inclinação geral.

C. Contexto Urbano e Impacto da Construção

Observações: a base da árvore parece usada como local de despejo de inertes (pedras, betão).

Avaliação: Ambiente hostil para as raízes, com compactação por detritos pesados que levam a uma redução de oxigénio no solo; eventuais danos mecânicos por esmagamento de raízes superficiais. Anel de betão a funcionar como barreira física, limitando o crescimento radial de raízes estabilizadoras (Figura 35).

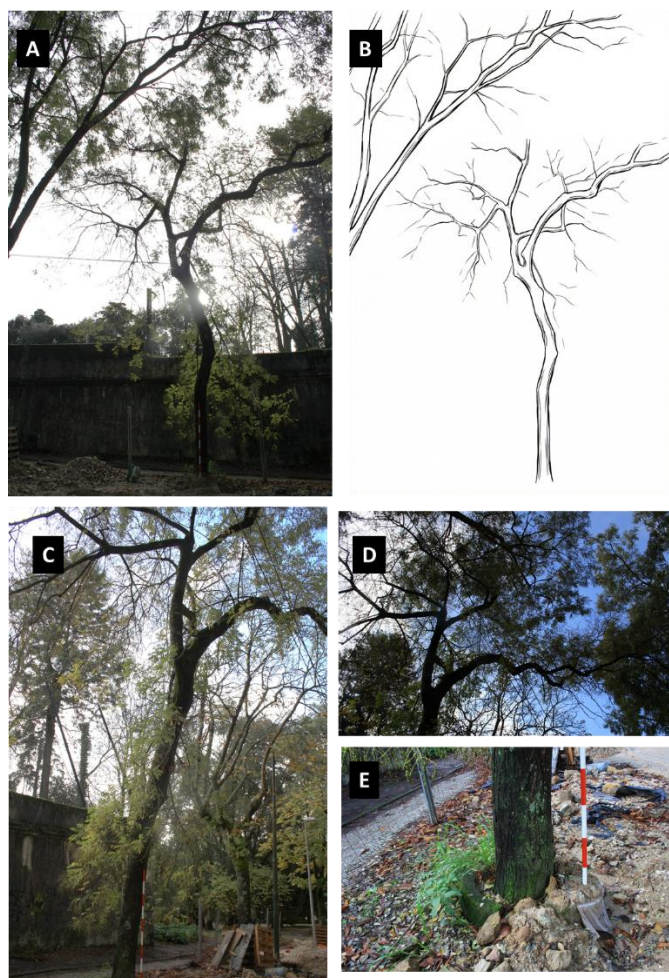


Figura 35. Exemplo #16 de Sofora. A. Vista geral do exemplar no sentido; B. Desenho esquemático do tronco e ramos principais; C. Vista geral do exemplar; D. Detalhe da copa; E. Detalhe da base do tronco.

D. Avaliação da Integridade Interna (Resultados do Resistógrafo)

Foram realizadas quatro perfurações, variando entre 49-86 cm de altura, e uma perfuração mais próxima da base do tronco, a 23 cm de altura, na direção Este.

Os resultados do Resistógrafo mostram que, nas quatro orientações, a madeira se encontra saudável em toda a profundidade do raio da árvore (Figura 36, 37). De salientar que a amplitude média (~50%) é maior do que a amplitude média do Jacarandá e Tipuana, confirmando a maior

densidade da madeira da Sofora. De salientar que, na perfuração mais próxima da base efetuada na orientação Este, a amplitude é de 20%, ou seja, parece menos densa do que a madeira em alturas superiores do tronco.

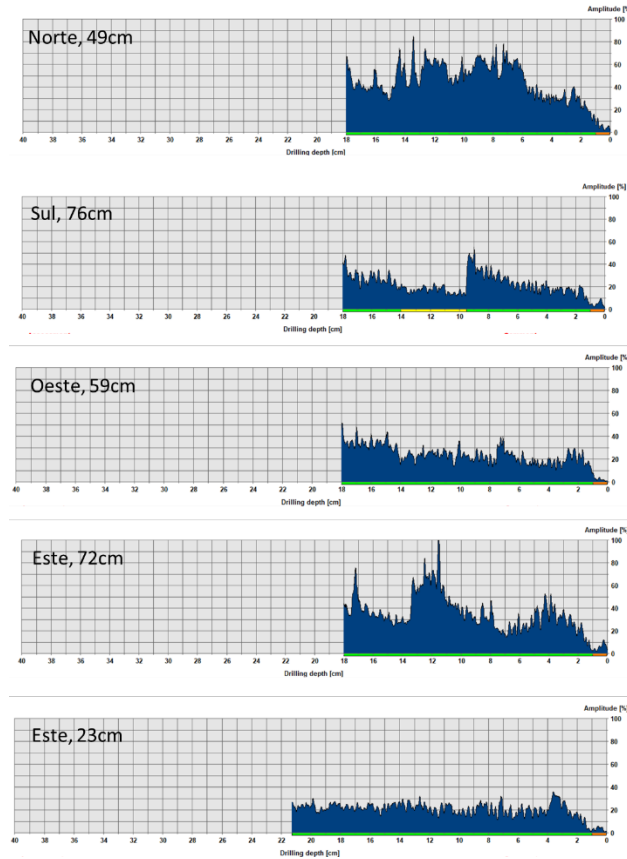


Figura 36. Resultados do Resistógrafo do exemplar #16 de Sofora. Os gráficos representam o perfil de resistência da madeira em quatro orientações (N, S, W, E) e a altura a que foram efetuados. A profundidade da perfuração foi 18 cm, calculada a partir do raio da árvore. Código de cores: laranja – casca; verde - madeira sã; amarelo: - madeira com alguma degradação; vermelho - madeira degradada.

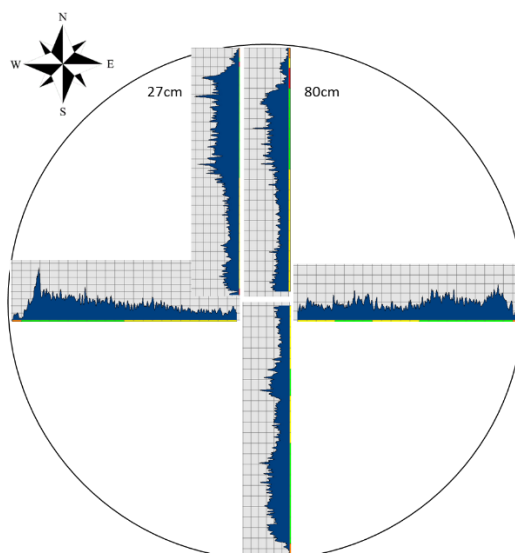


Figura 37. Representação espacial dos perfis do Resistógrafo da figura 36. Por simplicidade assumiu-se que a árvore tem uma secção circular perfeita.

E. Nível de risco

Fatores que aumentam o risco

Esbeltez elevada: rácio $\sim 42:1$ - tronco esguio, muito dependente da ancoragem radicular.

Conicidade muito pobre: base apenas $\sim 11\%$ mais larga que o DAP, sem gola visível - forte suspeita de gola enterrada e desenvolvimento radicular desfavorável.

“Efeito vaso”: anel de betão / canteiro estreito - raízes confinadas, pouca possibilidade de expansão lateral, risco de estrangulamento.

Copa alta e centro de gravidade elevado: base da copa a 6,3 m (cerca de metade da altura) - longo fuste nu a funcionar como braço de alavanca.

Tronco tortuoso com “cotovelos”: pontos de concentração de tensão em flexão.

Contexto de construção hostil na base: detritos pesados, compactação, provável esmagamento de raízes superficiais.

Fatores mitigadores

Madeira interna: perfis do Resistógrafo mostram madeira sã em todo o raio nas quatro orientações a DAP; Amplitude média elevada ($\sim 50\%$), coerente com maior densidade da madeira da Sofora; Apenas a perfuração a Este (23 cm) mostra amplitude $\sim 20\%$ (menos densa), mas sem indicação de podridão extensa.

Nível de risco global: elevado

F. Medidas de mitigação

Cenário 1

Remoção da Árvore #16, com base em:

- má conicidade e possível gola enterrada;
- confinamento em “vaso” de betão com solo de má qualidade;
- esbeltez elevada + copa alta + tronco tortuoso;
- danos e compactação na ZCR.

Cenário 2

Se for mantida (risco assumido):

Poda de redução estrutural moderada

- Reduzir carga na copa (comprimento dos ramos, sobretudo no lado mais inclinado);
- diminuir o momento fletor sobre a base e os “cotovelos”.

Intervenção na base (se tecnicamente viável)

- Remover gradualmente entulho solto e detritos pesados;
- evitar expor raízes grossas sem plano claro;
- não aprofundar escavações sem avaliação especializada, dado o risco de desancoragem.

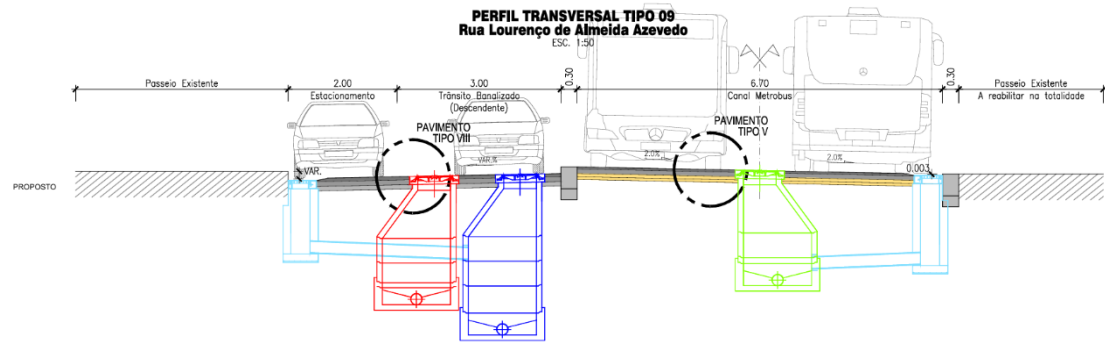
Proteção da ZCR durante a obra

- Impedir circulação/estacionamento de maquinaria sobre a zona da base;
- não abrir novas valas/cortes junto ao tronco.

Monitorização apertada

- Reavaliações periódicas e após ventos fortes;
- observar sinais de movimento/inclinação nova, fendas na base, cedência na zona do “cotovelo”.

Anexo B



Referências

Day et al. (2010) Contemporary Concepts of Root System Architecture of Urban Trees. *Arboriculture & Urban Forestry* 36(4): 149–159

Gendvilas et al. (2024) Predicting Wood Density Using Resistance Drilling: The Effect of Varying Feed Speed and RPM. *Forests* <https://doi.org/10.3390/f15040579>

Gerhold and Johnson (2003) Root dimensions of landscape tree cultivars. *Journal of Arboriculture* 29(6)

Korbik et al. (2025) Pre-Planting and Planting Factors and Practices Affecting Urban Tree Growth: With a Special Focus on the Root System and Its Condition—A Review. *Plants* <https://doi.org/10.3390/plants14030387>

Shi et al. (2023) Root damage of street trees in urban environments: An overview of its hazards, causes, and prevention and control measures. *Science of the Total Environment* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166728>

Relatório técnico

Relatório de acompanhamento de abertura de valas e prevenção do sistema radicular das árvores. Elaborado por Floresta Vertical