

MELHORAMENTO GENÉTICO VEGETAL

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE TOMATEIRO SOB CULTIVO EM SOLOS DE TERRA FIRME E VÁRZEA DA AMAZÔNIA INFESTADOS POR *RALSTONIA SOLANACEARUM* ⁽¹⁾

MARIA ALBANIRA ARAÚJO PENA ^(2*); HIROSHI NODA ⁽³⁾;
FRANCISCO MANOARES MACHADO ⁽³⁾; MARIA SILVESNÍZIA DA SILVA PAIVA ⁽⁴⁾

RESUMO

A resistência genética à bactéria *Ralstonia solanacearum*, o patógeno da doença "murcha bacteriana", é uma condição necessária para o cultivo do tomateiro nos solos naturalmente infestados pelo patógeno nos ambientes de terra firme e várzea da região amazônica. Neste trabalho avaliou-se a adaptabilidade e estabilidade quanto à resistência genética ao patógeno e à produtividade de progênies de gerações avançadas (F₁₃ e F₁₄) do cruzamento HT -16, que deu origem à variedade resistente Yoshimatsu, quando cultivadas em solos de terra firme e várzea infestados por *R. solanacearum*. Foram realizados ensaios em quatro ambientes, dois em terra firme e dois na várzea, em solos naturalmente infestados pelo patógeno e com oito genótipos de tomateiro: Santa Cruz Kada, utilizada como padrão de suscetibilidade ao patógeno; Caraíba, como padrão de resistência; C-38; Yoshimatsu 4-11 e mais quatro progênies F₁₃ e F₁₄ do cruzamento HT-16. Os caracteres utilizados para avaliação da resistência e produtividade foram: Taxa de Infecção (QR), para doenças monocíclicas, segundo PLANK (1963); Índice de Sanidade (IS), segundo NODA (1981); Produção Total de Frutos (PTF) e Número Total de Frutos (NTF). As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, obtidas pelo método proposto por EBERHART e RUSSEL (1966), expressos em níveis de resistência genética à bactéria *R. solanacearum* e rendimento em frutos, revelaram que as progênies avançadas são adaptadas ao cultivo em ambientes de terra firme e várzea infestadas pelo patógeno e evidenciaram superioridade quando comparadas com a cultivar Yoshimatsu 4-11, obtida na geração F₇.

Palavras-chave: tomate, murcha bacteriana, interação genótipo por ambiente.

⁽¹⁾ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor. Recebido para publicação em 10 de abril de 2007 e aceito em 3 de agosto de 2009.

⁽²⁾ Universidade Federal do Amazonas. Faculdade de Ciências Agrárias. Av. Gen. Rodrigo Otávio Jordão, 3000, Japiim, 69011-970 Manaus (AM). (*) Autora correspondente.

⁽³⁾ Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia. Coordenação de Pesquisa em Ciências Agrônomicas, Caixa Postal 478, 69011-970 Manaus (AM).

⁽⁴⁾ Núcleo de Estudos Rurais e Urbanos Amazônico. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Caixa Postal 478, 69011-970 Manaus (AM).

ABSTRACT

ADAPTABILITY AND STABILITY OF TOMATO GENOTYPES UNDER CULTIVATED IN AMAZON UPLAND AND FLOODPLAIN SOILS INFESTED BY *RALSTONIA SOLANACEARUM*

The genetic resistance to *Ralstonia solanacearum*, the agent of "bacterial wilt" disease, is a condition for tomato cultivation in soils naturally infested by the pathogen in the Amazon upland and floodplain environments. In this work the adaptability and stability of the genetic resistance to pathogen were estimated. Also fruit yield of advanced generation (F_{13} and F_{14}) progenies from the original crossing (HT-16) of the tomato variety Yoshimatsu under cultivation conditions upland and floodplain in soils naturally infested by *R. solanacearum*. The experiments were carried out in four environments with soils naturally infested by the pathogen: two in upland and two in the floodplain. The evaluated tomato genotypes were: Santa Cruz Kada, the susceptibility control; Caraíba, the resistant control; C-38; Yoshimatsu 4-11, and four F_{13} and F_{14} progenies from the HT-16 crossing. The agronomic traits were evaluated by the parameters: Infection Rate (QR), for disease without multiplication, according PLANK (1963); Index of Sanity (IS), according NODA (1981); Total Yield of Fruits (PTF) and Total Number of Fruits (NTF). Genetic adaptability and phenotypic stability parameters were estimated according to the method proposed by EBERHART and RUSSEL (1966), expressed by genetic resistance to the pathogen *R. solanacearum*. The data showed that advanced progenies of the HT-16 crossing are adapted for cultivation in upland and floodplain soils infested by the pathogen and demonstrated superiority when compared to F_7 variety Yoshimatsu 4-11.

Key words: tomato, bacterial wilt, genotype-environment interaction.

1. INTRODUÇÃO

A murcha bacteriana é um fator limitante ao cultivo do tomateiro nas regiões tropicais de baixa altitude sendo, portanto, extremamente importante que as variedades de tomateiro, melhoradas geneticamente para o cultivo no trópico úmido brasileiro, expressem o caráter de resistência à doença, completem todo o ciclo vegetativo e reprodutivo e tenham boa produtividade quando cultivadas em condições de temperatura e umidade elevadas.

O desenvolvimento de cultivares de tomateiro com resistência à murcha bacteriana é importante estratégia de controle por ser o menos dispendioso, especialmente em países com agricultura subdesenvolvida ou em desenvolvimento (HAYWARD, 1991). Por outro lado, é extremamente desejável que as variedades obtidas pelos programas de melhoramento de plantas expressem seu potencial genético nos diferentes ambientes onde serão cultivadas. Portanto, os estudos sobre a adaptabilidade e estabilidade permitem estimar a magnitude dos efeitos ambientais sobre o desempenho agrônomo das variedades especialmente quanto à previsibilidade e responsividade e, ao mesmo tempo, oferecer subsídios para fins de recomendação.

Até o fim da década de oitenta, havia duas tendências distintas no que tange à interpretação dos mecanismos controladores da resistência genética do tomateiro em relação ao patógeno *Ralstonia solanacearum*. Na primeira delas, alguns autores constataram evidências de controle oligogênico na reação de resistência (ACOSTA et al., 1964; DIGAT e

DERIEUX, 1968). Por outro lado, como outra tendência, RUSSEL (1978) e VILLAREAL (1980), afirmam, respectivamente, que a herança é complexa e o controle da expressão de resistência está fortemente correlacionado com as condições ambientais. As cultivares americanas Saturn e Venus, consideradas resistentes, tiveram reação de suscetibilidade à *R. solanacearum* quando avaliadas, no Brasil, em casas de vegetação, com temperaturas máximas (acima de 30 °C), consideradas elevadas para o tomateiro (COUTO et al., 1979 e MARTINS et al., 1988).

A resistência duradoura, após análise de dados de ensaios realizados em diversos locais do território brasileiro, tem confirmado a hipótese que, no caso da variedade Yoshimatsu, a herança envolvida é de controle poligênico. LOPES et al. (1994), efetuando inoculações artificiais com isolados de diversas regiões do Brasil e CAMPOS et al. (1998), no Estado de Tocantins, realizando inoculações com isolados locais, confirmaram a resistência da variedade Yoshimatsu. OLIVEIRA et al. (1998) submeteram à inoculação a cultivar Yoshimatsu 4-11 com dois isolados, classificados como Biovar I e Biovar III, chegando à conclusão que a herança da resistência é de natureza quantitativa com dominância parcial, sendo observada a presença de efeito aditivo significativo. MENEZES (1998), utilizando a metodologia de triagem de genótipos resistentes em solos naturalmente infestados pelo patógeno, no Estado de Pernambuco, demonstrou que a herança envolvida no controle da expressão de resistência na variedade Yoshimatsu é governada por mais de um gene ou bloco gênico,

exibindo dominância, além de efeitos aditivos no aumento do caráter. Este autor observou, ainda, efeitos positivos na capacidade geral e específica de combinação para o caráter pegamento de frutos, produção de frutos, número de frutos, massa média de frutos, número de lóculos e sobrevivência.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade genética e a estabilidade fenotípica das gerações avançadas (F_{13} e F_{14}) do cruzamento denominado HT-16 (NODA et al., 1986), que deu origem à variedade Yoshimatsu, produzida pelo Programa de Melhoramento Genético de Hortaliças do INPA, aos ambientes de terra firme e várzea, bem como, aos sistemas de cultivo adotados pelos agricultores no Estado do Amazonas. Os objetivos específicos foram estimar os parâmetros de adaptabilidade e a estabilidade, sob condições de cultivo em ambientes quentes e úmidos e solos de terra firme e de várzea naturalmente infestados por *Ralstonia solanacearum* e expressos sob as formas de resistência genética do hospedeiro ao patógeno e produtividade em frutos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados nos ecossistemas de terra firme e várzea. Os ambientes de terra firme são áreas não inundáveis pelos rios e os de várzea são as áreas inundáveis, no período das enchentes, localizadas nas margens dos rios amazônicos de água branca. Na terra firme os ensaios foram desenvolvidos na Estação Experimental de Hortaliças "Dr. Alejo von der Pahlen" do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), localizada no Km 14 da Rodovia AM-10, em Manaus. Nessa localidade foram realizados dois ensaios, em solos classificados como Argissolo Vermelho-Amarelo Álico, sendo um denominado Ambiente 1, em área utilizada sistematicamente para o cultivo de tomate, onde a presença de *R. solanacearum* foi observada em todos os cultivos realizados anteriormente, e outro, denominado Ambiente 2, com vegetação característica de capoeira e não havendo histórico de cultivo de espécies oleráceas anteriormente. No ecossistema de várzea, um ensaio, denominado Ambiente 3, foi realizado na Estação Experimental do Ariáú - Bairro Rural de Jandira - município de Iranduba, na margem esquerda do Rio Solimões, distante cerca de 30 Km de Manaus em uma área de cultivo de hortaliças com histórico de ocorrência de murcha bacteriana em cultivos anteriores de tomate. O quarto ensaio, denominado Ambiente 4, foi instalado em uma área de produtor rural, localizada na Comunidade Jandira, onde, nos

últimos quatro anos, não havia sido cultivada com hortaliças do gênero Solanaceae. Na várzea, os solos dos locais onde foram realizados os experimentos são classificados como Gleissolos.

Os genótipos avaliados foram: progênes avançadas do grupo Yoshimatsu, sendo duas da geração F_{14} , HT-16-9-2-7-5-1-5-4-3-2Q-10-7 (L-1-2002) e HT-16-9-2-7-5-1-5-4-3-2Q-17-9 (L-2-2002) e duas da geração F_{13} , HT-16-9-2-7-5-1-5-4-3-2Q-17-10 (L-3-2002) e HT-16-9-2-7-5-1-5-4-3-2Q-17-13 (L-4-2002), obtidas a partir do cruzamento original denominado HT-16 (NODA et al., 1986); a cultivar Yoshimatsu 4-11, obtida na geração F_7 ; a cultivar Caraíba, considerada como padrão de reação de resistência à murcha bacteriana (MARTINS et al., 1988; NODA et al., 1997; MENEZES, 1998); a cultivar Santa Cruz Kada, utilizada como padrão de reação de suscetibilidade à murcha bacteriana (NODA et al., 1995/1996) e a cultivar C-38 da EMBRAPA/CPATU - Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido com reação de resistência moderada, segundo resultados observados em ensaio em ambiente de várzea do rio Solimões, próximo à Manaus (NODA et al., 1995/1996).

As mudas foram produzidas em bandejas plásticas divididas em células contendo composto orgânico peneirado e autoclavado, sendo a semeadura realizada em 25/9/2002. Na área de cultivo em terra firme, um mês antes do transplante das mudas, foi realizada uma calagem utilizando-se 2 toneladas de calcário dolomítico por hectare e por ocasião do transplante, ocorrido em 24/10/2002, efetuou-se a adubação de plantio, aplicando-se, por cova, dois litros de composto orgânico, 50 g de superfosfato simples, 50 g de cloreto de potássio, 10 g de sulfato de amônia e 5 g de FTE (micronutrientes). Também foram aplicadas duas adubações em cobertura, em cada cova, na primeira usando-se 5 g de uréia e na segunda 10 g de superfosfato simples, 10 g de cloreto de potássio e 5 g de uréia/cova. Na várzea, onde o transplante foi realizado em 25.10.2002, a adubação de plantio foi feita nas duas áreas, aplicando-se, em cada cova, 10 g de sulfato de amônia e 5 g de FTE (micronutriente). A adubação em cobertura foi realizada uma única vez aplicando-se 5 g de uréia por cova.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, cada parcela experimental contendo 10 plantas, espaçadas de 1,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. Em todos os ensaios, as plantas foram conduzidas com varas na forma de cerca cruzada, fazendo-se as desbrotas semanalmente. Os demais tratamentos culturais e fitossanitários foram executados na medida em que se fizeram necessários.

O método adotado de avaliação da resistência ao patógeno foi o mesmo descrito por KURIYAMA (1975) para ensaios de campo. As plantas com ausência ou poucos sintomas da doença no fim do ciclo foram consideradas resistentes. A presença de bactéria nos feixes vasculares foi constatada pelo método descrito por KIRÁLY et al. (1970), que consiste na observação de exudação de células bacterianas, na forma de um líquido de coloração leitosa, quando pequenos pedaços de tecido afetado pelo patógeno são colocados sobre uma placa de vidro com água (NODA et al., 1997).

Os dados para a análise epidemiológica da doença foram obtidos em intervalos semanais, registrando-se as plantas afetadas pela murcha bacteriana, anotando-se, também, suas posições nas parcelas. As coletas de dados iniciaram-se em 5 de novembro e foram finalizadas em 26 de dezembro de 2002. Com os dados obtidos, as características de resistência ao patógeno foram estimadas por meio do cálculo do Índice de Sanidade (IS) e Taxa de Infecção (QR), segundo PLANK (1963), para doenças monocíclicas.

Os valores de IS foram estimados mediante a fórmula (NODA, 1981):

$$IS = PS / PT \text{ onde,}$$

PS é o número de plantas na parcela sem sintomas de murcha bacteriana e PT é o número total de plantas na parcela.

Para o cálculo do valor QR é utilizado o parâmetro Índice de Doença (ID) obtido pela fórmula:

$$ID = 1 - IS$$

O parâmetro Taxa de Infecção (QR) é constituído por dois componentes: a quantidade Q de inoculo do patógeno presente no solo e a taxa de infecção R, propriamente dita, (PLANK, 1963). A fórmula utilizada para cálculo dos valores da Taxa de Infecção foi:

$$QR = \frac{1}{t_2 - t_1} \left(\log_e \frac{1}{1 - ID_2} - \log_e \frac{1}{1 - ID_1} \right)$$

Sendo,

t_1 : número de dias entre a data do transplante e a data da 1.^a avaliação; t_2 : o número de dias entre a data do transplante e a data da última avaliação;

ID_1 : índice de doença na 1.^a avaliação; e ID_2 : índice de doença na última avaliação.

A capacidade produtiva foi estimada por meio das características Produção Total de Frutos (PTF) e Número Total de Frutos (NTF), expressos, respectivamente, em massa ($g\ 0,5\ m^{-2}$) e número de frutos coletados em todas as etapas da colheita.

Para a análise de variância, os dados da Taxa de Infecção foram transformados em $\log(x \cdot 10^4 + 10)$, o Índice de Sanidade em $\arcsen \sqrt{x + 0,005}$ e os dados de produção em $\sqrt{x + 0,5}$ seguindo recomendações de STEEL e TORRIE (1960).

As médias de todos os caracteres estudados dos ensaios em cada ambiente foram testadas contra as médias da variedade Caraíba, usada como testemunha resistente, através do teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. As significâncias dos contrastes das médias entre os ambientes e das médias dos genótipos no conjunto dos quatro ambientes foram obtidas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

As estimativas da adaptabilidade e da estabilidade fenotípica foram obtidas segundo o método proposto por EBERHART e RUSSEL (1966).

Neste estudo foi adotado o seguinte modelo de regressão: $Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \sigma_{ij} + \Sigma_{ij}$

sendo; Y_{ij} : a média do genótipo i (genótipos 1 a 8) no ambiente j (que varia de 1 a 4); μ_i : a média geral do genótipo i; β_i : o coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do enésimo genótipo à variação do ambiente; I_j : o índice ambiental; σ_{ij} : o desvio da regressão; e Σ_{ij} : o erro experimental médio associado à observação Y_{ij} .

Na análise de regressão, para cada genótipo, utilizou-se o Índice Ambiental como variável independente e a Taxa de Infecção, Índice de Sanidade, Produção Total de Frutos e Número Total de Frutos dos genótipos como variáveis dependentes.

A adaptabilidade e a estabilidade fenotípica foram estimadas pelos seguintes parâmetros:

a) Média geral dos genótipos;

b) Quadrado médio dos desvios da regressão linear (QML): $QML = SQL / GL$

sendo, SQL: a soma do quadrado linear e GL: o grau de liberdade.

c) Coeficiente de regressão linear (β):

$$\hat{\beta}_i = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j I_j^2} = \frac{S_{11}}{U} \text{ já que } \sum_j I_j = 0$$

sendo, Y_{ij} : a média do genótipo i no ambiente j; I_j : o Índice Ambiental.

d) Variância dos desvios da regressão (σ_{di}^2):

$$\sigma_{di}^2 = \left(\frac{\sigma^2}{b} + \sigma_{di}^2 \right) - \left(\frac{1}{b} \sigma^2 \right)$$

sendo, $\left(\frac{\sigma^2}{b} + \sigma_{di}^2 \right)$: é o quadrado médio do desvio e $\left(\frac{1}{b} \sigma^2 \right)$ é o quadrado médio do resíduo.

e) Coeficiente de determinação (R^2): o coeficiente de correlação (r_i) elevado ao quadrado, obtendo:

$$r_i = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sqrt{\sum_j I_j^2 \left(\frac{SQL}{g_i} \right)}}$$

$R^2 = (r_i)^2$ sendo Y_{ij} : média do genótipo i no ambiente j ; I_j : o Índice Ambiental; SQL: a soma do quadrado linear e g_i : é o valor de cada genótipo no ambiente.

Para a realização das análises, foi utilizado o pacote computacional GENES (CRUZ, 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Levando-se em conta os níveis de severidade da doença, estimados pelos parâmetros QR e IS, os ambientes 1 e 3 que correspondem, respectivamente, às áreas de terra firme e várzea, historicamente cultivadas com tomate e contaminadas com *R. solanacearum*, foram os ambientes mais desfavoráveis (Tabela 1). Por outro lado, os ambientes 2 e 4 correspondem a áreas, respectivamente, de terra firme e várzea, que não haviam sido cultivadas com solanáceas nos últimos quatro anos. No genótipo Santa Cruz Kada observaram-se níveis de resistência ao patógeno inferiores ao da testemunha Caraíba nos ambientes 1, 2 e 3. No Ambiente 1, na cultivar C-38 notou-se resistência inferior em relação à testemunha resistente e aos genótipos Yoshimatsu 4-11, L-1-2002, L-2-2002, L-3-2002 e L-4-2002 (Tabela 1). Foi observado, também, que os genótipos L-3-2002 e Caraíba tiveram contrastes significativos entre as médias nos ambientes 2 e 4, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. No genótipo C-38 o contraste foi significativo entre as médias nos ambientes 1 e 2. Nos demais genótipos não houve diferenças significativas entre as médias nos quatro ambientes. Presume-se que a diminuição nos níveis de resistência no ambiente de várzea, demonstradas pelos genótipos L-3-2002 e Caraíba, estejam relacionadas às más condições de drenagem do solo. Por outro lado, levando-se em conta o parâmetro epidemiológico Taxa de Infecção (QR), as médias de genótipos nos ambientes 2 e 4 diferem das médias nos ambientes 1 e 3. Esse parâmetro estima a velocidade da epidemia associada ao nível de contaminação do solo pelo patógeno. Tendo em vista o histórico do uso do solo nos ambientes 1 e 3 com o cultivo do tomateiro supõe-se que a maior severidade da ocorrência da doença nesses ambientes esteja relacionada aos níveis mais elevados de potencial de inóculo em relação aos ambientes 2 e 4.

Tabela 1. Reação de resistência de genótipos de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) à murcha bacteriana sob condição de cultivo em solos de quatro ambientes⁽¹⁾ naturalmente infestados por *Ralstonia solanacearum*. Amazonas 2004. (Dados não transformados)

Genótipos	Taxa de Infecção (QR)				Índice de Sanidade (IS)			
	Amb. 1	Amb. 2	Amb. 3	Amb. 4	Amb. 1	Amb. 2	Amb. 3	Amb. 4
Santa Cruz Kada	0,112b A ⁽²⁾	0,053b A	0,113b A	0,013a A	0,100b A	0,525b A	0,078b A	0,600a A
C-38	0,009b A	0,000a B	0,013a AB	0,005a AB	0,655b B	1,000a A	0,703a AB	0,775a AB
Yoshimatsu 4-11	0,000a A	0,000a A	0,002a A	0,004a A	1,000a A	1,000a A	0,908a A	0,840a A
L-1-2002	0,003a A	0,000a A	0,001a A	0,002a A	0,893a A	1,000a A	0,975a A	0,895a A
L-2-2002	0,000a A	0,000a A	0,001a A	0,002a A	1,000a A	1,000a A	0,950a A	0,895a A
L-3-2002	0,001a AB	0,000a B	0,002a A	0,002a A	0,973a AB	1,000a A	0,925a AB	0,895a B
L-4-2002	0,000a A	0,000a A	0,001a A	0,002a A	1,000a A	1,000a A	0,948a A	0,900a A
Caraíba (Testemunha)	0,002a AB	0,000a B	0,003a AB	0,007a A	0,925 aAB	1,000a A	0,875a AB	0,725a B
Médias	0,016 B	0,006 A	0,017 B	0,005 A	0,818 B	0,941 A	0,795B	0,816 B
CV (%) Experimental	18,76	24,24	29,00	20,87	13,65	12,38	24,07	18,87

⁽¹⁾ Ambientes 1 e 2 são áreas de terra firme, respectivamente, com e sem histórico de cultivo de tomate; Ambientes 3 e 4 são áreas de várzea, respectivamente, com e sem histórico de cultivo de tomate.

⁽²⁾ Nas colunas, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem em relação à testemunha (Caraíba), a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett. Nas linhas, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para os caracteres relacionados ao rendimento, Produção Total de Frutos (PTF) e Número Total de Frutos (NTF), com exceção do Ambiente 4, a cultivar Santa Cruz Kada proporcionou médias inferiores em relação à cultivar Caraíba. No Ambiente 3, as médias dos genótipos C-38 e Yoshimatsu 4-11 não diferiram da média da cultivar Caraíba, ao passo que os genótipos L-1-2002, L-2-2002, L-3-2002 e L-4-2002 foram superiores em relação às cultivares Santa Cruz Kada e Caraíba (Tabela 2). Considerando, também, o caráter PTF, verificou-se que as médias dos genótipos Santa Cruz Kada e Caraíba no Ambiente 2 diferiram significativamente em relação as médias no Ambiente 3, evidenciando o efeito da severidade da doença na produtividade. NODA et al. (1986) já haviam constado uma estreita associação negativa entre produtividade e níveis de suscetibilidade do tomateiro. Para o caráter Número Total de Frutos (NTF), foram detectadas diferenças significativas entre as médias dos genótipos Santa Cruz Kada, C-38 e Yoshimatsu 4-11 no ambiente 2 quando comparado com o ambiente 3. No ambiente 1 e 3, as médias da cultivar Santa Cruz Kada foram inferiores ao da cultivar Caraíba. No Ambiente 2, as médias dos genótipos L-1-2002, L-2-2002, L-3-2002 e Yoshimatsu 4-11 foram superiores em relação ao genótipo Santa Cruz Kada e Caraíba, o mesmo ocorrendo no Ambiente 3, em relação aos genótipos L-1-2002, L-2-2002, L-3-2002 e L-4-2002. No Ambiente 4, as médias dos genótipos L-1-2002, L-2-2002, L-3-2002 e L-4-2002 foram superiores em relação aos genótipos Santa Cruz Kada e Caraíba (Tabela 2).

As médias do caráter PTF de todos os genótipos, com exceção de L-3-2002 e L-4-2002, no Ambiente 3 diferiram significativamente em relação às médias no Ambiente 2. Para o genótipo C-38 no ambiente 2 a média foi superior em relação aos demais ambientes; para o genótipo L-1-2002, as médias nos ambientes 1 e 3 foram inferiores ao do Ambiente 2. Para o caráter NTF, é interessante notar que os genótipos L-3-2002 e L-4-2002 não tiveram contrastes significativos entre as médias em todos os ambientes. No Ambiente 3, as médias dos genótipos Santa Cruz Kada e C-38 diferem significativamente dos ambientes 2 e 4. Entre os demais genótipos do Ambiente 3 não foram detectadas diferenças significativas entre os ambientes 2 e 4 (Tabela 2). Comparando-se numericamente as médias da produtividade nos ambientes 2 (terra firme) e 4 (várzea) presume-se que a menor produtividade (PTF) na várzea esteja associada às condições de drenagem deficiente do solo, uma vez que o transplante das mudas, nos quatro experimentos, ocorreu no início da estação chuvosa que abrange, nesta região, o período de novembro a março.

Tabela 2. Médias da produção de genótipos de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) sob condições de cultivo em quatro ambientes⁽¹⁾ com solos naturalmente infestados por *Ralstonia solanacearum*. Amazonas 2004. (Dados não transformados)

Genótipos	Produção Total de Frutos – PTF (g 0,5 m ⁻²)				Número Total de Frutos – NTF (número de frutos 0,5 m ⁻²)			
	Amb. 1	Amb. 2	Amb. 3	Amb. 4	Amb. 1	Amb. 2	Amb. 3	Amb. 4
Santa Cruz Kada	38,783b AB ⁽²⁾	333,917b A	7,250b B	240,000a AB	1,700b AB	8,367a A	0,250 b B	9,275a A
C-38	662,468a B	1341,430a A	387,027a B	631,750a B	21,600a AB	29,900b A	12,132a B	18,350a A
Yoshimatsu 4-11	409,635a B	1266,722a A	527,500a B	624,137a AB	12,197a B	26,355b A	13,287a B	17,540a AB
L-1-2002	678,267a C	1391,642a A	790,000c BC	885,750a B	24,125a AB	30,572b A	21,125c B	27,030b AB
L-2-2002	554,027a B	1327,107a A	717,625c B	931,347a AB	18,155a A	27,550b A	19,447c A	28,720b A
L-3-2002	942,002a A	1132,015a A	810,000c A	844,750a A	25,987a A	26,275b A	21,850c A	26,552 b A
L-4-2002	711,860a B	1054,290a A	805,715c AB	801,000a AB	18,637a A	23,575a A	19,420 c A	24,800b A
Caraíba (Testemunha)	708,627a AB	1127,630a A	325,250a B	525,850a AB	12,182a A	14,245a A	7,100a A	11,850a A
Médias	588,209 CB	1121,844 A	546,296 C	685,573 B	16,823 B	23,355 A	14,326 A	20,515 B
CV (%) Experimental	20,53	14,23	19,16	18,16	16,63	12,38	15,97	14,69

⁽¹⁾ Ambientes 1 e 2 são áreas de terra firme, respectivamente, com e sem histórico de cultivo de tomate; Ambientes 3 e 4 são áreas de várzea, respectivamente, com e sem histórico de cultivo de tomate.

⁽²⁾ Nas colunas, as médias dos genótipos seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem em relação à testemunha (Caraíba) entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett. Nas linhas, as médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na análise de variância conjunta dos quatro ambientes detectou-se pelo menos um contraste significativo entre ambientes e genótipos, ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F para todos os caracteres avaliados e suas interações (Tabela 3). O comportamento diferenciado das cultivares diante da variação ambiental justifica a identificação de materiais com maiores níveis de estabilidade fenotípica (GUALBERTO et al., 2002).

Pelos resultados apresentados na tabela 4, a cultivar Santa Cruz Kada foi a que proporcionou, em todos os ensaios, maiores níveis de suscetibilidade de *R. solanacearum*, expressos em Taxa de Infecção (QR) e Índice de Sanidade (IS), em relação a todos os demais genótipos avaliados, o que confirma observações anteriores obtidas por NODA et al. (1986) e NODA e MACHADO (1993). As estimativas dos quadrados médios dos desvios da regressão linear (QML) não foram significativas com exceção para os genótipos Santa Cruz Kada e C-38. Com relação ao coeficiente de regressão linear (β) constatou-se no genótipo C-38 apresentou valor de $\beta > 1$, indicando adaptação somente aos ambientes favoráveis. As progênies avançadas do grupo Yoshimatsu proporcionaram valores próximos a 1 indicando boa adaptabilidade aos ambientes em que foram avaliados, tanto favoráveis quanto desfavoráveis. Analisando-se as magnitudes das variâncias dos desvios de regressão (σ_d^2), observa-se que, com exceção dos genótipos Santa Cruz Kada e C-38, todos os demais não foram significativos e, deste modo, revelam alta previsibilidade às oscilações ambientais. Com exceção ao ocorrido com a cultivar Santa Cruz Kada, esses resultados são compatíveis com as estimativas dos coeficientes de determinação (R^2), pois, esses valores, quando situados acima de 60%, indicam ajustamento à regressão devido ao componente genético em detrimento do ambiental e evidenciam alta

previsibilidade de comportamentos dos genótipos (VENKOVSKY e BARRIGA, 1992). Esses resultados permitem inferir que as estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade relacionadas aos caracteres de resistência do tomateiro, quando medidas através da Taxa de Infecção e Índice de Sanidade, fornecem subsídios em relação aos materiais superiores.

Em relação ao caráter PTF, observa-se que, com exceção de Yoshimatsu 4-11, as progênies avançadas do grupo Yoshimatsu foram mais produtivas do que a testemunha resistente Caraíba no Ambiente 3, não havendo diferença nos demais ambientes. O genótipo Santa Cruz Kada proporcionou a menor produtividade e as estimativas dos parâmetros QML e σ_d^2 foram significativas evidenciando menor estabilidade. O valor de β próximo a 1 nos genótipos L-1-2002 e L-2-2002, evidenciando ampla adaptação e alta previsibilidade de comportamento. Por outro lado, os genótipos L-3-2002 e L-4-2002 apresentaram $\beta < 1$ (Tabela 5). Segundo VENCovsky e BARRIGA (1992), são genótipos menos responsivos aos ambientes favoráveis, mas, também, são menos exigentes, podendo ser adequados para ambientes de qualidade inferior.

O valor elevado do coeficiente de determinação (R^2) ressalta que houve bom ajustamento dos dados, ao modelo utilizado neste trabalho. Para o caráter NTF, a média da cultivar Caraíba foi superior apenas em relação à testemunha suscetível Santa Cruz Kada e inferior aos demais genótipos avaliados. Como observado em relação ao parâmetro PTF, nos genótipos L-1-2002 e L-2-2002, também para NTF, os valores de β ficaram próximos de 1, revelando adaptação às condições de cultivo nos quatro ambientes e ambos os genótipos apresentaram $\sigma_d^2 = 0$, o que evidencia alta previsibilidade frente às oscilações ambientais, sendo considerados, portanto estáveis (Tabela 5).

Tabela 3. Análise de variância conjunta de quatro ambientes para caracteres de resistência a *Ralstonia solanacearum* e de rendimentos em frutos de genótipos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivados em solos naturalmente infestados pelo patógeno

Causa da variação	GL	Quadrados Médios			
		QR	IS	PTF	NTF
Blocos/ Ambiente	12				
Ambientes	3	1,2436**	1703,1139**	784,3059**	8,4652**
Genótipos	7	3,4037**	5215,686**	733,6335**	17,5328**
Interação G x A	21	0,2388**	361,4124**	35,7101**	0,6086**
Resíduo	84	0,0597	90,3531	8,9275	0,1522
Total	127	-	-	-	-
Médias	-	1,4336	73,7625	25,6222	4,2086
CV (%) Experimental	-	17,04	12,89	11,66	9,27

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

QR: Taxa de Infecção; IS: Índice de Sanidade; PTF: Produção Total de Frutos; NTF: Número Total de Frutos.

Tabela 4. Valores médios da resistência, expressos em Taxa de Infecção (QR) e Índice de Sanidade (IS) em tomatesiros (*Solanum lycopersicum* L.) cultivados em quatro ambientes com solos naturalmente infestados por *Ralstonia solanacearum* e estimativas de parâmetros de adaptabilidade genética e estabilidade fenotípica

Genótipos	Médias ⁽¹⁾		QML		β		s ² _d		R ²	
	QR	IS	QR	IS	QR	IS	QR	IS	QR	IS
Santa Cruz Kada	0,073 c	0,326 a	1,3351 **	2162,6768 **	0,4873 ns	0,7613 ns	0,3188 **	518,0809 **	3,98	7,88
C-38	0,007 b	0,783 b	0,2191 *	281,1854 *	1,8504 **	1,8941 **	0,0398 *	47,7081 *	78,47	80,29
Yoshimatsu 4-11	0,002 a	0,937 c	0,1296 ns	188,8468 ns	0,8577 ns	0,8123 ns	0,0175 ns	24,6234 ns	56,95	52,73
L-1-2002	0,001 a	0,941 c	0,1117 ns	152,7724 ns	0,7892 ns	0,7436 ns	0,0130 ns	15,6048 ns	56,52	53,61
L-2-2002	0,001 a	0,961 c	0,0887 ns	120,4958 ns	0,7411 ns	0,6881 ns	0,0073 ns	7,5357 ns	59,07	55,65
L-3-2002	0,001 a	0,948 c	0,0387 ns	58,5810 ns	0,9059 ns	0,8551 ns	0,0000 ⁽ⁱ⁾ ns	0,0000 ⁽ⁱ⁾ ns	83,17	79,94
L-4-2002	0,001 a	0,962 c	0,1142 ns	159,1944 ns	0,8211 ns	0,7647 ns	0,0136 ns	17,2103 ns	57,93	53,98
Carafba	0,003 a	0,881 bc	0,1304 ns	236,1230 ns	1,5473 ns	1,4807 ns	0,0177 ns	36,4425 ns	81,07	74,78
Médias	0,011	0,842	-	-	-	-	-	-	-	-

⁽¹⁾ Dados não transformados.

QML = Quadrado Médio dos desvios de regressão linear; β = Coeficiente de regressão linear; s²_d = Variância dos desvios da regressão; R² = Coeficiente de determinação.

Nas colunas de médias os valores seguidos pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade;

Nas colunas QML e s²_d pelo teste F e na coluna β pelo teste t.

**Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5 % de probabilidade; ns: não significativo estatisticamente.

⁽ⁱ⁾ Valor calculado menor do que zero.

Tabela 5. Valores médios de rendimentos em frutos, expressos em Produção Total de Frutos (PTF) e em Número Total de Frutos (NTF) em tomateiros (*Solanum lycopersicum* L.) cultivados em quatro ambientes com solos naturalmente infestados por *Ralstonia solanacearum* e estimativas de parâmetros de adaptabilidade genética e estabilidade fenotípica

Genótipos	Médias ⁽¹⁾				QML		β		s ² _d		R ²	
	PTF	NTF	PTF	NTF	PTF	NTF	PTF	NTF	PTF	NTF	PTF	NTF
Santa Cruz Kada	154,987 a	4,898 a	76,9774 *	0,6923 *	1,1968 ns	1,9319 **	17,0126 **	0,1350 *	73,24	89,54		
C-38	755,669 b	20,496 cd	17,408 ns	1,0431 **	1,4204 **	1,3797 ns	2,1201 ns	0,2227 **	94,46	74,34		
Yoshimatsu 4-11	706,999 b	18,345 c	19,3228 ns	0,6810 *	1,3212 ns	1,2737 ns	2,5988 ns	0,1322 *	92,99	79,08		
L-1-2002	936,415 c	25,713 e	11,5130 ns	0,0120 ns	0,9548 ns	0,7763 ns	0,6464 ns	0,0000 ⁽ⁱ⁾ ns	92,09	98,76		
L-2-2002	882,527 c	23,468 de	26,0481 ns	0,4526 ns	1,0260 ns	0,9634 ns	4,2801 ns	0,0751 ns	85,59	76,49		
L-3-2002	932,192 c	25,166 e	8,5684 ns	0,1041 ns	0,4218 **	0,3616 **	0,0000 ⁽ⁱ⁾ ns	0,0000 ⁽ⁱ⁾ ns	75,33	66,59		
L-4-2002	843,216 bc	21,608 de	7,2940 ns	0,1774 ns	0,4685 **	0,5355 **	0,0000 ⁽ⁱ⁾ ns	0,0000 ⁽ⁱ⁾ ns	81,56	71,96		
Caráiba	671,839 b	11,344 b	64,5094 **	0,3530 ns	1,1905 ns	0,7779 ns	13,8955 ns	0,0049 ns	76,36	73,13		
Médias	735,480	18,879										

⁽¹⁾ Dados não transformados.

Produção Total de Frutos (PTF), expressa em g 0,5 m².

Números Total de Frutos (NTF), expresso em número de frutos 0,5 m².

QML = Quadrado Médio dos desvios de regressão linear; β = Coeficiente de regressão linear; s²_d = Variância dos desvios da regressão; R² = Coeficiente de determinação.

Nas colunas de médias os valores seguidos pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade;

Nas colunas QML e s²_d pelo teste F e na coluna β pelo teste t.

** Significativo a 1 % de probabilidade; * Significativo a 5 % de probabilidade; ns não significativo estatisticamente.

⁽ⁱ⁾ Valor calculado menor do que zero.

Pela análise dos dados de todos os ambientes presume-se que nos ambientes 1 e 3 tenham ocorrido os maiores níveis do potencial de inóculo, pois a severidade da doença, expressa por meio do parâmetro QR, foi numericamente superior em relação aos ambientes 2 e 4 (Tabela 1). Isso implica queda na produtividade das cultivares em decorrência desse fator (Tabela 2). O maior potencial de inóculo ocorrido naqueles ambientes deveu-se, provavelmente, ao histórico de uso, pois os ambientes 1 e 3 foram utilizados anteriormente para cultivo do tomateiro. Por outro lado, observando as médias em todos os ambientes fica evidente que os genótipos L-1-2002, L-2-2002, L-3-2002 e L-4-2002 produziram satisfatoriamente em ambientes com alto potencial de inóculo (Tabela 2). A capacidade de produção desses genótipos foi mais elevada, mesmo em solos infestados com *R. solanacearum*, quando comparados com a testemunha resistente Caraíba. NODA e MACHADO (1993) já haviam observado nas progênes avançadas do grupo Yoshimatsu tendências ascendentes dos níveis de resistência quando comparadas com as cultivares Santa Cruz Kada e Caraíba.

O uso de padrão suscetível e resistente nos experimentos foi eficiente para a avaliação dos níveis intermédios de resistência ao patógeno. Em ensaios implantados em solos naturalmente infestados, a presença do genótipo suscetível, no caso a cultivar Santa Cruz Kada, é fundamental para detectar a presença do patógeno.

Tanto nos ambientes de terra firme como de várzea, com histórico de cultivo com solanáceas, de maneira geral, as progênes avançadas do grupo Yoshimatsu tiveram QR, IS e produtividade semelhantes. Presume-se que esta característica se deva à capacidade desses genótipos restringirem o progresso da doença.

4. CONCLUSÕES

1. O uso do método de EBERHART e RUSSEL (1966) é eficiente na discriminação do desempenho de genótipos de tomateiro em solos infestados por *R. solanacearum*;

2. Duas progênes avançadas do cruzamento HT-16: L-1-2002 e L-2-2002 são adaptadas para o cultivo em ambientes de terra firme e várzea, outras duas: L-3-2002 e L-4-2002 são materiais estáveis, rústicos e produtivos em qualquer ambiente, apesar de pouco responsivos à melhoria ambiental, em se tratando dos caracteres produtivos;

3. As progênes avançadas do grupo Yoshimatsu L-1-2002, L-2-2002, L-3-2002 e L-4-2002

evidenciaram melhores desempenhos em relação à cultivar Yoshimatsu 4-11, para características de resistência à murcha bacteriana e rendimento de frutos, sob condições de cultivo em ambientes com solos naturalmente infestados pelo patógeno *R. solanacearum*.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. C.; GILBERT, J. C.; QUINON, V.L. Heritability of bacterial wilt resistance in tomato. *Proceedings of American Society for Horticultural Science*, v.84, p. 455-462, 1964.
- CAMPOS, G.A.; SILVEIRA, M.A.; AZEVEDO, S.M.; MALUF, W.R.; RESENDE, J.T.V. Resistência de linhagens de tomateiro à murcha bacteriana no Estado do Tocantins. *Horticultura Brasileira*, v.16, p. 1: (Resumo), 1998. n.º 046
- COUTO, F. A. A.; MIZUBUTI, A.; MATSUOKA, K.; CAMPOS, J. P. Avaliação do grau de resistência à *Pseudomonas solanacearum* de cinco cultivares de tomateiro e das progênes resultantes do cruzamento entre eles. *Revista de Olericultura*, v.XVII, p. 48-58, 1979.
- CRUZ, C. O. Programa GENES: versão Windows; Aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV; Imprensa Universitária, 2001. 648p.
- DIGAT, B.; DERIEUX, M. A study of the varietal resistance of tomato to bacterial wilt II. The practical value of F1 hybrids and their contribution to the genetic basis of resistance. In: *PROCEEDINGS OF THE ANNUAL MEETING CARIBBEAN FOOD CROPS SOCIETY*. St. Augustine, 1968, p. 85-100.
- EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, v.6, p. 36-40, 1966.
- GUALBERTO, R.; BRAZ, BANZATTO, L. T.; DAVID, A. Produtividade, adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de tomateiro sob diferentes condições de ambiente. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n. 1, p. 81-88, 2002.
- HAYWARD, A. C. Biology and epidemiology of wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. *Annual Review of Phytopathology*. v.29, p. 65-87, 1991.
- KIRÁLY, Z.; KLEMENT, Z.; SOLYMOSY, F.; VÓRÓS, J. Methods in Plant Pathology with Special Reference to Breeding for Disease Resistance. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1970. 509 p.
- KURIYAMA, T. Testing methods for breeding disease-resistant vegetables in Japan. *Japan Agriculture Research Quarterly*, v.9, p. 96-100, 1975.
- LOPES, C.A.; QUEZADO-SOARES, A.M.; MELO P.E. Differential resistance of tomato cultigens to biovars I e III of *Pseudomonas solanacearum*. *Plant Disease*, v.78, p. 1091-1094, 1994.
- MARTINS, O. M.; REIFSCHNEIDER, F.J.B.; TAKATSU, A.; PESSOA, H.B.S.V. Fonte de resistência em tomateiro à *Pseudomonas solanacearum*. *Horticultura Brasileira*, v.6, n.2, p. 17-19, 1988.

MENEZES, D. Análise Genética de um Cruzamento Dialélico em Tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill). 1998. 95 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

NODA, H. Reação da Cebola (*Allium cepa* L.) ao *Pyrenochaeta terrestris* (Hansen) Gorenz, Walker e Larson. 1981. 161 p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba.

NODA, H.; MACHADO, F. M. Progresso na seleção de progênies de tomate resistentes à murcha bacteriana através da avaliação epidemiológica da doença. Acta Amazonica, INPA, v.23, p. 107-114, 1993.

NODA, H.; MACHADO, F. M.; SILVA FILHO, D. F. Comportamento de Progênies F₁₀ de tomate do cruzamento HT-16 (Yoshimatsu) cultivadas em solos de terra firme e várzea naturalmente infestados por *Pseudomonas solanacearum*. Revista da Universidade Federal do Amazonas. Série: Ciências Agrárias, v.4/5, p. 13-23, 1995/1996.

NODA, H.; PAHLEN, A. VON DER; SILVA FILHO, D. F. Avaliação da resistência de progênies de tomate à murcha bacteriana em solo naturalmente infestado por *Pseudomonas solanacearum* (SMITH) DOWS. Revista Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, v.IX,1, p. 55-66, 1986.

NODA, H.; PAIVA, W. O.; SILVA FILHO, D. F.; MACHADO, F. M. Melhoramento de Hortaliças Convencionais no Trópico Úmido Brasileiro. In: NODA, H.; SOUZA, L. A.; FONSECA, O. J. M. (Ed.). Duas décadas de contribuição do Inpa à pesquisa agrônômica no trópico úmido. Manaus: INPA, 1997. p. 60-87.

OLIVEIRA, W.F.; GIORDANO, L. B.; LOPES, C. A. Herança da resistência em tomateiro à murcha-bacteriana. Fitopatologia Brasileira, v.24, p. 49-53, 1998.

PLANK, J.E. Plant Disease: Epidemic and Control. New York: Academic Press, 1963, 349 p.

RUSSEL, G. E. Plant Breeding for Pest and Disease Resistance. Butterworths. London and Boston. 1978. 485 p.

STEEL, R.G.D; TORRIE, J.H. Principles and Procedures of Statistics with Special Reference to the Biological Sciences. New York: McGraw-Hill, 1960. 481 p.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética Biométrica no Fitomelhoramento. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

VILLAREAL, R. L. Tomatoes in the Tropics. Westview, Boulder. 1980. 174 p.