

Pelotas, RS / Junho, 2025

Resistência de genótipos de batata a *Phytophthora infestans*

Daiana Döring Wolter⁽¹⁾, Fernanda Quintanilha Azevedo⁽²⁾, Cesar Bauer Gomes⁽³⁾ e Arione da Silva Pereira⁽³⁾

⁽¹⁾ Estudante de pós-graduação, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS. ⁽²⁾ Analista, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. ⁽³⁾ Pesquisadores, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Resumo – O objetivo deste estudo foi caracterizar genótipos de batata quanto à resistência a isolados de *Phytophthora infestans*. Dezenove genótipos foram avaliados em condições de campo e in vitro, utilizando folíolos destacados para a severidade de isolados de *P. infestans*. Os genótipos apresentaram diferenças nos níveis de infecção entre os dois métodos de avaliação. Nos experimentos de campo, utilizando-se dois isolados, foi possível classificar os genótipos de batata em: resistentes ['Epagri Catucha' e CIP392.617-54 (testemunha resistente)]; moderadamente resistentes ('IAC Ibituaçu' e 'BRS F50' – Cecília); moderadamente suscetíveis ('BRS F63' – Camila, 'BRS Gaia', 'BRS Perola', F63-10-13A, 'BRS F183' – Potira); e suscetíveis [F37-08-01, F131-08-01, 'BRS F21' – Braschips, 'BRS Clara', 'Innovator', 'BRS Ana', 'Asterix', 'Ludmilla', CL 308 e 'Agata' (testemunha suscetível)]. No método in vitro, utilizando-se seis isolados, exceto 'Agata', CIP392.617-54 e 'Epagri Catucha', todos os genótipos apresentaram diferentes níveis de resistência aos isolados. 'Asterix', F131-08-01, F37-08-01 e 'Agata' apresentaram os maiores percentuais de severidade para os isolados.

Termos para indexação: *Phytophthora infestans*, *Solanum tuberosum*, requeima, melhoramento genético.

Potato genotype resistance to *Phytophthora infestans*

Abstract – The aim of this study was to characterize potato genotypes according to resistance to *Phytophthora infestans* isolates. Nineteen potato genotypes were evaluated under field and in vitro conditions using detached leaflets for the severity of *P. infestans* isolates. Genotypes showed differences in infection levels between the two evaluation methods. In the field experiments, using two isolates, it was possible to classify the potato genotypes as: resistant ['Epagri Catucha' and CIP392.617-54 (resistant check).]; moderately resistant ('IAC Ibituaçu' and 'BRS F50' – Cecília); moderately susceptible ('BRS F63' – Camila, 'BRS Gaia', 'BRS Pérola', F63-10-13A, 'BRS F183' – Potira and F37-08-01; and susceptible [F131-08-01, 'BRS F21' – Braschips, 'BRS Clara', 'Innovator', 'BRS Ana', 'Asterix',

Embrapa Clima Temperado
BR-392, Km 78, Caixa Postal 403
96010-971 Pelotas, RS
www.embrapa.br/clima-temperado
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Ana Cristina Richter Krolow

Secretária-executiva

Rosângela Costa Alves

Membros

Newton Alex Mayer, Bárbara

Chevallier Cosenza, Cláudia

Antunez Arrieche e Sonia

Desimon

Edição executiva

Bárbara Chevallier Cosenza

Revisão de texto

Bárbara Chevallier Cosenza

Normalização bibliográfica

Cláudia Antunez Arrieche

(CRB-10/1594)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Nathália Santos Fick

Publicação digital: PDF

Todos os direitos
reservados à Embrapa.

'Ludmilla', CL 308 and 'Agata' (susceptible check)]. In the in vitro method, using six isolates, excepting 'Agata', CIP392.617-54 and 'Epagri Catucha', all genotypes showed different resistance levels to the isolates. 'Asterix', F131-08-01, F37-08-01 and 'Agata' showed the highest severity percentages for the isolates.

Index terms: *Phytophthora infestans*, *Solanum tuberosum*, late blight, breeding.

Introdução

A requeima é uma das doenças mais devastadoras para as culturas de batata e tomate. O organismo causador, o oomiceto *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary, que por quase 150 anos foi o precursor da "fome irlandesa", continua sendo uma das principais doenças da batata no mundo (Whisson et al., 2016). Mesmo tendo sido objeto de muitos estudos, o patógeno *P. infestans* ainda é uma das doenças de plantas economicamente mais significativas, com um custo total para esforços de controle e perdas na produção agrícola mundial estimado em mais de US\$ 3 bilhões por ano (Fry, 2008). A sua ocorrência depende da interação entre o patógeno, o hospedeiro e o ambiente (Zadoks; Schein, 1979). No Brasil, pode ocorrer em todas as regiões onde a batata é cultivada. As condições que favorecem o desenvolvimento do patógeno são umidade elevada e temperaturas entre 12 e 20 °C (Fohner et al., 1984). Entretanto, a maioria das cultivares de batata disponíveis no mercado brasileiro são suscetíveis ou apresentam resistência limitada à requeima (Fry, 2008; Pereira et al., 2012).

Para obtenção de genótipos resistentes, a estratégia de melhoramento para desenvolver cultivares com resistência parcial ou mesmo completa é a seleção para resistência quantitativa, utilizando inoculação artificial de raças de *P. infestans* compatíveis com os genes R presentes no germoplasma local, ou através da geração de germoplasma livre de genes R, o que permite a seleção para resistência quantitativa com a utilização de qualquer raça do patógeno (Stewart et al., 2003).

A resistência qualitativa, monogênica, conferida pelos genes R, é facilmente superada pela ocorrência de novos isolados do patógeno, o que a torna ineficiente em uso contínuo, devido a alterações na população do patógeno (Wastie, 1991). O tipo de resistência viável e desejada é a horizontal (resistência parcial não específica) a qual, sendo controlada por genes menores e com pequenos efeitos cumulativos, confere uma resistência mais durável

e estável na proteção de plantas (Landeo, 2002; Akino et al., 2014).

Para poder utilizar as fontes de resistência a *P. infestans* existentes no germoplasma de um programa de melhoramento genético de batata, é necessária a caracterização dos genótipos com resistência. Testes preliminares indicaram que a utilização de folhas destacadas de plantas hospedeiras para a inoculação de patógenos pode ser uma alternativa viável (Bigirimana; Höfte, 2001). Nesse sentido, tem sido proposto o teste de folhas destacadas, como complemento aos experimentos de campo, para avaliação da resistência ao patógeno, favorecendo a avaliação de um grande número de genótipos (Dorrance; Inglis, 1997; Colon et al., 2004). Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar e caracterizar 19 genótipos de batata quanto à resistência a isolados de *P. infestans* de diferentes complexidades.

Material e métodos

Dezenove genótipos de batata desenvolvidos pelo programa de melhoramento genético da Embrapa e por outros programas foram avaliados quanto à resistência a *P. infestans* em condições de campo e testes in vitro. Nos testes de campo, os genótipos foram testados quanto à resistência a dois isolados de complexidade diferente, em dois anos de avaliação. No segundo método, os genótipos foram avaliados quanto à reação a cinco diferentes isolados do patógeno, em bioteste realizado in vitro.

Genótipos de batata

Os genótipos de batata avaliados (Tabela 1) foram as cultivares Asterix, BRS Ana, BRS F63 – Camila, BRS Clara, Epagri Catucha, Innovator, IAC Ibituaçu, BRS Pérola, Ludmilla, BRS F21 – Braschips, BRS F183 – Potira, BRS Gaia, BRS F50 – Cecília, BRS F21 – Braschips, os clones avançados, selecionados no programa de melhoramento genético de batata da Embrapa, F131-08-06, F37-08-01 e F63-10-13A, e o clone CL 308, selecionado pela Epagri. Como testemunha de suscetibilidade utilizou-se a cultivar Agata, e como testemunha de resistência, o clone CIP392.617.54 (Gomes, 2009), oriundo de uma população de clones (B3) originados no Centro Internacional de la Papa (CIP; Centro Internacional da Batata, em português), que foi desenvolvido com o objetivo de promover resistência a *P. infestans*, sem conter genes de efeito maior (genes R) (Landeo, 1995).

Tabela 1. Genótipos de batata avaliados quanto à resistência a *Phytophthora infestans* em condições de campo e in vitro.

Genótipo	Origem	Genealogia
BRS Ana	Brasil – Embrapa	C1750-15-95 x Asterix
BRS Clara	Brasil – Embrapa	White Lady x Epagri Catucha
BRS F63 – Camila	Brasil – Embrapa	C1750-15-95 x C1883-22-97
BRS Pérola	Brasil – Embrapa	2CRI1149-1-78 x Granola
BRS F21 – Braschips	Brasil – Embrapa	White Lady x C1750-15-95
F37-08-01	Brasil – Embrapa	C1787-14-96 x Amorosa
BRS F50 – Cecília	Brasil – Embrapa	Rioja x C1316-8-82
BRS Gaia	Brasil – Embrapa	Rioja x C1750-15-95
F63-10-13A	Brasil – Embrapa	Rioja x C1750-15-95
F131-08-06	Brasil – Embrapa	BRS Ana x Caesar
BRS F183 – Potira	Brasil – Embrapa	BRS Ana x C2372-02-02
Epagri Catucha	Brasil – Epagri	CRI1149-1-78 x C999-263-70
CL 308	Brasil – Embrapa	White Lady x Monalisa
IAC Ibituaçu	Brasil – IAC	IAC Jacy x G.52.64(1)
CIP 392.617-54	Peru – CIP	387002.11 x 387170.9
Agata	Holanda – Svalof Weibull BV	BM 52 72 x Sirco
Asterix	Holanda – Ropta-ZPC	Cardinal x SVP VE 70 9
Innovator	Holanda – HZPC	Shepody x RZ-84-2580
Ludmilla	Alemanha – Saka-Ragis	Diana x Innovator

Isolados e produção de inóculo

Foram utilizados sete isolados de *P. infestans* de batata (Tabela 2), provenientes da Coleção de Microrganismos Fitopatogênicos de Interesse Agrônomico (Cofia) do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Clima Temperado. Os isolados foram obtidos originalmente de folhas de batata naturalmente infectadas de cultivos comerciais no Sul do Brasil.

Tabela 2. Isolados de *Phytophthora infestans*, respectivos grupos de compatibilidade e respectiva raça, contendo genes de virulência.

Isolado	Grupo de compatibilidade	Raça – gene de virulência
SJA-12	A1– autofértil	0
BJ-04	A2	7
3 SVM	–	3,7,11
CLAR2	A2	1,3,7,10,11

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Isolado	Grupo de compatibilidade	Raça – gene de virulência
PI151	A2	1,3,4,7,8,10,11
PEL-04	–	1,2,3,4,6,7,8,9,10,11
Campo 2	A2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 11

Traço (–): Informação não aplicável.

O inóculo foi preparado em placas de Petri, contendo micélios e esporângios de cada isolado de *P. infestans*, colhido 25 dias antes e mantido em câmara de crescimento a 17 °C e fotoperíodo de 16 horas. Para o preparo das respectivas suspensões, as placas de Petri foram lavadas com água destilada para retirada dos esporângios, e posteriormente ajustadas para conter 104 esporângios do oomiceto por mililitro de cada isolado, para cada teste.

Reação de genótipos de batata a isolados de *P. infestans* em condições de campo

Os experimentos foram realizados no campo experimental da sede da Embrapa Clima Temperado (Pelotas, RS, latitude 31° 42'S, longitude 52° 24'O e altitude de 57 m). Dezenove genótipos de batata foram avaliados quanto à reação a dois isolados de *P. infestans*. No experimento de outono de 2016 foi utilizado o isolado Campo 2 (Tabela 2) e no experimento de outono de 2017 o isolado Pi151.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com três repetições de uma linha contendo oito plantas, espaçadas 0,75 m entre linhas e 0,30 m dentro da linha.

As inoculações das plantas foram realizadas aos 38 dias após a emergência das plantas no outono de 2016, e aos 30 dias após a emergência no outono de 2017. A antecipação dessa última ocorreu para evitar infecção das plantas por possíveis isolados presentes no ambiente, contanto que as condições ambientais fossem favoráveis, desde a data da inoculação. Na suspensão do oomiceto inoculado nas plantas foi adicionada uma solução do espalhador adesivo polissorbato 80 0,1%, aplicado com pulverizador costal com capacidade de 5 L.

A severidade da requeima foi avaliada de acordo com a metodologia proposta por James (1971), utilizando uma escala de severidade de 1 a 100% de infecção por *P. infestans*. A primeira avaliação ocorreu sete dias após a inoculação, repetindo-se a cada três dias até que um dos genótipos apresentasse 100% de severidade. Com os dados de severidade, foi calculada a área sob a curva de progresso da doença (AACPD) para cada genótipo, utilizando o programa GW Basic (Maffia, 1986).

Os dados da AACPD foram submetidos à análise de variância e ao teste de agrupamento de Scott-Knott, no nível de 5% de probabilidade de erro, utilizando o pacote estatístico Genes.

Avaliação in vitro da severidade da ferrugem em folíolos destacados da batata

O experimento iniciou com o plantio de tubérculos de 19 genótipos em vasos contendo 2 kg de substrato comercial, suplementado com adubação NPK (formulação 5-30-10). Após 40 dias do plantio, foram destacados folíolos do terço médio das plantas e livres de qualquer dano de cada genótipo de batata, sendo selecionadas entre os genótipos amostras de folíolos de tamanho semelhante.

Posteriormente, os folíolos foram lavados cuidadosamente com água estéril e colocados em bandejas plásticas (46 x 30 x 10 cm), contendo papel Germitest umedecido com água estéril, utilizando

três repetições (folíolos/tratamento), conforme Colon et al. (2004). Amostras de folíolos foram inoculadas com os isolados de *P. infestans* SJA-12, BJ-04, 3 SVM, CLAR2 e PI151.

A suspensão do inóculo foi preparada separadamente para os cinco isolados e ajustada à concentração de 104 mL de esporângios. Os folíolos dos 19 genótipos de batata foram inoculados com os isolados do patógeno. A inoculação foi realizada na face abaxial de um lado da nervura central, com 20 µL da suspensão; em seguida, cada bandeja foi vedada com filme plástico transparente, e incubada em BOD (Demanda Bioquímica de Oxigênio, em português) com fotoperíodo de 16 horas e temperatura de 17 °C, por seis dias. Os folíolos destacados foram sobrepostos em papel Germitest umedecido, com o inóculo obtendo umidade suficiente para se estabelecer. Sabe-se que a umidade é extremamente importante para o desenvolvimento de *P. infestans* e, geralmente, o ar saturado ou a umidade das folhas são necessários para a germinação dos esporângios e para a mobilidade do zoósporo (Fry et al., 2016).

Assim como após a infecção, o micélio do oomiceto fica relativamente protegido da baixa umidade, mas é necessária alta umidade ambiental, quase saturação, para a formação dos esporângios (Harrison, 1992), que foi obtida por meio do selamento das bandejas.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial (19 x 5), com três repetições. A avaliação da doença nos folíolos foi realizada em percentual de severidade da área infectada (0,1 a 100%), conforme protocolo da EuroBlight (Colon, 2004), atribuindo valores intermediários de severidade.

Os valores de severidade foram transformados em um arco de raiz $x/100 \text{ sen}$, e submetidos à análise de variância e ao teste de agrupamento de médias de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o pacote estatístico Genes.

Resultados e discussão

Durante os experimentos de campo, as condições meteorológicas entre a inoculação e as avaliações de severidade apresentaram temperaturas médias do ar de 15,56 e 14,53 °C, precipitação pluviométrica de 61,0 e 69,2 mm e umidade relativa do ar de 85,66 e 85,42%, em 2016 e 2017, respectivamente. Essas condições meteorológicas mostram que o patógeno teve condição favorável para a infecção (Mizubuti; Fry, 2006), explicando o rápido estabelecimento e desenvolvimento, desde a

inoculação até a severidade de 100% da doença de um dos genótipos estudados.

A análise de variância dos dados de percentual de severidade final da doença (FDS) e área sob a curva de progresso da doença (AACPD) dos dois experimentos realizados em campo mostrou diferenças significativas, ao nível de 5% de

probabilidade de erro, entre genótipos. Em relação à AACPD, no experimento de 2016, inoculado com o isolado Campo 2, os genótipos formaram quatro grupos distintos, enquanto no experimento de 2017, em que foi utilizado o inóculo Pi151, os genótipos constituíram três grupos (Tabela 3).

Tabela 3. Médias de caracteres de severidade final (FDS) e área sob a curva de progresso da doença (AACPD) e reação a *Phytophthora infestans* de 19 genótipos de batata avaliados em campo, nas safras de outono 2016 e de outono 2017.

Genótipo	FDS (%)				AACPD				Reação ⁽¹⁾	
	2016		2017		2016		2017		2016	2017
CL 308	100,00	a	99,00	a	485,50	a	491,50	a	S	S
Ludmilla	96,66	a	100,00	a	468,50	a	535,00	a	S	S
Asterix	96,66	a	100,00	a	462,50	a	462,00	a	S	S
Agata	95,00	a	100,00	a	491,00	a	520,50	a	S	S
BRS Ana	92,33	a	98,33	a	466,50	a	389,50	a	S	S
Innovator	91,66	a	100,00	a	548,25	a	481,00	a	S	S
BRS Clara	91,00	a	93,33	a	442,00	a	380,00	a	S	S
F37-08-01	89,33	a	90,66	b	426,50	a	294,00	b	S	MS
BRS F21 – Braschips	87,66	a	98,00	a	407,00	b	379,00	a	S	S
F131-08-06	83,33	b	87,66	b	366,00	b	326,00	a	MS	S
BRS F183 – Potira	81,00	b	97,33	a	364,50	b	406,50	a	MS	S
F63-10-13A	78,33	b	76,66	b	365,50	b	233,50	b	MS	MS
BRS Pérola	76,66	b	89,66	b	344,50	b	258,00	b	MS	MS
BRS Gaia	71,66	b	97,33	a	283,25	b	508,00	a	MS	S
BRS F63 – Camila	60,00	b	50,00	c	313,50	b	221,50	b	MS	MS
IAC Ibituaçu	36,66	c	23,33	e	174,50	c	92,50	c	MR	MR
BRS F50 – Cecília	30,00	c	36,66	d	154,50	c	131,00	c	MR	MR
Epagri Catucha	5,00	d	21,33	e	20,50	d	61,00	c	R	MR
CIP392.617-54	0,00	d	0,00	f	0,00	d	0,00	c	R	MR
CV ⁽²⁾ (%)	16,40		10,02		26,20		30,67		–	–

⁽¹⁾ S = suscetível; MS = moderadamente suscetível; MR = moderadamente resistente; R = resistente.

Traço (–): Informação não aplicável.

⁽²⁾ CV = coeficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo, segundo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade de erro.

Quanto ao percentual de FDS, no experimento realizado em 2016, os genótipos foram separados em quatro grupos, e em relação à reação à requeima, foram classificados em: suscetível, moderadamente suscetível, moderadamente resistente e resistente. O grupo resistente foi composto pela cultivar Epagri Catucha e pelo clone CIP392.617-54,

testemunha resistente, cujos valores foram 5,00 e 20,50%, de FDS e AACPD, respectivamente.

O grupo de reação de resistência moderada foi composto pelo cultivar BRS F50 – Cecília e pela cultivar IAC Ibituaçu, que apresentaram percentuais de FDS de 30,0 e 36,6%, e AACPD de 154,5 e 174,5; respectivamente.

O conjunto de genótipos com reação moderadamente suscetível foi formado pelas cultivares BRS F63 – Camila, BRS Pérola, BRS Gaia e BRS F183 – Potira, e pelos clones F63-10-13A e F131-08-06, com valores de FDS, variando de 60,00 a 83,33%, e AACPD de 283,25 a 366,00%.

Os genótipos ‘BRS F21’ – Braschips, F37-08-01, ‘BRS Clara’, ‘Innovator’, ‘BRS Ana’, ‘Asterix’, ‘Ludmilla’ e CL 308 apresentaram os maiores FDS, variando de 87,66 a 100%, e AACPD de 407,00 para 548,25%. Esses genótipos foram agrupados juntamente com a testemunha suscetível ‘Agata’, sendo portanto caracterizados como suscetíveis.

No experimento realizado no outono de 2017, inoculado com o isolado Pi151, com base nos valores de FDS e AACPD, os genótipos também foram classificados em: suscetível, moderadamente suscetível, moderadamente resistente e resistente. No grupo dos genótipos resistentes foi encontrado apenas o clone CIP 392.617-54 (testemunha resistente). O grupo moderadamente resistente foi formado pelas cultivares Epagri Catucha, IAC Ibituaçu e BRS F50 – Cecília, que apresentaram FDS de 21,00; 33,00; 23,33; e 36,66%, e AACPD de 61,0; 92,5; e 131,0%, respectivamente.

O grupo moderadamente suscetível foi composto por ‘BRS F63’ – Camila, ‘BRS Pérola’, F63-10-13A e F37-08-01, que apresentaram FDS de 50,00; 89,66; 76,66; e 90,66%, e AACPD de 221,5; 258,0; 233,5; e 294,0%, respectivamente.

Os clones F37-08-01 e F131-08-06, e as cultivares BRS F183 – Potira e BRS Gaia apresentaram interação entre os experimentos. Os demais genótipos tiveram o mesmo comportamento e foram classificados de forma semelhante, quanto à reação ao patógeno, em ambos os experimentos.

Em relação ao experimento realizado com a metodologia de teste in vitro, a análise de variância em esquema fatorial (19 genótipos x 5 isolados) dos dados da avaliação da severidade da requeima em folíolos destacados das 19 plantas de batata. Os genótipos demonstraram interação significativa entre os fatores, genótipos de batata e isolados de *P. infestans*, ao nível de 5% de probabilidade de erro. A cultivar Agata e o clone CIP392.617-54, utilizados como testemunhas suscetível e resistência à requeima, respectivamente, foram alocados em grupos diferentes, o que confirma a diferença entre a severidade da doença dos dois genótipos. Além disso, esses genótipos, juntamente com ‘Epagri Catucha’, foram os únicos que não diferiram significativamente em severidade entre os isolados testados.

Os cinco isolados de *P. infestans* utilizados no teste in vitro apresentaram diferenças, variando em complexidade e agressividade. Os isolados que, em geral, apresentaram maior agressividade para a maioria dos genótipos foram 3 SVM (raça 0, 3, 7, 11), seguido de Pel-4 (raça 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11), enquanto CLAR-02 (0,1,3,7,10,11) foi o isolado que causou os menores percentuais de severidade aos genótipos (Tabela 4).

Tabela 4. Médias de severidade in vitro (%) de 6 isolados de *Phytophthora infestans* em folíolos de 19 genótipos de batata.

Genótipo	Isolado (Raças – genes de virulência)														
	BJ04 (0,7)			CLAR-02 (0,1,3,7,10,11)			PEL-4 (0,1,2,3,4,6,7,8,9,10,11)			3 SVM (0,3,7,11)			SJA-12 (0)		
Agata	99,33	A ⁽¹⁾	a ⁽²⁾	83,33	A	a	100,00	A	a	100,00	A	a	99,33	A	a
Asterix	92,66	A	a	66,66	A	a	80,00	A	a	100,00	A	a	92,67	A	a
Innovator	85,00	A	a	40,00	B	b	94,66	A	a	100,00	A	a	85,00	A	a
F131-08-06	83,33	A	a	63,33	A	a	96,66	A	a	80,00	A	a	100,00	A	a
IAC Ibituaçu	83,33	A	a	6,66	C	d	55,00	B	a	60,00	B	a	100,00	A	a
BRS F183 – Potira	83,33	A	a	0,00	B	d	82,66	A	a	75,00	A	a	55,00	A	b
F37-08-01	80,00	A	a	60,00	A	a	90,00	A	a	71,66	A	a	80,00	A	a
BRS F63 – Camila	71,66	A	a	31,66	B	b	23,33	B	b	98,00	A	b	71,66	A	a
BRS Ana	70,00	A	a	15,33	C	a	91,66	A	a	100,00	A	a	70,00	A	a
CI 308	60,00	B	b	70,00	A	a	94,33	A	a	98,33	A	a	38,33	B	b
BRS Pérola	55,00	A	b	46,66	A	b	63,33	A	a	90,00	A	a	53,33	A	b

Continua...

Tabela 4. Continuação.

Genótipo	Isolado (Raças – genes de virulência)													
	BJ04 (0,7)			CLAR-02 (0,1,3,7,10,11)			PEL-4 (0,1,2,3,4,6,7,8,9,10,11)			3 SVM (0,3,7,11)			SJA-12 (0)	
BRS F50 – Cecília	50,00	A	b	21,66	B	c	28,33	B	b	60,00	A	a	50,00	A b
Ludmilla	46,66	B	b	36,66	B	b	96,00	A	a	92,66	A	a	46,66	B b
F63-10-13A	46,66	A	b	0,00	C	d	83,33	A	a	75,00	A	a	46,66	A b
Epagri Catucha	40,00	A	b	66,66	A	a	80,00	A	a	73,33	A	a	40,00	A b
BRS Gaia	3,33	B	c	15,66	B	c	30,33	B	b	60,00	A	a	3,33	B c
BRS Clara	0,00	B	c	0,00	B	d	89,33	A	a	53,33	A	a	0,00	B c
BRS F21 – Braschips	0,00	B	c	0,00	B	d	83,33	A	a	83,33	A	a	0,00	B c
CIP392.617-54	0,00	A	c	0,00	A	d	20,00	A	b	0,00	A	b	0,00	A c
CV ⁽³⁾ (%)	19,82			27,45			15,93			14,74			22,05	

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal pertencem ao mesmo grupo, segundo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical pertencem ao mesmo grupo, segundo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

⁽³⁾ CV = coeficiente de variação.

Embora a maioria dos genótipos tenha apresentado reações diferentes aos isolados, 'Asterix', F131-08-01, F37-08-01 e 'Agata', testemunha suscetível, foram os materiais que apresentaram maiores percentuais de severidade para os isolados testados. A testemunha resistente, CIP392.617-54, apresentou os menores percentuais de severidade em relação aos seis isolados, variando de 0 a 20%.

Ainda em relação aos genótipos com menores percentuais de severidade, 'BRS Clara' e 'BRS F21' – Braschips foram agrupados com CIP392.617-54 contra inoculação com os isolados Bj-04 (raça 7), Clar-2 (raça 1, 3, 7, 10, 11) e Sja-12 (corrida 0); 'BRS Gaia' com a testemunha resistente, CIP392.617-54 contra os isolados Bj-04, Pel-4, Pi151 e Sja-12; e 'BRS F50' – Cecília com a testemunha resistente, CIP392.617-54, na interação com isolados Clar-2, Pel-4 (0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10 e 11) e Cri-02 (corridas 1 e 11). Para os demais genótipos foram observados menores percentuais de severidade, com isolados de menor número de raças.

Analisando-se as reações dos genótipos inoculados com a raça 0, os menores percentuais de severidade foram observados nos genótipos 'BRS Gaia', 'BRS F21' – Braschips e CIP392.617-54, e na cultivar BRS Clara, que em geral apresentou menores percentuais de severidade aos isolados utilizados no estudo.

A doença da requeima é o resultado de uma interação complexa do clone de batata, raças de *P. infestans* e condições ambientais, portanto há

uma reação diferencial do hospedeiro e do patógeno ao ambiente (Yarwood, 1962), o que pode causar algumas vezes resultados inesperados. Porém, apesar deste estudo utilizar diferentes isolados de *P. infestans*, os resultados mostram a mesma tendência de suscetibilidade e resistência entre os genótipos, nos dois experimentos realizados em campo.

A resistência de campo apresentada pela cultivar BRS F63 – Camila é uma informação importante para a cadeia produtiva da batata. Isso porque essa cultivar apresenta alto potencial produtivo de tubérculos comerciais, qualidade de tubérculo, extrema resistência ao vírus Y da batata (PVY) (Pereira et al., 2015), sendo também menos vulnerável ao ataque da requeima do que as principais cultivares utilizadas no País.

Embora 'BRS Clara' tenha se comportado como suscetível aos dois isolados testados, há alguns anos, durante seu desenvolvimento pelo programa de melhoramento genético da batata da Embrapa e validação ao longo da cadeia produtiva, essa cultivar apresentou resistência moderada a alta à requeima (Pereira et al., 2013). Esse desempenho pode ser devido ao fato de 'BRS Clara' apresentar resistência quantitativa em conjunto com resistência qualitativa. Assim, os genes R de resistência qualitativa não conferiram proteção completa ao isolado do complexo *P. infestans* utilizado neste estudo, que possui diversos genes de virulência. Logo, a resistência quantitativa e o efeito residual dos genes R

proporcionam baixo índice de doença ao cultivo, o que não ocorreu em ambos os experimentos, indicando a superação da resistência pelo isolado utilizado (Stewart et al., 2003).

Isso denota a importância de se buscar novos genótipos com resistência duradoura e quantitativa, uma vez que esse tipo de resistência se caracteriza por ser mais difícil de ser superada pelo patógeno.

Nesse sentido, um bom exemplo é a estratégia adotada pelo CIP, que utiliza genitores livres de genes R como estratégia para o desenvolvimento de genótipos resistentes à requeima (Landeo, 2002), visando genótipos com resistência quantitativa.

A cultivar IAC Ibituaçu apresentou resistência moderada, não confirmando o alto nível de resistência relatado anteriormente (Duarte et al., 2012), apesar de ser indicada para o sistema de produção orgânico (Rossi et al., 2011).

As cultivares Ágata e Asterix, que são as principais cultivares utilizadas no País, mostraram-se suscetíveis à requeima, o que denota o cenário atual dos produtores de batata, que necessitam de uso intenso de fungicidas para obter o controle da requeima, e manter níveis satisfatórios de produtividade.

Em relação ao teste in vitro, dos 19 genótipos avaliados, 'BRS F21' – Braschips e 'BRS Clara' apresentaram reações que sugerem a presença de um gene R maior, característico de resistência vertical, mas que também pode ser associada à resistência quantitativa. As cultivares BRS F21 – Braschips e BRS Clara têm como genitor comum a cultivar White Lady, da qual provavelmente devem ter herdado o gene R, que confere resistência qualitativa.

A cultivar Epagri Catucha apresentou bom nível de resistência quantitativa e ausência do gene R, pois permaneceu com baixos níveis de doença, em relação às diferentes raças dos isolados, demonstrando ter uma resistência mais estável, derivada do aumento de genes de menor ornamentação, que apresentam efeitos contínuos e cumulativos (Landeo, 2002).

Dados das cultivares BRS F50 – Cecília e BRS Gaia sugerem a presença de genes menores, característicos de resistência quantitativa.

O isolado BJ-04 possui apenas a raça 0, o que indica a possibilidade do genótipo apresentar em sua constituição a presença de algum gene R de *Solanum demissum* (Landeo et al., 1995), dentre as reações apresentadas pelos genótipos; quando inoculados com esse isolado, apenas 'BRS Clara' e 'BRS F21' – Braschips não apresentaram infecção. Isso indica a presença do gene R, resistência qualitativa, pois essa raça do patógeno é incapaz de infectar um genótipo de batata que possua qualquer

gene R de *S. demissum* (Landeo et al., 1995). Outro genótipo que não apresentou reação à doença foi o clone CIP392.617-54, por ser altamente resistente.

Os cinco isolados de *P. infestans* utilizados no teste in vitro apresentam diferenças, variando em complexidade e agressividade, conforme demonstrado neste estudo. Além dos elementos ambientais que influenciam o desenvolvimento da doença, a relação patógeno-hospedeiro define o estabelecimento da doença na planta (De Wolf; Isard, 2007).

Embora as condições dos testes de campo sejam semelhantes às encontradas nas lavouras comerciais, os testes de laboratório são uma importante ferramenta disponível nos programas de melhoramento, para entender as interações entre planta e patógeno, auxiliando na rejeição de genótipos suscetíveis, e assim minimizando os testes necessários para a correta seleção de materiais resistentes, posteriormente (Michalska et al., 2011).

Sabe-se que diferentes informações são obtidas em testes de laboratório e de campo. Entretanto, testes de laboratório podem auxiliar o melhorista a avaliar populações em gerações iniciais de seleção (Stewart et al., 1983; Dorrance; Inglis, 1997). No entanto, não se pode dispensar testes de campo, necessários para uma correta seleção de clones resistentes, os quais deveriam ser testes complementares em programas de melhoramento genético cujos objetivos incluam a resistência a patógenos.

Conclusões

Os genótipos estudados apresentam diferentes níveis de resistência ao oomiceto *Phytophthora infestans*. Em condições de campo, 'Epagri Catucha' e CIP392.617-54 (testemunha resistente) são resistentes à requeima; 'IAC Ibituaçu' e 'BRS F50' – Cecília são moderadamente resistentes; 'BRS F63' – Camila, 'BRS Gaia', 'BRS Pérola', F63-10-13A, 'BRS F183' – Potira e F37-08-01 são moderadamente suscetíveis; F131-08-01, 'BRS F21' – Braschips, 'BRS Clara', 'Innovator', 'BRS Ana', 'Asterix', 'Ludmilla', CL 308 e 'Agata' (testemunha suscetível) são suscetíveis. Em condições de teste in vitro, à exceção de 'Agata', CIP392.617-54 e 'Epagri Catucha', os genótipos apresentam reações diferentes aos diferentes isolados.

'Epagri Catucha' apresenta adequado nível de resistência quantitativa e ausência do gene R; 'BRS F50' – Cecília e 'BRS Gaia' contêm genes menores de resistência; 'BRS F21' – Braschips e 'BRS Clara' portam o gene R, mas também podem conter genes menores de resistência.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Embrapa, pela infraestrutura e apoio necessários para a realização deste estudo, e à Capes, pelo auxílio financeiro à primeira autora.

Referências

- AKINO, S.; TAKEMOTO, D.; HOSAKA, K. *Phytophthora infestans*: a review of past and current studies on potato late blight. **Journal of General Plant Pathology**, v. 80, n. 1, p. 24-37, 2014.
- BIGIRIMANA, J.; HÖFTE, M. Bean anthracnose: inoculation methods and influence of plant stage on resistance of *Phaseolus vulgaris* cultivars. **Journal of Phytopathology**, v. 149, n. 7-8, p. 403-408, 2001.
- COLON, L.; NIELSEN, B. J.; DARSOW, U. **Field test for foliage blight resistance**. Lelystad: Euroblight, 2004. 3 p. (Euroblight Protocol, version 1.2, 4). Disponível em: https://agro.au.dk/fileadmin/Field_Test_Foliar_Blight_revised.pdf. Acesso em: 18 jun. 2020.
- DE WOLF, E. D.; ISARD, S. A. Disease cycle approach to plant disease prediction. **Annual Review of Phytopathology**, Dublin, v. 45, n. 1, p. 203-220, 2007.
- DORRANCE, A. E.; INGLIS, D. A. Assessment of greenhouse and laboratory screening methods for evaluating potato foliage for resistance to late blight. **Plant Disease**, v. 81, p. 1206-1213, 1997.
- DUARTE, H. S. S.; ZAMBOLIM, L.; VALE, F. R.; PAUL, P. A.; PADUA, J. G.; JÚNIOR, J. I. R.; JUNIOR, A. F. N.; ROSADO, A. W. C. The field resistance of potato cultivars to foliar late blight and its relationship with foliage maturity type and skin type in Brazil. **Australasian Plant Pathology**, v. 41, n. 2, p. 139-155, 2012.
- FOHNER, G. R.; FRY, W. E.; WHITE, G. B. Computer simulation raises question about timing protecting fungicide application frequency according to potato late blight forecast. **Phytopathology**, v. 74, p. 1145-1147, 1984.
- FRY, W. Review: plant diseases that changed the world. *Phytophthora infestans*: the plant (and *R* gene) destroyer. **Molecular Plant Pathology**, v. 9, n. 3, p. 385-402, 2008.
- FRY, W. E.; BIRCH, P. R. J.; JUDELSON, H. S.; GRÜNWALD, N. J.; DANIES, G.; EVERTS, K. L.; GEVENS, A. J.; GUGINO, B. K.; JOHNSON, D. A.; JOHNSON, S. B.; MCGRATH, M. T.; MYERS, K. L.; RISTAINO, J. B.; ROBERTS, P. D.; SECOR, G.; SMART, C. D. Five reasons to consider *Phytophthora infestans* a reemerging pathogen. **Phytopathology**, v. 105, n. 7, p. 966-981, 2016.
- GOMES, C. B.; PEREIRA, A. da S.; STOCKER, C. M.; BOSENBECKER, V. K. **Reação de genótipos de batata à requeima (*Phytophthora infestans*)**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 16 p. (Embrapa Clima Temperado, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 83).
- HARRISON, J. G. Effects of the aerial environment of late blight of potato foliage: a review. **Plant Pathology**, v. 41, n. 4, p. 384-416, 1992.
- JAMES, W. C. **A manual of disease assessment keys for plant diseases**. Ottawa: Canada Department of Agriculture, 1971. 74 p. (Canada Department of Agriculture. Publication, 1458).
- LANDEO, J. A.; GASTELO, M.; PINEDO, H.; FLORES, F. Breeding for horizontal resistance to late blight in potato free of *R* genes. In: DOWLEY E. J.; BANNON, E.; COOKE, L. R.; KEANE, T.; O'SULLIVAN, E. (ed.). **Phytophthora infestans 150**. Dublin: Boole Press, 1995. p. 268-274.
- LANDEO, J. A. **Breeding for host resistance: durable resistance: quantitative/qualitative resistance**. Lima: International Potato Center, 2002.
- MIZUBUTI, E. S. G.; FRY, W. E. Potato late blight. In: COKE, B. M.; JONES, D. G.; KAYE, B. (ed.). **The epidemiology of plant disease**. Dordrecht: Springer, 2006. p. 445-471.
- MICHALSKA, A. M.; GUZOWSKA, E. Z.; SOBKOWIAK, S.; PLICH, J. Resistance of potato to stem infection by *phytophthora infestans* and a comparison to detached leaflet and field resistance assessments. **American Journal of Potato Research**, v. 88, n. 4, p. 367-373, 2011.
- MAFFIA, A. L. **Programa para cálculo de área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) GW-BASIC 3.20**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Fitopatologia, 1986.
- PEREIRA, A. da S.; BERTONCINI, O.; SILVA, G. O.; CASTRO, C. M.; GOMES, C. B.; HIRANO, E.; BORTOLETTO, A. C.; MELO, P. E.; MEDEIROS, C. A. B.; TREPTOW, R. O.; DUTRA, L. F.; LOPES, C. A.; NAZARENO, N. R. X.; LIMA, M. F.; CASTRO, L. A. S.; KROLOW, A. C. R.; SUINAGA, F. A.; REISSER JUNIOR, C. BRS Clara: cultivar de batata para mercado fresco, com resistência à requeima. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p. 664-668, 2013.
- PEREIRA, A. da S.; GOMES, C. B.; CASTRO, C. M.; SILVA, G. O. Melhoramento para resistência a oomicetos. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (org.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses bióticos**. Viçosa: Editora UFV, 2012. p. 25-59.

PEREIRA, A. da S.; SILVA, G. O. da; BORTOLETTO, A. C.; HIRANO, E.; CASTRO, C. M.; NAZARENO, N. R. X. de; SOUZA, Z. da S. **Catálogo de cultivares de batata**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 48 p. (Embrapa Clima Temperado, Documento, 373).

ROSSI, F.; MELO, P. C.; FILHO, J. A.; AMBROSANO, E. J.; GUIRADO, N.; SCHAMMASS, E. A.; CAMARGO, L. F., Cultivares de batata para sistemas orgânicos de produção. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 372–376, 2011.

STEWART, H. E.; FLAVELLE, P. H.; MCCALMONT, D. C.; WASTIE, R. L. Correlation between glasshouse and field tests for resistance to foliage blight caused by *Phytophthora infestans*. **Potato Research**, v. 26, p. 41–48, 1983.

STEWART, H. E.; BRADSHAW, J. E.; PANDE, B. The effect of the presence of *R*-genes for resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) of potato (*Solanum tuberosum*) on the underlying level of field resistance. **Plant Pathology**, v. 52, n. 2, p. 193-198, 2003.

WASTIE, R. L. Breeding for resistance. In: INGRAM, D. S.; WILLIAMS, P. H. (ed.). *Phytophthora infestans: the cause of late blight of potato*. **Advances in Plant Pathology**, 7. San Diego: Academic Press, 1991. p. 193-224.

WHISSON, S. C.; BOEVINK, P. C.; WANG, S.; BIRK, P. R. J. The cell biology of late blight disease. **Current Opinion in Microbiology**, v. 34, p. 127–135, 2016.

YARWOOD, C. E. Some principles of plant pathology. **Phytopathology**, v. 52, p. 166-167, 1962.

ZADOKS, J. C.; SCHEIN, R. D. **Epidemiology and plant disease management**. New York: Oxford University, 1979. 427 p.