



INCTCitros

INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GENÔMICA
PARA O MELHORAMENTO DE CITROS

INCT Citros:
ciência para todos

Sobre esta publicação

Esse e-book tem como objetivo promover a divulgação científica de alguns resultados alcançados pelo programa INCT Citros, uma iniciativa de grande importância para o fortalecimento da produção de laranjas, tangerinas, limões e outros citros cultivados no Brasil. Nossa intenção é apresentar, de forma clara e acessível, o impacto da ciência no campo, demonstrando como o trabalho dos pesquisadores transforma os pomares e contribui diretamente para a qualidade dos alimentos que chegam às mesas das famílias brasileiras.



Sumário

- 2 **Sobre esta publicação**
- 6 **O programa Institutos Nacionais de Ciência, Tecnologia e Inovação (INCT)**
- 7 **O INCT Citros**
- 9 **Os principais resultados do INCT Citros**
- 10 **A divulgação científica do INCT Citros**
- 13 **Resultados alcançados com a divulgação científica**
- 17 **Greening dos citros: gene pode reduzir a transmissão da bactéria**

Considerada a pior doença das laranjas, o greening tem exigido grandes esforços dos cientistas do mundo todo. Resultados encontrados pela equipe do Dr. Marcos Machado esclarece os mecanismos de transmissão da bactéria causadora do greening. A pesquisa também abre caminhos para desenvolvimento de tecnologias que podem reduzir a dispersão da doença no pomar.
- 21 **Descoberto novo mecanismo de defesa em plantas de laranja**

Você já se perguntou como as plantas de citros, como a laranjeira, sobrevivem a tantos desafios da natureza, desde pragas e doenças até fatores climáticos extremos? A pesquisa, realizada pela equipe do Dr. Henrique Ferreira, investigou como plantas de laranja se defendem de uma bactéria. O trabalho revelou substâncias químicas protetoras nunca antes associadas à defesa das plantas.
- 25 **Laranja transgênica contra a pior doença dos citros**

Não é impressão, o preço da laranja e seus derivados está mais alto. O principal motivo é o greening, uma doença causada por uma bactéria e transmitida de uma planta a outra por um inseto. Dentro do INCT Citros a equipe da Dra. Juliana Astúa deu um passo importante ao desenvolver uma laranja transgênica com tecnologia Bt, capaz de combater o inseto transmissor do greening.
- 30 **Diversidade das tangerinas: solução promissora para consumidores e citricultores**

O Centro de Citricultura Sylvio Moreira detém a maior diversidade de plantas de citros do mundo. Essas plantas são mantidas no que chamamos de Banco Ativo de Germoplasma (BAG). A equipe da Dra. Marinês Bastianel lançou a pergunta: existe plantas de tangerina tolerantes a doenças como greening e a mancha marrom? E a resposta ela foi buscar no BAG. Os resultados abrem caminho para uma citricultura mais sustentável.

34 Fungo endofítico do Cerrado brasileiro é solução tecnológica para a citricultura

A equipe da Dra. Chirlei Glienke descobriu no cerrado brasileiro um fungo com grande potencial para o controle de doenças que afetam plantas de laranja e outros citros, como a pinta preta e a podridão floral. Descoberta que abre caminho para o desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas mais sustentáveis e eficazes no controle de doenças.

38 Vírus da leprose dos citros: doença ou defesa da planta?

Você sabia que os vírus também ameaçam a produção de laranjas? A equipe do Dr. Marcos Machado desvendou um dos mecanismos que um vírus utiliza para enganar a defesa das plantas e provocar lesões nos frutos. É um importante passo na compreensão da doença e que abre portas para o desenvolvimento de tecnologias de controle.

45 Limão Tahiti: pesquisa promete impulsionar a produção no Nordeste brasileiro

Você sabia que a produção de lima ácida Tahiti (limão tahiti) no Nordeste é quase três vezes menor do que no Sudeste? A equipe do Dr. Walter Soares, quer mudar essa situação. Para isso, os pesquisadores avaliaram variedades de citros em diferentes situações de disponibilidade de água. Os resultados podem melhorar a produção de limão no Nordeste brasileiro.

49 Tecnologia na agricultura é desenvolvida a partir de bactéria causadora de doença em citros

Já imaginou plantas de laranja transgênicas que usam uma toxina bacteriana para se proteger! Esse é um dos trabalhos da equipe da Dra. Alessandra Alves de Souza para o INCT Citros. Essas plantas, praticamente iguais às laranjas comuns, possuem um pequeno pedaço de DNA que as torna imunes à bactéria causadora de algumas doenças.

53 Produzindo mais com menos, a diferença entre plantas de limão e laranja no uso do nitrogênio

Em um cenário de dependência de fertilizantes importados e crescente preocupação com a segurança alimentar, entender como os limoeiros conseguem produzir mais com menos pode ser a chave para um futuro agrícola mais sustentável. Descubra como a equipe do Dr. Dirceu Mattos Jr. revelou segredos das plantas de limão que as tornam campeãs em eficiência no uso do nitrogênio!

57 Ameaça das laranjas: greening tem ocasionado aumento no preço do suco e das frutas

No segundo semestre de 2023, os amantes de laranja enfrentaram altos preços do fruto e suco. Talvez você não saiba, mas a principal causa é uma devastadora doença conhecida como greening. A equipe da Dra. Mariângela Cristofani-Yaly lidera uma pesquisa com foco no desenvolvimento de uma variedade resistente a doença. Descubra como a ciência pode transformar o cenário da laranja e garantir a presença dessa fruta na mesa dos brasileiros!

63 Plantas transgênicas: desenvolvimento de cultivares de laranja doce resistentes ao cancro cítrico

Há pelo menos 65 anos, o cancro cítrico tem sido uma fonte constante de problemas para os citricultores paulistas. Buscando uma solução para essa doença, a equipe do Dr. Francisco Mourão desenvolveu, por meio da biotecnologia, plantas transgênicas tolerantes a infecção causada pela bactéria responsável pelo cancro cítrico.

68 Produção de frutas mesmo durante períodos de falta de água

Em um mundo onde a escassez de água se torna cada vez mais comum, o trabalho da equipe do Dr. Marcio Costa oferece esperança para a citricultura. O grupo identificou uma característica genética (um gene), que ajuda laranjas e tangerinas a se adaptarem à falta de água, tornando-as mais resistentes às secas. Essa informação abre caminhos para inovação.

72 Resultados promissores para o enfrentamento da pior doença das laranjas: o greening

O greening dos citros tem sido considerado a pior doença na produção de laranjas, tangerinas, mexericas e outros citros. A equipe do Dr. Helvécio Della Coletta-Filho, tem estudado o potencial de 14 plantas híbridas de citros que, após 12 anos no campo, não apresentaram sintomas severos da doença. Conheça esse trabalho e descubra o seu potencial para beneficiar toda citricultura.

77 Tecnologias para reduzir o uso de agrotóxicos na citricultura

A equipe do Dr. Marcos Machado estudou a genética do fungo *Colletotrichum abscissum*, responsável pela podridão floral dos citros, em busca de inovações para o controle da doença. Os resultados desse estudo, junto com os experimentos iniciais, indicaram a eficácia de uma nova tecnologia.

81 Formas mais sustentáveis de cuidar dos pomares de citros

Para aumentar a produção de laranjas com manejo sustentável, a equipe do Dr. Fernando Alves de Azevedo conduziu um estudo de três anos para entender como controlar plantas daninhas em pomares de citros de maneira mais eficiente e ecológica. Conheça os benefícios da roçada ecológica.

85 Primeira tangerina 100% brasileira poderá ter frutos sem semente

Já ouviu falar em tangerina sem semente? Uma estratégia para desenvolvimento de variedades de tangerina com menos sementes está em andamento. A equipe da Dra. Mariângela Cristofani-Yaly estudou diferentes métodos de polinização para entender como reduzir o número de sementes nas frutas.

89 Protetores solares para plantas de laranja

A equipe do Dr. Dirceu Mattos Jr. investigou o uso de minerais, como caulim e carbonato de cálcio, como "protetores solares" para as plantas. Os resultados indicam que esses minerais podem minimizar os efeitos negativos do excesso de luz solar e calor, oferecendo uma solução promissora para a citricultura frente às mudanças climáticas.

92 Inovação no controle da gomose dos citros: conheça pesquisas do INCT Citros

A equipe do Dr. Marcos Machado estudou a interação entre um microrganismo e plantas de laranja e limão para entender as causas da gomose dos citros, uma doença que causa danos irreversíveis e compromete a produção de frutos.

O programa Institutos Nacionais de Ciência, tecnologia e inovação (INCT)

O Programa Institutos Nacionais de Ciência, Tecnologia e Inovação (INCT) caracteriza-se por grandes projetos de pesquisa de longo prazo, realizados em redes de cooperação científica nacionais e internacionais, que envolvem pesquisadores e bolsistas de diversas áreas. O objetivo é avançar em temas fundamentais como saúde, ecologia, meio ambiente, engenharia, nanotecnologia, energia e políticas públicas, entre outros, sempre alinhado com as demandas estratégicas do país. Os Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs) atuam em temas específicos dentro de áreas como Ciências Humanas, Biológicas, Exatas e Agrárias, mobilizando milhares de pesquisadores e bolsistas em torno de desafios complexos, organizados em subprojetos distribuídos por diversos laboratórios e centros de pesquisa. Cada instituto é coordenado por uma instituição-sede de excelência científica e/ou tecnológica, com alta qualificação na formação de recursos humanos e capacidade de captar recursos complementares, e conta com a participação de laboratórios ou grupos associados de outras instituições, organizados em redes científico-tecnológicas voltadas para temas estratégicos ou fronteiras do conhecimento definidos pelo Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I). Com essa estrutura, **os INCTs funcionam como engrenagens fundamentais de um sistema que promove a inovação e forma profissionais altamente qualificados, contribuindo diretamente para o avanço científico e tecnológico do país.** O Programa INCT é apoiado majoritariamente pelo CNPq, Fapesp e Capes. Nesse contexto, **o INCT Citros desempenhou um importante papel dentro da rede dos INCTs, voltado para o desenvolvimento de tecnologias e soluções para o cultivo de citros**, setor estratégico para a economia agrícola do Brasil. Sob coordenação do pesquisador Marcos Antônio Machado e com sua sede no Centro de Citricultura Sylvio Moreira do Instituto Agrônomo (IAC), o projeto que reuniu um time multidisciplinar de cientistas, estudantes e técnicos, teve um foco temático específico em plataformas de genômica comparativa, funcional e melhoramento assistido de citros.

O INCT Citros

O INCT Citros é continuidade de programas como PADCT II, Instituto do Milênio, Pronex, INCT I, projeto temáticos e individuais da Fapesp e CNPq. **Durante 30 anos Fapesp, CNPq, Finep e Capes apoiaram os projetos do Centro de Citricultura, com clara demonstração da competitividade científica e tecnologia do grupo de pesquisadores dessa unidade do Instituto Agrônômico (IAC).** De modo amplo o INCT Citros teve como objetivo geral a consolidação das bases de informação e dos programas de melhoramento genético de citros, principalmente para a obtenção de novas cultivares com maior tolerância a fatores bióticos (pragas e doenças) e abióticos (estresse hídrico e nutricional).

O INCT Citros agrega ferramentas de biologia molecular, genética, bioinformática, genoma comparativo e funcional, além de ampla rede experimental agrônômica, para avaliação e validação das informações geradas e dos novos genótipos produzidos. Sua base de conhecimento científico apoia-se nas informações sobre genomas de citros e seus patógenos, assim como genoma funcional nas interações com diferentes patógenos, mapeamento genético e produção de plantas geneticamente modificadas. Sua base tecnológica apoia-se na rede experimental de avaliação de todos os materiais genéticos gerados nos programas de melhoramento nos últimos 30 anos e na introdução de novos sistemas de produção e controle alternativo de doenças.

O programa foi estruturado em três plataformas complementares e integradas, todas com foco no desenvolvimento científico e tecnológico da citricultura brasileira. A Plataforma de Genômica Comparativa foi estruturada na consolidação das bases de dados sobre genomas e transcriptomas de citros e seus principais patógenos e vetores de doenças, criando ampla base de prospecção de genes, promotores e marcadores genéticos úteis para o entendimento dos processos de interação, para construção de mapas genéticos e produção de novas cultivares com modificações genéticas. Na Plataforma de Genoma Funcional foram incluídos todos os projetos cujo foco é o entendimento das relações de citros com seus patógenos ou com fatores ambientais limitantes. Novas abordagens para transformação genética de citros e novos eventos de transformação genética fazem parte dessa plataforma.

O principal foco da Plataforma de Melhoramento Genético Assistido tem sido a geração de produtos (novas cultivares de citros) incorporando novas tecnologias ao melhoramento. Dentre suas atividades incluem-se conservação de germoplasma, mapeamento assistido com marcadores (SNPs), mapas genéticos, além de sua rede experimental de avaliação de novos cultivares de citros. Sistemas de produção e controle alternativo de doenças fazem parte dessas atividades.

Maiores detalhes sobre o programa podem ser encontrados em:
<https://inct.iac.sp.gov.br>

Utilizando ferramentas avançadas de biologia molecular, genética e bioinformática, além de uma ampla rede de avaliação experimental, **as pesquisas do INCT Citros permitiram uma compreensão aprofundada dos principais desafios enfrentados pelos produtores de citros, como pragas, doenças e fatores ambientais adversos, incluindo estresse hídrico e nutricional.** Os resultados do projeto não só possibilitaram, como continuarão impulsionando o desenvolvimento de novas tecnologias e estratégias de manejo. Com isso, o INCT Citros tem promovido soluções práticas e inovadoras, como o desenvolvimento de cultivares geneticamente melhoradas e sistemas de produção mais eficientes, **contribuindo diretamente para aumentar a competitividade e a sustentabilidade da citricultura no Brasil.**

Os principais resultados do INCT Citros

Indicadores Quantitativos do INCT Citros (2016 a 2024):

Artigos científicos publicados · 394

Trabalhos em eventos científicos · 36

Cultivares registrados no MAPA · 8

Bolsas CNPq

AT-NS · 8

Iniciação científica · 20

Mestrado · 8

Desenvolvimento Tecnológico (DTI) · 55

Doutorado · 1

Pós-Doutorado · 27

Bolsas Fapesp

Iniciação científica · 26

Treinamento Técnico · 15

Mestrado · 27

Doutorado · 26

Pós-Doutorado · 37

Bolsas Capes

Mestrado · 54

Doutorado · 33

Rede Experimental

Número de novos cultivares porta-enxerto em avaliação · 198

Número de novos cultivares copa em avaliação · 230

Propriedades parceiras nas avaliações · 13

Municípios com experimentos de citros no INCT · 13

Base de dados de genomas e transcriptomas

Transcriptomas

citros · 5

fungos · 2

oomiceto · 1

Arabidopsis · 6

Genomas completos

fungos · 4

citros · 4

A divulgação científica do INCT Citros

Como parte das entregas do INCT Citros para a sociedade, nos dedicamos à construção de um site específico para o projeto: <https://inct.iac.sp.gov.br/>. Nesse espaço, inserimos as principais informações sobre o INCT Citros, incluindo os pesquisadores envolvidos, os parceiros institucionais, bases de dados públicas, artigos científicos publicados e imagens dos laboratórios onde as pesquisas são realizadas. O site serve como uma vitrine digital, conectando a comunidade científica e o público em geral aos avanços que o projeto proporcionou ao longo dos anos.

Além disso, tivemos o cuidado de selecionar alguns artigos das diversas áreas de pesquisa dentro do INCT Citros e traduzi-los para uma linguagem acessível a todos os públicos. A ideia é que não apenas especialistas, mas também produtores, estudantes e outras pessoas interessadas possam compreender a importância dos avanços científicos oriundos do projeto. Com essa iniciativa, buscamos democratizar o conhecimento, mostrando de forma clara o impacto das pesquisas na citricultura brasileira e a relevância da ciência no cotidiano de todos. Nosso compromisso com a divulgação científica vai além da simples disseminação dos resultados acadêmicos. Acreditamos que aproximar a sociedade da ciência é fundamental para que os benefícios do trabalho desenvolvido no INCT Citros sejam plenamente compreendidos e aplicados, fortalecendo a conexão entre pesquisa e prática, e promovendo uma maior valorização do papel dos cientistas na agricultura e no desenvolvimento sustentável.

Artigo científico	Texto divulgação
Pacheco, I. S., <i>et al.</i> Gene silencing of <i>Diaphorina citri</i> candidate effectors promotes changes in feeding behaviors. <i>Science Reports</i> , 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-020-62856-5	Greening dos citros: gene pode reduzir a transmissão da bactéria
Saldanha, L. L., <i>et al.</i> Metabolomic- and Molecular Networking-Based Exploration of the Chemical Responses Induced in <i>Citrus sinensis</i> Leaves Inoculated with <i>Xanthomonas citri</i> . <i>J. Agric. Food Chem.</i> , 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c05156	Descoberto novo mecanismo de defesa em plantas de laranja

Artigo científico	Texto divulgação
Dorta, S. O., <i>et al.</i> Genetic transformation of 'Hamlin' and 'Valencia' sweet orange plants expressing the <i>cry11A</i> gene of <i>Bacillus thuringiensis</i> as an additional tool for the management of <i>Diaphorina citri</i> (Hemiptera: Liviidae). <i>Journal of Biotechnology</i> , 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2023.04.007	Laranja transgênica contra a pior doença dos citros
Bastianel, M., <i>et al.</i> Reaction of Mandarins to the Alternaria Brown Spot and Huanglongbing: Identification of Potential Varieties for These Diseases to Be Managed in the Field. <i>Horticulturae</i> , 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/horticulturae9060641	Diversidade das tangerinas: solução promissora para consumidores e citricultores
Savi, D. C., <i>et al.</i> Dihydroisocoumarins produced by <i>Diaporthe cf. heveae</i> LGMF1631 inhibiting citrus pathogens. <i>Folia Microbiologica</i> , 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12223-019-00746-8	Fungo endofítico do Cerrado brasileiro é solução tecnológica para a citricultura
Arena, G. D., <i>et al.</i> Plant Immune System Activation Upon Citrus Leprosis Virus C Infection Is Mimicked by the Ectopic Expression of the P61 Viral Protein. <i>Front. Plant Sci</i> , 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01188	Vírus da leprose dos citros: doença ou defesa da planta?
Martins, G. O., <i>et al.</i> Salt Tolerance Indicators in 'Tahiti' Acid Lime Grafted on 13 Rootstocks. <i>Agriculture</i> 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/agriculture12101673	Limão Tahiti: pesquisa promete impulsionar a produção no Nordeste brasileiro
Souza-Neto, R. R. <i>et al.</i> MqsR toxin as a biotechnological tool for plant pathogen bacterial control. <i>Nature Scientific Reports</i> , 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-022-06690-x	Tecnologia na agricultura é desenvolvida a partir de bactéria causadora de doença em citros
Dovis, V. L., <i>et al.</i> Biomass partitioning and photosynthesis in the quest for nitrogen- use efficiency for citrus tree species. <i>Tree Physiology</i> , 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1093/treephys/tpaa126	Produzindo mais com menos, a diferença entre plantas de limão e laranja no uso do nitrogênio
Curtolo, M., <i>et al.</i> Expression Quantitative Trait Loci (eQTL) mapping for callose synthases in intergeneric hybrids of Citrus challenged with the bacteria <i>Candidatus liberibacter asiaticus</i> . <i>Genetics and Molecular Biology</i> , 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1678-4685-gmb-2019-0133 Soratto, T. A. T., <i>et al.</i> QTL and eQTL mapping associated with host response to <i>Candidatus liberibacter asiaticus</i> in citrandarins. <i>Tropical Plant Pathology</i> , 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/s40858-020-00372-7 Boava L.P., <i>et al.</i> Physiologic, anatomic, and gene expression changes in <i>Citrus sunki</i> , <i>Poncirus trifoliata</i> , and Their Hybrids After ' <i>Candidatus liberibacter asiaticus</i> ' Infection. <i>Phytopathology</i> , 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-16-0077-R	Ameaça das laranjas: greening tem ocasionado aumento no preço do suco e das frutas
Docema, M. L., <i>et al.</i> Transgenic 'Hamlin' sweet orange expressing <i>csd1</i> or <i>d4e1</i> genes exhibits decreased susceptibility to citrus canker disease, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11240-022-02420-3	Plantas transgênicas: desenvolvimento de cultivares de laranja doce resistentes ao cancro cítrico
Pereira S L S. Genome-wide characterization and expression analysis of citrus NUCLEAR FACTOR-Y (NF-Y) transcription factors identified a novel NF-YA gene involved in drought-stress response and tolerance. <i>PLoS ONE</i> , 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199187	Produção de frutas mesmo durante períodos de falta de água

Artigo científico	Texto divulgação
Cavichioli, T. M., <i>et al.</i> Temporal Analysis of <i>Candidatus liberibacter asiaticus</i> in Citrandarin Genotypes Indicates Unstable Infection. MDPI Agronomy, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/agronomy12102566	Resultados promissores para o enfrentamento da pior doença das laranjas: o greening
Goulin, E. H., <i>et al.</i> Genome sequence resources of <i>Colletotrichum abscisum</i> , the causal agent of citrus post-bloom fruit drop, and the closely related species <i>C. filicis</i> . Phytopathology, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-22-0176-A Goulin, E. H., <i>et al.</i> RNAi-induced silencing of the succinate dehydrogenase subunits gene in <i>Colletotrichum abscisum</i> , the causal agent of postbloom fruit drop (PFD) in citrus. Microbiological research, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126938	Tecnologias para reduzir o uso de agrotóxicos na citricultura
Martinelli, R., <i>et al.</i> The impacts of ecological mowing combined with conventional mechanical or herbicide management on weeds in orange orchards. Weed Research, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1111/wre.12557 Martinelli, R. Manejo sustentável de plantas daninhas em citros: implicações do glyphosate no metabolismo da cultura e estratégias de controle. Tese submetida como requisito parcial para obtenção de grau de Doutor em Agricultura Tropical e Subtropical, Área de Concentração em Tecnologia da Produção Agrícola, 2021. Disponível em: https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/teses_dissertacoes/pb723717.pdf	Formas mais sustentáveis de cuidar dos pomares de citros
Roverssi, F. <i>et al.</i> Number of seeds in fruits and frequency of hybrids obtained in crossings with IAC 2019Maria mandarin. Revista Brasileira de Fruticultura, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452022008 Roverssi, F. Número de sementes em frutos e frequência de híbridos obtidos de cruzamentos com a tangerina IAC 2019maria. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados. Araras, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/16180?show=full&locale-attribute=pt_BR	Primeira tangerina 100% brasileira poderá ter frutos sem semente
Bernardi, L. G. P., <i>et al.</i> Particle films improve photosynthesis of citrus trees under excess irradiance by reducing leaf temperature. Physiologia Plantarum, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1111/ppl.13844	Protetores solares para plantas de laranja
Maximo, H. J. <i>et al.</i> PpCRN7 and PpCRN20 of <i>Phytophthora parasitica</i> regulate plant cell death leading to enhancement of host susceptibility. BMC Plant Biology, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12870-019-2129-8	Inovação no Controle da Gomose dos Citros: conhecimento pesquisas do INCT Citros

RESULTADOS ALCANÇADOS COM A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

A divulgação científica dos artigos do INCT Citros teve início em 11 julho de 2023 e gerou um impacto significativo, contabilizando 17.724 visualizações no site. Esse número representa a quantidade total de acessos às diversas páginas do portal. Além disso, 2.800 usuários interagiram de forma mais prolongada com o conteúdo, permanecendo em média 1 minuto em cada visita (dados contabilizados até o dia 31/10/2024).



A implementação de ferramentas de SEO (Search Engine Optimization) nos textos de divulgação foi crucial para otimizar a visibilidade do projeto. **Um exemplo disso é o ranqueamento da palavra-chave “laranja transgênica” e “fruto sem semente” em primeiro lugar no Google, garantindo que qualquer pessoa que busque esse termo encontre facilmente o material publicado pelo INCT Citros.** Essa estratégia não apenas facilita o acesso à informação, mas também permite que pessoas que não conheciam o INCT Citros descubram os conteúdos oferecidos. Até novembro de 2024, o site está com 213 palavras-chave anexadas ao Google. 2 entre a posição um e três; 26 entre a posição quatro e dez; 110 entre as posições onze e cinquenta; 75 entre as posições cinquenta e um e cem.



No mesmo período, 40,7% das visitas ao site foram orgânicas, provenientes de pesquisas no Google, enquanto 9,2% foram originadas de redes sociais. A maior parte do tráfego, 49,5%, resulta de acessos diretos, seja através de links compartilhados ou pela digitação da URL. Esses dados demonstram a eficácia das ações de divulgação, ampliando o alcance das pesquisas sobre citros e contribuindo para uma maior conscientização sobre a importância desse tema.

Grupo principal, canais padrão	Novos usuários	Usuários recorrentes	Tempo médio de engajamento por usuário ativo	Sessões engajadas por usuário ativo	Contagem de eventos Todos os eventos
Total	2.776 100% do total	432 100% do total	1 min 01 s Média de 0%	0,61 Média de 0%	11.724 100% do total
1 Direct	1.374	258	48s	0,45	8.871
2 Organic Search	1.130	153	1 min 28 s	0,88	7.661
3 Organic Social	258	19	12s	0,24	1.108
4 Referral	14	3	56s	0,86	84

Em setembro de 2024, qualquer pessoa que procurou no google termos como: “laranja transgênica”, “fruto sem semente”, “mexerica sem semente”, “tangerina IAC”, “endofítico”, “pior doença da laranja”, “protetores solares para plantas” entre outras, encontrou um texto do INCT Citros na primeira página do google. Dessa forma, o trabalho de divulgação científica apresentou para sociedade o projeto, a pesquisa e os pesquisadores.

RESULTADOS INSTAGRAM - Período 11/07/2023 - 25/10/2024

Em novembro de 2024, o Instagram do Descascando a ciência contava com 8.623 seguidores e um alcance médio mensal de 9 mil usuários. Para divulgação dos textos de divulgação científica do INCT Citros foram produzidos 28 posts de diferentes tipos: Reels, Cards únicos e Carrosséis que juntos alcançaram 49,8 mil usuários do Instagram.



As postagens que acumularam maior alcance no Instagram foram:



**CONHEÇA OS 18 TEXTOS PRODUZIDOS PARA
DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA**

Greening dos citros: gene pode reduzir a transmissão da bactéria

O greening dos citros tem sido considerada a pior doença na produção de laranjas, tangerinas, mexericas e outros citros. Diante desse desafio, a pesquisa voltada para o desenvolvimento de soluções tecnológicas abrange uma ampla gama de estratégias.

Desde avanços no melhoramento genético das plantas até abordagens focadas no controle da bactéria responsável pela doença e do inseto transmissor que propaga a bactéria de uma planta para outra, os cientistas exploram diversas frentes para mitigar os impactos do greening e preservar a saúde dos pomares.

O que é o greening?

O greening é causado por uma bactéria (*Candidatus liberibacter spp.*) que afeta todas as plantas de citros cultivadas nos pomares nacionais e internacionais. A doença afeta plantas novas e velhas, não tem cura e se espalha com bastante facilidade.

Essa doença prejudica severamente as plantas, fazendo com que as frutas fiquem amargas, deformadas e com coloração irregular. Além disso, ela pode levar as árvores à morte prematura, causando grandes perdas na produção de frutas cítricas em áreas afetadas.

Pesquisadores do INCT Citros encontraram gene que pode ajudar no controle do greening

Um estudo realizado pelo grupo de pesquisa do [Dr. Marcos Machado](#) comprovou o envolvimento do gene *DCEF32*, presente no inseto transmissor (*Diaphorina citri*), na aquisição da bactéria causadora do greening dos citros.

Publicado na renomada revista *Scientific Reports* da *Nature*, um dos veículos mais respeitados no meio científico, o estudo revelou que ao “desligar” esse gene no inseto, surgem dificuldades significativas em seu processo de alimentação no floema das plantas, local onde a bactéria responsável pelo greening se aloja.



“Nossa descoberta abre caminhos promissores, sugerindo que ao atuar sobre o gene DCEF32, podemos potencialmente reduzir as taxas de transmissão da doença, oferecendo uma perspectiva valiosa para o controle eficaz do greening dos citros.”

Dr. Marcos Machado – Centro de Citricultura Sylvio Moreira.

Como os pesquisadores chegaram no gene DCEF32?

Um dos grandes desafios no controle do greening é devido a sua alta taxa de dispersão. **O inseto, *Diaphorina citri*, consegue espalhar a doença rapidamente pelos pomares de regiões próximas e a doença que chegou no Brasil em 2004, hoje, está presente em todas as regiões citrícolas paulistas e pomares de Minas Gerais e Paraná.**

Desvendar os mecanismos pelos quais o inseto adquire e transmite a bactéria causadora do greening é um dos objetivos do INCT Citros. A compreensão desses processos torna-se crucial, pois oferece a base necessária para o desenvolvimento de estratégias eficazes de controle da transmissão da doença.

Assim, a pesquisadora [Dra. Inaiara Pacheco](#), membro do grupo de pesquisa liderado pelo Dr. Marcos Machado, escolheu direcionar sua investigação para os “genes candidatos a efetores” presentes na saliva do inseto.



“Os efetores são genes responsáveis pela produção de proteínas com a capacidade de alterar o comportamento de organismos vivos, frequentemente associados a doenças. Esses genes apresentam características distintas em suas sequências de DNA, possibilitando sua identificação por meio de programas de bioinformática.”

Dra. Inaiara Pacheco – Universidade da Califórnia, Riverside.

Com isso, a pesquisadora conseguiu selecionar 20 genes candidatos a efetores. A partir dessa seleção começou o estudo individual de cada gene onde foi possível distinguir quais genes eram mais ativos na fase adulta e na cabeça do inseto.



“Para estar relacionado com a transmissão da bactéria o efector precisaria ser ativado na saliva do inseto enquanto ele se alimentava, por isso avaliamos esses genes na cabeça de insetos adultos. Essa abordagem possibilitou reduzirmos de 20 genes candidatos para 6.”

Dra. Inaiara Pacheco – Universidade da Califórnia, Riverside.

O experimento que colocou o DCEF32 em destaque e possibilita uma nova tecnologia para controle do greening dos citros

Uma técnica de biotecnologia chamada RNA interferente (RNAi) foi utilizada para desligar cada um dos seis genes selecionados e avaliar qual era o comportamento do inseto com relação a aquisição da bactéria causadora do greening.

Em resumo, os experimentos eram conduzidos da seguinte forma:

- » Foi produzido uma sequência de RNA específica para cada um dos genes, chamada de dsRNA. O dsRNA é a molécula que desliga o gene.
- » O dsRNA era inserido na alimentação do inseto adulto por cinco dias.
- » O inseto era transferido para se alimentar em plantas de citros.

O que é o RNA interferente?

O RNAi atua como um mecanismo de regulação, desligando temporariamente certos genes para controlar a produção de proteínas. Presente naturalmente em plantas, animais e fungos, o RNAi foi descoberto na década de 1990 e revolucionou a maneira com que

o funcionamento da célula era visto.

A grande sacada do RNAi é que esse mecanismo pode ser utilizado como uma ferramenta biotecnológica para desligar genes em um organismo, sem a necessidade de alteração direta no DNA.



“Nossos resultados mostraram que quando o gene DCEF32 era desligado o inseto apresentava dificuldade na alimentação. Quando em plantas, o inseto ainda apresentava dificuldade em perfurar o tecido vegetal até o floema, principal local de colonização da bactéria em plantas.”

Dra. Inaiara Pacheco – Universidade da Califórnia, Riverside.

Sendo a alimentação do inseto o principal veículo de aquisição e transmissão da bactéria causadora do greening, **os resultados dessa pesquisa colocam o gene DCEF32 como alvo para desenvolvimento de tecnologias que possam impedir o seu funcionamento.**



“Uma possibilidade é o desenvolvimento de um defensivo agrícola que ao invés de uma molécula química apresenta-se sequências de dsRNA específico para o gene DCEF32. Para isso, é necessário a formulação de um produto que seja eficiente em ‘entregar’ o dsRNA ao inseto.”

Dr. Marcos Machado – Centro de Citricultura Sylvio Moreira.



Descoberto novo mecanismo de defesa em plantas de laranja

Você já parou para pensar como as plantas conseguem sobreviver em meio a tantos desafios do campo e da natureza? Elas não podem fugir ou se esconder, mas têm mecanismos de defesa incríveis para se protegerem de microrganismos, insetos, excesso de Sol, frio e outros “estresses”. Para os cientistas agrícolas isso não é novidade. No entanto, pesquisadores brasileiros conseguiram descobrir, em plantas de laranja, novos mecanismos de defesa. O que é muito importante para o desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas destinadas aos produtores rurais. Esse é um dos projetos vinculado ao programa [Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia e Inovação](#) – INCTs.

Descobertas como essa também são importantes para consumidores conscientes. É a partir dela que conseguimos produzir alimentos utilizando menos recursos financeiros e ambientais. Para entender isso melhor, fique com a gente.

Doenças reduzem a produção de alimentos

Como você pode ver nessa reportagem: [Estimativa para safra \(2023/2024\) da laranja aponta queda de 1,5% na produção](#), doenças e fatores climáticos são alguns dos principais fatores que podem diminuir a produção de laranjas.

Nesse sentido, para evitar grandes perdas, cientistas buscam por novas estratégias para proteção das plantas. Esse é o caso do grupo de pesquisa dos pesquisadores [Dr. Henrique Ferreira](#) e Dr. [Leonardo Sal-danha](#) (UNESP/Rio Claro).

O desafio das doenças bacterianas

O cancro cítrico é uma das problemáticas da citricultura – doença caracterizada pelo aparecimento de lesões em frutos, folhas e ramos

de plantas de citros. Essa doença é causada pela bactéria *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (*X. citri*), não existe cura e faz com que a produção de laranjas seja menor.

Para solucionar esse problema, os pesquisadores optaram por investigar quais vias metabólicas eram “ativadas” e quais metabólitos eram produzidos pela planta quando infectada pela bactéria.

Um pouquinho de como aconteceu a pesquisa

O principal experimento acontecia da seguinte forma: folhas de plantas saudáveis de laranja doce (*Citrus sinensis* L. Osb.) eram infectadas com *X. citri* ou água. Dessa forma, era possível comparar as duas situações e ver quais eram as substâncias químicas exclusivas produzidas pela planta infectada pela bactéria.

Essas diferenças eram avaliadas em diferentes tempos, 0h, 6h, 12h, 24h e 48h após a infecção. Com isso, foi possível identificar diferentes mecanismos de defesa da planta contra a bactéria.



“Na busca pela resposta à infecção, enfrentamos a dificuldade de lidar com um grande número de amostras, mas superamos esse desafio ao utilizar equipamentos precisos e técnicas computacionais avançadas.”

Dr. Henrique Ferreira – Pesquisador UNESP/Rio Claro

Para chegar a um resultado os experimentos eram repetidos muitas vezes, ou seja, centenas de folhas foram infectadas com a bactéria, outras centenas de folhas foram infectadas com água e assim os pesquisadores conseguiram identificar um padrão de resposta e aumentar a confiabilidade do que estava sendo visto.



“A pesquisa demandou cerca de 2 anos para ser concluída, com uma importante colaboração de pesquisadores estrangeiros. Além dos experimentos feitos aqui, foram 7 meses dedicados à realização de experimentos no exterior.”

Dr. Leonardo Saldanha – UNESP/Rio Claro

Mecanismo de defesa e substâncias químicas protetoras

Técnicas específicas e equipamentos ultrasensíveis foram utilizados para identificar as substâncias químicas que eram produzidas pela planta, quando infectada por *X. citri*. **Com isso, os pesquisadores identificaram ácidos graxos já conhecidos por atuar na defesa contra patógenos e novos metabólitos que nunca haviam sido associados a um papel de defesa contra microrganismos patogênicos.** Substâncias químicas derivadas de triptamina fazem parte dessa descoberta.



“A utilização de triptaminas e outros compostos como princípio ativo em agrodefensivos foliares pode ser uma promissora alternativa, visando proteger as plantas de doenças.”

Dr. Leonardo Saldanha – Pesquisador UNESP/Rio Claro

A pesquisa desenvolvida pelo grupo do Dr. Henrique Ferreira foi a primeira a descrever propriedades antimicrobianas de moléculas derivadas de triptamina e associá-las ao mecanismo de defesa de plantas.

Você sabia?

Até mesmo produtos biológicos são considerados agrotóxicos!

Segundo a legislação brasileira:

Agrotóxicos são todos os produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, utilizados na proteção de produtos agrícolas, industriais, ambientais e domésticos contra ação danosa de seres vivos considerados nocivos.

(Lei nº 14.785 de 27 de dezembro de 2023)

Com isso, surgem diversas possibilidades com o melhoramento genético de citros visando maior expressão de genes relacionados a produção de triptamina; o uso dessa molécula e seus derivados na formu-

lação de novos agrotóxicos. Além disso, deve ser avaliado o potencial dessa substância química em combater outras doenças.

Mecanismo de defesa e o poder da ciência básica

Esse trabalho também deixa claro o poder da ciência básica – um tipo de pesquisa que busca expandir o conhecimento sobre os princípios fundamentais da natureza, sem focar diretamente em aplicações práticas imediatas. É um tipo de pesquisa voltado para a compreensão do que já acontece na natureza e para aprofundar o conhecimento científico em si. **Já é sabido que plantas se defendem contra microrganismos, mas o trabalho realizado pelos cientistas brasileiros trouxe avanços significativos no entendimento dos mecanismos de defesa das plantas de laranja contra a bactéria *X. citri*.**

Não será de imediato, mas essa descoberta irá beneficiar os produtores rurais, permitindo o desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas, e toda a sociedade, ao possibilitar a produção de alimentos de forma mais eficiente e sustentável.



“A partir desses resultados, é possível considerar o aprimoramento genético de variedades de citros, visando reduzir a suscetibilidade ao cancro cítrico e melhorar a resistência das plantas.”

Dr. Henrique Ferreira – Pesquisador UNESP/Rio Claro.

Compreender como as plantas combatem doenças é fundamental para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade no setor agrícola. O trabalho do grupo de pesquisa do Dr. Henrique Ferreira representa um importante passo nesse sentido, abrindo portas para futuras pesquisas e inovações na proteção das plantas e na produção de alimentos.



Laranja transgênica contra a pior doença dos citros

Laranjas transgênicas não são uma completa novidade. Variedades de citros geneticamente modificadas, por meio de biotecnologia, são desenvolvidas desde a década de 1990. No entanto, nenhuma chegou a ser cultivada com objetivo de comercialização de frutos – São restritas aos centros de pesquisa.

Nesse sentido, projeto do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) coordenado pelas pesquisadoras Dras. [Juliana de Freitas Astúa](#) ([Embrapa Mandioca e Fruticultura](#)) e [Sílvia Dorta](#) ([Centro de Citricultura Sylvio Moreira](#)–IAC) é o primeiro a apresentar tecnologia Bt em laranjas, já amplamente utilizada em culturas de milho, soja, cana-de-açúcar e algodão.

Estaríamos mais perto da primeira laranja transgênica comercial? Fica com a gente para descobrir o que é essa tecnologia, como ela foi introduzida em plantas de laranja e a importância desse trabalho para a citricultura.

A pior doença da citricultura

O grupo de pesquisa da Dra. Juliana tem buscado desenvolver novas tecnologias agrícolas para o controle de um inseto extremamente prejudicial à citricultura, o psílídeo *Diaphorina citri*.

Esse inseto é o vetor da bactéria *Candidatus liberibacter* spp., que causa o greening (huanglongbing/HLB), a pior doença da citricultura na atualidade. Isso significa que o inseto é responsável por espalhar a bactéria (consequentemente a doença) para as plantas do pomar.

Não existe cura para as plantas doentes e as árvores afetadas apresentam grande redução na produção. Dessa forma, a principal medida de controle dessa doença é a eliminação das árvores infectadas pela bactéria. Cujo objetivo é frear a disseminação da doença. Uma medida

complementar é reduzir a população dos insetos vetores (o que tem aumentado o uso de inseticidas nos pomares).

Alternativas complementares a essas estratégias são de grande importância para sustentabilidade da citricultura. É aqui que entra a nova tecnologia agrícola desenvolvida pelo time da Dra. Juliana, uma laranja transgênica para controle da *D. citri*.

Plantas transgênicas não são todas iguais

Plantas transgênicas são aquelas que possuem em seu genoma sequências genéticas (genes) de uma espécie não compatível sexualmente, pode ser uma planta, um microrganismo, um animal ou qualquer organismo vivo.

No desenvolvimento de uma planta transgênica, a escolha do gene é uma etapa crucial. É ele que vai conferir uma nova característica para a planta.

Você sabia?

O gene é um pedaço específico do DNA. Ele contém uma “receita” para produzir uma proteína que desempenha uma determinada função no organismo.

A adição de um novo gene em uma planta pode acontecer por meio da reprodução sexual ou por ferramentas de biotecnologia.

As primeiras plantas de laranja transgênica com tecnologia Bt

A tecnologia Bt surgiu com o estudo da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt), um microrganismo amplamente encontrado no solo e que possui em seu DNA genes que codificam proteínas inseticidas, conhecidas como cristais Bt ou proteínas Bt.

Existem centenas de genes que codificam proteínas Bt (genes *cry*). Não são todos os insetos que são afetados por essas proteínas, e existe todo um estudo para avaliar a especificidade de cada um. A primeira variedade comercial com tecnologia Bt a ser cultivada foi uma variedade de milho (1996).

Desde então, muitas outras plantas Bt foram adotadas por agricultores e se mostram uma tecnologia sustentável, uma vez que, entre outros benefícios, reduzem a aplicação de inseticidas.



“Há anos, culturas expressando genes de Bt vêm sendo utilizadas com sucesso para o controle de insetos e esses precedentes podem viabilizar o uso da tecnologia também nos citros.”

Dra. Juliana Astúa – Pesquisadora Embrapa Mandioca e Fruticultura.

O grupo de pesquisa da Dra. Juliana Astúa estuda há alguns anos a capacidade da bactéria *B. thuringiensis* controlar o inseto transmissor da pior doença dos citros. Em um trabalho já publicado, eles comprovam a eficiência do Bt no controle da *D. citri*.

Desde então o gene responsável pela produção da proteína inseticida foi estudado, caracterizado e então nomeado de *cry11A*. Com isso, foi possível transferir esse gene da bactéria para plantas de laranja doce (*Citrus sinensis* L. Osbeck).



“Os trabalhos iniciais de identificação de isolados de Bt capazes de causar mortalidade de ninfas dos psílídeos dos citros começaram há cerca de 10 anos. Posteriormente, deu-se início ao trabalho de transformação genética de plantas de laranja, realizado pela Dra Sílvia Dorta.”

Dra. Juliana Astúa – Pesquisadora Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Ajudando a planta no combate a pragas

As plantas de laranja com o gene *cry11A* foram desenvolvidas pela técnica de transformação genética. **É uma técnica em que os pesquisadores “copiam” a sequência genética de um organismo (nesse caso o gene *cry11A*) e transferem para outro (nesse caso plântulas de laranja).**

É um trabalho bastante demorado, cheio de etapas e diferentes técnicas de biologia molecular. Após a transformação genética ainda é preciso confirmar que o gene foi realmente introduzido, se ele está funcional e se nenhuma outra característica da planta foi alterada.

Para isso, são desenvolvidos diversos experimentos, realizados em ambientes fechados, controlados e com devidas autorizações de biossegurança.



Plantas Bt de laranja sendo desafiadas contra *Diaphorina citri*. O inseto que transmite a pior doença dos citros.

Tudo isso foi realizado pelo grupo de pesquisa. O resultado foram 21 plantas de laranja Bt capazes de controlar o inseto *D. citri*. **Essas plantas ainda serão mais bem estudadas até que uma laranja Bt seja escolhida como candidata a uma possível variedade comercial de laranja transgênica.**



“É um trabalho bastante promissor e que mostra a viabilidade da tecnologia Bt em plantas de laranja. No entanto, ainda queremos aumentar a eficiência da tecnologia. Só então poderemos pensar em testes de campo.”

Dra. Juliana Astúa – Pesquisadora Embrapa Mandioca e Fruticultura.

A laranja transgênica Bt pode ser uma importante ferramenta adicional para auxiliar no manejo da pior doença dos citros, pois pode reduzir a frequência de pulverizações de inseticidas nos pomares e a transmissão da bactéria que causa doença em plantas de laranja.

Bacillus thuringiensis e genes de grande importância

A laranja transgênica desenvolvida pelo grupo de pesquisa da Dra. Juliana tem como base uma bactéria já conhecida na agricultura, a espécie *Bacillus thuringiensis* (Bt).

Existe uma grande diversidade de bactérias Bt, cada uma com diferentes

genes responsáveis por produzirem proteínas “cristais” com ação inseticida. Essa característica das bactérias Bt fez dela um dos microrganismos mais estudados pela ciência agrícola e tem sido muito utilizada no controle de insetos.

Você sabia?

○ *Bacillus thuringiensis* foi descoberto em 1901 pelo biólogo japonês Shigetane Ishiwatari.

Mas foi Ernst Berliner que descreveu estruturas semelhantes a cristais no interior dessas bactérias, que futuramente viriam a ser identificadas como responsáveis pela ação inseticida das bactérias Bt.

Não existe laranja transgênica sendo comercializada

Vamos deixar claro que não, você ainda não encontra nenhum tipo de laranja transgênica ou quaisquer outros citros transgênicos sendo vendido em supermercados ou feiras. Muitas das variedades geneticamente modificadas (GM) de laranja, pelos centros de pesquisa, foram desenvolvidas para prova de conceito – mostrar que é possível realizar a transformação genética em citros, desenvolver metodologias mais eficientes e avaliar o funcionamento de genes nessas plantas.

Apesar de também terem sido desenvolvidas plantas de laranja transgênica tolerantes às principais doenças dessa cultura nenhuma variedade foi submetida ao processo de aprovação realizado por órgãos de biossegurança e essencial para liberação comercial.

O principal motivo para ainda não haver laranjas transgênicas sendo comercializadas pelo mundo está relacionado aos custos envolvidos no processo de aprovação pelos órgãos reguladores, aceitação dessa tecnologia pelos citricultores e consumidores.

Por isso a importância na divulgação de pesquisas desse tipo para a sociedade – conscientizar as pessoas de que plantas transgênicas são seguras e podem ser consumidas sem medo algum. A adoção de plantas transgênicas pelos agricultores visa o manejo mais sustentável das culturas.



Diversidade das tangerinas: solução promissora para consumidores e citricultores

Não é só impressão, a tangerina está mais cara. No entanto, os resultados de uma pesquisa do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT), coordenada pela pesquisadora [Dra. Marinês Bastianel](#) do Centro de Citricultura Sylvio Moreira, apresentam soluções que podem aumentar a produção desse fruto, reduzindo os gastos com agrotóxicos e, consequentemente, baixando o preço da tangerina no mercado.

O preço das tangerinas está mais alto

[Segundo dados do IBGE](#), a tangerina foi o item que mais aumentou no índice de inflação do Brasil, abrangendo o período de junho de 2022 a 2023, com um expressivo acréscimo de 52,5% em seu preço.

Essa alta de preços está diretamente relacionada à diminuição na produção de tangerinas no Brasil ao longo dos anos. **Por exemplo, em 2005, a produção era de mais de 1.230,0 toneladas em 61,0 mil hectares (ha); contudo, em 2020, houve uma redução de 10% na área (55,5 mil ha) e 16% no volume produzido (1,03 mil toneladas).**

O principal motivo para essa redução é o aumento dos custos de produção decorrente dos problemas com doenças e pragas que afetam as plantas de tangerina cultivadas no país. Além disso, a falta de soluções eficazes para esses problemas tem levado os produtores a substituírem o cultivo de tangerina por outras culturas, resultando em uma diminuição cada vez maior da disponibilidade de tangerinas no campo e nos mercados.

Não existe solução sem pesquisa

Publicado em abril de 2023, o trabalho liderado pela Dra. Marinês Bastianel mostrou que existe luz no fim do túnel.

Contextualizando: Os produtores de tangerina têm sofrido a anos com dois grandes problemas, a mancha marrom (doença causada pelo fungo *Alternaria alternata*) e o HLB/greening (doença causada pela bactéria *Candidatus liberibacter* spp.). As tangerinas que nós consumidores mais gostamos, são afetadas por essas doenças e os prejuízos têm sido enormes, o que desmotiva a manutenção dos pomares pelos agricultores.



Sintomas da mancha marrom de alternária em frutos de tangerina, no campo.

Existem tangerinas resistentes a essas doenças?

Essa foi a pergunta que os pesquisadores do Centro de Citricultura Sylvio Moreira e Embrapa Mandioca e Fruticultura fizeram. **A resposta eles foram buscar na fonte, a maior diversidade genética de citros do País e do mundo – o Banco Ativo de Germoplasma (BAG).** Com o objetivo de identificar plantas resistentes à mancha marrom e ao HLB, os pesquisadores selecionaram diretamente do BAG, 69 plantas de tangerinas e 109 híbridos de tangerina (plantas de tangerina cruzadas com alguma outra espécie de citros, mas que possuem características de tangerina).



“A composição do experimento foi resultado de uma seleção criteriosa das variedades, embasada em estudos anteriores e apenas os acessos mais promissores foram escolhidos. O que representou menos de 30% do vasto acervo do nosso BAG.”

Dra. Marinês Bastianel – Pesquisadora Centro de Citricultura Sylvio Moreira.

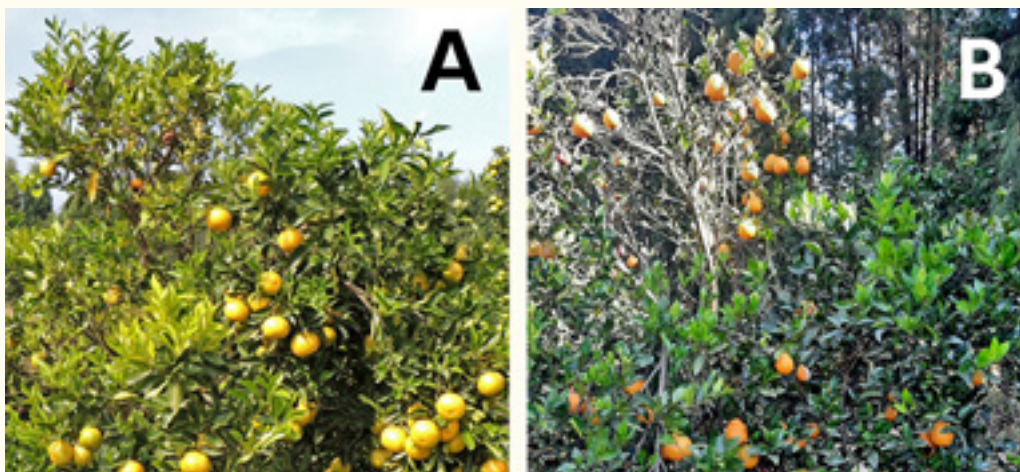
Em seguida, foram preparadas mudas das 178 plantas selecionadas, sendo, no mínimo, oito mudas de cada planta. O experimento foi montado em fevereiro de 2015, em um pomar que era afetado pelas duas doenças, e as avaliações ocorreram durante três anos.



“Na ciência, os experimentos precisam ser feitos com repetições e réplicas. Esse cuidado é necessário para confirmar que o resultado observado é verdadeiro e não apenas uma casualidade.”

Dra. Marinês Bastianel – Pesquisadora Centro de Citricultura Sylvio Moreira.

Durante o experimento, os pesquisadores observaram diferenças significativas na severidade das duas doenças. De fato, encontraram plantas que eram completamente resistentes ao fungo causador da mancha marrom, ou seja, essas plantas não ficavam doentes mesmo na presença do fungo. Também identificaram que algumas variedades de tangerinas e híbridos demonstraram menor quantidade de sintomas de HLB em campo.



A: planta com poucos sintomas de HLB. B: planta com muitos sintomas de HLB.

Os resultados da pesquisa foram extremamente positivos e lançam luz sobre os grandes problemas enfrentados na produção de tangerinas.

Ao identificar as plantas que resistem ou “toleram” a presença desses microrganismos, é possível substituir as variedades comerciais atuais, o que reduziria os custos de produção e os riscos ambientais causados pela aplicação excessiva de agrotóxicos.



“Embora nem todas as tangerinas apresentem tolerância à bactéria que causa o HLB, a descoberta de plantas completamente resistentes à mancha marrom representa um passo significativo para produtores de citros de mesa.”

Dra. Marinês Bastianel – Pesquisadora Centro de Citricultura Sylvio Moreira.

Além disso, aprofundar o estudo da genética dessas plantas possibilitará a identificação dos genes responsáveis por essa resistência, abrindo caminho para o desenvolvimento de novas variedades de tangerina mais resistentes e adaptadas ao ambiente brasileiro. Essas variedades poderiam fortalecer a citricultura nacional, proporcionando maior segurança e estabilidade na produção dessa fruta tão apreciada.

A pesquisa é fundamental para sustentabilidade da produção agrícola

A busca por variedades resistentes que atendam à demanda do consumidor tem sido uma das principais preocupações na citricultura. **A pesquisa conduzida pela Dra. Marinês e financiada pelo INCT traz avanços promissores para a produção de tangerinas no Brasil, enfatizando a importância dos investimentos na ciência agrícola e dos pesquisadores brasileiros.** Os resultados obtidos são um exemplo notável do potencial das pesquisas para impulsionar a indústria de tangerinas, destacando a relevância de continuar apoiando e fomentando a ciência e inovação no país.



“Temos expectativas de que muito em breve haverá uma maior diversificação nos pomares de tangerinas e que atendam às exigências dos consumidores. Mostramos que existem tangerinas de excelente qualidade organolépticas e que possibilitam menor uso de princípios ativos contribuindo com a produção mais sustentável nos pomares.”

Dra. Marinês Bastianel – Pesquisadora Centro de Citricultura Sylvio Moreira.



Fungo endofítico do Cerrado brasileiro é solução tecnológica para a citricultura

O cerrado brasileiro é admirado por sua importância ecológica e cultura. Não é por acaso que um dos projetos do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) teve como objetivo buscar na biodiversidade do cerrado soluções tecnológicas para citricultura .

Os frutos dessa pesquisa levaram o grupo de cientistas, liderados pela Dra. [Chirlei Glienke](#), e [Dra. Daiani Savi](#) a identificar uma espécie de fungo endofítico com uma importante atividade biológica – o controle de doenças em citros.

Mas, afinal, o que são fungos endofíticos?

São denominados endofíticos quaisquer microrganismos (incluindo os fungos) que vivem dentro das plantas sem causar nenhum dano aparente. Toda planta abriga uma rica diversidade de microrganismos endofíticos, muitos dos quais nunca foram estudados. Nesse sentido, a relação benéfica, muitas vezes identificada entre plantas e endofíticos, tem atraído cada vez mais a atenção de pesquisadores de diversas áreas.

Estudar fungos endofíticos é uma das especialidades do grupo de pesquisa da Dra. Chirlei Glienke – Universidade Federal do Paraná (UFPR) que há muitos anos faz buscas por esse tipo de microrganismo em plantas medicinais do cerrado brasileiro.

Desde então, novas espécies de fungos têm sido descobertas assim como espécies já identificadas, mas que não tiveram seu potencial devidamente avaliado. Trabalhos como esse são de extrema importância e mostram quão enorme pode ser a biodiversidade microbiológica e abrem portas para o desenvolvimento de novas tecnologias.

Fungo endofítico como fonte de tecnologia agrícola

Diaporthe cf. *heveae* é apenas um entre os milhares de fungos endofíticos já identificados pela Dra. Chirlei em plantas do Brasil. No entanto, esse microrganismo foi recentemente isolado também de uma planta do cerrado brasileiro, o Barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*), conhecido pelo seu uso popular no tratamento de infecções, lesões e outras aplicações medicinais.



“Utilizar microrganismos no controle de doenças de plantas é uma tendência da agricultura sustentável. Pesquisas como essa são o primeiro passo para desenvolvimento de produtos biológicos”

Dra. Daiani Savi – Universidade Federal do Paraná.

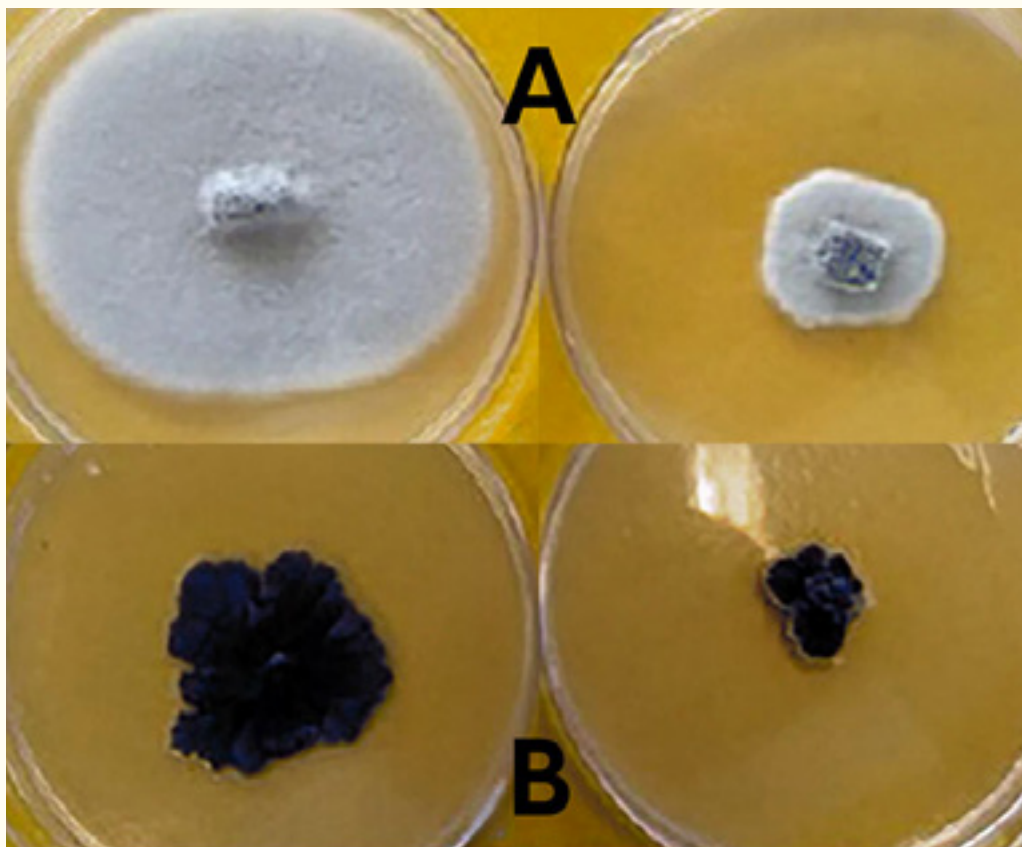
Diante disso, os pesquisadores optaram por explorar o potencial do *D. cf heveae* como tecnologia agrícola no controle de duas doenças que acometem plantas de citros: pinta preta e podridão floral dos citros. Ambas são causadas por fungos, *Phyllosticta citricarpa* e *Colletotrichum abscissum*, respectivamente.

A escolha do fungo endofítico *D. cf heveae* não foi por acaso

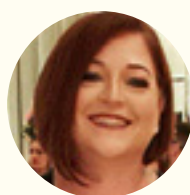
Tanto a pinta preta como a podridão floral são doenças de grande importância para a citricultura, pois podem ocasionar redução na produção dos pomares de laranja em até 85%. Atualmente, existem poucos produtos capazes de controlar os fungos patogênicos que causam essas doenças no campo. Por esse motivo, muitos dos fungos endofíticos encontrados pelos pesquisadores são testados contra os fungos patogênicos.

Os fungos endofíticos podem controlar os fungos patogênicos de diferentes maneiras. **Nos trabalhos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa da Dra. Chirlei, foi observado que o *D. cf heveae*, quando em um mesmo ambiente, impedia que *P. citricarpa* e *C. abscissum* crescessem** – havia algo sendo produzido pelo fungo endofítico que inibia o desenvolvimento dos fungos patogênicos, como demonstrado nos experimentos de cultura pareada. Para investigar o que estava acontecendo, uma técnica foi utilizada para produção e extração de compostos químicos secretados pelo fungo endofítico, resultando no que chamamos de extrato concentrado de metabólitos secundários ou “extrato bruto”. Em um novo experimen-

to, esse extrato foi aplicado sobre os fungos patogênicos e, como esperado, o desenvolvimento de *P. citricarpa* e *C. abscissum* também foi inibido.



Inibição de crescimento de A: *Collectotrichum abscissum* e B: *Phyllosticta citricarpa* em meio com o extrato de *Diaporthe cf. heveae*, em comparação ao controle, sem tratamento.



“Os resultados de ambos os experimentos foram muito positivos. Nos mostraram que o *Diaporthe cf. heveae* era capaz de inibir quase 90% do crescimento micelial de *P. citricarpa* e em 72% o de *C. abscissum*.”

Dra. Chirlei Glienke – Universidade Federal do Paraná.

O que fez com que os fungos patogênicos parassem de crescer?

Essa foi a pergunta que intrigou os pesquisadores ao enxergarem o potencial do fungo endofítico *D. cf. heveae*. Decidiram, então, identificar os principais compostos químicos presentes no extrato bruto. Dentre os oito compostos identificados, somente um se mostrou eficiente em inibir o desenvolvimento dos fungos patogênicos: um composto fenólico pertencente à classe das Di-hidroisocumarinas.



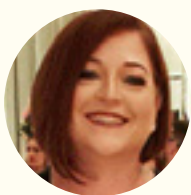
“A eficiência dos compostos foi testada em diferentes experimentos, tanto em placas de petri com meio de cultura (in vitro) quanto em situações em que o fungo estava presente nos frutos ou flores (in vivo). Com isso, identificamos que o composto responsável por inibir o desenvolvimento dos fungos era a Di-hidroisocumarina.”

Dra. Daiani Savi – Universidade Federal do Paraná.

Outros experimentos mostraram que a Di-hidroisocumarina produzida pelo *D. cf heveae* não é tóxico para células vegetais de citros nem para células humanas, sendo os primeiros indícios de que um produto desenvolvido a partir desse composto químico será seguro para pessoas e meio ambiente.

O caminho para uma nova tecnologia agrícola

O desafio agora é desenvolver uma formulação que transforme o fungo endofítico em uma tecnologia viável, combinando o princípio ativo com outras substâncias que não têm efeito direto nos fungos patogênicos, mas podem potencializar a ação dos produtos (aditivos). Produtos formulados possuem maior eficiência, estabilidade, durabilidade e outras características importantes para o controle das doenças e segurança de quem os aplica.



“Existem dois caminhos possíveis para desenvolvimento de uma tecnologia agrícola: formulação de um produto biológico em que o princípio ativo seja o próprio fungo ou um produto químico em que o princípio ativo seja o composto fenólico.”

Dra. Chirlei Glienke – Universidade Federal do Paraná.

Essa descoberta é de extrema relevância para a indústria agrícola, pois aponta para a possibilidade de desenvolver novas alternativas naturais para o controle de doenças que afetam as culturas cítricas.

Atualmente, existem poucos produtos disponíveis para combater as doenças fúngicas em citros, a utilização de compostos naturais derivados desses fungos endofíticos pode representar uma abordagem para o manejo integrado de doenças – mais sustentável e amigável ao ecossistema.



Vírus da leprose dos citros: doença ou defesa da planta?

Pesquisadores do Centro de Citricultura Sylvio Moreira, Embrapa Mandioca e Fruticultura e Instituto Biológico realizaram uma importante descoberta relacionada à principal doença causada por vírus que afeta os citros, causada por vírus.

O trabalho foi desenvolvido pela [Dra. Gabriella Dias Arena](#) e contou com a colaboração do [Dr. Pedro Luis Ramos-González](#). Como líderes do projeto estavam o [Dr. Marcos Antônio Machado](#) e a [Dra. Juliana Freitas-Astua](#). A pesquisa, também vinculada ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) de Citros, identificou que o desenvolvimento da doença denominada a leprose dos citros está relacionado a interação de uma proteína específica (P61) do vírus da leprose (CiLV-C) com o sistema de defesa da planta.

Porque o vírus da leprose dos citros não é encontrado em todas as células da planta? Isto é, por que ele não é sistêmico como outros vírus?

Esse era o questionamento que intrigava os pesquisadores a respeito do CiLV-C, também conhecido como vírus da leprose dos citros. Normalmente, quando um vírus infecta um organismo vivo, é comum que ele se dissemine por todas as células.

No entanto, no caso do CiLV-C, ao infectar uma planta, ele fica restrito à região onde ocorreu o primeiro contato. Ele não se espalha por toda a planta. Por essa razão, ele depende de uma “ajuda” externa. Essa “ajuda” é proporcionada pelo ácaro vetor desse vírus (*Brevipalpus yothersi*).



Sintomas de leprose dos citros em ramos, folhas e frutos de laranjeira.



*“Assim como o *Aedes aegypti* carrega o vírus da dengue, o ácaro *Brevipalpus yotheri* transmite o vírus da leprose dos citros. Esses são chamados de vetores assintomáticos, uma vez que os vírus não prejudicam esses organismos, mas prejudicam o hospedeiro final.”*

Dr. Marcos Antonio Machado.

Outro aspecto que merece atenção é o fato de que na região infectada da planta, ocorre a morte do tecido infectado. Esse tipo de resposta resulta no surgimento de lesões ou manchas nos frutos e em qualquer parte da planta que tenha tido contato com o vírus. São lesões escuras, resultado da resposta da planta à infecção.



“Nessa situação, a morte celular do tecido vegetal pode ser causada por dois processos: por proteínas secretadas pelo vírus (ataque do vírus); ou também pelo aumento na produção de espécies reativas de oxigênio pela planta (defesa da planta).”

Dra. Gabriella Dias Arena.

Impacto da doença na vida dos citricultores e consumidores é significativo

Frutos repletos de lesões perdem valor no mercado, mesmo que o vírus não tenha grandes efeitos no desenvolvimento do fruto. Dificilmente os consumidores se interessariam por frutos com aparência depreciada. O controle da leprose dos citros acarreta custos elevados. Não existe cura para doença, nem possibilidade de controle químico do vírus. Assim, a estratégia é reduzir a transmissão do vírus pelo ácaro. **Desse modo, aproximadamente 50 milhões de dólares são gastos anualmente com acaricidas para minimizar os danos causados por esse vírus.** A maior parcela desse montante é destinada à compra e aplicação de agrotóxicos, visando reduzir a população de ácaros nos pomares. Atualmente, ainda não existe uma tecnologia capaz de impedir a infecção das plantas pelo vírus ou de prevenir a formação de lesões nos frutos. Por essa razão, a melhor estratégia para reduzir o impacto da doença é controlar a população de ácaros. Sem esse vetor, a doença fica restrita a pontos isolados nos pomares.



“Nosso objetivo com esta pesquisa foi compreender o comportamento do vírus na planta, visando abrir caminhos para o desenvolvimento de novas tecnologias de controle da doença, com especial enfoque na infecção viral.”

Dr. Marcos Antonio Machado

Conheça o experimento que permitiu o entendimento da interação entre planta e vírus

Na ciência agrícola é comum a utilização do que chamamos de plantas modelos – espécies vegetais de ciclo curto, fáceis de cultivar, têm seus genomas relativamente pequenos e sequenciados, e assim facilitam a compreensão de genes individuais e processos biológicos em uma planta. Duas das mais conhecidas são *Arabidopsis thaliana* e *Nicotiana benthamiana*.



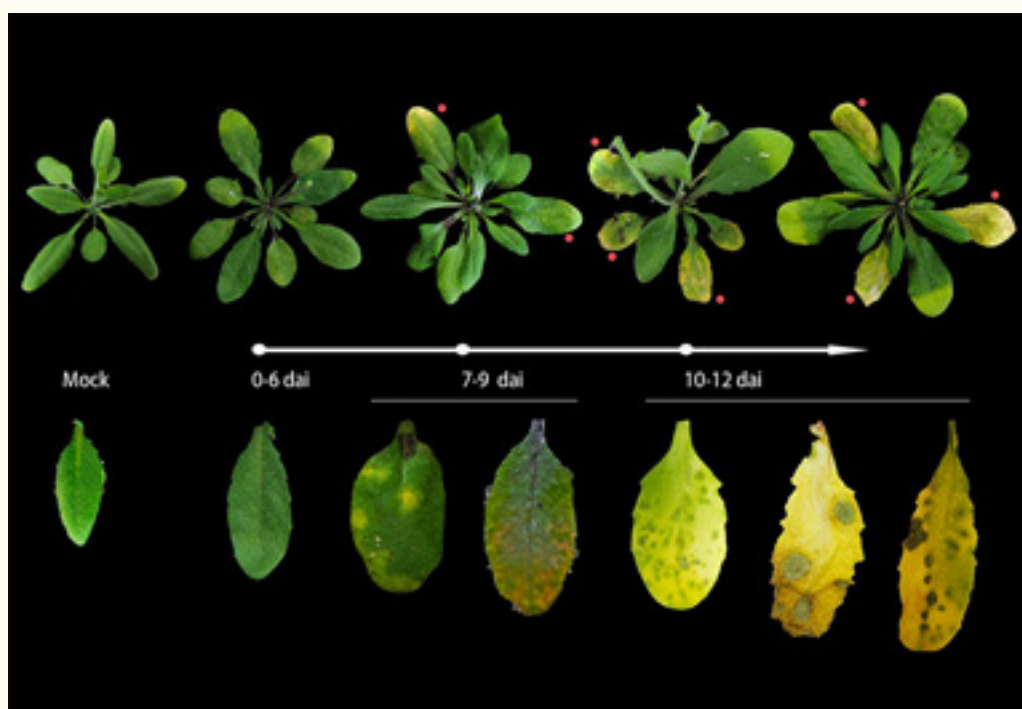
“As plantas modelo também se destacam pelo seu ciclo de vida curto. Ao plantar uma semente, é possível acompanhar o desenvolvimento até a formação de flores em questão de semanas, o que permite a repetição de experimentos várias vezes em um único ano. Isso contrasta com as plantas cítricas, onde esse processo é muito mais demorado.”

Dra. Gabriella Dias Arena.

Por esse motivo, é comum que pesquisas voltadas para a compreensão de mecanismos genéticos de resistência a doenças, pragas e fatores climáticos utilizem, em um primeiro momento, plantas modelo. Posteriormente, os mesmos resultados são validados em plantas de interesse, como os citros.

Plantas modelos foram utilizadas no entendimento da leprose dos citros

A planta modelo *A. thaliana*, quando infectada pelo vírus CiLV-C, apresenta sintomas semelhantes aos observados em plantas de citros, o que a torna uma excelente opção para estudos sobre essa doença.



Plantas de *Arabidopsis thaliana* infectadas com o vírus da leprose dos citros.

Os pesquisadores buscaram identificar quais genes da planta eram “ligados” e “desligados” quando infectadas pelo vírus. Para isso, conduziram experimentos onde dividiram as plantas em dois grupos:

- » Plantas do grupo A tiveram contato com ácaros infectados pelo vírus CiLV-C
- » Plantas do grupo B tiveram contato somente com ácaros, mas sem o vírus CiLV-C

Folhas dessas plantas eram coletadas em diferentes tempos: 0 horas, 6 horas, 2 dias e 6 dias após o contato com o ácaro. Aplicou-se então a técnica de sequenciamento do RNA (RNA-seq). Diferentemente do sequenciamento do DNA, que permite identificar todos os genes presentes em um organismo (genoma), o sequenciamento do RNA permite observar quais genes estão ativos e inativos (transcriptoma) – ou seja, revela quais genes são importantes para o organismo naquele processo da interação da planta, seja com o ácaro ou com vírus.

O RNA-seq é uma técnica relativamente custosa e que requer uma série de análises bioinformáticas. Portanto, seu uso deve ser minuciosamente planejado. Foram avaliados outros intervalos de tempo, incluindo até 10 dias após o contato entre os ácaros e as plantas. No entanto, os dados já indicavam que a principal interação entre a planta e o vírus ocorria logo no início desse contato.

Os sintomas da leprose dos citros são uma defesa da planta contra o vírus

Os resultados do RNA-seq mostraram que, quando em contato com o vírus, a planta começa a reprogramar (desligar e ligar) cerca de 3 700 genes. Foi visto que esses genes estão relacionados a uma resposta de “defesa” e “alerta”. Em outras palavras, a planta entra em ação, ativando mecanismos químicos para isolar a região que foi infectada pelo vírus. Os pesquisadores identificaram que uma série de mecanismos de defesa sendo ativados, entre eles a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), além de vários genes marcadores de uma resposta de hipersensibilidade. Essa resposta resulta na ‘morte’ das células, na

região infectada pelo vírus, isolando-a e impedindo que o vírus se dissemine por toda a planta.



“É um tipo de resposta bastante interessante. Normalmente, associamos a presença de lesões a compostos químicos produzidos por invasores como microrganismos, insetos e animais. No entanto, neste caso, observamos a própria planta produzindo compostos químicos que eliminam suas próprias células para evitar a disseminação do vírus.”

Dr. Marcos Antonio Machado.

Mas como a planta detecta a infecção pelo vírus da leprose?

Para responder a essa pergunta, os pesquisadores optaram por avaliar individualmente as proteínas que compõem o vírus CiLV-C em outra planta modelo, a *N. benthamiana*.



*“Existem muitas metodologias já padronizadas que utilizam a *N. benthamiana* para estudo da produção de espécies reativas de oxigênio. Nosso objetivo era avaliar se alguma das proteínas do vírus faziam com que a planta produzisse essa resposta.”*

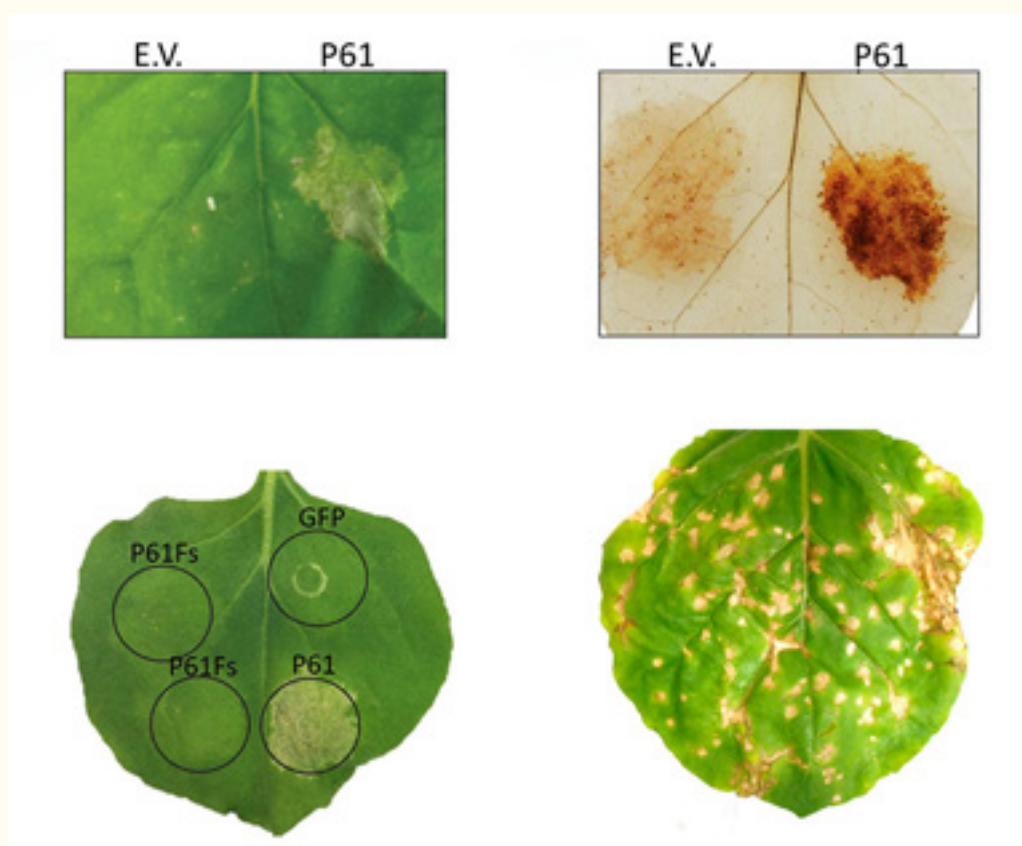
Dr. Marcos Antonio Machado.

Dessa forma, os pesquisadores descobriram que a proteína P61 era a responsável por desencadear a produção de espécies reativas de oxigênio na planta. As espécies reativas de oxigênio, como O⁻ e H₂O₂, são tóxicas às células, levando-as à morte. Com isso há o desenvolvimento da lesão e o isolamento do vírus.



“Esses resultados nos levam a crer que a leprose dos citros é resultado de uma interação incompatível entre a planta e vírus. A planta já possui em seu “sistema imunológico” mecanismos para identificar a presença da proteína P61 do vírus e, assim, ativar seu sistema de defesa, evitando a proliferação do vírus nas células vegetais”.

Dra. Gabriella Dias Arena.



Folhas de *Nicotiana benthamiana* mostrando produção de espécies reativas de oxigênio após contato com proteína P61.

A pesquisa realizada pelo grupo do Dr. Marcos Machado e pelas Dra. Juliana Freitas-Astúa e Dra. Gabriella Dias Arena deu passos significativos no esclarecimento dessa importante doença, abrindo caminho para o desenvolvimento de novos produtos agrícolas para controlar o vírus da leprose dos citros. Um exemplo é a utilização de RNA interferente, uma tecnologia moderna que pode contribuir para a sustentabilidade da produção de citros.



Limão Tahiti: pesquisa promete impulsionar a produção no Nordeste brasileiro

Com a promessa de impulsionar a produção de lima ácida ‘Tahiti’ – mais conhecida como “limão Tahiti” na região Nordeste, a pesquisa conduzida pelo [Dr. Walter dos Santos Soares Filho](#) (Embrapa Mandioca e Fruticultura) e sua equipe, com destaque para o [Dr. Marcos Eric Barbosa Brito](#) (Universidade Federal de Sergipe), sob financiamento da Embrapa e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT), traz perspectivas animadoras para a citricultura nordestina.

A problemática da produção de limão Tahiti na Região Nordeste

A produtividade de plantas de limão do Nordeste brasileiro é bastante inferior àquelas encontradas nos pomares da região Sudeste – uma média de 12 toneladas contra 30 toneladas segundo o IBGE (2021).

Essa disparidade revela o enorme potencial de aumento na produção de limões se condições mais favoráveis de manejo e novas tecnologias sejam estabelecidas nos pomares nordestinos.

Nesse sentido, a implementação de sistemas de irrigação em pomares nordestinos vem melhorando a produtividade das plantas. No entanto, ainda existe um outro fator a ser superado, a alta concentração, em algumas áreas, de sais nas águas e no solo dessa região – plantas cítricas são sensíveis à salinidade e, por isso, apresentam dificuldades em absorver água, o que leva ao estresse hídrico e afeta o crescimento e a produção das plantas.

Para superar esse desafio e melhorar a produção de limões no Nordeste, o grupo de pesquisa do Dr. Walter Soares buscou avaliar o desem-

penho de diferentes porta-enxertos, já conhecidos e novos desenvolvidos pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura.



“A escolha de um porta-enxerto adequado para condições de salinidade do solo e da água tem o objetivo de garantir um bom desenvolvimento da planta, mesmo em ambientes salinos. Chamamos essa característica de tolerância à salinidade.”

Dr. Walter Soares – Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Você sabia?

Na citricultura, as plantas de citros são na verdade duas.

Uma planta é o porta-enxerto, variedade selecionada para ser base e fornecer o sistema de raízes e a parte inferior da planta. Enquanto o enxerto é a copa da planta, parte que irá produzir os frutos.

Descobrimos o melhor porta-enxerto para produção de limões no Nordeste

Existem poucos estudos sobre a combinação de copa/porta-enxerto com tolerância à salinidade para a citricultura brasileira. Com isso, os pesquisadores buscaram avaliar 13 porta-enxertos sob efeito de três níveis de água salina.



“A pesquisa teve duração de dois anos e, além de avaliarmos a produtividade das plantas, também analisamos diversos aspectos fisiológicos, como crescimento, fotossíntese e transpiração, entre outros. Além disso, examinamos o acúmulo de sais no solo, resultado da irrigação com água salina.”

Dr. Walter Soares – Embrapa Mandioca e Fruticultura.

O estudo foi conduzido em uma área experimental da Universidade Federal de Sergipe, localizada em Nossa Senhora da Glória. Foram estabelecidos grupos distintos, ou “blocos”, compostos por combinações de copa de limão Tahiti com 13 porta-enxertos. Cada um desses blocos foi submetido a diferentes fontes de irrigação, variando em concentração salina – desde baixa salinidade até níveis intermediários e elevados de sal.

Nesse contexto, os pesquisadores conseguiram confirmar que o aumento na concentração de sais tem efeitos adversos nas plantas, principalmente na redução do número e tamanho dos frutos. Dentre os 13 porta-enxertos avaliados, três proporcionaram uma maior estabilidade na produção, mesmo em condições de aumento da salinidade. Os resultados obtidos ressaltam que, mesmo em situações de salinidade intermediária, os porta-enxertos citrandarin ‘Riverside’, tangerineira ‘Sunki Tropical’ e o híbrido trifoliado HTR-069 (citrangor) têm potencial de garantir uma produção satisfatória e estável da lima ácida Tahiti ao longo do tempo.



“Também mostramos em nosso trabalho que O efeito da salinidade nas plantas cítricas foi osmótico, reduzindo sua fotossíntese líquida e transpiração. Além disso, identificamos que a salinidade também afeta a concentração de nutrientes do solo.”

Dr. Walter Soares – Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Resiliência na Citricultura Nordestina

Em um cenário de crescente desafio climático e pressões ambientais, a pesquisa desempenha um papel fundamental em encontrar soluções viáveis para a produção agrícola sustentável.

O estudo realizado em área experimental da Universidade Federal de Sergipe – Campus de Nossa Senhora da Glória, não apenas lança luz sobre a complexa interação entre os porta-enxertos e a salinidade, mas também oferece orientações valiosas para os produtores que enfrentam as adversidades do cultivo dos citros em regiões de salinidade elevada.

Ao identificar variedades de porta-enxertos que mantêm a produtividade e a qualidade das frutas em meio a desafios salinos, a pesquisa

proporciona um caminho promissor para aumentar a resiliência da citricultura na região Nordeste do Brasil.

O trabalho conduzido pela equipe do Dr. Walter Soares não apenas destaca a importância da escolha cuidadosa dos porta-enxertos, mas também aponta para a necessidade de abraçar abordagens adaptativas e sustentáveis na agricultura.



“Agora queremos expandir a pesquisa no Semiárido brasileiro. Juntamente ao Instituto Federal Baiano e diversos outros parceiros, estamos planejando novos experimentos envolvendo mais de 20 porta-enxertos sob a copa de Tahiti e da laranja Pêra.”

Dr. Walter Soares – Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Essa pesquisa, além de fornecer informações vitais para os produtores, também contribui para o desenvolvimento de estratégias inovadoras que podem moldar positivamente o futuro da citricultura, permitindo que as gerações vindouras colham os benefícios de um cultivo mais resiliente, produtivo e harmonioso com o meio ambiente.



Tecnologia na agricultura é desenvolvida a partir de bactéria causadora de doença em citros

A pesquisa liderada pelo grupo da [Dra. Alessandra Alves de Souza](#), pesquisadora do Centro de Citricultura Sylvio Moreira, e com participação do [Dr. Reinaldo Rodrigues de Souza Neto](#), financiamento do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT), traz inovação ao transformar um mecanismo de defesa bacteriana em uma tecnologia na agricultura.

O trabalho envolve a criação de plantas transgênicas de laranja doce que escondem uma toxina bacteriana em seu genoma, proporcionando uma abordagem alternativa à utilização de agrotóxicos tradicionais.

Fica com a gente e vamos juntos entender como a pesquisa básica pode fornecer ferramentas para desenvolvimento de novas tecnologias.

Bactérias produzem toxinas contra suas próprias células

Existe um mecanismo genético em bactérias chamado sistema toxina-antitoxina (TA). O interesse dos pesquisadores nesse mecanismo é porque ele está envolvido em importantes processos celulares como por exemplo: crescimento, morte e até mesmo resistência a antibióticos.

São muitos os sistemas TA encontrados em bactérias, e cada um deles possui características específicas que contribuem para a adaptação e sobrevivência desses microrganismos em diferentes ambientes.



*“Nos chamou a atenção o fato de duas bactérias causadoras de doenças em citros terem um genoma muito semelhantes, mas possuírem sistemas TA diferentes. Enquanto *Xylella fastidiosa* possui o sistema TA *mqsRA*, *Xanthomonas citri* não o possui.”*

Dra. Alessandra Alves de Souza – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

O sistema mencionado pela Dra. Alessandra é composto por duas proteínas, a MqsR que, quando presente em concentrações elevadas, é tóxica para a bactéria e a MqsA que neutraliza a atividade tóxica. Quando a MqsA está presente em quantidades adequadas, a MqsR é mantida sob controle e não afeta negativamente a bactéria.

Você pode estar se perguntando: por que a bactéria produz algo que é tóxico para ela?

Quando a bactéria está vivendo em condições normais a antitoxina MqsA é produzida e mantém a toxina MqsR sob controle.

No entanto, quando a bactéria se sente ameaçada, como quando é exposta a um antibiótico ou bactericida, ela diminui a produção de MqsA. Isso faz com que a toxina MqsR comece a agir, inibindo alguns processos celulares. Isso pode parecer estranho, mas, na verdade, é uma estratégia de sobrevivência inteligente da bactéria.

A paralisação temporária do crescimento bacteriano permite que a bactéria sobreviva até que as condições do ambiente se tornem favoráveis novamente. É como se a bactéria entrasse em um modo de hibernação até que o perigo tenha passado.



*“Esse comportamento é chamado de ‘persistência’. Pesquisas do nosso grupo já demonstraram que o sistema TA *mqsRA* está envolvido no processo de tolerância da bactéria *X. fastidiosa* contra bactericidas a base de cobre – muito utilizado na citricultura.”*

Dr. Reinaldo R. de Souza Neto – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

Compreendendo esse mecanismo os cientistas viram uma oportunidade: utilizar a toxina MqsR como um inibidor de crescimento contra *X. citri* e possivelmente outras bactérias que não possuíssem a antitoxina.



*“Num primeiro momento precisávamos confirmar nossa hipótese de que a toxina MqsR teria o efeito esperado no controle de *X. citri*. Para isso, avaliamos em laboratório o efeito da toxina pura contra a bactéria. Os resultados mostraram que mesmo concentrações baixas da proteína eram eficientes em reduzir o crescimento da bactéria e isso acontecia em poucas horas.”*

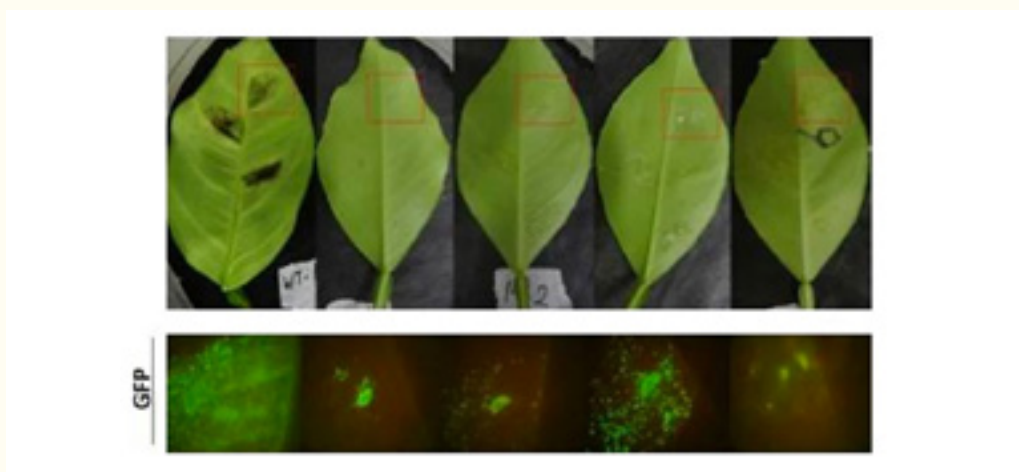
Dra. Alessandra Alves de Souza – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

Diversos experimentos foram conduzidos para validar o funcionamento da toxina e antitoxina nas bactérias. Com um conhecimento completo desse mecanismo, os pesquisadores avançaram para o desenvolvimento da nova tecnologia.

Ataque de cavalo de troia: uma nova tecnologia na agricultura

Certamente você já ouviu a expressão cavalo de troia, frequentemente usada para se referir a algo que parece benéfico por fora, mas, que na realidade esconde algo. **A tecnologia agrícola desenvolvida pelo grupo de pesquisa da Dra. Alessandra tem suas semelhanças com um cavalo de troia.**

Os pesquisadores conseguiram criar uma planta transgênica de laranja doce (*Citrus sinensis*) que contém, em seu genoma, a sequência genética (gene) responsável pela produção da toxina MqsR.



Comparação entre folhas de laranja doce comum e transgênica inoculadas com *Xanthomonas citri*. Plantas transgênicas não apresentam sintomas e possuem menos bactérias.

Em termos simples, esta planta transgênica é praticamente idêntica a qualquer outra laranja doce, exceto por um pequeno fragmento de DNA que faz com que ela produza a toxina naturalmente.

O que é notável é que a bactéria *X. citri* pode infectar essa planta transgênica, mas não consegue se desenvolver nela, evitando assim a ocorrência da doença.



“Essa abordagem, que utiliza o sistema TA em plantas transgênicas, representa uma estratégia inovadora e uma alternativa ao desenvolvimento de agrotóxicos tradicionais. Podemos considerar a tecnologia apresentada neste artigo como um protótipo do que poderia se tornar uma nova geração de plantas transgênicas.”

Dr. Reinaldo R. de Souza Neto – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).



Produzindo mais com menos, a diferença entre plantas de limão e laranja no uso do nitrogênio

Pesquisa do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT), conduzida pelo grupo de pesquisa do [Dr. Dirceu Mattos Jr.](#), identificou características fundamentais em plantas de limão que as tornam mais eficientes no uso do nitrogênio em comparação com as plantas de laranja.

Qual a relevância do nitrogênio para sociedade?

Na agricultura, o uso de fertilizantes nitrogenados é crucial para o crescimento saudável das plantas e a garantia de boas colheitas. Isso se deve ao fato de que a oferta natural desse nutriente, proveniente da decomposição da matéria orgânica do solo, resíduos vegetais e animais, como esterco e compostos, muitas vezes não atende à demanda das plantas cultivadas, para a produção de alimentos.

Atualmente, a maior parte dos fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura brasileira é importada, o que torna a situação vulnerável às dinâmicas globais. A recente crise na Ucrânia é um exemplo disso, já que a Rússia é um importante fornecedor de adubos nitrogenados no mundo. O País já vinha enfrentando desafios na produção desses fertilizantes devido à pandemia e a restrições relacionadas às políticas climáticas. Como resultado, os preços dos insumos têm aumentado consideravelmente. Essa situação afeta diretamente a segurança alimentar, que é o direito de todas as pessoas terem acesso regular e constante a alimentos básicos de qualidade. Afinal, é crucial, para agricultura, garantir que as plantas continuem recebendo nitrogênio, mesmo que a um custo

mais elevado, o que pode, por sua vez, impactar nos preços finais dos alimentos nos supermercados.

Você sabia?

O nitrogênio (N) é um elemento químico necessário a todos os organismos vivos e embora constitua uma grande parte do ar que respiramos (78%), nenhum ser vivo (com exceção de alguns microrganismos) possui a capacidade de aproveitá-lo nessa forma.

A descoberta do processo de síntese dos fertilizantes nitrogenados permitiu a revolução verde da agricultura e a produção de alimentos para milhões de pessoas no planeta.



“O nitrogênio é um dos nutrientes mais requerido pelas plantas, dado seu papel na fisiologia vegetal, e consequentemente na produção agrícola, e por isso é considerado um macronutriente”.

Dr. Dirceu de Mattos Júnior – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

Uma alternativa a constante reposição de nitrogênio no campo é fazer com que as plantas utilizem o nitrogênio disponível no solo de forma mais eficiente. Assim, a aplicação de nitrogênio pode ser reduzida sem afetar a produtividade das plantas e promover a economia de uso de recursos no campo.

Plantas de limão são eficientes no uso de nitrogênio

Algo já conhecido entre os pesquisadores que estudam fisiologia vegetal é que plantas de limão [*Citrus limon* (L.) Burm. f.] usam o nitrogênio fornecido de forma mais eficiente do que plantas de laranja [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]. Isso significa que os limoeiros conseguem atingir sua máxima produtividade utilizando menos nitrogênio.

Por exemplo, a produção máxima de frutos de laranjeiras doces é alcançada com concentração foliar de 28 g de nitrogênio (por kg de matéria foliar seca), enquanto a mesma produtividade para limoeiros é

alcançada com uma concentração de 18 g. Por que isso acontece? Diante desse questionamento, o grupo de pesquisa do Dr. Dirceu Mattos decidiu aprofundar a investigação, buscando identificar características específicas dos limoeiros que os tornam mais eficientes no uso do nitrogênio. Para isso, planejaram o seguinte experimento.

Comparando o uso de nitrogênio entre limoeiros e laranjeiras doces

Neste experimento, plantas saudáveis de limão e laranja foram transplantadas para vasos de 42 litros e colocadas em uma casa de vegetação. Elas foram divididas em dois grupos: o primeiro grupo (A) recebeu uma solução nutritiva contendo 27 g de nitrogênio, enquanto o segundo grupo (B) recebeu uma solução nutritiva com apenas 7 g de nitrogênio.



“As casas de vegetação são ambientes protegidos, onde é possível regular condições ambientais, como temperatura e umidade, e proteger as plantas contra chuva, vento e pragas, além de doenças.”

Dr. Dirceu de Mattos Júnior – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

Tanto no grupo A quanto no grupo B, havia plantas de limão e laranja. Para avaliação, as plantas eram removidas dos vasos, cortadas e posteriormente secadas. Essas coletas foram realizadas em quatro datas diferentes: i) logo após o transplante; ii) 8 meses após o transplante; iii) 11 meses após o transplante e iv) 14 meses após o transplante. Isso permitiu o acompanhamento da absorção de nutrientes pelas plantas ao longo de todo o ciclo reprodutivo, que, no caso dos citros, é anual.



“Para uma compreensão mais completa do uso de nitrogênio pelas plantas, medimos as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila, a concentração de nitrogênio e carboidratos no material vegetal. Também avaliamos o tamanho das folhas e o peso seco das folhas, raízes e galhos.”

Dr. Dirceu de Mattos Júnior – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

Plantas de limão são adaptadas a produzir mais com menos

Os resultados das avaliações revelaram que, mesmo tendo menor absorção e concentração de nitrogênio em seus tecidos, os limoeiros conseguem utilizar esse nutriente de forma mais eficiente quando comparados às laranjeiras doces. Essa eficiência é atribuída a diversos fatores. Por exemplo, **os pesquisadores observaram que as plantas de limoeiro apresentavam maiores concentrações de açúcares, principalmente durante o inverno. Isso indica que essas plantas têm mais energia disponível para o desenvolvimento dos frutos de limão.**

Além disso, os limoeiros demonstraram ter uma melhor eficiência na fotossíntese e no transporte de carboidratos, utilizando menores quantidades de nutrientes em comparação com as plantas de laranja. Isso significa que, do ponto de vista fisiológico, as plantas de limão conseguem alcançar um aumento de biomassa gastando menos energia do que as plantas de laranja.



“Nossa pesquisa evidencia que a eficiência no uso do nitrogênio pelas plantas de limão está diretamente relacionada à capacidade dessas plantas de utilizarem a clorofila para o transporte de energia de forma mais eficiente. Na prática, demos um importante passo no entendimento desse mecanismo e que futuramente deve impactar no melhoramento genético de plantas e menor gasto com adubação nitrogenada.”

Dr. Dirceu de Mattos Júnior – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).



Ameaça das laranjas: greening tem ocasionado aumento no preço do suco e das frutas

O segundo semestre de 2023 tem sido desafiador para os entusiastas de uma laranja fresca após o almoço. Os consumidores estão sentindo no bolso o estrago que o greening tem feito nos pomares. **Acontece que a alta nos preços está diretamente ligada a escassez da fruta no mercado que está diretamente ligado a dispersão de uma bactéria (*Candidatus liberibacter* spp.) pelas plantas de laranja.**

Uma [matéria publicada no G1](#) neste mês (outubro de 2023) alerta que o estoque de suco de laranja enfrenta o pior volume no Brasil e atinge o mais baixo da série histórica feita pela [Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos](#) (CitrusBR), iniciada em junho de 2011.

O que é o greening?

O greening é causado por uma bactéria (*Candidatus liberibacter* spp.) que afeta todas as plantas de citros cultivadas nos pomares nacionais e internacionais. A doença afeta plantas novas e velhas, não tem cura e se espalha com bastante facilidade.

Essa doença prejudica severamente as plantas, fazendo com que as frutas fiquem amargas, deformadas e com coloração irregular. Além disso, ela pode levar as árvores à morte prematura, causando grandes perdas na produção de frutas cítricas em áreas afetadas.

O greening, também conhecido como HLB, já causou estragos significativos nos pomares dos Estados Unidos e está ganhando força no Brasil e em outras partes do mundo. Para enfrentar esse desafio, a [Dra. Mariângela Cristofani-Yaly](#) lidera um grupo de pesquisa que busca explorar a genética das plantas cítricas em busca de mecanismos de defesa que possam impedir a bactéria de causar doenças nas laranjas.

Uma possível resistência ao greening

Uma das estratégias fundamentais no combate a doenças em plantas é identificar características de tolerância ou resistência em organismos vivos e depois replicá-las. Esse é o primeiro passo em direção ao desenvolvimento de uma nova variedade de laranja resistente ao greening – uma tecnologia que tem o potencial de revitalizar a produção de laranjas e seus derivados.

Essa característica foi descoberta em trifoliata (*Poncirus trifoliata*), uma espécie com frutos não muito agradáveis para consumo, mas amplamente utilizada como porta-enxerto. O trifoliata não exibe os sintomas típicos do greening, e a bactéria tem dificuldade em se proliferar nele.



*“Sempre que uma nova doença emerge, procuramos no banco ativo de germoplasma plantas que possam resistir a essa doença. Foi dessa maneira que identificamos a resposta diferenciada de trifoliata para infecção da bactéria *C. liberibacter* spp.”*

Dra. Mariângela Cristofani-Yaly – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

Você sabia?

O Centro de Citricultura Sylvio Moreira é responsável pelo maior Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de citros do mundo, ou seja, é o local em que é possível encontrar o maior número de diferentes plantas de citros.

São mais de 1700 acessos, entre elas centenas de laranjas doces, tangerinas, limões, mexericas, dezenas de pomelos, toranjas,

laranjas azedas, limões rugosos e muitas outras espécies e híbridos. Tudo isso é diversidade e faz parte de um patrimônio genético de grande importância para pesquisa e produção de citros.

Pesquisadores estão no caminho para solução do greening

Uma vez que a característica de interesse é encontrada, os pesquisadores buscam compreender a origem dessa resistência – como ela funciona? Uma vez entendido, começam a elaborar estratégias para o desenvolvimento de tecnologias para proteção das plantas e/ou produção de frutos.

Resumidamente podemos destacar 3 etapas:

- » Pesquisa pela fonte de resistência/tolerância
- » Pesquisa para compreensão do mecanismo de resistência/tolerância
- » Pesquisa para desenvolvimento de uma nova tecnologia agrícola



“Para segunda etapa, optamos como estratégia de pesquisa avaliar híbridos de trifoliata com tangerina Sunki (Citrus sunki) – espécie que é susceptível à doença. No BAG existem muitas plantas que são “filhos” do cruzamento dessas duas espécies (P. trifoliata X C. sunki), nosso objetivo era encontrar diferentes níveis de tolerância ao greening e com isso compreender a interação entre planta e bactéria que resultam na doença.”

Dra. Mariângela Cristofani-Yaly – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC)

Os resultados foram promissores. Entre mais de 100 plantas filhas de *P. trifoliata* X *C. sunki* que estão no BAG, os pesquisadores encontraram diferença de resposta à infecção pela *C. liberibacter* spp. – quantidade de bactéria na planta e aumento na produção de amido.

Com isso, os híbridos foram separados em 3 grupos:

- » Susceptíveis: Presença de bactéria com aumento nos níveis de amido e calose
- » Tolerantes: Presença de bactéria sem alteração significativa nos níveis de amido e calose
- » Resistentes: Ausência da bactéria e sem alteração significativa nos níveis de amido e calose.

Resistência ao greening está relacionado em como a planta responde à infecção pela bactéria

Com a separação em três grupos de plantas, os pesquisadores conseguem analisar as sequências genéticas dessas plantas – genoma e genes. Para isso, foi utilizado uma estratégia bastante interessante. Uma vez que estavam trabalhando com um número grande de híbridos entre planta resistente e susceptível, os pesquisadores quiseram investigar como ocorreu a transferência de genes dos pais para os filhos e como alguns genes “funcionavam” nos filhos (quais estavam sendo mais ou menos ligados e desligados) – chamamos isso de expressão gênica associada ao mapa genético.



“Queríamos descobrir se a resistência encontrada em trifoliata e alguns de seus filhos era devido a um ou mais genes. Como esses genes eram passados de pais para filhos (a frequência) e qual seria a posição deles no genoma da planta (se estavam em um ou mais cromossomos). Com isso podemos isolar os genes relacionados à maior tolerância para utilizar em trabalhos de transformação genética ou edição genética. ”

Dra. Mariângela Cristofani-Yaly – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

Uma das soluções para o greening pode estar na calose

Após a construção e análise da expressão gênica associada ao mapa genético. Os pesquisadores conseguiram identificar que a família de genes envolvida na produção de calose, era de fato alterada nas plantas

infectadas pela bactéria causadora do greening. E o mais interessante: As plantas resistentes apresentaram uma regulação negativa (desligavam os genes da calose) e as plantas susceptíveis tinham uma regulação positiva para os genes da calose (estavam ligando e aumentando a produção).

Uma defesa malsucedida

Quando a planta é infectada pela bactéria ela começa a produzir em seus vasos mais calose a fim de reduzir a colonização bacteriana. No entanto, a planta entope os próprios vasos impedindo o fluxo de seiva (nutrientes) entre raízes e folhas e isso também resulta no acúmulo de amido. O excesso de amido leva ao rompimento de algumas células vegetais.

Enquanto a planta se defende ela acaba ficando sem nutriente suficiente necessário para manter o seu bom desenvolvimento e dos frutos. É por isso que plantas com greening são menores, mais amareladas e com frutos mal desenvolvidos.

Mas não é só isso, o grupo de pesquisa da Dra. Mariângela também encontrou outras regiões, no mapa genético, associadas à tolerância ao greening, revelando que a característica de resistência, vista em trifoliata, envolve muitos genes. No entanto, existe uma alta herdabilidade desses genes (“facilidade” em serem passados para os filhos) o que indica que a seleção para resistência, pelo cruzamento entre plantas, pode ser realizada com sucesso.

Resultados que abrem portas para o desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas

Todo o trabalho da Dra. Mariângela e colaboradores para a caracterização de híbridos resistentes ao greening, a identificação de genes envolvidos na resistência, o posicionamento desses genes no genoma e a taxa de herdabilidade (chances de serem passados aos filhos) são informações importantes para o desenvolvimento de novas variedades de laranjas,

tangerinas e mexericas resistentes ou tolerantes a *C. liberibacter* spp. O desenvolvimento de novas tecnologias no campo da citricultura está em pleno andamento, abrangendo uma variedade de estratégias que vão desde o melhoramento genético convencional até o emprego de avanços em biotecnologia. Uma série de esforços significativos está em andamento para acelerar a implementação dessas inovações, com o INCT Citros se destacando como um dos principais projetos de pesquisa dedicados a oferecer soluções promissoras nessa área.



Plantas transgênicas: desenvolvimento de cultivares de laranja doce resistentes ao cancro cítrico

A citricultura enfrenta grandes desafios fitossanitários, devido, principalmente, à ausência de cultivares de laranjas doces resistentes a bactérias causadoras de doenças, entre elas o cancro cítrico, causado pela bactéria *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (Xcc). Buscando criar soluções eficazes, pesquisadores do INCT Citros estão utilizando ferramentas biotecnológicas para desenvolver plantas transgênicas resistentes ao cancro cítrico.

Há pelo menos 65 anos, o cancro cítrico tem sido uma fonte constante de problemas para os citricultores paulistas

A bactéria *X. citri* foi identificada pela primeira vez no Estado de São Paulo em 1957, na região de Presidente Prudente, e desde então tem se disseminado pelo país, principalmente dentro de SP.

O cancro cítrico, dependendo do seu grau de severidade, causa desfolha, depreciação e queda prematura dos frutos. Como resultado, existe uma diminuição na produção e dificuldade de comercialização dos frutos. O controle e prevenção do cancro cítrico é realizado com a aplicação de produtos à base de cobre e, em casos mais graves, com a erradicação das plantas contaminadas.

Plantas Transgênicas: Uma Solução Inovadora para o Cancro Cítrico

A biotecnologia se destaca como uma ferramenta eficaz para acelerar o processo de criação de novas cultivares, e o desenvolvimento de plantas transgênicas resistentes ao cancro cítrico surgem como uma oportunidade promissora para introduzir novas cultivares de laranjas doces como soluções para o controle desta doença em um período mais curto.

O que são plantas transgênicas?

O termo transgênico foi adotado para descrever organismos que receberam genes de outra espécie por meio da biotecnologia – técnicas moleculares utilizadas por pesquisadores para isolar, copiar e transferir sequências específicas de DNA.

Dessa forma, plantas transgênicas são aquelas que incorporam em seu genoma sequências de DNA (genes) de uma espécie não compatível sexualmente. Essa espécie pode ser uma planta, um microrganismo, um animal ou qualquer organismo vivo. Esse processo de modificação genética visa conferir às plantas características específicas, tais como resistência a doenças, como é o caso do cancro cítrico.

Essa abordagem inovadora apresenta a vantagem de acelerar o desenvolvimento de cultivares mais robustas e adaptadas, representando uma estratégia eficiente para enfrentar os desafios na citricultura.

Pesquisa do INCT Citros no desenvolvimento de plantas transgênicas resistentes ao Cancro cítrico

O grupo de pesquisa liderado pelo [Dr. Francisco Mourão](#), pesquisador da equipe de pesquisa da plataforma de genômica funcional e melhoramento assistido do INCT Citros, conseguiu desenvolver, por meio da biotecnologia, plantas transgênicas de laranja doce cv. Hamlin (*Citrus sinensis* L. Osbeck). A pesquisa contou com a colaboração de pesquisadores do Instituto Biológico e da Embrapa. São dois “tipos” de abordagens:

- » Plantas transgênicas com o gene *d4e1*
- » Plantas transgênicas com o gene *csd1*



*“O gene *d4e1* é um peptídeo sintético e apresenta atividades antimicrobianas já comprovadas e, o gene *csd1*, produz um superóxido dismutase de cobre e zinco que é uma enzima antioxidante com atividade comprovada para resistência a estresses bióticos e abióticos.”*

Dr. Francisco Mourão – Universidade de São Paulo, ESALQ.

Desafiando as plantas transgênicas frente a bactéria causadora do cancro cítrico

Após a confirmação da presença dos genes *d4e1* ou *csd1* em plantas de laranja doce, os pesquisadores embarcaram em uma outra fase do estudo: a avaliação do funcionamento desses genes nas plantas e a verificação de sua eficácia em fortalecer a defesa contra a bactéria causadora do cancro cítrico.

Quando trabalhamos com transformação genética é comum termos mais de uma planta transgênica para cada gene. Por exemplo, em nosso trabalho conseguimos 13 plantas de laranja com o gene *csd1*, chamamos cada uma dessas plantas de “evento transgênico”. Realizamos diversos experimentos a fim de identificar o evento em que o gene “funciona melhor”. [Explica Dr. Matheus Luís Docema](#), pesquisador que estudou, em sua tese de doutorado, a resposta dessas plantas transgênicas à infecção por essa doença.

A validação do papel desses genes na resistência à bactéria é essencial para garantir o sucesso da abordagem transgênica no desenvolvimento de cultivares mais robustas e resilientes.

Para selecionar o melhor evento, é preciso colocar a planta para “brigar” com a bactéria. Uma das formas de se conseguir isso é:

Primeiramente a bactéria é crescida em um meio de cultura, em seguida, é diluída em uma solução de inóculo para uma concentração conhecida. Dessa forma, os pesquisadores conseguem inocular sempre a mesma concentração de bactérias em diferentes plantas.

A pesquisa realizada levou em consideração duas estratégias de inoculação:

» “Spray”, na qual a solução de inóculo é pulverizada na superfície das folhas de laranjeiras

» “Ferida”, na qual a “micro agulhas” são imersas na solução de inóculo e então utilizadas para fazer micro furos na superfície das folhas.

Para chegar em resultados confiáveis e replicáveis, os pesquisadores trabalharam com 12 repetições, sendo cada repetição representada por uma única planta, tanto para os eventos transgênicos quanto para os grupos de controle (plantas não transgênicas). Esse arranjo experimental foi repetido três vezes.

Com isso, foi realizado um estudo comparativo e bastante aprofundado entre plantas transgênicas e plantas não transgênicas. Os pesquisadores conseguiram então, avaliar a presença e ausência de bactérias e sintomas nas plantas, assim como a intensidade nas respostas moleculares de defesa das plantas.

A presença dos genes *d4e1* ou *csd1* faz com que plantas de laranja doce resistam ao cancro cítrico

Em geral, os pesquisadores confirmaram que a incidência e severidade do cancro cítrico em plantas transgênicas de laranja foram reduzidas. Tanto em eventos com o gene *d4e1* como em eventos com o gene *csd1*, quando comparadas às plantas não transgênicas.

Nessas plantas, a bactéria proliferou com menos severidade, resultando em baixas progressões da doença nas laranjeiras transgênicas. As análises anatômicas e o atraso nos sintomas visuais em alguns eventos transgênicos sugerem uma diminuição considerável na gravidade da doença.



*“Nós também identificamos que a resistência encontrada em plantas de laranja com o gene *csd1* é devido a uma maior atividade de enzimas antioxidantes. Além disso, encontramos maior deposição de calose, aumento no tamanho das células (hipertrofia) e aumento no número de células (hiperplasia), especialmente, nas proximidades dos estômatos. Respostas que desempenham um papel crucial na defesa contra patógenos.”*

Dr. Matheus Luís Docema – Universidade de São Paulo, ESALQ.

Com essa publicação científica, o projeto INCT Citros, liderado pela equipe do Dr. Francisco Mourão, apresenta duas novas abordagens

para o controle do cancro cítrico em laranjas doces. Os resultados dessa pesquisa abrem portas para o desenvolvimento potencial de cultivares de laranjeiras mais resistentes ao cancro cítrico, contribuindo significativamente para a sustentabilidade da produção citrícola.

No entanto, é importante ressaltar que mais estudos, incluindo testes de campo, são necessários para validar plenamente a eficácia dessas estratégias inovadoras. O trabalho desses pesquisadores representa um passo promissor rumo a um futuro mais resiliente para as plantações de citros em todo o mundo.



Produção de frutas mesmo durante períodos de falta de água

A busca por soluções que permitam a continuidade da produção de frutas, mesmo em face de desafios climáticos, como a seca, tem impulsionado avanços significativos na agricultura. Na citricultura, pesquisadores do INCT Citros descobriram um gene que pode acelerar a adaptação de plantas de laranja e tangerina a ambientes propensos a falta de água. Adaptar plantas por meio de pesquisas e melhoramento genético, oferece uma perspectiva otimista para os citricultores. Ao cultivar variedades de citros que resistem melhor à escassez de água, abre-se a possibilidade de manter uma produção frutas estável, mesmo em regiões suscetíveis a períodos prolongados de seca.

O trabalho desenvolvido pelo grupo de pesquisa do [Dr. Márcio Costa](#), já publicado em revista científica, aproxima os pesquisadores do desenvolvimento de variedades de laranja e tangerina tolerantes à seca.

Mas como os pesquisadores chegaram a esses genes?

Todos os organismos vivos possuem milhares de genes, que são sequências de DNA com funções específicas, responsáveis pela estrutura e funcionamento das células vegetais e animais. Dentro dessa vasta gama de genes, há aqueles que compartilham regiões e funções similares, sendo possível agrupá-los em “famílias”.

Plantas “estressadas” alteram o funcionamento de seus genes

Já se sabia que um conjunto de genes, conhecidos como fatores de transcrição do tipo Nuclear (NF-Y), desempenha papéis cruciais no desenvolvimento e na resposta a estresses bióticos e abióticos em di-

versas plantas. A regulação desses genes pela planta, determinando quando ativá-los ou desativá-los, possibilita que ela se adapte e se desenvolva em ambientes e condições distintas.



“Chamamos de estresse biótico e abiótico, situações causadas por organismos vivos (bióticos) e fatores ambientais (abióticos) que de alguma forma atrapalhem o bom desenvolvimento das plantas. Nesse sentido, a falta de água é considerada um estresse abiótico.”

Dr. Márcio Costa – Universidade Estadual de Santa Cruz.

O grupo de pesquisa do Dr. Márcio Costa optou, então, por investigar a família de genes NF-Y em plantas de citros, uma abordagem que ainda não havia sido explorada por outros pesquisadores.



“Nossa estratégia envolveu a realização de uma análise computacional (bioinformática) para identificar os genes NF-Y nos genomas de laranja (Citrus sinensis) e tangerina (Citrus clementina). Com essas identificações, conseguimos estudar o funcionamento da família de genes NF-Y nessas plantas cítricas.”

Dr. Márcio Costa – Universidade Estadual de Santa Cruz.

Será que em citros os genes NF-Y são regulados em repostas a falta de água?

Também com base nos dados de bioinformática, o grupo de pesquisa constatou que ocorria, de fato, a ativação e desativação de alguns genes NF-Y em plantas de citros sob estresses bióticos e abióticos. Alguns genes eram ativados exclusivamente nas raízes, enquanto outros nas folhas. A partir disso, foram capazes de selecionar genes específicos dessa família.

No entanto, um gene em particular chamou a atenção dos pesquisadores. Denominado CsNF-YA5, esse gene foi o único ativado exclusivamente em resposta à falta de água nas raízes. Embora outros genes dessa família também fossem expressos em condições de estresse hídrico, eles eram ativados em diversas situações, como quando a planta sofria ataques de microrganismos, por exemplo.

O gene que ajuda na produção de frutas com menos água

Para garantir a função dos genes *NF-Y* na produção de frutas cítricas, os pesquisadores conduziram diversos experimentos, incluindo um no qual mantiveram dois grupos de plantas de citros (A e B), com dois anos de idade, em um ambiente controlado (casa de vegetação).

O grupo A foi submetido a uma menor quantidade de água (situação de estresse), enquanto o grupo B recebeu uma quantidade ideal de água (controle). Por meio da biotecnologia, os pesquisadores puderam analisar como os genes *NF-Y* eram regulados (ativados ou desativados) pela planta.

O principal resultado encontrado confirmou a ativação do gene *Cs-NF-YA5* nas raízes das plantas. De forma interessante, esse mesmo gene foi desativado nas folhas da planta, indicando sua importância no tecido radicular das plantas de citros.



*“Nossos dados sugerem que o gene *CsNFY-A5* pode ser um candidato chave na regulação de processos importantes, como o crescimento de raízes e a fotossíntese, em resposta ao estresse de seca.”*

Dr. Márcio Costa – Universidade Estadual de Santa Cruz.

Utilizando ferramentas biotecnológicas e plantas modelo de tabaco (*Nicotiana tabacum*), os pesquisadores conseguiram realizar a transformação genética do tabaco, induzindo essas plantas a produzirem quantidades elevadas da proteína produzida pelo gene *CsNFY-A5*. Esse procedimento permitiu uma compreensão mais aprofundada da função desse gene.



*“Nossa conclusão é que o gene *CsNF-YA5* desempenha um papel crucial nos mecanismos bioquímicos e fisiológicos de adaptação à seca, contribuindo para a manutenção do crescimento e produtividade das plantas em ambientes com déficits moderados de água no solo.”*

Dr. Márcio Costa – Universidade Estadual de Santa Cruz.

A pesquisa melhora a produção de frutas que chega até você

Investir em plantas de citros tolerantes à seca vai além de uma medida adaptativa; é um passo estratégico em direção à sustentabilidade e segurança alimentar. À medida que enfrentamos desafios climáticos

crescentes, cultivar citros resilientes torna-se essencial para garantir uma produção de frutas estável, nutritivas e saborosas.

O trabalho do INCT Citros, desenvolvido pelo grupo de pesquisa do Dr. Márcio Costa, coloca a citricultura mais próxima dessas plantas tolerantes à seca.



Resultados promissores para o enfrentamento da pior doença das laranjas: o greening

Considerada a pior doença das laranjas, o greening tem exigido grandes esforços dos cientistas do mundo todo. Nesse caminho, os pesquisadores do INCT Citros têm alcançado avanços significativos para o desenvolvimento de novas estratégias para enfrentamento da doença. Descubra como o trabalho liderado pelo [Dr. Helvécio Della Coletta-Filho](#) comprovou redução significativa na taxa de infecção e até mesmo ausência de detecção da bactéria, causadora do greening, em uma planta específica de citros. São resultados promissores e que oferecem esperança para o controle eficaz da doença e a preservação das safras de laranja e outros citros.

Greening: atualmente a pior doença das laranjas

O greening é uma doença causada pela bactéria conhecida como *Candidatus liberibacter asiaticus*. Essa bactéria é transmitida por um inseto, o psíldeo *Diaphorina citri*, e assim como a dengue é de fácil transmissão – o inseto “pica” uma planta doente fica contaminado e quando for se alimentar de outra planta acaba infectando-a.



“O estrago nos pomares não é feito pelo inseto, mas pela bactéria que ele suga de uma planta doente e espalha pelo resto do pomar. A doença faz com que o número de frutos por planta reduza drasticamente, fiquem menores, caem antes da colheita e os permanecem na planta doentes fica com sabor mais ácido e amargo.”

Dr. Helvécio Della Coletta-Filho – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

A doença não mata as plantas, mas diminui muito a produção e o consumo de laranjas produzidas em plantas infectadas não traz problemas à saúde. No entanto, com menos fruto no mercado, o preço da fruta está cada vez mais alto – em fevereiro (2024), o preço da laranja chegou ao maior patamar dos últimos 30 anos no estado de São Paulo, de acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea).

A doença não tem cura. Por não existirem formas efetivas de controle da doença, é realizado ações visando mitigar a disseminação da doença, a partir do plantio de mudas sadias, eliminação de plantas doentes com idade inferior a oito anos e controle do inseto transmissor.

A pesquisa do INCT Citros: busca por plantas resistentes

Com base em avaliações anteriores, a equipe de pesquisadores liderados pelo Dr. Helvécio selecionou 14 plantas híbridas de citros – do cruzamento entre tangerina ‘Sunki’ com uma espécie de citros conhecida como *Poncirus trifoliata* (espécie cítrica “prima” da laranja).



“Chamamos de híbridos os filhos, resultantes do cruzamento, de plantas com características genéticas diferentes entre si (genótipos). Em citros, de um mesmo cruzamento podem ser obtidos híbridos com características bem contrastantes.”

Dr. Helvécio Della Coletta-Filho – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

Os 14 híbridos selecionados fazem parte do trabalho da pesquisadora [Dra. Mariângela Cristofani-Yaly](#). São plantas pré-selecionadas para ausência de greening após 12 anos de experimentação a campo e possuem potencial para serem utilizadas como porta-enxerto.

Os pesquisadores desenvolveram um experimento para desafiar os híbridos sob condições de alta concentração do patógeno para melhor avaliar o nível de tolerância dos híbridos selecionados. A partir das plantas que estavam no campo, coletaram “ramos” e sobre enxertaram em plantas de laranja doce ‘Valência’ que apresentavam fortes sintomas da doença e estavam positivas para a bactéria, de modo que os híbridos tivessem contato direto e contínuo com a bactéria.

Você sabia?

Na citricultura, as plantas de citros são na verdade duas.

Uma planta é o porta-enxerto, variedade selecionada para ser base e fornecer o sistema de raízes e a parte inferior da planta. Enquanto o enxerto é a copa da planta, parte que irá produzir os frutos.



Plantas de citros enxertadas com os híbridos e a variedade Valência. A: Vista geral da planta contendo os dois genótipos; do lado esquerdo: 'Valência', lado direito: híbrido testado. B: Detalhe das folhas de Valência apresentando sintomas de HLB e do híbrido, sem sintomas.



“Com esse experimento nós conseguimos monitorar a transmissão da bactéria da planta doente para as plantas testes ao longo de 12 meses. No início do experimento todas as 14 plantas (e suas réplicas experimentais) foram infectadas pela bactéria. Surpreendentemente, alguns híbridos mostraram uma redução significativa na taxa de infecção, até mesmo eliminando completamente a bactéria.”

Dr. Helvécio Della Coletta-Filho – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

Além disso, os pesquisadores conseguiram identificar diferença na resposta fisiológica nas plantas tolerantes quando comparadas com as plantas doentes. Quanto maior a tolerância, menor é o acúmulo de amido nas formas e deposição de calose no floema, resultados importantes para o entendimento da doença.

Segundo os pesquisadores, ainda é muito cedo para dizer que temos uma solução para pior doença das laranjas, mas com certeza são resultados promissores para aprimoramento do manejo do greening e preservação das safras de citros.

No caminho para uma nova tecnologia contra a pior doença das laranjas

A pesquisa mencionada fez parte do trabalho de mestrado da aluna [Thais Magni Cavichioli](#). Agora, no doutorado, a Ma. Thais M. Cavichioli avalia o potencial daqueles híbridos, que se mostraram mais tolerantes, como porta-enxerto para laranja doce e outros citros.

Algo necessário, visto que um dos sintomas de greening é a perda significativa do sistema radicular das plantas. As raízes são a porta de entrada de nutrientes e água para plantas.



Vista geral de parte do experimento em casa de vegetação.



“Agora o nosso objetivo é avaliar o potencial desses híbridos como porta-enxerto. Ou seja, verificar se a tolerância identificada nessas plantas pode ser refletida numa menor perda do sistema radicular das plantas e como isso estas tenham um melhor desenvolvimento mesmo frente ao greening.”

Ma. Thais Magni Cavichioli – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).



Tecnologias para reduzir o uso de agrotóxicos na citricultura

No âmbito do INCT Citros, pesquisadores estão explorando a genética de fungo responsável pela podridão floral dos citros, buscando desenvolver tecnologias que permitam a redução do uso de agrotóxicos nos pomares.

O Impacto da Podridão Floral na Citricultura

A podridão floral dos citros figura como uma das doenças fúngicas mais prejudiciais para a citricultura, sendo o *Colletotrichum abscissum* identificado como seu principal agente no Brasil. Essa doença recebe sua nomenclatura devido à ação do fungo nas flores, prejudicando a formação dos frutos e podendo levar a uma redução de até 85% na produção dos pomares. Atualmente, a principal abordagem para mitigar essas perdas é o uso de agrotóxicos, contudo, para uma agricultura mais sustentável, é fundamental buscar soluções que combinem diferentes tecnologias, reduzindo custos e aumentando a produtividade.

Um dos projetos liderados pelo [Dr. Marcos Antônio Machado](#) e [Dr. Eduardo Henrique Goulin](#) visa buscar tecnologias complementares para o controle efetivo da podridão floral dos citros.

Explorando a genética do fungo *C. abscissum*

Para compreender melhor essa doença e desenvolver novas tecnologias, é crucial investigar a genética dos fungos envolvidos. No caso da podridão floral dos citros, o *C. abscissum* é a principal espécie encontrada nas plantas doentes no Brasil.



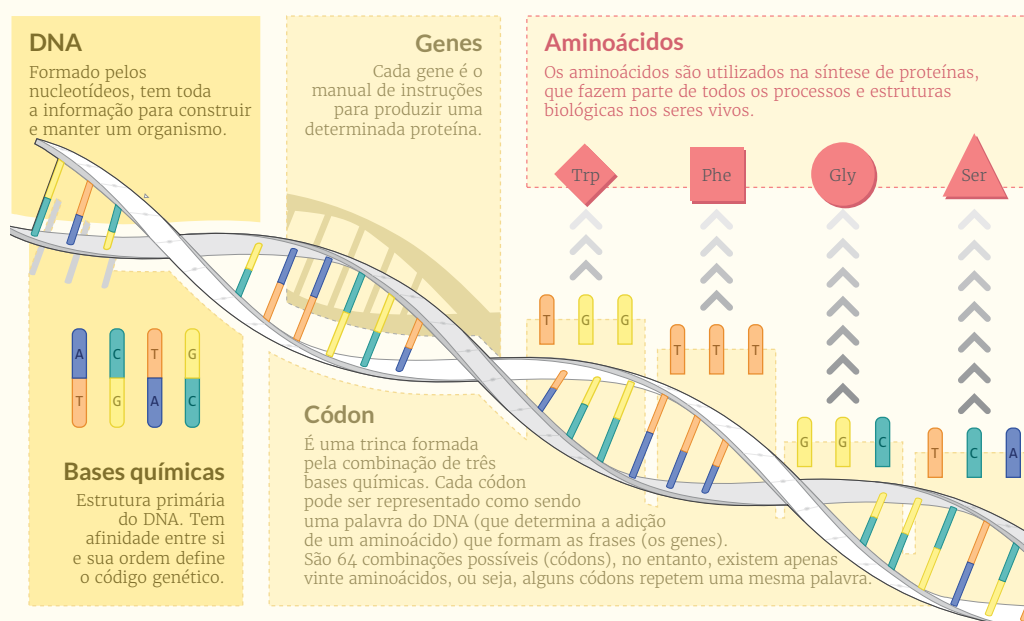
*“O *C. abscissum* é um dos fungos menos conhecidos entre os que causam a podridão floral. Decidimos, portanto, investigar sua genética e capacidade de infecção nas flores”*

Dr. Marcos Machado – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

Para obter essas informações, os pesquisadores realizaram a extração, sequenciamento e montagem do código genético do fungo (genoma). Esse processo permitiu acesso aos genes do fungo, possibilitando o estudo de seu funcionamento.

O código genético é um conjunto de dados formados pelas bases nitrogenadas presentes no DNA, e que formam o genoma. Todo o material genético (genoma) ou partes dele contém informações genéticas que podem ser passadas aos descendentes de um organismo. É a partir das informações genéticas que um ser vivo se desenvolve.

Código genético



*“Fomos os primeiros a sequenciar o genoma do *C. abscissum* e identificamos cerca de 15.499 genes, sendo 640 deles associados ao processo de infecção.”*

Dr. Eduardo Goulin – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Além disso, a montagem do genoma revelou a presença de mecanismos genéticos essenciais para a produção de RNA interferente (RNAi).

RNAi: Uma Nova Abordagem para o Controle da Doença

Dentro do código genético existe uma etapa muito importante: a tradução do DNA em uma nova molécula: o ácido ribonucleico (RNA). É a partir do RNA que será produzida a proteína.

O RNAi são moléculas de RNA que, em vez de codificarem proteínas, se conectam a outras moléculas de RNA, bloqueando sua capacidade de produzir proteínas. A identificação do mecanismo de RNA interferente no genoma do fungo abriu portas para o desenvolvimento de uma nova tecnologia de controle da podridão floral dos citros.



“O RNAi é uma ferramenta biotecnológica que pode silenciar genes em um organismo, ou seja, podemos produzir moléculas de RNA que impeçam a produção de proteínas envolvidas no processo de infecção ou podemos explorar esse mecanismo para desativar genes essenciais no fungo, levando à sua morte”.

Dr. Marcos Machado – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

Testando uma nova tecnologia

Em um experimento para verificar o funcionamento do RNAi no fungo, os pesquisadores realizaram modificações específicas (transformação genética) no genoma do *C. abscisum*. Foi inserido um gene para produção de uma proteína vermelha fluorescente, o *Dsred*.

Paralelamente, os pesquisadores desenvolveram uma sequência específica de RNA para “desligar” o gene *Dsred*, denominada dsRNA. Se o mecanismo de RNA interferente presente no genoma do fungo for funcional, o dsRNA poderá desligar o gene responsável pela produção

O que é o RNA interferente?

O RNAi atua como um mecanismo de regulação, desligando temporariamente certos genes para controlar a produção de proteínas. Presente naturalmente em plantas, animais e fungos, o RNAi foi descoberto na década de 1990 e revolucionou a maneira com que o funcionamento da célula era visto.

A grande sacada do RNAi é que esse mecanismo pode ser utiliza-

do como uma ferramenta biotecnológica para desligar genes em um organismo, sem a necessidade de alteração direta no DNA.

da proteína fluorescente.



*“Nossa abordagem foi inovadora. Primeiro, fizemos o fungo produzir uma proteína diferente, de fácil monitoramento, e, em seguida, usamos o RNAi para desativar essa produção. O processo foi bem-sucedido, demonstrando a eficácia desse mecanismo no *C. abscisum*”*

Dr. Eduardo Goulin – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Este trabalho marca apenas o início do desenvolvimento de uma nova tecnologia que pode ser combinada ao uso de fungicidas. Agora os pesquisadores sabem que é possível utilizar a tecnologia de RNAi para controle da podridão floral dos citros, mas ainda precisam estudar melhor o genoma do *C. abscisum* para entenderem qual o melhor gene a ser desligado.



Formas mais sustentáveis de cuidar dos pomares de citros

A presença de plantas daninhas em pomares de citros implantados no Brasil pode acarretar perdas que chegam a 52% de produtividade. Buscando uma agricultura mais sustentável, uma pesquisa de três anos, liderada pelos pesquisadores [Dr. Fernando Alves de Azevedo](#) e [Dr. Rodrigo Martinelli](#), indicou maneiras mais eficazes de lidar com as plantas daninhas nos pomares de citros.

Descubra a diferença e os efeitos da roçada ecológica com a roçada convencional no controle de plantas daninhas em pomares de citros.



“Plantas daninhas são aquelas que crescem onde não queremos, competindo com as plantas que queremos cultivar. A “roçada” é uma prática de manejo para remoção dessas plantas, evitando prejuízos na produção de laranjas e outros citros.”

Dr. Fernando Alves de Azevedo – Centro de Citricultura Sylvio Moreira.

O que é uma agricultura sustentável?

Uma agricultura sustentável utiliza técnicas que permitem controlar pragas, doenças e plantas daninhas, sem prejudicar o solo ou o meio ambiente. Isso envolve evitar mexer muito no solo, manter coberturas vegetais naturais e outras práticas que protejam o ambiente onde crescem nossos alimentos.

Dessa forma, é preciso olhar para as plantas daninhas também como parte da produção e explorar possíveis benefícios à agricultura.

No entanto, em algum momento, será necessário controlar essas plantas daninhas, e existem diferentes tecnologias para isso.



“As plantas daninhas não competem com as culturas o ano todo. Podemos usá-las para melhorar o solo e beneficiar nossas plantações.”

Dr. Fernando Alves de Azevedo, Centro de Citricultura Sylvio Moreira

O estudo dos pesquisadores do INCT Citros compara diferentes estratégias de controle de plantas daninhas e mostra que usar equipamentos como a “roçada ecológica” pode reduzir custos com herbicidas, diminuir a população de plantas daninhas e melhorar a qualidade do solo, tornando os pomares mais sustentáveis.

É possível controlar as plantas daninhas de forma sustentável?

A resposta é sim! Apesar da principal forma de controle das plantas daninhas ser a aplicação de herbicidas e uso da roçadora convencional, os resultados de um experimento de três anos mostram que é possível adoção de estratégias mais sustentáveis.



“A principal diferença entre a roçada convencional e ecológica é que na primeira os resíduos das plantas que estão na entrelinha do pomar (espaço entre uma linha de plantio e outra) são cortados e depositados na própria entrelinha enquanto na ecológica essa biomassa cortada é depositada ao redor das plantas de laranja e formam uma cobertura orgânica no solo.”

Dr. Rodrigo Martinelli – Centro de Citricultura Sylvio Moreira

O experimento foi realizado entre 2017 e 2020 em uma área experimental com o tamanho aproximado de um campo oficial de futebol, no Centro de Citricultura ‘Sylvio Moreira’, do Instituto Agrônomo – IAC. Foram usadas 648 plantas de laranja divididas em diferentes tratamentos. Primeiramente o experimento foi dividido em duas áreas:

- A. Recebeu tratamento com roçadora convencional
- B. Recebeu tratamento com roçadora ecológica



À esquerda: área convencional. À direita, área ecológica.

Tanto a área “A” quanto área “B” foram subdivididas em 12 subáreas – cada uma abrangendo 54 plantas. Essas subáreas recebiam tratamentos diferentes, incluindo controle físico, com roçagens no espaço entre as plantas de citros (sem herbicidas), e controle químico, com aplicação de diferentes tipos de herbicidas (aplicados isoladamente e/ou em conjunto) herbicidas que ficam agindo no solo e herbicidas que agem somente na área das folhas das plantas daninhas).

Resultados direcionam para uma agricultura mais sustentável

Ficou claro para os pesquisadores que o controle de plantas daninhas é importante. Independente do tratamento utilizado, as plantas de citros eram em média 89% mais produtivas quando havia o controle das plantas daninhas. O que significa mais laranja por planta e consequentemente no mercado.

No entanto, os pesquisadores também comprovaram que o controle de plantas daninhas em áreas em que foi utilizado a roçadeira ecológica, as plantas de laranja tiveram melhor desenvolvimento e consequentemente maior produtividade (até 90% a mais) do que aquelas que estavam nas áreas onde foi utilizado a roçadeira convencional.

O trabalho também destaca que o retorno financeiro é muito maior quando utilizado a roçadeira ecológica, independentemente do tipo de controle de planta daninha utilizado (mecânico ou químico), o que é devido aos demais benefícios além do controle de plantas daninhas, conforme mencionado anteriormente.



“A cobertura orgânica criada pelo uso da roçadeira ecológica traz benefícios para o pomar e solo. Como maior controle de plantas daninhas ao longo do tempo, maiores níveis de fertilidade do solo e da nutrição das plantas, maiores teores de umidade do solo, melhor qualidade microbiológica, entre outros.”

Dr. Fernando Alves de Azevedo – Centro de Citricultura Sylvio Moreira.

É o primeiro estudo a mostrar pela primeira vez na literatura a boa interação da roçagem ecológica com herbicidas residuais. Os pesquisadores mostram que é possível melhorar a microbiota do solo e acelerar o processo de biodegradação dos herbicidas – visto que dentre os herbicidas residuais utilizados, todos tem a degradação microbiana como a principal forma de dissipação do herbicida no ambiente, impedindo que ele permaneça no ambiente ou nos frutos comercializados. São resultados que abrem caminhos para pomares de citros mais sustentáveis.



Primeira tangerina 100% brasileira poderá ter frutos sem semente

O interesse por frutos sem semente tem aumentado entre os consumidores. Dada esta demanda, várias pesquisas vêm sendo feitas buscando maneiras de se reduzir o número de sementes por fruto, seja por métodos clássicos, em campo ou por técnicas biotecnológicas em laboratórios. Em recente publicação a [Dra. Mariângela Cristofani Yaly](#) e sua aluna de doutorado [Msc. Fernanda Roverssi](#) demonstraram uma redução no número de sementes por fruto na cultivar de tangerina IAC 2019Maria. **A pesquisa, vinculada ao INCT Citros, traz avanços no melhoramento genético de tangerina visando maior aceitabilidade da fruta no mercado *in natura*.** Descubra nesse texto como os pesquisadores estudam e desenvolvem novas variedades de tangerina.

O que são frutos sem sementes?

As sementes são resultado do processo de fecundação que ocorre entre os gametas masculino (presente no grão de pólen) e feminino (presente no óvulo das flores) de um vegetal.

Os frutos sem semente são aqueles em que não houve formação de semente, pode ser decorrente da não fecundação (partenocarpia), aborto embrionário (estenoespermocarpia), falhas na polinização ou incompatibilidade genética entre os genitores também podem gerar frutos sem sementes.

Os melhoristas (pesquisadores que trabalham com melhoramento genético) utilizam desse conhecimento para desenvolver cultivares que produzam frutos com menor quantidade de sementes.



“Para os produtores de laranja e tangerinas, a ausência de sementes é importante não apenas pelo seu impacto no mercado de frutas frescas, mas também devido à sua associação a compostos que podem impactar o sabor e afetar a produção de sucos.”

Dra. Mariângela C. Yaly – Centro de Citricultura Sylvio Moreira.

Já ouviu falar da primeira tangerina 100% brasileira?

As tangerinas, assim como outros citros, possuem sua origem no sul da Ásia. No entanto, a tangerina IAC 2019Maria após cerca de 20 anos de pesquisa, foi obtida pelo programa de melhoramento genético do Centro de Citricultura Sylvio Moreira do Instituto Agronômico, sendo uma cultivar de tangerina totalmente brasileira.



“É a primeira cultivar de citros do IAC protegida pelo Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC) do MAPA, e licenciada para viveiros.”

Dra. Mariângela C. Yaly – Centro de Citricultura Sylvio Moreira.

Além de ser uma planta que produz frutos saborosos e fácil de descascar a tangerina IAC 2019Maria é resistente a principal doença dos pomares de tangerina, a mancha marrom de alternaria. Dada a sua resistência à doença, usa-se menos fungicidas, reduzindo custo de produção e melhorando a sustentabilidade do pomar.

Uma pesquisa em busca de tangerinas com menos sementes

As tangerinas comercializadas nos dias de hoje apresentam cerca de 20 sementes por fruto. Uma vez que, o número de sementes nos frutos de tangerina é dependente do tipo de fecundação, os pesquisadores do INCT Citros investigaram diferentes tipos de polinização em plantas de tangerina IAC 2019Maria. Foram avaliados os seguintes tipos de polinização:

1. Polinização cruzada com tangerina Ponkan
2. polinização cruzada com laranja doce Pera IAC
3. autopolinização

4. impedimento de polinização e

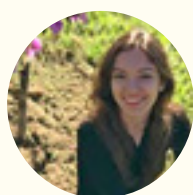
5. polinização aberta.

Entre agosto e outubro de 2018 foram realizadas a polinização de 1289 flores de tangerina IAC 2019Maria mantidas em casa de vegetação. Dessas, 163 foram fecundadas com pólen de laranja Pêra, 51 com pólen de tangerina Ponkan, 763 com pólen da IAC 2019Maria (autopolinização), 312 não foram polinizadas (impedimento da polinização).

A polinização aberta ocorreu com plantas que estavam no campo, as flores foram marcadas e deixadas livres para ocorrência de polinização natural.

No caminho para tangerinas sem sementes

Na busca pela tangerina sem sementes, os resultados do experimento mostraram que a Tangerina IAC 2019Maria não produz frutos partenocárpicos (quando há o impedimento da polinização). No entanto, houve uma redução de sementes em frutos de flores que foram autofecundadas. A fecundação com pólen de laranja Ponkan ocasionou num aumento de sementes por fruto (~21) enquanto a fecundação com pólen de laranja Pera reduziu o número de sementes por fruto para uma média de 16 e a autopolinização para uma média de 14 sementes por fruto. A polinização aberta também resultou em frutos com maior número de sementes (~22).



“Vimos que a polinização cruzada leva à formação de mais sementes do que a polinização com pólen da própria flor. Com isso podemos sugerir aos produtores que os pomares de tangerina IAC 2019Maria sejam plantados de forma isolada, para evitar um aumento no número de sementes nos frutos.”

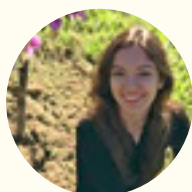
Msc. Fernanda Roverssi – Centro de Citricultura Sylvio Moreira.

Melhoramento genético da tangerina IAC 2019Maria

A cultivar tangerina IAC 2019Maria é uma planta diploide (cada célula possui duas cópias de cada cromossomo). No entanto, sabe-se que plantas poliploides, com três (triploides) cópias de cromossomos por célula possuem maiores chances de formarem frutos api-

renos ou seja, frutos sem sementes.

Pensando nisso, os pesquisadores também realizaram o estudo genético das plantas germinadas a partir das sementes geradas pelos cruzamentos do experimento, buscando encontrar plantas poliploides.



“Através da técnica de citometria de fluxo conseguimos identificar três plantas poliploides, um triploide e dois tetraploides. Iremos acompanhar o desenvolvimento dessas três plantas e esperamos no futuro conseguir uma variedade de tangerina capaz de produzir frutos com menos sementes ou partenocárpicos.”

Msc. Fernanda Roverssi – Centro de Citricultura Sylvio Moreira.



Protetores solares para plantas de laranja

O planeta Terra enfrenta severa elevação da irradiância (excesso de luz solar) e da temperatura do ar, resultado das mudanças do clima. Ondas de calor, períodos em que essas temperaturas ultrapassam a média por mais de cinco dias, também estão se tornando mais frequentes. Essas mudanças não apenas afetam nossas vidas, mas também as das plantas, o que pode prejudicar a produção de muitos alimentos.

Na citricultura, a irradiância e temperaturas elevadas do ar têm sido consideradas fatores que impactam a produção de laranjas. Isso acontece por danos causados às folhas, como ressecamento e redução do processo da fotossíntese, essenciais para o bom desenvolvimento da planta.

Protetores solares para plantas

Para enfrentar as mudanças climáticas será necessário a criação ou melhoria de tecnologias que garantam o bom desenvolvimento das plantas em situações de maior exposição ao sol. Pensando nisso, um grupo de pesquisadores do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT Citros) liderados pelo [Dr. Dirceu Mattos Jr.](#), investigaram o potencial do uso de minerais como protetor solar em plantas de laranja Valência.



“Soluções pulverizados que formem camadas de filmes na superfície das folhas têm sido oferecidos como forma de minimizar perdas nas colheitas devido ao cenário desfavorável de mudanças climáticas, uma vez que a floração e a frutificação dos citros são prejudicadas pela radiação UV”.

Dr. Dirceu Mattos Jr – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

Um elaborado experimento, realizado pelo grupo de pesquisa do Dr. Dirceu Mattos Jr., demonstrou a capacidade protetiva dos minérios caulim e carbonato de cálcio contra o excesso de radiação solar.

Pesquisando o efeito do caulim e do carbonato de cálcio

Os pesquisadores identificaram que quando as plantas de laranja são pulverizadas com substâncias como caulim ou carbonato de cálcio, estas substâncias criam uma camada fina e reflexiva na superfície das folhas. Isso faz com que a luz do sol seja refletida, reduzindo os efeitos prejudiciais da luz ultravioleta (UV) excessiva nas plantas.

Entre os benefícios para planta, os pesquisadores destacam a melhor absorção de dióxido de carbono (CO₂) utilizado na fotossíntese e manutenção da temperatura mais baixa da superfície das folhas ao longo do dia. Esses efeitos positivos estão relacionados a uma melhoria na atividade de enzimas antioxidantes, o que sugere que as plantas estão melhor protegidas contra os danos causados pelo excesso de energia solar absorvida durante a fotossíntese.



“Quando as plantas são pulverizadas com substâncias como caulim ou carbonato de cálcio, essas substâncias formam uma camada fina e reflexiva na superfície das folhas. Essa camada atua como um escudo protetor contra a luz solar excessiva. Ao refletir a luz, essas substâncias ajudam a reduzir os efeitos negativos da radiação UV nas plantas, preservando a integridade do aparato fotossintético das folhas. Isso é crucial para garantir que as plantas possam continuar realizando a fotossíntese de maneira eficiente, necessária para seu crescimento e desenvolvimento saudáveis.”

Dr. Dirceu Mattos Jr – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).

Investigando o Impacto do Caulim e do Carbonato de Cálcio nas Plantas de Laranja Valência

O caulim e o carbonato de cálcio são minerais de coloração branca e que podem ser encontrados como produto comercial em pó dispersíveis em água. Em água, tanto o caulim como o carbonato de cálcio podem ser pulverizados nas plantas formando uma camada de partículas reflexivas e protetivas contra radiação solar. Além disso, podem reduzir a temperatura excessiva das folhas.

Para confirmar o efeito protetivo dos minerais em plantas de laranja, os pesquisadores do INCT Citros elaboraram o seguinte experimento:

Ao todo 30 plantas de laranja Valência com dois anos de idade foram separadas em cinco grupos (seis plantas por grupo):

Grupo 1 (Controle: Pleno Sol + Água): Plantas mantidas sob efeito direto do sol e pulverizadas com água

Grupo 2 (Sol + Caulim): Plantas mantidas sob efeito direto do sol e pulverizadas com caulim (30 g/L de água)

Grupo 3 (Sol + Carbonato de cálcio): Plantas mantidas sob efeito direto do sol e pulverizadas com carbonato de cálcio (30 g/L de água)

Grupo 4 (Sombra de tela aluminizada + Água): Plantas mantidas sob efeito reduzido do sol (utilizando tela de sombra de alumínio) e pulverizadas com água

Grupo 5 (Sol sob plástico transparente anti-UV + Água): Plantas mantidas sob efeito do sol (utilizando plástico transparente do tipo polietileno de baixa densidade e anti-UV) e pulverizadas com água.

Durante o período do experimento, diversos parâmetros foram monitorados, incluindo a temperatura das folhas, as trocas gasosas (como a absorção de dióxido de carbono e liberação de oxigênio), a quantidade de clorofila nas folhas e a atividade de algumas enzimas antioxidantes. Essas medições permitiram aos pesquisadores entender o efeito de cada componente protetivo no desenvolvimento das plantas, fornecendo entendimento valioso sobre como mitigar os efeitos adversos do excesso de luz solar na cultura da laranja.



“Em resumo, este estudo demonstrou que o uso de partículas em suspensão pode mitigar os efeitos prejudiciais do excesso de irradiação UV e temperatura do ar em árvores de laranja doce.”

Dr. Dirceu Mattos Jr – Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC).



Inovação no controle da gomose dos citros: conheça pesquisas do INCT Citros

A produção de alimentos enfrenta desafios constantes, sendo as doenças das plantas uma das maiores ameaças à agricultura sustentável. Nesse contexto, pesquisadores do INCT Citros realizam estudos para compreender a relação entre microrganismos e plantas de laranja, buscando entender as causas das doenças que afetam essas culturas. O Trabalho realizado pela equipe do [Dr. Marcos Antônio Machado](#) e [Dr. Heros José Máximo](#) fez importantes avanços no entendimento da gomose dos citros uma doença que ataca das plantas jovens aos pomares em produção e provoca danos irreversíveis, como o apodrecimento do tronco e degradação de raízes.

O Problema da gomose dos citros

A gomose dos citros é uma preocupação constante para os produtores de laranja, essa doença é causada por *Phytophthora parasitica* – um microrganismo semelhante a fungos, mas que não é fungo. Essa doença causa lesões e apodrecimento de raízes e partes mais baixas da planta, o que leva a perdas expressivas na produção e até a morte da planta.



*“Apesar de *Phytophthora parasitica* apresentar características morfológicas e de crescimento semelhantes aos fungos, ele é classificado como um oomiceto devido a diferenças fundamentais em sua biologia e genética. Por exemplo, os oomicetos, como *P. parasitica*, possuem parede celular composta principalmente por celulose, ao contrário dos fungos, que têm parede celular de quitina. Nesse sentido assemelham-se mais a plantas do que a fungos.”*

Dr. Marcos Machado – Centro de Citricultura Sylvio Moreira.

Além disso, pomares afetados por esse microrganismo demandam maiores investimentos no manejo e controle da doença, impactando diretamente a economia do setor citrícola. O patógeno encontra-se normalmente no solo e se dispersa através da água de chuva e irrigação, penetrando em lesões nas raízes e troncos.

As pesquisas do INCT Citros têm mostrado que a capacidade desse patógeno de infectar plantas está relacionada a presença de genes capazes de enganar a defesa da planta, facilitando a infecção.

A pesquisa sobre as proteínas PpCRN7 e PpCRN20

A literatura sobre oomicetos mostra que a presença de proteínas, conhecidas como “Crinkler” (CRN), é essencial para a patogenicidade de *Phytophthora* spp. Essas proteínas têm a capacidade de interferir no sistema de defesa das plantas, facilitando a infecção e colonização dos tecidos vegetais pelo patógeno.

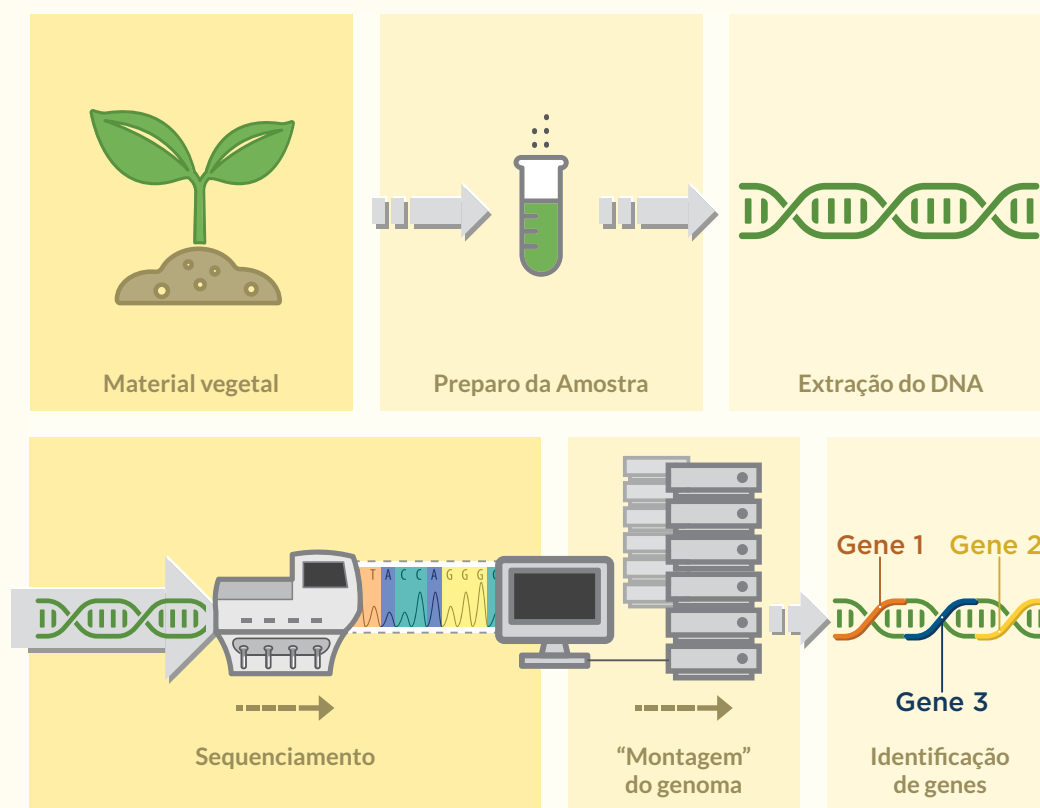
Com base nessas informações, a equipe do Dr. Marcos Machado optou por estudar o funcionamento dessas proteínas em plantas de citros infectadas por *Phytophthora parasitica*.

Objetivos da Pesquisa:

- » Identificar proteínas CRN no genoma de *P. parasitica*.
- » Avaliar a atividade desses genes durante a interação com duas espécies de citros, *Citrus sunki* (altamente suscetível à doença) e *Poncirus trifoliata* (resistente).
- » Avaliar se alguma dessas proteínas causa lesão ou impede a formação de lesão em folhas de uma planta modelo, *Nicotiana benthamiana*.

A equipe utilizou ferramentas de bioinformática para identificar a sequência genética responsável por produzir proteínas CRN. Dessa forma – por meio do sequenciamento genético – os pesquisadores encontraram 80 genes. A partir destes, 20 foram selecionados para serem estudados durante a interação de *P. parasitica* com as duas espécies de citros. Experimentos com essas proteínas em uma planta modelo mostraram a relevância de duas delas para o desenvolvimento da doença.

Sequenciamento genético



Nomeadas de PpCRN7 e PpCRN20, essas proteínas enganam o sistema de defesa da planta, facilitando a infecção.



*“Nós vimos que a proteína PpCRN7 é responsável por ‘ligar’ e a PpCRN20 por ‘desligar’ um mecanismo de defesa da planta que leva à morte celular do tecido vegetal infectado por *P. parasitica*. A planta faz isso para tentar impedir que o microrganismo se espalhe pelo resto do tecido vegetal vivo. No entanto, esse oomiceto se alimenta tanto de tecido vegetal morto quanto vivo, com isso *P. parasitica* ‘brinca’ com a defesa da planta para seu próprio benefício, dependendo do seu ciclo reprodutivo.”*

Dr. Heros Máximo – Centro de Citricultura Sylvio Moreira.

Possíveis impactos para agricultura

As descobertas sobre PpCRN7 e PpCRN20 abrem portas para o desenvolvimento de novas tecnologias para o controle da doença causada por *P. parasitica*, com importantes implicações para o manejo da gomose dos citros. **Por exemplo, por meio da biotecnologia, é possível desenvolver produtos que atuem especificamente nessas proteínas, “desligando-as” e impedindo que o microrganismo infecte a planta.** A edição gênica também pode aumentar a resistência das plantas a *P. parasitica*, permitindo o desenvolvimento de novas variedades de citros.

Benefícios a longo prazo contra a gomose

O trabalho desenvolvido pela equipe do Dr. Marcos Machado mostra como a pesquisa básica pode levar a importantes inovações com impacto significativo na redução das perdas econômicas causadas por microrganismos, uma vez que essa estratégia pode ser aplicada a outras culturas, promovendo uma agricultura mais sustentável e resiliente. Os avanços no estudo das proteínas PpCRN7 e PpCRN20 de *Phytophthora parasitica* representam um marco na citricultura. Ao entender como essas proteínas modulam a resposta das plantas à infecção, os pesquisadores do INCT Citros estão construindo o caminho para novas estratégias de manejo de doenças, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência da produção agrícola. A continuidade dessas pesquisas é necessária para desenvolver soluções inovadoras que beneficiem não apenas a citricultura, mas toda a produção de alimentos.



MARCOS ANTÔNIO MACHADO • LÍDER DO PROJETO



Pesquisador Científico VI do Instituto Agrônomo (IAC). Coordenador do Laboratório de Biotecnologia do Centro de Citricultura, em Cordeirópolis (1991–2018). Exerceu a função de Diretor do Centro de Citricultura (2002–2018), do Centro de Programação de Pesquisa do IAC (2018–2019) e da Diretoria Geral do IAC (2019–2021). As principais linhas de pesquisa incluem estudos da interação de citros e seus patógenos, com foco na integração melhoramento genético e genômica. Com apoio do CNPq e FINEP coordenou projetos apoiados pelo PADCT II, Pronex, BioEx, RHAE, Instituto do Milênio e INCT I e II. Na FAPESP coordena projetos temáticos e individuais. Participa como Orientador de Mestrado e Doutorado em Cursos de Pós Graduação da Unicamp (Genética / Biologia Molecular e Biologia Funcional e Molecular) e Unesp (Genética). Coordena o INCT II de Genômica para o Melhoramento de Citros. Ex-membro dos Comitês Assessor de Agronomia, de Biotecnologia (CA-BI) do CNPq e da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio). Mérito Científico e Tecnológico do Estado de São Paulo. Membro da Ordem Nacional do Mérito Científico e membro Titular da Academia Brasileira de Ciência. Bolsista de Produtividade 1A no CNPq.

[Currículo Lattes](#)



EXPEDIENTE

Este material foi elaborado com objetivo de contribuir para divulgação científica do trabalho desenvolvido por pesquisadores que fizeram parte do INCT Citros – Plataformas de genômica comparativa, funcional e melhoramento assistido de citros.



**Idealização e produção
de conteúdo:**

Francisco Humberto Henrique

Paulo Camargo

[*Descascando a ciência*](#)

[*Blog Descascando*](#)

Projeto gráfico: Danilo Pegorara

[*DPDG*](#)

Projeto editorial: Paulo Camargo



INCTCitros
INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GENÔMICA
PARA O MELHORAMENTO DE CITROS

Revisão técnica: Marcos Antônio Machado

Líder INCT Citros

Agradecimento/Financiamento

MCTI/CNPq/CAPES/FAPESP na chamada 016/2014

