



## MAPEAMENTO DE RAÍZES NÃO EXPOSTAS COM USO DE TOMOGRAFIA ACÚSTICA

Felipe Thomé Alves Castanheira, Raquel Gonçalves, Karen Christina de Freitas

### Resumo

A arborização é fundamental para a qualidade de vida nos centros urbanos. No entanto, com o desenvolvimento dos centros urbanos, em meio a construções, empreendimentos e pavimentações, é desafiador estabelecer boas condições para o crescimento de árvores urbanas. Em geral as árvores são plantadas em pequenos espaços, nas calçadas ou em canteiros, tendo seu entorno constituído por asfalto e calçamento. Grande parte da queda de árvores no meio urbano está relacionada com as raízes, que é justamente a parte da árvore mais difícil de ser inspecionada. Por essa razão torna-se muito importante pesquisas que visem avaliar metodologias e ferramentas de inspeção de raízes. Assim, o objetivo dessa pesquisa de iniciação científica foi realizar avaliação preliminar de proposta metodológica de uso de tomógrafo sônico na identificação da distribuição do sistema radicular não aparente de árvores. Os resultados mostraram que, preliminarmente, a metodologia foi adequada e que o equipamento é promissor para uso nessa aplicação.

**Palavras-chave:** ensaios não destrutivos, inspeção de árvores, Sibipiruna

### Objetivo

O objetivo desta pesquisa foi avaliar proposta metodológica para uso de tomografia sônica na avaliação da distribuição de raízes não aparentes.

### Descrição da Pesquisa

Essa pesquisa de iniciação científica estava inserida em um contexto maior, no âmbito do “Plano de Desenvolvimento Institucional na Área de Transformação Digital: Manufatura Avançada e Cidades Inteligentes e Sustentáveis (PDIP)” do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (Processo Fapesp 2017/50348-2), na linha de pesquisa “Sistema de Gestão Ambiental” e sublinha “Gestão e Florestas Urbanas em Tempo Real” do qual minha orientadora e coorientadora eram parte da equipe. De forma mais específica seu desenvolvimento se deu dentro do Projeto de Mestrado financiado pela Fapesp, intitulado “*Efeito das condições de plantio de árvores urbanas no solo disponível para seu desenvolvimento e na dendrometria e distribuição do sistema radicular*”.

Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado o tomógrafo (PiCUS<sup>3</sup> Sonic Tomograph, Argus Eletronic, Alemanha) pertencente ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), tendo contado também com apoio de pesquisadores e técnico dessa instituição.

O delineamento experimental da pesquisa foi constituído de 24 árvores da espécie Sibipiruna (*Cenostigma pluviosum*) plantadas no campus da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Para permitir diferenciação na distribuição do sistema radicular as árvores foram divididas em quatro tipos diferentes locais de plantio (1 = canteiro com calçamento impermeável, 2 = canteiro com calçamento permeável, 3 = sem canteiro e com cobertura de terra e 4 = sem canteiro e com cobertura de grama), sendo 6 árvores para cada tipo.

Como canteiro permeável se considerou indicação da literatura para valores mínimos de dimensão (Bortoleto et al. 2008, Yamamoto et al. 2004), que permitem que a árvore receba suficiente quantidade de água. Nessas condições espera-se que as raízes se desenvolvam e se distribuam de forma normal, com enraizamento principal na superfície e em torno do tronco. Já na condição de canteiro impermeável haverá restrição de água para a planta, que tenderá a aprofundar ou expor as raízes na busca de condições adequadas. As árvores plantadas nos canteiros (permeável ou impermeável) em geral estavam em calçadas



ou vias com presença de edificações em seu entorno, além de outras infraestruturas urbanas tais como rede de água, luz e esgoto. Por outro lado, as condições sem canteiro seriam as ideais, uma vez que além de não possuírem a limitação de espaço dada pelo calçamento, se situavam em parques ou praças, mais distantes das construções. Para esses casos espera-se que a cobertura com terra seja a que proporcione melhor desenvolvimento e distribuição das raízes, já que as raízes da grama podem competir com as raízes da planta, além de compactarem o solo (ISA 2019).

O ensaio de tomografia foi aplicado da mesma forma em todas as árvores. Primeiramente foram demarcados oito pontos ao redor do tronco (contorno em azul na Figura 1) e duas circunferências, a primeira com 0,5 m de distância do tronco e a segunda com 1,0 m de distância do tronco (contorno em verde ao redor do tronco Figura 1). No caso de haver raiz exposta a posição 1 era coincidente com ela. Os sensores, utilizados para captar os tempos de propagação das ondas de tensão foram instalados em pregos distribuídos nos oito pontos equidistantes na base das árvores (Figura 1). Utilizando uma placa de metal colocada nos pontos situados ao redor do tronco (0,5 m e 1m conforme Figura 1) foram gerados, por meio de golpes com um martelo nessas placas, os pulsos. Os golpes são repetidos e o equipamento detecta se o sinal foi recebido de forma adequada, fazendo uma média de três golpes bem sucedidos para cada posição da placa metálica. Assim, para cada ponto de medição, o pulso gerado na placa foi recebido pelos sensores conectados ao tronco e o tempo de percurso dos impulsos sonoros foram então mensurados pelo equipamento (PiCUS<sup>3</sup>) e salvos no software do tomógrafo em computador. O software então apresenta o resultado de medição de todas as rotas de medição (percurso da onda). A Figura 2 mostra um dos ensaios sendo executado com indicação dos acessórios do equipamento.

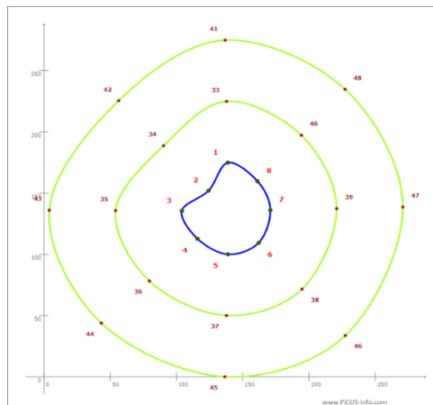


Figura 1. Exemplo de posicionamento dos sensores em torno do tronco (linha em azul) e das placas metálicas utilizadas para emissão do pulso sônico (pontos na linha em verde, sendo a mais próxima situada a 0,5 m do tronco e a mais distante a 1,0 m do tronco).

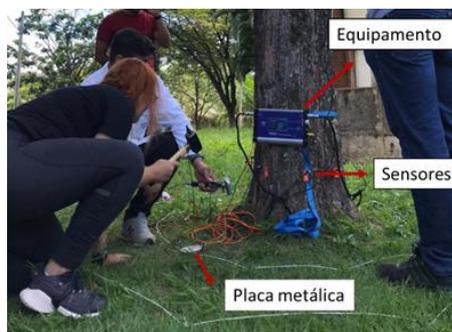


Figura 2. Exemplo de ensaio sendo executado



## Resultados

Inicialmente é importante destacar que a base desse ensaio é estabelecida pela diferença de velocidade esperada para a propagação da onda na raiz e no solo. Espera-se que se a onda atravessa a madeira da raiz sua velocidade seja muito superior do que quando atravessa o solo.

Embora o tomógrafo apresente as velocidades em todos os percursos originados na placa, tanto a 0,5m do tronco quanto a 1,0 m do tronco (Figura 3), verificamos que esses dados, da forma como apresentados, não seriam úteis para avaliar a distribuição das raízes de forma comparativa nos diferentes canteiros. Isso ocorre porque as rosetas são criadas com cores, as mais escuras representando velocidades mais altas e as mais claras velocidades mais baixas. Essa representação visual é interessante, mas não é clara o suficiente para obter conclusões precisas. Além disso, só permite concluir sobre as velocidades obtidas no entorno da própria árvore e não de forma comparativa com outras árvores.

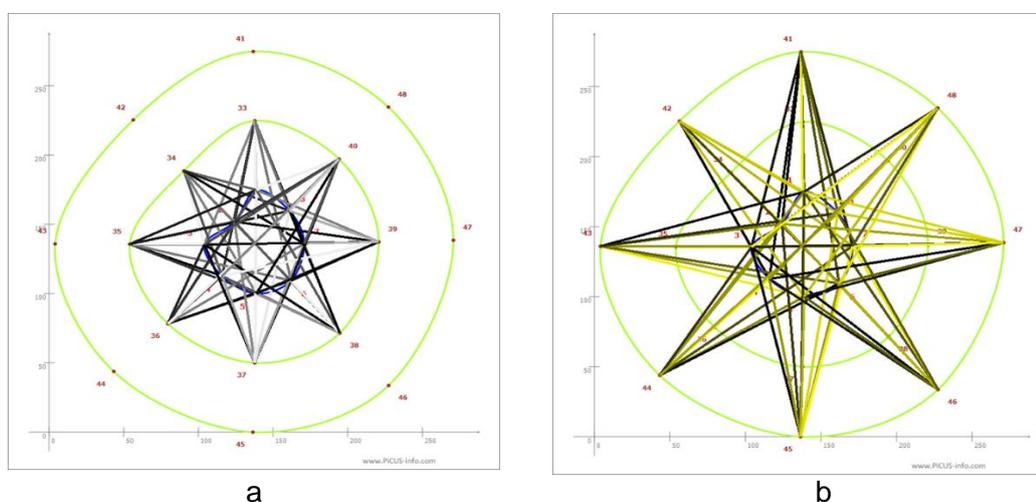


Figura 3. Imagem gerada pelo software do equipamento para as leituras realizadas a 0,5 m de distância do tronco (a) e a 1,0 m de distância do tronco (b)

O software também fornece tabelas com as velocidades obtidas em todas as rotas de medição, que são oito (Exemplo na Tabela 1). Para cada posição da placa (pontos 33 a 40 com distância de 0,5 m do tronco e pontos 41 a 48 com 1,0 m de distância do tronco) o sinal é recebido nos 8 sensores ao redor do tronco e com três repetições, ou seja, para cada pulso gerado na placa são 24 valores de velocidade. Como são 16 posições da placa (8 para 0,5 m do tronco e 8 para 1,0 m do tronco) para cada árvore são 384 valores de velocidade. Ainda que se utilize a média das três repetições são 128 valores de velocidade.



Ponto de medição 33				Ponto de medição 34				Ponto de medição 35				Ponto de medição 36			
MP	1	2	3												
1	641	835	686	1	780	781	1157	1	3449	3477	3473	1	4659	4447	4467
2	741	968	986	2	900	945	1268	2	2804	2734	2820	2	2966	3130	3156
3	1283	1209	1272	3	1109	1126	1591	3	2274	2435	2434	3	2208	2168	1953
4	1217	1438	1533	4	1376	1147	1571	4	2365	2256	2349	4	2034	2063	2108
5	1816	1830	1861	5	1478	2004	2222	5	3650	3470	3786	5	2391	2378	2366
6	1523	1510	1533	6	1872	1530	2405	6	6759	4486	5089	6	2633	2619	2647
7	1187	1144	971	7	1378	1177	1785	7	6026	5445	0	7	5467	5055	5498
8	822	951	930	8	1109	1087	1445	8	4012	4046	4204	8	0	4789	0

Ponto de medição 37				Ponto de medição 38				Ponto de medição 39				Ponto de medição 40			
MP	1	2	3												
1	5650	6521	3595	1	1226	1251	1194	1	5647	2532	2282	1	1212	1089	1193
2	3759	3853	3757	2	1125	1132	1087	2	5560	3079	1673	2	1100	1081	1047
3	3077	2874	3263	3	1153	981	972	3	6449	3175	2423	3	1501	1496	1413
4	2530	2475	2577	4	1046	1025	758	4	6191	3853	3196	4	1751	1750	1692
5	2081	1999	2032	5	748	742	653	5	3149	2953	2497	5	1363	1322	1274
6	2243	2128	2245	6	681	673	642	6	2341	2071	1697	6	1135	1156	1138
7	3602	3598	3202	7	827	832	721	7	2268	1653	1887	7	785	1113	877
8	4447	4504	4461	8	986	834	813	8	2732	2354	2067	8	848	952	870

Ponto de medição 41				Ponto de medição 42				Ponto de medição 43				Ponto de medição 44			
MP	1	2	3												
1	3194	3160	3205	1	1055	990	1037	1	1572	1534	1453	1	1756	2602	2572
2	3938	3533	3443	2	1128	1062	1121	2	1590	1566	1720	2	1919	1896	1860
3	4297	4270	4306	3	1061	984	1050	3	1964	1534	1399	3	1389	1381	1331
4	4752	4727	4771	4	1020	952	1009	4	1966	1469	1490	4	1900	1510	1433
5	7962	7546	6870	5	1552	1491	1540	5	2516	2255	2275	5	1662	1580	1392
6	5710	5824	4869	6	1365	1279	1364	6	2198	1803	2146	6	1615	1629	1549
7	4511	4511	4186	7	1481	1419	1465	7	2396	2338	2227	7	2034	2043	1961
8	3986	3882	3920	8	1350	1289	1183	8	1902	1817	1813	8	2368	2481	2247

Ponto de medição 45				Ponto de medição 46				Ponto de medição 47				Ponto de medição 48			
MP	1	2	3												
1	3556	4662	4951	1	2446	2487	2028	1	2239	2127	2127	1	1377	1151	1197
2	2885	4190	4530	2	2920	2957	2080	2	2360	1942	1961	2	1655	1349	1508
3	2589	3377	3570	3	1933	1916	1858	3	2184	1758	1766	3	2394	1800	2164
4	2839	3606	3830	4	1734	1711	1639	4	1901	1581	1602	4	2324	1895	1976
5	2621	3377	3361	5	1597	1591	1552	5	1572	1497	1517	5	1945	1771	2665
6	2541	3805	3816	6	1755	1725	1686	6	1472	1349	1448	6	1957	1844	1784
7	3740	6753	5231	7	2711	2763	1846	7	1901	1561	1578	7	1447	1277	1369
8	3935	6978	6152	8	2151	2192	1734	8	1782	1724	1734	8	1381	1213	1271

Tabela 1. Exemplo de resultado da tomografia sônica em uma das árvores

No entanto, conforme já comentado para o caso das figuras geradas, as tabelas também só permitem identificar o comportamento das velocidades na própria árvore, já que não há uma referência. Além disso, verificamos que para as medições que atravessavam o tronco, como por exemplo ponto 41 para os sensores 5, 6 ou 7, as velocidades eram sempre muito elevadas. Esse comportamento se repetiu em todas as árvores mostrando que se trata de influência do percurso e não da presença ou não de raízes.

Observando esse comportamento procuramos uma forma de alterar a metodologia para que nossos objetivos fossem alcançados. Para isso, utilizamos ensaios de ultrassom convencional em raízes expostas e no solo (Figura 4), para obter uma referência de valor de velocidade que indicasse que a onda estava se propagando pela madeira de raiz. Os resultados médios obtidos mostraram que para as raízes dessa espécie as velocidades eram sempre acima de 1500 m/s enquanto no solo as velocidades eram mais baixas mas variavam em função do estado de compactação do solo.



a



b

Figura 4. Ensaio de ultrassom convencional em raízes expostas (a) e no solo (b)

Tendo em vista a observação da interferência nos valores da velocidade em rotas que atravessavam o tronco, optamos por adotar para a análise somente nas rotas diretas, ou seja, para o sensor posicionado em 1 foram consideradas apenas as rotas 33-1 (para distância de 0,5 m) e 41-1 (para distância de 1m); sensor posicionado em 2 as rotas 34-2 e 42-2 e assim por diante.



Utilizando essa metodologia e as referências obtidas com o uso do ultrassom convencional, atribuímos a cor verde para velocidades de zero a 1499 m/s, não sendo esperado presença de raiz e laranja para velocidades acima de 1500 m/s, sendo esperado presença de raiz (Figura 5).

Os resultados da tomografia sônica indicaram, de forma consistente para as árvores de Sibipiruna, que a distribuição das raízes no canteiro impermeável não está, como esperado para a espécie, na camada superficial. Em 67% das árvores a tomografia indica não haver nenhum sinal de raiz superficial (velocidades inferiores a 1500 m/s) nos segmentos da roseta situados a 0,50 m do tronco e, nos situados a 1,0 m a presença de raiz superficial é irregular. Esse resultado tem ligação com a observação de que, para esse canteiro, 100% das árvores apresentam raízes expostas.

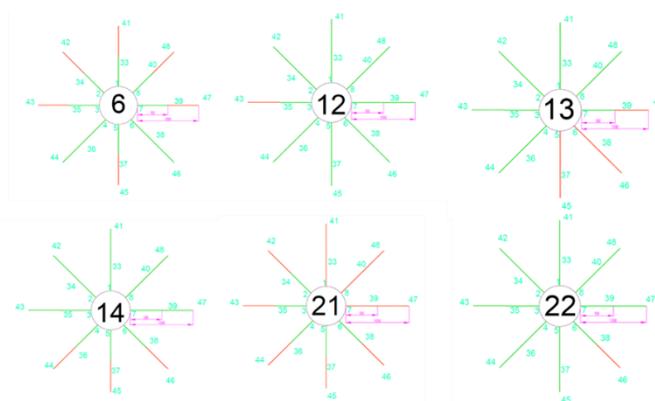


Figura 5. Exemplo de resultado obtido para as árvores plantadas em canteiro impermeável

No canteiro permeável, em todas as árvores foram obtidas algum segmento da roseta nos primeiros 0,50 m do tronco, com velocidades indicativas de presença de raiz (superior a 1500 m/s), mas em 83% das árvores a distribuição é irregular.

Na cobertura com terra há duas árvores (33%) nas quais as velocidades são indicativas da não existência de raiz superficial em um segmento da roseta, enquanto no gramado quatro árvores (67%) apresentam um ou mais segmentos da roseta com esse indicativo.

## CONCLUSÃO

Considerando a coerência dos resultados de distribuição das raízes nos diferentes tipos de local de plantio, a metodologia proposta para uso da tomografia ultrassônica foi considerada, de forma preliminar, como adequada. Novos estudos devem ser conduzidos para que essa conclusão seja validada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORTOLETO, S.; SILVA FILHO, D.F. (2008) Situação da arborização viária da estância de Águas de São Pedro – SP. Revista em agronegócios e Meio ambiente, Maringá, v.1, n.3, p. 391-403.

INTERNATIONAL SOCIETY OF ARBORICULTURE (2013) Árvores e Gramados. ISA – Disponível em: <<http://www.treesaregood.org>> Acesso em: 20 nov 2019 YAMAMOTO, M.A.;

SCHIMIDT, R.O.L.; COUTO, H.T.Z. do; SILVA FILHO, D. F. (2004) Árvores urbanas. Piracicaba: Prefeitura Municipal de Piracicaba, 18p.