

Forum

Endoterapia como técnica alternativa às pulverizações

José I. L. Moura¹, Rosane R. C. Pereira², Jordana A. Ferreira³, Carla B. G. Bottoli³,
Givaldo R. Niella¹

¹Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira-CEPLAC, Una, BA, Brasil. ²Universidade Federal do Sul da Bahia, Ilhéus, BA, Brasil. ³Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.

 Corresponding author: rosaneilheus@gmail.com

Edited by: [Elío C. Guzzo](#)

Received: April 13, 2023 Accepted: November 24, 2023. Published: December 14, 2023.

Endotherapy as an alternative tactic to spraying

Abstract. Endotherapy is a technique of injection or infusion of phytosanitary products inside the trunk of trees or palm trees, which are subsequently translocated through the plant internal vascular tissues. There are few studies about this science in the Brazilian academic world. Thus, this study aims to review this topic with emphasis on reporting successful experiences in different countries. A significant number of papers shows the advantages of using phytosanitary products infusions and injections in plants to control pests and diseases, when compared to traditional spraying. In endotherapy there is no product drift and, therefore, it is minimal the chance of reaching non-target organisms. Furthermore, the protective effect is more persistent due to the non-exposure of the products to the climate adverse effects. It is currently applied only in small areas in medium and large perennial plants due to its high cost, requiring new technologies for large-scale application. In Brazil, there are few studies about the efficiency of this tactic in phytosanitary management. Furthermore, there are studies to determine residues of fungicides and insecticides in plants through chromatographic techniques. Thus, endotherapy can be an efficient technique for phytosanitary defense.

Keywords: infusion, injection, trees, palm trees, phytosanitary defense.

A endoterapia é uma tática alternativa de tratamento fitossanitário de baixo impacto ambiental. Consiste na injeção ou infusão de um produto fitossanitário no tronco de uma árvore ou palmeira, que transloca posteriormente pelos tecidos vasculares internos desta, atingindo as partes mais altas do dossel, visando dirimir as falhas ocorridas nas aplicações dos produtos em situações onde não há equipamentos adequados ou estes são ineficientes.

Algumas vantagens da endoterapia comparativamente às pulverizações convencionais podem ser elencadas. Nas pulverizações, principalmente de produtos de contato, existe um grande potencial dos produtos fitossanitários alcançarem organismos não-alvo. Também permanecem ativos sobre o alvo biológico por um curto período, e isso ocorre devido à degradação dos produtos pelos raios ultravioleta e às perdas ambientais por precipitação e volatilização do produto. Já a injeção no tronco permite que o produto seja colocado no interior da planta, transportado através do sistema vascular e depositado nas regiões simplástica e apoplástica da planta, minimizando assim o potencial da exposição ambiental e, por circular em um sistema fechado, fornece proteção duradoura (Wise et al. 2006; Wise et al. 2014). Vale ressaltar que a possibilidade de resistência da praga ao pesticida é menor, em virtude das ações toxicocinéticas serem minimizadas, pois não há contato tóxico, ou seja, o pesticida alcança a região onde a praga se alimenta (Kiss et al. 2020).

Entre as desvantagens da endoterapia, especialmente em dicotiledôneas, está o uso abusivo de orifícios no tronco, aliado ao uso incorreto de seringas. Conforme Archer et al. (2021), orifícios muito profundos, juntamente com o uso constante de seringas de alta pressão, pode causar descoloração e degradação dos tecidos da planta. Outro aspecto a ser considerado em relação a orifícios profundos, é a possibilidade de danos internos, principalmente quando os orifícios transpassam a região do alburno (onde está o xilema funcional) que é metabolicamente menos ativa e, portanto, a compartimentalização dos ferimentos é mais lenta que a da parte mais externa da madeira. Tal fato resulta em maior descoloração e apodrecimento mais extenso

em direção ao centro da árvore, comparado à parte mais externa (Archer et al. 2022). Problemas com fitotoxicidade também ocorrem e, geralmente, resultam em amarelecimento ou cor marrom das folhas, raquitismo, lesões da casca, necrose, e disfunções corticais e foliculares (Vanwoerkom et al. 2014).

Em razão de o risco de envenenamento ao aplicador poder ser menor e da inexistência de deriva em organismos não-alvo, as injeções no tronco com produtos fitossanitários sistêmicos tornaram-se tática bastante usual em vários países dos continentes americano, asiático, europeu e Oceania. Há que se destacar, ainda, que a aplicação via injeção deixa um menor volume de resíduos potencialmente contaminantes às águas subterrâneas, em comparação às pulverizações convencionais, além de não impactar negativamente o bioma do solo, como por exemplo, na mortalidade de minhocas e outros invertebrados benéficos (Wise et al. 2014).

A veiculação de pesticida via solo é uma alternativa menos impactante ao ambiente que pulverizações generalizadas. Contudo, a depender do tipo de solo e características do alvo biológico a ser controlado, a injeção pode ser a única estratégia mais alcançável. Assim, tome-se como exemplo, o controle de *Scirtothrips perseae* Nakahara, 1997 (Thysanoptera: Thripidae) em plantações comerciais de abacateiros na Califórnia. Por estarem plantados em áreas íngremes, o uso de pulverizações terrestres é impossibilitado. Quanto às pulverizações aéreas, estas são proibitivas devido a problemas com o meio ambiente. Já a veiculação com inseticidas neonicotinoides através da fertirrigação, mostrou resultados insatisfatórios sobre estes tripses em virtude de os abacateiros estarem plantados em solos vulcânicos ricos em matéria orgânica. Nessa circunstância, o tempo gasto na sorção e desorção do pesticida é longo e pode ser incompatível com o ciclo de vida do alvo biológico em questão (Byrne et al. 2012).

Atualmente a endoterapia é adequada para pequenas áreas, culturas perenes de médio e grande porte, tais como frutíferas, povoamentos florestais, árvores e palmeiras que compõem a paisagem urbana, pois a tecnologia de injeções e respectivos equipamentos



envolvidos, é extremamente laboriosa e de alto custo, não sendo, portanto, viável economicamente quando se tratar de grandes áreas. Em virtude disso, é necessária a busca por inovações tecnológicas de forma a aumentar a eficiência de injeções para aplicação em larga escala (Hu et al. 2018). A endoterapia é uma técnica pouco conhecida no meio acadêmico brasileiro e, em decorrência disso, esse artigo tem por objetivo fazer uma revisão do tema, com ênfase no relato de experiências exitosas em diversos países.

História da endoterapia

A evidência mais antiga de injeção em plantas é do século XII, quando horticultores árabes aplicaram perfumes, especiarias, corantes e outras substâncias através de feridas em plantas para afetar o cheiro, a cor ou outros atributos de flores e frutas (Archer et al. 2022). Outras experiências até o início de 1900 incluíam a injeção de diferentes soluções nutritivas para superar deficiências de nutrientes e diferentes substâncias orgânicas e inorgânicas para controlar insetos, fungos e outras doenças.

Nos séculos consecutivos e até o início do século XX, nenhum experimento com injeções em árvores foi registrado (Doccola & Wild 2012), pois sua compreensão foi dificultada em face do desconhecimento das ciências básicas como botânica, fisiologia vegetal, agricultura e silvicultura. Com o advento dessas ciências e o surgimento da teoria da "coesão-tensão" no movimento das águas, a endoterapia passou a ser compreendida (Berger & Laurent 2019) e fortalecida, quando os processos de cicatrização das árvores, chamados de compartimentalização, foram detalhadamente explicados por Shigo & Marx (1977).

Conforme Archer et al. (2022), foi na década de 1960 que as primeiras experiências com injeção tiveram início, após a disseminação da "doença do olmo holandês", causada pelo fungo *Ophiostoma ulmi* (Buisman), letal às árvores de olmo americano [*Ulmus americana* (L.)], que compõem a paisagem urbana dos EUA. Nesse período injeções com fungicidas e sais de potássio para o manejo de fungos foram conduzidas. De acordo com esses autores, entre as décadas de 1970 e 1990 várias pesquisas exploraram diferentes tipos de injeção, pressão, formulação e movimentação da água no interior das árvores.

Entre as décadas de 1990 e 2000, a endoterapia teve outro impulso, notadamente nos EUA, com a chegada de pragas exóticas e altamente invasivas como *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky, 1854) (Coleoptera: Cerambycidae), que ataca plantas de bordo da Noruega [*Acer platanoides* (L.)], e *Agrilus planipennis* (Farimaire, 1888) (Coleoptera: Buprestidae), associada às árvores de freixo [*Fraxinus excelsior* (L.)] (Doccola & Wild 2012; Berger & Laurent 2019). Vale ressaltar ainda, que nesse período, alguns experimentos com injeções de fosfonato de potássio (*potassium phosphonate*) foram conduzidos na ilha de Kar, Papua-Nova Guiné, para controlar *Phytophthora* em cacauzeiros [*Theobroma cacao* (L.)], com resultados significativos quando comparados às pulverizações com o fungicida sintético metalaxil (*metalaxyl*) (Guest et al. 1994).

Entre 2000 e 2021, houve notável avanço tecnológico, com a produção de seringas pressurizadas em países como EUA, Canadá, Austrália e Nova Zelândia, bem como, de formulações adaptadas para injeções. Em razão disso, tem sido possível o controle de doenças e pragas crípticas, tais como a murcha-do-pinheiro causada pelo nematoide *Bursaphelenchus xylophilus* Steiner & Buhrer, 1934 nos EUA, Ásia e Europa (James et al. 2006; Sousa et al. 2013; Xing et al. 2013) e *Josephiella microcarpa* Beardsley & Rasplus, 2001 (Hymenoptera: Agaonidae), praga de *Ficus microcarpa* (L.) em Honolulu, Hawai (Bhandari & Cheng 2016).

Mais recentemente, outro grande avanço nas pesquisas com endoterapia tem sido o uso de injeções com antibióticos no controle de fitoplasmas em palmeiras, bem como, com antibióticos e indutores de resistência em plantas pomoideas e árvores cítricas. Assim, quanto a fitoplasmas (bactérias sem parede celular), podem ser citados *Candidatus Phytoplasma palmae*, causador do amarelecimento letal (AL) em coqueiros nos EUA, e outra espécie de fitoplasma (geneticamente distinta) vulgarmente conhecida como bronzeamento

letal (BL), que ataca várias espécies de palmeiras. De acordo com Archer et al. (2022), encharcamento no solo e pulverizações com cloridrato de oxitetraciclina (*oxytetracycline hydrochloride*) não surtiram efeito no controle do AL. Por outro lado, as injeções com esse antibiótico tiveram ação preventiva e curativa no controle do AL em coqueiros. Quanto ao BL, somente injeções preventivas tiveram ação sobre o fitoplasma.

A queima do fogo, causada pela bactéria *Erwinia amylovora* (Burrill), é uma doença devastadora das macieiras e pereiras nos EUA. Em escala comercial, a injeção como técnica de manejo desta doença bacteriana permanece impraticável. No entanto, existem estudos que demonstraram maior eficácia da injeção comparativamente a pulverizações (Archer et al. 2021). Quanto aos resíduos em plantas pomoideas, não foram encontrados valores significativos nas frutas colhidas (Stockwell & Duffy 2012). De acordo com esses autores, não existem relatos de efeitos adversos à saúde humana ou impactos persistentes no meio ambiente quando antibióticos são veiculados via pulverizações. Quanto à resistência de bactérias a antibióticos, Acimović et al. (2015) citam que injeções com antibióticos têm menos possibilidade de provocar desenvolvimento de resistência nos organismos-alvo do que pulverizações.

Huanglongbing (HLB), ou *greening*, é uma doença devastadora dos citros em várias partes do mundo e nenhuma medida de controle eficaz está disponível atualmente. Porém, injeções com indutores de resistência e antibióticos conduzidas por Hu et al. (2018) com laranjeiras Hamlin e Midsweet (*Citrus sinensis* L. Osbeck) mostraram resultados significativos sobre o HLB, sendo os antibióticos mais eficazes. No entanto, injeção no tronco com antibióticos para o controle do HLB na citricultura dos EUA ainda não é permitida pelos órgãos do governo. Outro aspecto impeditivo é o alto custo quando se deseja proteger grandes áreas comerciais de citros. Em virtude disso, é esperado que, no futuro, a endoterapia desenvolva métodos automatizados e de baixo custo, possibilitando assim que injeções no tronco sejam mais uma tática de aplicação de novos compostos terapêuticos atualmente em desenvolvimento (Albrecht & Archer 2021).

Conceitos sobre infusão e injeção

Quando um composto adentra ao orifício feito no caule de uma árvore ou palmeira, a sua subida para a copa depende da pressão negativa gerada pela velocidade ascendente do fluxo de seiva no xilema, ou seja, depende da força do vácuo criada pelo fluxo da transpiração (efeito Venturi), para depois ascender para a copa juntamente com água mais soluto nos vasos lenhosos. Essa técnica é chamada de infusão (Montecchio 2013) passiva. Já na injeção, o produto fitossanitário é injetado diretamente nos tecidos vasculares através de uma pressão externa. Porém, a subida para o dossel depende (além de outros fatores) da taxa de transpiração, ou seja, da perda de água da superfície da folha para a atmosfera (Doccola & Wild 2012).

De maneira geral, infusão é mais usual em palmeiras, em virtude de suas características anatômicas. Ao contrário das árvores (dicotiledôneas) que possuem câmbio e alburno, as palmeiras (monocotiledôneas) apresentam feixes vasculares ao longo de toda extensão do estipe e, a depender do diâmetro e características da palmeira, entre 1 e 4 furos no estipe são suficientes para subida do pesticida para o dossel, ou seja, o composto ascende movido pelo fluxo normal da transpiração (Ferry & Gomez 2014). Tome-se como exemplo o controle de *Rhynchophorus ferrugineus* (A.G. Olivier, 1791) (Coleoptera: Curculionidae) nas palmeiras das Canárias *Phoenix canariensis* Hort. ex Chabaud através da infusão passiva. Chihaoui-Meridja et al. (2020) fizeram uso de injeções de tiametoxam (*tiamethoxam*), benzoato de emamectina (*emamectin benzoate*) e imidacloprido (*imidacloprid*) em palmeiras com 2 m de circunferência, nas quais foram feitos 4 orifícios de 30 cm de profundidade e 2,5 cm de diâmetro. O tiametoxam teve eficiência de 55,7% sobre adultos de *R. ferrugineus* fora do casulo, 97,3% sobre as pupas e 96,6% sobre os adultos. Contudo, o tiametoxam mostrou eficiência preventiva e não curativa. Já para o benzoato de emamectina, a eficiência foi de 100% no âmbito preventivo e curativo. Quanto ao imidacloprido, os resultados não foram significativos.



Tratando-se de palmeiras com córtex muito grande, é recomendado comercialmente que a profundidade do orifício no estipe para a infusão seja de 1/3 do diâmetro do estipe, em virtude de a região do córtex ser extremamente fibrosa e os feixes serem poucos e pequenos nessa região. Quanto ao diâmetro do orifício no estipe, para infusões com pesticidas, o tamanho tem variado de 1-2,5 cm. No entanto, nos últimos anos, inovações tecnológicas têm permitido o desenvolvimento de injetores pressurizados, como é o caso do TMI (Tree Micro Injection; Syngenta®), que injeta benzoato de emamectina para o interior do estipe de uma tamareira [*Phoenix dactylifera* (L.)] a uma pressão de 2 bar através de um orifício de 8 mm (Mashal & Obeidat 2019).

Expressivo número de artigos relata as vantagens do uso de infusões/injeções no controle de pragas e doenças nas palmeiras-das-canárias, tamareiras, coqueiros [*Cocos nucifera* (L.)] e dendezeiros [*Elaeis guineensis* (L.)]. Dentre estes, podem-se citar Wood et al. (1974), Mariau (1979), Vessey (1981), Genty et al. (1983), Reyes et al. (1988), Caudwell & Orrell (1997), El-Ezaby (1997), Abdallah & Al-Khatiri (2000), Caudwell (2000), Hean (2000), Jayalakshmi & Khan (2003), Jelani et al. (2004) e Yueguan & Xiong (2004). Portanto, julgar a prática como "traumática" pode ser um equívoco, como reportado por Estévez et al. (2011), que usaram esse termo para chamar a atenção de outros autores que julgam que as palmeiras não são capazes de curar seus ferimentos, pelo fato de não terem câmbio. Contudo, essa alegação já tinha sido desmistificada por Shigo (1993), em seu livro intitulado "100 tree myths" (100 mitos sobre as árvores, em tradução livre). Por fim, o que tem sido reportado na literatura científica é que, tratando-se de injeções em palmeiras, além da selagem dos tecidos necrosados, a área dos tecidos adjacentes a estes é expressivamente maior, o que permite a fluidez da seiva com subsequente desenvolvimento da palmeira.

Como as injeções de pesticidas em plantas são mais usuais em dicotiledôneas e, em virtude da complexidade anatômica, comparada às monocotiledôneas, alguns esclarecimentos se fazem necessários para melhor compreensão da diferença na profundidade das injeções via tronco entre estes dois grupos. O crescimento em espessura dos troncos das árvores é controlado pelo câmbio vascular que, continuamente, produz floema e xilema secundário. Junto ao câmbio (sentido câmbio/cerne), estão os anéis com os xilemas funcionais. No grupo das angiospermas, principalmente árvores lenhosas de grande porte e folhas largas, os vasos e traqueídes se conectam e podem estar dispersos em toda extensão transversal do tronco (porosidade difusa) ou dispostos em anéis em faixas concêntricas (porosidade em anéis) (Chaney 1986; Hacke & Sperry 2001; Hacke et al. 2006). De maneira geral, só são funcionais os anéis do ano em curso e, entre 2 a 3 anéis de anos anteriores. Em virtude disso, neste grupo de plantas, é recomendado que a profundidade dos orifícios no tronco para injeção (desconsiderando a casca) nunca transpasse 3 cm (Doccoila & Wild 2012). Já nas gimnospermas, por exemplo nas coníferas, o xilema é composto por traqueídes densamente compactados, o que dificulta consideravelmente a subida de um pesticida injetado para o dossel. Aliado a essa característica anatômica, o xilema dos pinheiros produz resina, dificultando ainda mais o movimento de pesticidas injetados. Conforme Chaney (1986), entre 7 a 10 anéis são usados para transportar a seiva. Por isso, a profundidade para injeção no alburno dos pinheiros, às vezes, pode chegar entre 10-12 cm, como relatado por Sousa et al. (2013).

Embora o movimento da seiva no xilema seja ascendente, existe uma variação considerável na movimentação da água entre espécies de árvores (Zanne et al. 2006). De maneira geral, a ascensão da água nos tecidos do xilema segue dois padrões básicos: vertical e espiral. Assim, existem espécies de árvore nas quais a comunicação entre o ponto da injeção até a copa ocorre através de conexões vasculares diretas, ou seja, alto grau de setorialidade radial. Outras apresentam alta difusão radial lateral entre os vasos condutores. Existem ainda, espécies de árvores, como o olmo e a macieira, nas quais a ascensão da seiva segue o caminho espiralado do xilema desde o ponto da injeção até o dossel. Desse modo, pode-se afirmar que a ascensão de um pesticida é altamente dependente do percurso do xilema das raízes até as folhas. Por isso, variados pontos de injeção ao redor do tronco podem ser necessários para alcançar uma distribuição uniforme do

pesticida na copa da árvore (Kozlowski et al. 1967; Orians 2005; Zanne et al. 2006; Berger & Laurent 2019).

Tipos de seringas e injetores de produtos fitossanitários em plantas

Os modelos de seringas (ou injetores) que precisam de furos prévios no tronco da árvore, feitos com máquina de furar, para posterior adaptação das seringas, são variados. Em sua grande maioria, são de ação pneumática. Dentre estes, a seringa do tipo ChemJet® (Chemjet Trading Pty. Ltd; Austrália) comprime o ar, infundindo vagarosamente o composto para os tecidos vasculares da planta por meio de uma mola interna. Este dispositivo tem capacidade de aplicação de até 20 mL de produto, com pressão em torno de 2 bar. É muito usual na Austrália e Indonésia, na aplicação de fosfito de potássio no controle de *Phytophthora* em abacateiros e cacauzeiros. Por sua vez, a seringa do tipo AvoJet® (Aongatete Coolstores Ltd; Nova Zelândia), tem capacidade volumétrica próxima de 45 mL e não tem mola. Após aspiração do pesticida para seu interior até o nível máximo de 20 mL (graduado na seringa), a seringa é acoplada ao tronco em orifício de 5,5 mm de diâmetro. Em seguida, o êmbolo é comprimido manualmente no espaço vazio, até onde possível, e travado. O pesticida comprimido pelo ar penetra vagarosamente nos tecidos vasculares. A pressão é variável, pois depende da força manual exercida. É amplamente usada na Nova Zelândia, na aplicação de fosfito de potássio para o controle de *Phytophthora* em abacateiros, e em Israel, no suprimento de micronutriente (Fe) em citrus. No sul da Bahia, seringas AvoJet® (Fig. 1) vêm sendo usadas em ensaios nos cultivos de coqueiros, cacauzeiros, cajueiros [*Anacardium occidentale* (L.)] e citros. Em virtude da fácil operacionalidade e manutenção, produtores rurais têm mostrado interesse em sua aquisição. Porém, as altas taxas de tributação na importação de produtos são fatores impeditivos.

Os injetores do tipo ArborJet® Tree IV (ArborJet Inc, MA; USA) utilizam tecnologias mais sofisticadas. Quatro injetores presos às mangueiras conectadas a uma câmara previamente pressurizada infundem ar comprimido com o pesticida através de buchas dentro das quais vai um septo de silicone, que funciona como válvula unidirecional, impedindo o refluxo do pesticida. Uma vez o pesticida injetado sob pressão, é lançado nas interfaces do alburno. Esse sistema injeta grandes volumes do composto a uma pressão variando entre 2,7-4,14 bar (Berger & Laurent 2019) e leva entre 5-15 minutos para injetar todo o composto na árvore. Nos EUA, esse mesmo sistema é amplamente usado em pomares, árvores urbanas e povoamentos florestais. Como exemplo, pode-se citar a eficiência desse injetor na veiculação de abamectina (*abamectin*) misturada com tebuconazol (*tebuconazole*) no controle do besouro-do-pinheiro *Dendroctonus ponderosae* Hopkins, 1902 (Coleoptera: Curculionidae) e dos fungos simbiossitos *Phioctoma montium* (R. von Arx) e *Grosmania clavigera* (Robinson-Jeffrey & R.W. Davidson), causadores da mancha-azul na madeira. Experimentos em campo, conduzidos por Grosman et al. (2010), que usaram 30 plantas por tratamento, mostraram que injeções com abamectina (1,9% do ingrediente ativo) preservaram por dois anos 26 árvores, enquanto a abamectina associada com tebuconazol (6% do ingrediente ativo) preservou as 30 árvores. Já nas árvores testemunhas, 73% das árvores pereceram.

Com exceção dos aparelhos do tipo BITE® (blade for infusion in trees - lâmina para infusão em árvores, em tradução livre) (P.A.N srl, Padova; Itália), que não precisam de furos prévios com máquina de furar para introdução da seringa, todos os demais necessitam. O aparelho BITE® tem em sua extremidade uma lâmina de espessura milimétrica, formato lenticular, e perfurada. A lâmina é introduzida na região do alburno por meio de um martelo deslizante acoplado ao aparelho. Quando penetrada, na região do alburno, comprime os feixes lenhosos, aumentando a velocidade do fluxo de seiva que, por sua vez, gera uma força de vácuo que aspira (efeito Venturi) o líquido externo (dentro da seringa) até as folhas. Além dos danos aos tecidos vasculares serem mínimos, o câmbio completa o processo de cicatrização em poucas semanas. No entanto, é preciso que a transpiração da árvore esteja em franca atividade para que o composto (pesticida) ascenda para



Figura 1. Seringas Avogject® injetando fosfito de potássio em tronco de cacauieiro. Una, BA.

o dossel (Montecchio 2013). Já o aparelho Wedgle® (ArborSystems LLC, NE; USA), possui uma agulha de aço em sua extremidade e, na parte frontal, uma câmara previamente pressurizada com o pesticida em seu interior. O composto é injetado na região cambial através da agulha, que é suficientemente forte para transpassar a casca e atingir a região cambial, quando pressionada manualmente pelos manetes do aparelho.

Procedimentos para injeção

O diâmetro dos orifícios para injeção em dicotiledôneas varia entre 2 e 9,5 mm (Berger & Laurent 2019). Conforme Costonis (1981), orifício com diâmetro de 4,7 mm (3/16") e pouco profundo (por exemplo, 2,5 mm) não compromete a saúde da árvore. Já orifício de 9,5 mm (3/8") e, muito profundo, pode comprometer.

Em países que fazem uso da endoterapia, a concentração do pesticida por árvore é dosada em gramas do ingrediente ativo para cada cm de diâmetro (g i.a./cm de diâmetro). Em razão disso, é necessário calcular o diâmetro com auxílio de uma suta ou dividindo o perímetro da circunferência da árvore (tomada na altura do peito) por π (C/ π). Tais procedimentos podem ser vistos nos estudos de Gous & Richardson (2008); Smitley et al. (2010); Byrne et al. (2014) e Bhandari & Cheng (2016). Já os espaçamentos entre pontos de injeção ao redor do tronco, em parte, dependem da disponibilidade de seringas. Partindo-se do pressuposto de que, com o maior número de pontos de injeção ao redor do tronco, haverá uma melhor distribuição do pesticida no dossel da árvore, pode-se considerar que, em árvores com perímetro muito grande, os pontos devem ser espaçados entre 10 e 15 cm.

Compartimentalização ou "cicatrizações" em dicotiledôneas

As árvores têm sistemas regenerativos e formam novas células em novas posições espaciais ao longo de sua vida. Quando uma árvore é ferida, desencadeia um processo que restaura quimicamente as bordas da lesão, evitando, assim, que o agente agressor se espalhe para o resto dos tecidos - chamada zona de reação - e, em seguida, inicia a construção de "paredes", ou seja, novos limites anatômicos e químicos

que separam a parte ferida da saudável (Shigo & Marx 1977). Esses autores deram o nome de compartimentalização a esse processo de formação de "paredes".

Cada espécie de árvore tem seu mecanismo próprio de defesa, quando injuriada. De acordo com Shigo & Marx (1977), o fator genético e a sanidade das árvores são preponderantes. Há que se acrescentar ainda que os aspectos anatômicos de cada árvore devem ser considerados, particularmente os tecidos vasculares secundários. Desse modo, a compartimentalização das lesões impede a introdução e progressão de microrganismos e, no caso das árvores, permite a reconstrução contínua dos meristemas secundários. Assim sendo, na hipótese de que as dicotiledôneas fossem incapazes de regenerar naturalmente suas partes feridas, certamente isso se constituiria em uma séria desvantagem evolutiva, pois não permitiria o sustentável surgimento de espécies perenes (Ferry & Gomes 2014). É graças a essa capacidade regenerativa que a poda se constitui numa prática normal na arboricultura.

As árvores geralmente são muito eficazes em compartimentalizar feridas e bloquear a propagação de organismos causadores de decomposição, principalmente fungos e bactérias. As células responsáveis pela compartimentalização da ferida são as células do parênquima do xilema. Trata-se de células vivas que circundam os elementos de vasos não vivos e estão dispostas em bandas radiais e tangenciais. Em resposta ao ferimento, as células do parênquima ao redor do local do ferimento produzem substâncias fenólicas e outras substâncias tóxicas para os organismos invasores. As células suberizam e tornam-se impermeáveis à difusão do líquido.

Devido ao arranjo regular em forma de raios das células do parênquima (parênquima dos raios), a compartimentalização da ferida é mais eficaz na direção tangencial. A compartimentalização na direção radial também é efetiva, mas menos do que na direção tangencial. É muito mais difícil controlar a propagação de uma infecção na direção vertical devido ao comprimento dos vasos do xilema e à velocidade do fluxo de transpiração. A compartimentalização na direção vertical ocorre por meio das tiloses, que são invaginações em forma de balão das células do parênquima que circundam os vasos. Estas obstruem os vasos acima e abaixo do local da ferida e evitam o colapso do fluxo de transpiração, bem como a disseminação de organismos invasores. Após o ferimento, as células do câmbio próximas ao local da ferida começam a se dividir, fechando a ferida e produzindo novo tecido vascular fora



da ferida (Archer et al. 2021).

Naturalmente, as podas, quando mal executadas, poderão incorrer na má compartimentalização da parte ferida e comprometer a sobrevivência da árvore, e esse risco potencial não deve ser subestimado. No entanto, tal conhecimento não levou ao desuso da poda, pelo contrário, permanece sendo uma prática usual, calcada em normas e padrões da arboricultura e fruticultura. É nessa mesma perspectiva que a endoterapia deve ser vista, ou seja, ela só se justifica se as vantagens superarem as desvantagens (Ferry & Gomes 2014).

Para determinar se ferimentos em troncos de árvores decorrentes de injeções acarretavam danos economicamente importantes e comprometiam a longevidade e funcionalidade das árvores, *Ácimović et al. (2016)* conduziram um experimento com macieiras [*Malus domestica* (Borkh)], com 13 anos de idade e diâmetro do tronco variando entre 7,1 e 11,2 cm. Para sua execução, utilizaram máquina de furar movida a bateria de 1.500 rpm, com a qual fizeram orifícios de tamanho e formas diferentes. Os orifícios no tronco distaram 30 cm do solo e tiveram as seguintes profundidades e diâmetros: 25,4 mm × 4 mm; 25,4 mm × 9,5 mm; 25,4 mm × 9,5 mm mais tampão inserido nos orifícios (Arborplug® no. 4, Arborjet Inc., Woburn, MA) e 28 mm × 1 mm. Esse último, com auxílio de uma lâmina de formato lenticular com dois gumes. De acordo com os autores, decorrido 1 ano, quase todos os orifícios estavam cicatrizados, com destaque para os produzidos por lâmina lenticular. Já o orifício com 9,5 mm mais tampão, não ficou totalmente cicatrizado, em virtude de o tampão dificultar a compartimentalização dos tecidos. Contudo, o tampão tem por finalidade evitar a entrada de microrganismos. Por fim, ainda conforme os autores, durante a condução do experimento, não foi constatado nenhum problema causado por patógenos.

Fatores que influenciam na translocação do composto injetado

Inúmeros são os fatores que podem exercer influência na translocação de um pesticida para o dossel de uma árvore. Entre estes, destacam-se os fatores químicos, climáticos e fisiológicos. A solubilidade, o pH e o coeficiente de adsorção de carbono (Koc) são os principais fatores químicos. Na endoterapia, uma das características mais desejáveis na formulação de um pesticida é sua solubilidade em água, pois quanto maior for a solubilidade do pesticida em água, mais rápida será a ascensão através do xilema e subsequente distribuição no dossel (Docola & Wild 2012; Montecchio 2013). A solubilidade em água está intimamente relacionada com o pH. Produtos fitossanitários sistêmicos injetados no tronco podem fluir mais facilmente no xilema se o pH da seiva estiver ligeiramente ácido ou neutro. Caso a solução do composto injetado esteja alcalinizada (pH 7,5-7,9), o componente será adsorvido pelas paredes do xilema, que têm carga negativa (McCoy & Williams 1982). Já o Koc expressa o nível de adesão do pesticida em ambientes ricos em carbono como solo e xilema. Assim, pesticidas com baixo ou moderado Koc e alta solubilidade em água podem ser estratégicos quando se deseja controlar, com certa rapidez, artrópodes que atacam as folhas de uma árvore.

No entanto, a alta lipofilicidade e baixa solubilidade podem causar uma atividade sistêmica longa e isso pode ser desejável quando se pretende controlar pragas e/ou doenças que atingem o sistema vascular do tronco e ramos. No Japão, uma única injeção com benzoato de emamectina (Koc > 25.000) protegeu por 3 anos os pinheiros *Pinus pinaster* (M.) contra o ataque do nematoide causador da murcha-do-pinheiro *B. xylophilus* (Takai et al. 2003). Outro exemplo recente e inovador foram os estudos com injeções de nanocarreadores conduzidos por Fischer et al. (2019), para controlar uma doença da videira de nome ESCA. Esta doença é causada por três espécies de fungo que atacam o tronco da videira. Para tanto, fizeram uso do fungicida piraclostrobina (*pyraclostrobin*) encapsulado por partículas nanométricas de lignina. Os fungos segregam enzimas para degradar a lignina. Assim, uma vez degradada, libera o fungicida que elimina os fungos. O fungicida em questão é hidrofóbico e essa característica é desejável, para ser sorvido pela parede do xilema. Conforme os autores, uma única injeção com 10 mg/planta da solução aquosa de

piraclostrobina encapsulada por lignina, protegeu as videiras por 4 anos.

Entre os principais fatores climáticos que podem afetar indiretamente a atividade do composto injetado para o dossel das árvores e palmeiras, e que têm grande influência na fisiologia das árvores, destacam-se o potencial hídrico, o déficit de pressão de vapor (DPV), a umidade relativa do ar e a temperatura. Em geral, o potencial hídrico na coluna do xilema, que se estende continuamente do solo, raízes, tronco, galhos, se torna cada vez mais negativo à medida que sobe para as folhas e, em seguida, é disperso na atmosfera. Essa diferença entre os potenciais de água nas folhas e o ar impulsiona o transporte de água na planta. Este processo é conhecido como transpiração e ocorre através dos estômatos nos tecidos verdes (Zimmerman & Brown 1971; Larcher 2003). A transpiração cria pressão negativa, ou seja, força de tração ascendente na coluna de água no xilema, em razão do DPV que impulsiona a transpiração (Zimmerman & Brown 1971; Larcher 2003). Após a injeção no tronco, a transpiração é o principal meio de transporte do composto para o dossel da árvore através da coluna da seiva no xilema. A taxa de transpiração é um dos fatores que moldam a taxa de translocação e posterior acumulação do composto na copa das árvores. O DPV é altamente dependente da temperatura. Em temperaturas mais altas, o ar se expande e isso aumenta o DPV e diminui a umidade relativa do ar. Desde que o ar se expande, pode conter mais vapor d'água e, quanto maior o DPV, maior é a transpiração da planta (Zimmerman & Brown 1971).

Aplicações de injeções com produtos fitossanitários no controle de pragas e doenças

Buscando a eficiência no controle de pragas e doenças e, com atenção ao uso de técnicas que proporcionam baixo impacto ambiental, vários pesquisadores no mundo estão estudando a endoterapia, por meio de infusões ou injeções de produtos fitossanitários, como alternativa às pulverizações.

De acordo com Smitley et al. (2010) a larva do besouro *A. planipennis* é uma séria praga de freixo *Fraxinus* spp., árvore que compõem a paisagem urbana de várias regiões dos Estados Unidos. Os autores realizaram uma pesquisa para determinar por quanto tempo os resíduos de alguns pesticidas ficariam biologicamente ativos sobre as larvas de *A. planipennis* e verificaram que uma única injeção no tronco, com benzoato de emamectina na concentração de 0,4 g de i.a. para cada 2,54 cm de diâmetro, controlou 100% das larvas por três anos.

Conforme Kiss et al. (2020), a mosca-das-frutas *Rhagoletis completa* Cresson, 1929 (Diptera: Tephritidae) é praga da noz da nogueira-comum *Juglans regia* (L.) não só na Hungria, mas em toda a Europa, e o controle da larva através de pulverizações, além de se mostrar ineficiente pelo fato de a larva ficar protegida, é impraticável em virtude da altura das árvores. Em razão disso, os autores avaliaram a eficiência com injeções de abamectina utilizando 20 e 10 mL do produto concentrado/árvore (ingrediente ativo: 18 mg/mL de abamectina). Nas árvores que receberam concentrações maiores de abamectina (20 mL), o nível de infestação de frutos atacados pela mosca ficou abaixo de 5%, enquanto nas árvores que receberam injeção com 10 mL, o nível foi um pouco maior do que 11% de infestação. Nas árvores controle, as infestações da mosca ficaram acima de 90%. Os resíduos de abamectina contidos nas nozes estavam abaixo do limite de detecção (0,0003 mg/kg).

A produção orgânica de peras nos EUA é desafiadora, devido ao alto preço dos biopesticidas, aliado à vida curta, quando veiculados via pulverizações convencionais. Em virtude disso, Wheeler et al. (2020) compararam a eficiência de injeção e pulverização com azadiractina (*azadirachtin*) e abamectina no controle de *Cacopsylla pyricola* (Foerster, 1848) (Hemiptera: Psyllidae). Os tratamentos com injeções de azadiractina e abamectina no tronco tiveram desempenho igual ou melhor do que as pulverizações. Injeções de abamectina protegeram as pereiras [*Pyrus communis* (L.)] contra o ataque dos psilídeos por dois anos, enquanto a azadiractina, por um ano. Para a abamectina, nenhum resíduo foi detectado nas amostras de frutas. Quanto à azadiractina, houve apenas uma detecção em frutos aos 7 dias após a injeção, porém, a substância está isenta de limites de tolerância nos EUA (Wheeler et al. 2020). De acordo com os autores, injeções no tronco com ambos



inseticidas reduziram populações de *C. pyricola* nos pomares de pera. Em virtude disso, esforços devem ser empregados de modo a tornar injeções um processo mais eficiente economicamente para serem utilizados pelos agricultores. Atualmente, injeções no tronco requerem de 2 a 5 minutos por árvore. Desse modo, a viabilidade econômica depende da redução do tempo e da mão-de-obra para cobrir grandes áreas de pomares de pera.

O *greening* dos citros está associado a três espécies de bactérias gram-negativas, denominadas *Candidatus Liberibacter africanus*, *Candidatus Liberibacter asiaticus* e *Candidatus Liberibacter americanus*, que são restritas ao floema das plantas infectadas e de difícil cultivo *in vitro* (Sechler et al. 2009). Killiny & Vincent (2021) avaliaram a eficiência de oxitetraciclina no controle da bactéria *C. L. asiaticus* através de pulverizações e injeções no tronco. Nas pulverizações, o antibiótico foi misturado com diferentes adjuvantes penetrantes. Os resultados mostraram que apenas uma pequena quantidade de oxitetraciclina (< 0,4 µg/g) foi absorvida pelas folhas cítricas após pulverizações. Por sua vez, uma alta concentração de oxitetraciclina (~ 6 µg/g) foi detectada nas folhas das árvores que receberam injeções. A análise de microscopia eletrônica de transmissão revelou que, além de não ter estômatos, a superfície superior das folhas é protegida por uma cutícula espessa, cerosa e compacta. Desse modo, os adjuvantes misturados ao antibiótico não conseguiram transpassar a cutícula foliar. Para corroborar essa afirmativa, os autores fizeram uso de raios laser sobre as folhas que foram pulverizadas com antibióticos e adjuvante. Assim, as perfurações nas folhas pelos raios facilitaram a captação de oxitetraciclina e, por conseguinte, o controle das bactérias no floema. Em razão disso, esses autores concluíram que a eficiência de injeção com antibiótico é, de longe, muito superior à de pulverizações, devido às barreiras existentes na cutícula foliar.

O fosfonato de potássio foi aplicado, via injeção, no tronco de cacauzeiros, em Papua, Nova Guiné, provando ser eficaz no controle do cancro causado por *Phytophthora palmivora* E.J. Butler (Anderson & Guest 1990). Esses autores verificaram que 8 e 16 g do i.a. fosfonato de potássio aumentava o número de frutos saudáveis, incorrendo em rendimentos que variaram de 88% a 110% comparativamente aos cacauzeiros que não receberam nenhum tipo de tratamento, atribuindo-se esse fato ao controle do cancro.

Em Portugal, ensaios com injeções de benzoato de emamectina (em três doses: 0,032 g do i.a./cm de diâmetro; 0,064 g do i.a./cm de diâmetro e 0,128 g do i.a./cm de diâmetro) foram conduzidos por Sousa et al. (2013) em plantios de *P. pinaster*, com objetivo de proteger os pinheiros contra a doença murcha-do-pinheiro, causada por *B. xylophilus*. Durante os dois anos do experimento, não foi detectado nenhum pinheiro morto pela doença nas parcelas tratadas com as três doses de benzoato de emamectina. Já nas parcelas controle (testemunha), 33% dos pinheiros morreram em decorrência dos nematoides.

Polinizadores e resíduos de pesticidas em plantas

Seguramente, injeção no tronco é uma abordagem química com mínimos danos ecológicos, pois, ao contrário das pulverizações convencionais, não contamina artrópodes do solo, lençol freático e outros organismos não-alvo. Porém, compostos injetados devem ser gerenciados de modo a não prejudicar os polinizadores. Nos EUA, Coslor et al. (2018) injetaram benzoato de emamectina e imidacloprido em macieiras antes e durante a primavera. Posteriormente, os resíduos no pólen e néctar foram analisados através de cromatografia. Conforme esses autores, o imidacloprido não foi detectado no néctar ou pólen quando injetados na primavera. Porém, foi detectado no pólen (0,39 ng/g) quando injetado na primavera do ano anterior. Já resíduos de benzoato de emamectina não foi detectado no néctar ou pólen quando injetado no outono do ano anterior. Contudo, seus resíduos foram detectados no néctar (7,36 ng/g) e pólen (1,15 ng/g) quando injetado na primavera. De acordo com esses autores, o limite máximo de resíduo de imidacloprido estabelecido pela EPA (Environmental Protection Agency) para as abelhas é de 25 ng/g. Já as concentrações residuais destes inseticidas nas frutas, estavam abaixo do limite máximo de resíduo (LMR) estabelecido por este mesmo órgão do governo.

Na Jordânia, Mashal & Obeidad (2019) testaram duas formulações (microemulsões) de benzoato de emamectina (Revive® 4% e Revive® 9,5%) especialmente formuladas para controlar *R. ferrugineus* em pomares de tamareira via injeção. O volume aplicado foi ajustado para que as palmeiras recebessem a mesma quantidade de i.a. A mortalidade dos insetos com os produtos foi de 88,1% (Revive® 4%) e 98,8% (Revive® 9,5%), diferindo estatisticamente da testemunha, mas não entre si. Com relação aos resíduos de benzoato de emamectina nos frutos da tamareira, aos 60 e 100 dias após as injeções, os resíduos de Revive® 9,5% foram indetectáveis. A injeção com Revive® 4% apresentou resíduos nos frutos, porém, abaixo do LMR estabelecido por organismos oficiais.

A endoterapia vegetal no Brasil

A endoterapia vegetal no Brasil teve início com as monocotiledôneas. No estado do Pará, Silva et al. (2003) avaliaram o efeito da aplicação de 8 g de i. a. dos inseticidas monocrotofós (*monocrotophos*), metamidofós (*methamidophos*), triclofon (*trichlorfon*) e carbaril (*carbaryl*) com o objetivo de controlar *Eupalamides cyparissias* (Fabricius, 1777) (Lepidoptera: Castniidae) em dendezeiros. Mas, segundo eles, os resultados não se mostraram promissores. No sul do estado da Bahia, Moura et al. (2019) avaliaram o efeito de injeções com ciproconazol (*ciproconazole*) (10 mL/coqueiro; 1 g do i.a.) no controle das doenças foliares do coqueiro, ou seja, lixa-grande [*Coccostromopsis palmicola* (Speg) K.D. Hyde & P. F. Cannon], lixa-pequena [*Camarotella torrendiella* (Batista) Bezerra & Vitória] e queima das folhas [*Botryosphaeria cocogena* (Subileau)]. Os orifícios foram feitos na base do estipe (aproximadamente 20 cm do solo) com auxílio de máquina de furar movida a bateria e broca longa de 8 x 300 mm, e foram aplicadas três injeções entre 02/2014 e 10/2015. Os resultados obtidos mostraram que o número de folhas funcionais, quando comparado à testemunha, aumentou em média de 15,24 para 20,12, enquanto o incremento da produtividade média foi de 38,4 frutos/planta/ano, correspondendo a 57,8% em relação às plantas não tratadas.

Embora o ciproconazol não tenha registro no MAPA para uso no controle de doenças foliares do coqueiro, ele é amplamente usado pelos produtores do nordeste e norte do estado do Espírito Santo, na forma de injeção no tronco. No entanto, órgãos fiscalizadores do governo por vezes notificam produtores rurais pelo uso indevido desse fungicida. Por sua vez, sob uma perspectiva crítica, é incompreensível a ausência de registro, pois ao contrário das pulverizações, injeção com ciproconazol apresenta mínimos danos ecológicos no ambiente circundante em virtude da ausência de deriva. Há que se acrescentar ainda, que resíduos desse fungicida não foram detectados na água e copa do fruto do coqueiro através da análise por cromatografia (Ferreira 2016).

Ferreira et al. (2015; 2016) desenvolveram e validaram um método para determinação de produtos fitossanitários usuais em estipe, albúmen e água de coco, por meio da cromatografia líquida de ultra alta eficiência acoplada à espectrometria de massas sequencial (UHPLC-MS/MS), visando a analisar os aspectos no movimento/translocação dos produtos fitossanitários no coqueiro, após aplicação endoterápica por infusão e injeção. Todas as plantas selecionadas para o estudo tinham alturas entre 1,80 e 2,31 m, e a profundidade dos furos de injeção tinha entre 10-15 cm, utilizando uma broca de 8 mm. Embora, no Brasil, seringas e/ou injetores adaptados para endoterapia ainda não estejam disponíveis para a comercialização, a injeção foi feita com seringas de polietileno contendo as soluções dos produtos. Para o tratamento por infusão, foi empregado o equipamento comercial Bite Infusion®. Foram avaliadas 60 plantas, sendo 48 plantas para avaliação da translocação xilemática, com aplicação a 80 cm acima do solo e coletas de amostras em dois pontos do estipe (50 e 100 cm acima do ponto de aplicação, correspondendo a 130 e 180 cm de altura, respectivamente), com intervalos de coletas de 2 dias, 15 dias, 30 dias e 45 dias. Doze plantas foram empregadas para a avaliação de resíduo de agrotóxicos no fruto, avaliando-se a água-de-coco e o albúmen sólido, nos intervalos de 45 dias, 90 dias e 120 dias após as aplicações. Além disso, os tratamentos foram subdivididos em: (i) mistura de produtos fitossanitários



contendo ciproconazol, imidacloprido, espiroclifeno (*spiroclufen*), tiabendazol (*thiabendazole*), carbosulfano (*carbosulfan*), tiametoxam, difenoconazol (*difenoconazole*) + Break-thru®; (ii) ciproconazol + Break-thru®. Foram 30 plantas para a mistura dos produtos e 30 plantas para o tratamento utilizando apenas o ciproconazol.

Os resultados obtidos pelas análises cromatográficas confirmaram a translocação, uma vez que os produtos foram detectados e quantificados no estipe a 50 e 100 cm acima do ponto de aplicação, em ambas as técnicas endoterápicas, injeção e infusão. Contudo, não foi quantificado/detectado nenhum resíduo de produtos fitossanitários nos frutos analisados (água-de-coco e albúmen sólido), do coco verde e do coco seco, utilizando os tratamentos endoterápicos, com intervalos de coletas de 45 a 120 dias após as aplicações, garantindo a qualidade dos frutos nestes intervalos de coleta após o emprego da endoterapia.

Baseados nestes resultados experimentais, Ferreira et al. (2022) desenvolveram um modelo matemático para auxiliar na interpretação da translocação do ciproconazol no caule. O modelo considerou dois estágios de movimentação do produto dentro do caule. O ciproconazol bioconcentrado, que seria o produto acumulado e adsorvido nos tecidos do caule, e o ciproconazol biodisponível, que entra nos feixes vasculares e é sujeito à translocação através do fluxo de seiva. Os parâmetros do modelo foram ajustados usando os dados de concentração do ciproconazol coletados em ensaios de campo com coqueiros de 2 m de altura. As simulações do modelo resultante mostraram que, no método pressurizado (de infusão), o produto passa rapidamente do estado bioconcentrado para o estado biodisponível, levando a uma translocação mais rápida e maiores concentrações translocadas em comparação com o método não pressurizado (de injeção), para o qual o modelo prevê uma transição lenta para o estado biodisponível, bem como a saturação do produto no ponto de aplicação. Foram observadas maiores perdas de ciproconazol no método não pressurizado. Apesar da operação simples desse método, os resultados indicaram que a falta de pressão retarda a absorção do produto e precipita-o prontamente no ponto de entrada, exigindo assim um maior volume na aplicação e tornando-se mais caro para os produtores. A modelagem foi extrapolada para coqueiros mais altos, de 3 m e 5 m, e foi simulada uma previsão para doenças foliares do coqueiro. A modelagem foi ajustada aos dados de translocação do caule, indicando que o método pressurizado (de infusão) tem melhor desempenho na eficiência da translocação quando comparado ao método não pressurizado (de injeção).

Quanto ao uso de seringas apropriadas para injeção em dicotiledôneas no Brasil, tem-se os estudos de Moura et al. (2022), no Sul da Bahia. Esses autores verificaram a eficiência de injeções com acefato em cajueiros no controle da mosca-branca [*Aleurodicus cocois* (Curtis, 1846)] (Hemiptera: Aleyrodidae). As seringas utilizadas para as injeções foram do tipo Chemjet® de fabricação australiana. Foram testadas duas doses de acefato (5,4 g e 0,25 g do i.a./cm de diâmetro). As concentrações de acefato utilizadas, foram baseadas nos estudos de Gous & Richardson (2008) e Byrne et al. (2014) com injeções de acefato em abacateiro e eucalipto [*Eucalyptus nitens* (H.Deane & Maiden) Maiden]. Não houve variação significativa do número de *A. cocois* adultos ao longo dos meses após a aplicação do inseticida nas plantas com tipo de tronco único. Por outro lado, nas plantas com mais de um tronco, observou-se um aumento significativo do número de aleirodídeos ao longo das diferentes épocas de avaliação, em especial após 9 meses da aplicação das injeções. Esse resultado demonstra que injeções com as duas concentrações protegeram os cajueiros contra o ataque de *A. cocois* por até 6 meses, porém, para se obter êxito no controle, é necessária a aplicação em todos os troncos da planta.

Considerações finais

Embora exista um clamor em relação aos serviços ecológicos e sociais prestados pelas árvores, observa-se que esse apelo não tem igual magnitude quando se trata do estado nutricional e fitossanitário das árvores que integram praças públicas, ruas, avenidas, bosques e reservas urbanas do Brasil. Por isso, a exemplo de alguns países da América do Norte, Oceania e Europa, que desenvolveram tecnologias

endoterápicas, de igual modo, o Brasil precisa inovar nesse setor. Há que se chamar atenção para o fato de que sequer temos seringas adaptadas para endoterapia, tampouco, formulações químicas adequadas.

Conquanto o uso de injeções no tronco sempre esteve voltado para espécies florestais e ornamentais de grande porte, essa tecnologia pode também ser otimizada para plantios comerciais, principalmente quando pulverizações se mostram ineficientes sobre espécies crípticas.

Por fim, a fruticultura familiar em áreas pequenas de produção, notadamente de árvores de médio e grande porte, poderá se beneficiar também com a endoterapia, bem como a fruticultura do perímetro irrigado do Nordeste brasileiro, onde as condições climáticas tais como temperaturas altas, umidade relativa baixa e água na rizosfera decorrente da irrigação, são premissas no sucesso desta técnica ecologicamente segura, quando comparada aos métodos convencionais.

Informações de Financiamento

Os autores não receberam financiamento para este trabalho.

Contribuição dos Autores

J.I.L.M.: conceitualização, redação e edição do manuscrito; R.R.C.P.: redação e edição; J.A.F.: redação; C.B.G.B.: redação; G.R.N.: redação.

Declaração de Conflito de Interesses

Os autores declararam que não há conflito de interesses.

Referências

- Abdallah, F. F.; Al-Khatiri, S. A. (2000) The effectiveness of trunk injection and fumigation for the control of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliver, in date palm. *Journal of Tropical Plant Protection*, 13: 17-21.
- Ácímović, S. G.; Cregg, B. M.; Sundin, G. W.; Wise, J. C. (2016) Comparison of drill-and needle-based tree injection technologies in healing of trunk ports on apple trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 19: 151-157. doi: [10.1016/j.ufug.2016.07.003](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.07.003)
- Ácímović, S. G.; Zeng, Q.; Mcghee, G. C.; Sundin, G. W.; Wise, J. C. (2015) Control of fireblight (*Erwinia amylovora*) on apple trees with trunk-injected plant resistance inducers and antibiotics and assessment of induction of pathogenesis-related protein genes. *Frontiers in Plant Science*, 6. doi: [10.3389/fpls.2015.00016](https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00016)
- Albrecht, U.; Archer, L. (2021) Principles and risks of trunk injection for delivery of crop protection materials. *Citrus Industry*, 102: 14-17.
- Anderson, R. O.; Guest, D. J. (1990) The control of black pod, canker and seedling blight of cocoa, caused by *Phytophthora palmivora*, with potassium phosphonate. *Australasian Plant Pathology*, 19(4): 127-129. doi: [10.1071/app9900127](https://doi.org/10.1071/app9900127)
- Archer, L.; Albrecht, U.; Crane, J. (2021) Trunk injection to deliver crop protection materials: an overview of basic principles and practical considerations. *EDIS*, 2021(6): 1-8. doi: [10.32473/edis-hs1426-2021](https://doi.org/10.32473/edis-hs1426-2021)
- Archer, L.; Crane, J. H.; Albrecht, U. (2022) Trunk injection as a tool to deliver plant protection materials - An overview of basic principles and practical considerations. *Horticulturae*, 8: 552. doi: [10.3390/horticulturae8060552](https://doi.org/10.3390/horticulturae8060552)
- Berger, C.; Laurent, F. S. (2019) Trunk injection of plant protection products to protect trees from pests and diseases. *Crop Protection*, 124: 104831. doi: [10.1016/j.cropro.2019.05.025](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.05.025)
- Bhandari, B. P. E.; Cheng, Z. (2016) Trunk injection of systemic insecticides to control stem and leaf gall wasps, *Josephiella species* (Hymenoptera: Agaonidae), on Chinese banyan (Rosales: Moraceae) in Hawaii. *Florida Entomologist*, 99(2): 172-177. doi: [10.1653/024.099.0203](https://doi.org/10.1653/024.099.0203)
- Byrne, F. J.; Urena, A. A.; Robinson, L. J.; Krieger, R. I.; Docola, J.; Morse, J. G. (2012) Evaluation of neonicotinoid, organophosphate and avermectin trunk injections for the management of avocado



- thrips in California avocado groves. *Pest Management Science*, 68(5): 811-817. doi: [10.1002/ps.2337](https://doi.org/10.1002/ps.2337)
- Byrne, F. J.; Krieger, R. I.; Doccolla, J.; Morse, J. G. (2014) Seasonal timing of neonicotinoid and organophosphate trunk injections to optimize the management of avocado thrips in California avocado groves. *Crop Protection*, 57: 20-26. doi: [10.1016/j.cropro.2013.11.023](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.11.023)
- Caudwell, R. W. (2000) The successful development and implementation of an integrated pest management system for oil palm in Papua New Guinea. *Integrated Pest Management Reviews*, 5: 297-301. doi: [10.1023/A:1012915132646](https://doi.org/10.1023/A:1012915132646)
- Caudwell, R. W.; Orrell, I. (1997) Integrated pest management for oil palm in Papua New Guinea. *Integrated Pest Management Reviews*, 2: 17-24. doi: [10.1023/A:1018420211050](https://doi.org/10.1023/A:1018420211050)
- Chaney, W. R. (1986) Anatomy and physiology related to chemical movement in trees. *Arboriculture & Urban Forestry*, 12(4): 85-91. doi: [10.48044/jauf.1986.019](https://doi.org/10.48044/jauf.1986.019)
- Chihaoui-Meridja, S.; Harbi, A.; Abbas, K.; Chaabane, H.; La Pergola, A.; Chermiti, B.; Suma, P. (2020) Systematicity, persistence and efficacy of selected insecticides used in endotherapy to control the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) on *Phoenix canariensis*. *Phytoparasitica*, 48(1): 75-85. doi: [10.1007/s12600-019-00776-5](https://doi.org/10.1007/s12600-019-00776-5)
- Coslor, C.; Vandervoort, C.; Wise, J. C. (2018) Insecticide dose and seasonal timing of trunk injection in apples influence efficacy and residues in nectar and plant parts. *Pest Management Science*, 75(5): 1453-1463. doi: [10.1002/ps.5268](https://doi.org/10.1002/ps.5268)
- Costonis, A. C. (1981) Tree injection: perspective macro-injection/micro-injection. *Arboriculture & Urban Forestry*, 7(10): 275-277. doi: [10.48044/jauf.1981.066](https://doi.org/10.48044/jauf.1981.066)
- Doccolla, J. J.; Wild, P. M. (2012) Tree injection as an alternative method of insecticide application. In: Soloneski, S.; Larramendy M. (Eds.), *Insecticides - basic and other applications*, pp. 61-78. Croatia: InTech.
- El-Ezaby, F. A. (1997) Injection as a method to control the Red Indian date palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus*. *Arab Journal of Plant Protection*, 15(1): 31-38.
- Estévez, A.; Ferry, M. I.; Gómez, S. (2011) Endoterapia en palmeras. Estudio de la eficacia y persistencia de tiametoxam en tratamientos preventivos contra el picudo rojo. *Phytoma*, 226: 42-49.
- Ferreira, J. A.; Fassoni, A. C.; Ferreira, J. M. S.; Lins, P. M. P.; Bottoli, C. B. G. (2022) Cyproconazole translocation in coconut palm tree using vegetative endotherapy: Evaluation by LC-MS/MS and mathematical modeling. *Horticulturae*, 8(12): 1099. doi: [10.3390/horticulturae8121099](https://doi.org/10.3390/horticulturae8121099)
- Ferreira, J. A.; Ferreira, J. M. S.; Talamini, V.; Facco, J. F.; Rizzetti, T. M.; Prestes, O. D.; Adaime, M. B.; Zanella, R.; Bottoli, C. B. G. (2016) Determination of pesticides in coconut (*Cocos nucifera* Linn.) water and pulp using modified QuEChERS and LC-MS/MS. *Food Chemistry*, 213: 616-624. doi: [10.1016/j.foodchem.2016.06.114](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.114)
- Ferreira, J. A.; Talamini, V.; Facco, J. F.; Rizzetti, T. M.; Ferreira, J. M. S.; Oliveira, F. A.; Prestes, O. D.; Zanella, R.; Martins, M. L.; Adaime, M. B., et al. (2015) Determination of pesticide residues in coconut (*Cocos nucifera* Linn.) tree trunks by modified QuEChERS method and Ultra-High-Performance Liquid Chromatography coupled to Triple Quadrupole Tandem Mass Spectrometry. *Analytical Methods*, 7(10): 4237-4245. doi: [10.1039/c5ay00323g](https://doi.org/10.1039/c5ay00323g)
- Ferry, M.; Gomez, S. (2014) Assessment of risks and potential of injection techniques in integrated programs to eradicate the red palm weevil: review and new perspectives. *Fruits*, 69(2): 143-157. doi: [10.1051/fruits/2014005](https://doi.org/10.1051/fruits/2014005)
- Fischer, J.; Beckers, S. J.; Yiamsawas, D.; Thines, E.; Landfester, K.; Wurm, F. R. (2019) Targeted drug delivery in plants: enzyme-responsive lignin nanocarriers for the curative treatment of the worldwide grapevine trunk disease ESCA. *Advanced Science*, 6(15): 1802315. doi: [10.1002/advs.201802315](https://doi.org/10.1002/advs.201802315)
- Genty, P.; Garzon, M.; Garcia, R. (1983) Damage and control of the *Leptopharsa-Pestalotiopsis* complex in oil palm. *Oléagineux*, 38(5): 291-299.
- Gous, S.; Richardson, B. (2008) Stem injection of insecticides to control herbivorous insects on *Eucalyptus nitens*. *New Zealand Plant Protection*, 61: 174-178. doi: [10.30843/nzpp.2008.61.6832](https://doi.org/10.30843/nzpp.2008.61.6832)
- Grosman, D. M.; Fettig, J. C.; Jorgensen, C. L.; Munson, A. S. (2010) Effectiveness of two systemic insecticides for protecting western conifers from mortality due to bark beetle attack *Western Journal of Applied Forestry*, 25(4): 181-185. doi: [10.1093/wjaf/25.4.181](https://doi.org/10.1093/wjaf/25.4.181)
- Guest, D. I.; Anderson, R. D.; Foard, H. J.; Phillips, D.; Worboys, S.; Middleton, R. M. (1994) Long-term control of *Phytophthora* diseases of cocoa using trunk-injected phosphonate. *Plant Pathology*, 43(3): 479-492. doi: [10.1111/j.1365-3059.1994.tb01581.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1994.tb01581.x)
- Hacke, U. G.; Sperry, J. S. (2001) Functional and ecological xylem anatomy. *Perspect. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 4(2): 97-115. doi: [10.1078/1433-8319-00017](https://doi.org/10.1078/1433-8319-00017)
- Hacke, U. G.; Sperry, J. S.; Wheeler, J. K.; Castro, L. (2006) Scaling of angiosperm xylem structure with safety and efficiency. *Tree Physiology*, 26(6): 689-701. doi: [10.1093/treephys/26.6.689](https://doi.org/10.1093/treephys/26.6.689)
- Hean, Y. T. (2000) The intelligent management of Lepidoptera leaf eaters in mature oil palm by trunk injection (a review of principles). *Planter*, 76(887): 99-10.
- Hu, J.; Jiang, J.; Wang, N. (2018) Control of Citrus Huanglongbing via trunk injection of plant defense activators and antibiotics. *Phytopathology*, 108(2): 186-195. doi: [10.1094/phyto-05-17-0175-R](https://doi.org/10.1094/phyto-05-17-0175-R)
- Jayalakshmi, V.; Khan, H. (2003) Ganoderma disease of coconut. *Indian coconut journal*, 10-15.
- James, R.; Tisserat, N.; Todd, T. (2006) Prevention of pine wilt of scots pine (*Pinus sylvestris*) with systemic abamectin injections. *Arboriculture & Urban Forestry*, 32(5): 195-201. doi: [10.48044/jauf.2006.025](https://doi.org/10.48044/jauf.2006.025)
- Jelani, A. R.; Hitam, A.; Khalid, R.; Sema, I. A.; Shuib, A. R.; Rashid, A.; Ismael, F. (2004) Mechanical trunk injection for control of Ganoderma. MPOB information series, 215.
- Killiny, N.; Vincent, C. (2021) Antibiotic delivery methods: trunk injection vs. foliar application. *Citrus Industry News*. <https://citrusindustry.net/2021/04/19/antibiotic-delivery-methods-trunk-injection-vs-foliar-application/>. Acesso em: 12.iv.2022.
- Kiss, M.; Hachoumi, I.; Nagy, V.; Ladányi, M.; Gutermuth, Á.; Szabó, Á.; Sörös, C. (2020) Preliminary results about the efficacy of abamectin trunk injection against the walnut husk fly *Rhagoletis completa*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(1): 333-338. doi: [10.1007/s41348-020-00393-z](https://doi.org/10.1007/s41348-020-00393-z)
- Kozłowski, T. T.; Hughes, J. F.; Leyton, L. (1967) Movement of injected dyes in gymnosperm stems in relation to tracheid alignment. *Forestry*. 40(2): 207-219. doi: [10.1093/forestry/40.2.207](https://doi.org/10.1093/forestry/40.2.207)
- Larcher, W. (2003) *Physiological plant ecology*. Berlin: Springer Verlag.
- Mariau, D. (1979) Method of controlling *Coelaenomenodera* (Coleoptera: Hispididae) by injecting systemic insecticides into the trunk of the oil palm. *Oleagineux* 34: 51-58.
- Mashal, M. M.; Obeidat, B. F. (2019) The efficacy assessment of emamectin benzoate using micro injection system to control red palm weevil. *Heliyon*, 5: e01833. doi: [10.1016/j.heliyon.2019.e01833](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01833)
- McCoy, R. E.; Williams, D. S. (1982) Chemical treatment for control of plant mycoplasma diseases. In: Daniels, M. J.; Markham, P. G. (Eds.), *Plant and insect mycoplasma techniques*, pp. 152-173. Dordrecht: Springer. doi: [10.1007/978-94-015-1164-3_5](https://doi.org/10.1007/978-94-015-1164-3_5)
- Montecchio, L. (2013) A venturi effect can help cure our trees. *Journal of Visualized Experiments*, 80: 51199. doi: [10.3791/51199](https://doi.org/10.3791/51199)
- Moura, J. I. L.; Warwick, D. R. N.; Luz, E. D. M. N.; Santos Filho, L. P.; Valle, R. R. (2019) Efeito de injeção com ciproconazole no controle das doenças foliares e na produtividade do coqueiro. *Summa Phytopathologica*, 45(2): 186-190. doi: [10.1590/0100-5405/178174](https://doi.org/10.1590/0100-5405/178174)
- Moura, J. I. L.; Pereira, R. R. C.; Pereira, C. E. (2022) Trunk injection as an alternative approach to insecticide spraying: an experience with cashew trees. *Scientia Plena*, 18(7): 070207. doi: [10.14808/sci.plena.2022.070207](https://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.070207)
- Orians, C. M. (2005) How are leaves plumbed inside a branch? Differences in leaf-to-leaf hydraulic sectoriality among six



- temperate tree species *Journal of Experimental Botany*, 56(418): 2267-2273. doi: [10.1093/jxb/eri233](https://doi.org/10.1093/jxb/eri233)
- Reyes, A., Cruz, M. A.; Genty, P. (1988) La absorción radicular en el control de plagas en palma africana. *Revista Palmas*, 9: 19-23.
- Sechler, A.; Schuenzel, E. L.; Cooke, P.; Donnua, S.; Thaveechai, N.; Postnikova, E.; Stone, A. L.; Schneider, W. L.; Damsteegt, V. D.; Schaad, N. W. (2009) Cultivation of 'Candidatus Liberibacter asiaticus', 'Candidatus Liberibacter africanus' and 'Candidatus Liberibacter americanus' Associated with Huanglongbing. *Phytopathology*, 99(5): 480-486. doi: [10.1094/phyto-99-5-0480](https://doi.org/10.1094/phyto-99-5-0480)
- Shigo, A. L. (1993) *100 tree myths*. Durham: Shigo and Trees Associates.
- Shigo, A. L.; Marx, H. G. (1977) *Compartmentalization of decay in trees*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Information Bulletin.
- Silva, A. B.; Müller, A. A.; Souza, L. A.; Silva, J. S. O.; Buecke, J.; Vale, M. P.; Ohashi, O. S. (2003) Injeção de inseticidas no estipe de dendzeiros para controle de lagartas de *Eupalamides dedalus* (Cramer) (Lepidoptera: Castniidae). Belém: Embrapa Amazônia Oriental (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 23).
- Smitley, D. R.; Rebek, E. J.; Royalty, R. N.; Davis, T. W.; Newhouse, K. F. (2010) Protection of individual ash trees from emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae) with basal soil applications of imidacloprid. *Journal of Economic Entomology*, 103(1): 119-126. doi: [10.1603/ec09137](https://doi.org/10.1603/ec09137)
- Sousa, E.; Naves, P.; Vieira, M. (2013) Prevention of pine wilt disease induced by *Bursaphelenchus xylophilus* and *Monochamus galloprovincialis* by trunk injection of emamectin benzoate. *Phytoparasitica*, 41(2): 143-148. doi: [10.1007/s12600-012-0272-y](https://doi.org/10.1007/s12600-012-0272-y)
- Steiner, G.; Buhner, E. M. (1934) *Aphelenchoides xylophilus* n. sp. a nematode associated with blue-stain and other fungi in timber. *Journal of Agricultural Research*, 48(10): 949-951.
- Stockwell, V. O.; Duffy, B. (2012) Use of antibiotics in plant agriculture. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, 31(1): 199-210. doi: [10.20506/rst.31.1.2104](https://doi.org/10.20506/rst.31.1.2104)
- Takai, K.; Suzuki, T.; Kawazu, K. (2003) Distribution and persistence of emamectin benzoate at efficacious concentrations in pine tissues after injection of a liquid formulation. *Pest Management Science*, 60: 42-48. doi: [10.1002/ps.777](https://doi.org/10.1002/ps.777)
- Vanwoerkom, A. H.; Aćimović, S. G.; Sundin, G. W.; Cregg, B.M.; Mota-Sanche, D.; Vandervoort, C.; Wise, J. C. (2014) Trunk injection: an alternative technique for pesticide delivery in apples. *Crop Protection*, 65: 173-185. doi: [10.1016/j.cropro.2014.05.017](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.017)
- Vessey, J. C. (1981) Control of a leaf spot on oil palm in Honduras with insecticides. *Acta Amazonica*, 36: 229-231.
- Wheeler, C. E.; Vandervoort, C.; Wise, J. C. (2020) Organic control of pear psylla in pear with trunk injection. *Insects*, 11(9): 1-13. doi: [10.3390/insects11090650](https://doi.org/10.3390/insects11090650)
- Wise, J. C.; Coombs, A. B. C.; Vandervoort, L. C.; Gut, L. J.; Hoffmann, E. J.; Whalon, M. E. (2006) Use of residue profile analysis to identify modes of insecticide activity contributing to control of plum curculio in apples. *Journal of Economic Entomology*, 99(6): 2055-2064. doi: [10.1093/jee/99.6.2055](https://doi.org/10.1093/jee/99.6.2055)
- Wise, J. C.; Vanwoerkom, A. H.; Aćimović, S. G.; Sundin, G. W.; Cregg, B. M.; Vandervoort, L. C. (2014) Trunk Injection: a discriminating delivering system for horticulture crop IPM. *Entomology, Ornithology & Herpetology: Current Research*, 3(3): 1-7. doi: [10.4172/2161-0983.1000126](https://doi.org/10.4172/2161-0983.1000126)
- Wood, B. J.; Liao, S. S.; Knecht, J. C. X. (1974) Trunk injection of systemic insecticides against the bagworm, *Metisa plana* (Lepidoptera: Pyralidae) on oil palm. *Oleagineux*, 29: 499-505.
- Xing, J. H.; Zhu, B. C.; Yuan, J.; Yu, J. P.; Dong, D. Z.; Zhou, D. Y.; Hu, D. S.; Chen, J. (2013) Toxicity and control effect of a novel insecticide cihalodiamide on different lepidoptera pests. *Chinese Journal of Pesticide Science*. 15: 159-164.
- Yueguan, F. U.; Xiong, Y. (2004) Occurrence and control of coconut leaf beetle in china. Report of the expert consultation on coconut beetle outbreak in APPC member countries. FAO: RAP Publication.
- Zanne, A. E.; Sweeney, K.; Sharma, M.; Orians, C. M. (2006) Patterns and consequences of differential vascular sectoriality in 18 temperate tree and shrub species. *Functional Ecology*, 20(2): 200-206. doi: [10.1111/j.1365-2435.2006.01101.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01101.x)
- Zimmerman, M. H.; Brown, C. L. (1971) *Trees: structure and function*. New York: Springer-Verlag.