



## Simulação do impacto econômico da ferrugem da folha do Trigo

Guilherme Mallmann<sup>1</sup>, José Maurício Fernandes<sup>2</sup>, Willington Pavan<sup>3</sup>,  
João Eduardo Pedrini<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agrôn. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS . Email: guifito@hotmail.com.

<sup>2</sup>Eng. Agrôn., Pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS. Email: mauricio@cnpt.embrapa.br. <sup>3</sup>Professor de Ciências da Computação da Universidade de Passo Fundo, RS, Passo Fundo, RS. Email: pavan@upf.br. <sup>4</sup>Bolsista DTI, CNPq, Passo Fundo, RS. Email: jjepjje@gmail.com.

O trigo é uma cultura afetada por um grande número de doenças, as quais estão entre os principais fatores que limitam a produção, podendo causar prejuízos consideráveis (BARROS et al., 2006).

A ferrugem da folha do trigo ou ferrugem marrom é causada pelo fungo *Puccinia triticina* Erikss. Essa doença, é comum em todo Brasil e pode infectar regularmente o trigo (*Triticum aestivum* L. em Thell). Em condições ambientais favoráveis para a doença, os prejuízos ocasionados são significativos para a maioria das cultivares de trigo cultivadas (ANIKSTER et al., 1997).

A resistência genética é a melhor estratégia de controle e o conhecimento dos genes de resistência é fundamental para uma proteção mais efetiva contra a ferrugem da folha (THOME, 1999).

O objetivo deste trabalho foi quantificar o impacto dos genes que conferem resistência à ferrugem da folha sobre o rendimento de grãos na cultura do trigo. Para isso, foi utilizado um modelo de simulação dinâmico que representa o patossistema *Puccinia*-Trigo (PAVAN, 2007), alterando alguns parâmetros na configuração do modelo como a eficiência de infecção e o fator de resistência genética do hospedeiro.

O modelo genérico de simulação de doenças do trigo encontrado na literatura, utiliza várias linguagens de programação e interliga as sub-rotinas e sub-módulos (doença) a modelos de crescimento e desenvolvimento do trigo (PAVAN, 2007). Neste trabalho, o modelo CSM-CERES-CROPSIM-WHEAT, o qual faz parte da suite de modelos do DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), foi usado para simular o crescimento e o desenvolvimento do trigo e acoplado ao modelo de simulação da ferrugem da folha.

No Brasil, o CSM-CERES-CROPSIM-WHEAT, tem sido testado, calibrado e validado por pesquisadores, sendo utilizado para simular o processo de desenvolvimento de cultivares de trigo. Este modelo permite a sua parametrização por meio de arquivos texto. Suas saídas, resultado da simulação, podem ser utilizadas para alimentar outros modelos, responsáveis pela simulação de doenças de plantas, por exemplo (DELPONTE et al., 2005).

Para avaliar o modelo de simulação da cultura do trigo associado com a simulação da ferrugem da folha, foram resgatados diretamente de planilhas eletrônicas e cadernos de campo nos arquivos do laboratório de Fitopatologia da Embrapa Trigo, registros sobre o crescimento e a fenologia das plantas de trigo, assim como de severidade da ferrugem da



folha durante o período de 1979 a 2007. Este conjunto de dados foi usado para comparar a simulação do crescimento e desenvolvimento do trigo e também a intensidade de ferrugem da folha.

O resultado da comparação entre os dados observados e simulados diferenciaram, com exatidão os anos epidêmicos e os pouco epidêmicos. A cultivar hipotética utilizada no modelo para realizar as simulações de severidade da ferrugem da folha se assemelha as características da cultivar BRS 194, apresentando resistência às manchas foliares e oídio e suscetibilidade à ferrugem da folha.

Neste trabalho utilizou-se como período de molhamento foliar uma estimativa baseada no número de horas com umidade relativa acima de 90%, sendo que tais dados foram retirados da estação meteorológica da Embrapa Trigo e posteriormente organizados de acordo com as configurações do modelo.

Para a comparação da resistência e/ou suscetibilidade genética da cultivar foram modificados no modelo o parâmetro resistência do hospedeiro. Neste caso, o valor padrão de 0,8, o qual indica suscetibilidade a doença, foi alterado para zero, que indica imunidade a ferrugem da folha. O outro parâmetro modificado foi eficiência de infecção que tem como valor padrão 0,17 e foi alterado para 0,1275. Cada parâmetro alterado foi avaliado no modelo de forma individual, ou seja, após a alteração do valor foi avaliado cada parâmetro separadamente, mantendo o valor padrão dos demais parâmetros do modelo.

A área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) foi calculada rodando o modelo para o mesmo período, alterando apenas a eficiência de infecção. A partir da alteração dos valores da resistência do hospedeiro que caracteriza uma cultivar imune e outra suscetível (Tabela 1), quanto na alteração dos valores da eficiência de infecção que caracteriza uma cultivar parcialmente resistente e suscetível (Tabela 2).

Considerou-se também a diferença de produtividade entre cultivares resistentes em relação a cultivares suscetíveis e o preço histórico da tonelada de trigo de US\$ 129,00 para calcular o prejuízo financeiro no caso do cultivo de uma cultivar totalmente suscetível na área cultivada no Rio Grande do Sul para cada ano avaliado, obtendo-se dessa forma o custo da resistência genética para a ferrugem da folha do trigo. Além disso, foram criados quatro cenários de simulação, para quantificar qual seria a perda financeira se a área plantada com a cultivar totalmente suscetível fosse de 50, 60, 80 ou 100%.

Entretanto, a simulação da produtividade do trigo, com e sem gene de resistência genética à ferrugem da folha no período de 1979 a 2007, mostrou que a utilização de uma cultivar totalmente suscetível em área cultivada de trigo no estado do Rio Grande do Sul, em anos epidêmicos como no caso do ano 2005, poderia gerar um prejuízo financeiro em torno dos US\$ 258.832.033,88. Porém, em anos não epidêmicos como em 1988 a perda financeira para o produtor, considerando o mesmo cenário, seria bem menor, alcançando a cifra de US\$ 14.916.357,72.

Considerando a diferença média de produtividade entre cultivar imune e suscetível em relação à área de trigo no mesmo período, verifica-se que se em toda área cultivada fosse utilizada uma cultivar suscetível o prejuízo médio anual ficaria em torno de US\$ 130.663.070,10 no estado do Rio Grande do Sul.



**Tabela 1.** Valores estimados de produtividade de um cultivar hipotético de trigo imune e suscetível à ferrugem da folha (*Puccinia triticina*) e valor econômico (US\$) da diferença na produtividade em relação à área cultivada no Estado do Rio Grande do Sul, no período de 1979 a 2007, para a localidade de Passo Fundo.

Ano	Produtividade simulada		Custo gene resistência US\$				Área cultivada (ha) no RS
	Com gene (Kg/ha)	Sem gene (Kg/ha)	100% área cultivar suscetível	80% área cultivar suscetível	60% área cultivar suscetível	50% área cultivar suscetível	
1979	3.211	3.175	10.146.670,96	8.117.336,76	5.073.335,48	5.073.335,48	2.184.899
1980	4.010	2.879	198.207.001,28	158.565.601,02	118.924.200,77	99.103.500,64	1.358.522
1981	3.012	2.932	9.328.970,40	7.463.176,32	5.597.382,24	4.664.485,20	903.970
1982	3619	2.317	219.697.797,82	175.758.238,25	131.818.678,69	109.848.898,91	1.308.052
1983	3.374	2.383	88.281.266,87	70.625.013,50	52.968.760,12	44.140.633,44	690.566
1984	3.891	1.796	171.392.207,69	137.113.766,15	102.835.324,61	85.696.103,84	634.187
1985	3.379	2.049	166.560.842,28	133.248.673,82	99.936.505,37	83.280.421,14	970.804
1986	3.534	3.304	34.691.172,78	27752938,22	20.814.703,67	17.345.586,39	1.169.234
1987	4.080	2.005	267.226.376,70	213.781.101,36	160.335.826,02	133.613.188,35	998.324
1988	2.446	2.336	14.916.357,72	11.933.086,18	8.949.814,63	7.458.178,86	1.051.188
1989	4.254	2.928	169.028.378,53	135.222.702,83	101.417.027,12	84.514.189,27	988.158
1990	3.644	1.648	254.458.048,03	203.566.438,43	152.674.828,82	127.229.024,02	988.248
1991	3.272	2.544	58.406.032,78	46.724.826,22	35.043.619,67	29.203.016,39	621.923
1992	3.950	2.471	92.908.348,52	74.326.678,82	55.745.009,11	46.454.174,26	486.964
1993	3.213	1.582	125.889.927,26	100.711.941,81	75.533.956,36	62.944.963,63	598.339
1994	3.458	2.123	95.467.213,04	76.373.770,43	57.280.327,82	47.733.606,52	554.349
1995	3.487	1.988	57.805.166,51	46.244.133,21	34.683.099,91	28.902.583,26	298.934
1996	3.640	1.769	136.509.995,45	109.207.996,36	81.905.997,27	68.254.997,73	565.589
1997	3.850	1.829	129.453.228,99	103.562.583,19	77.671.937,39	64.726.614,49	496.543
1998	3.232	2.047	58.073.413,50	46.458.730,80	34.844.048,10	29.036.706,75	379.900
1999	4.015	3.065	48.791.199,15	39.032.959,32	29.274.719,49	24.395.599,58	398.133
2000	3.434	1.804	117.866.848,50	94.293.478,80	70.720.109,10	58.933.424,25	560.550
2001	3.488	2.249	98.320.359,31	78.656.287,45	58.992.215,59	49.160.179,66	615.152
2002	3.770	2.039	178.707.752,79	142.966.202,23	107.224.651,68	89.353.876,40	800.307
2003	3.830	2.010	249.781.033,32	199.824.826,66	149.868.619,99	124.890.516,66	1.063.894
2004	3.290	1.872	205.758.897,09	164.607.117,67	123.455.338,25	102.879.448,55	1.124.845
2005	3.684	1.309	258.832.033,88	207.065.627,10	155.299.220,33	129.416.016,94	844.821
2006	3.811	2.525	116.034.724,19	92.827.779,36	69.620.834,52	58.017.362,10	699.451
2007	3.345	1.913	156.687.767,42	125.350.213,94	94.012.660,45	78.343.883,71	848.208
Média	3559,41	2237,62	130663070,1	104530456,08	78362853,54	65331535,05	834622,55



**Tabela 2:** Valores estimados de produtividade de um cultivar hipotético de trigo parcialmente resistente e suscetível à ferrugem da folha (*Puccinia triticina*) e valor econômico (US\$) da diferença na produtividade em relação à área cultivada no Estado do Rio Grande do Sul no período de 1979 a 2007 para a localidade de Passo Fundo.

Ano	Produtividade simulada		Custo gene resistência US\$				Área cultivada (ha) no RS
	Com gene (Kg/ha)	Sem gene (Kg/ha)	100% área cultivar suscetível	80% área cultivar suscetível	60% área cultivar suscetível	50% área cultivar suscetível	
1979	3.201	3.175	7.328.151,25	5.862.521,00	3.664.075,62	3.664.075,62	2.184.899
1980	3.801	2.879	161.579.889,64	129.263.911,71	96.947.933,78	80.789.944,82	1.358.522
1981	2.967	2.932	4.081.424,55	3.265.139,64	2.448.854,73	2.040.712,28	903.970
1982	3.146	2.317	139.884.388,93	111.907.511,15	83.930.633,36	69.942.194,47	1.308.052
1983	3.347	2.383	85.876.025,50	68.700.820,40	51.525.615,30	42.938.012,75	690.566
1984	2.570	1.796	63.321.035,20	50.656.828,16	37.992.621,12	31.660.517,60	634.187
1985	2.828	2.049	97.557.064,76	78.045.651,81	58.534.238,86	48.778.532,38	970.804
1986	3.522	3.304	32.881.198,55	26.304.958,84	19.728.719,13	16.440.599,27	1.169.234
1987	2.876	2.005	112.170.686,32	89.736.549,05	67.302.411,79	56.085.343,16	998.324
1988	2.397	2.336	8.271.798,37	6.617.438,70	4.963.079,02	4.135.899,19	1.051.188
1989	4.221	2.928	164.821.789,93	131.857.431,94	98.893.073,96	82.410.894,96	988.158
1990	2.775	1.648	143.674.458,98	114.939.567,19	86.204.675,39	71.837.229,49	988.248
1991	3.225	2.544	54.635.313,63	43.708.250,90	32.781.188,18	27.317.656,81	621.923
1992	3.779	2.471	82.166.409,65	65.733.127,72	49.299.845,79	41.083.204,82	486.964
1993	2.217	1.582	49.012.939,19	39.210.351,35	29.407.763,51	24.506.469,59	598.339
1994	2.732	2.123	43.550.211,79	34.840.169,43	26.130.127,07	21.775.105,89	554.349
1995	2.965	1.988	37.675.548,82	30.140.439,06	22.605.329,29	18.837.774,41	298.934
1996	2.804	1.769	75.514.615,34	60.411.692,27	45.308.769,20	37.757.307,67	565.589
1997	2.334	1.829	32.347.293,74	25.877.834,99	19.408.376,24	16.173.646,87	496.543
1998	2.982	2.047	45.821.638,50	36.657.310,80	27.492.983,10	22.910.819,25	379.900
1999	4.000	3.065	48.020.811,80	38.416.649,44	28.812.487,08	24.010.405,90	398.133
2000	2.883	1.804	78.023.515,05	62.418.812,04	46.814.109,03	39.011.757,53	560.550
2001	3.026	2.249	61.658.530,42	49.326.824,33	36.995.118,25	30.829.265,21	615.152
2002	2.755	2.039	73.919.555,75	59.135.644,60	44.351.733,45	36.959.777,87	800.307
2003	2.614	2.010	82.894.364,90	66.315.491,92	49.736.618,94	3.664.075,62	1.063.894
2004	3.266	1.872	202.276.376,97	161.821.101,58	121.365.826,18	80.789.944,82	1.124.845
2005	2.807	1.309	163.254.899,68	130.603.919,75	97.952.939,81	2.040.712,28	844.821
2006	3.393	2.525	78.318.927,37	62.655.141,90	46.991.356,42	69.942.194,47	699.451
2007	2.748	1.913	91.364.724,72	73.091.779,78	54.818.834,83	42.938.012,75	848.208
Média	3040,72	2237,62	80065641,01	64052512,81	48014115,12	31660517,6	834622,55

Na Tabela 2 pode-se observar o valor financeiro da resistência genética a partir de uma cultivar parcialmente resistente em relação à outra suscetível. Por exemplo, no ano de 2005 o prejuízo financeiro na utilização de uma cultivar suscetível em comparação a uma cultivar parcialmente resistente poderia chegar a US\$ 163.254.899,68 para a área de 844.821 ha cultivados.

Em relação a um ano não epidêmico, como por exemplo 1988, a perda financeira pela utilização de uma cultivar suscetível ao invés do cultivo de uma cultivar parcialmente resistente para 100% da área cultivada poderia atingir US\$ 8.271.798,37. Entretanto, o prejuízo médio anual gira em torno de US\$ 80.065.641,01 no caso da utilização de uma

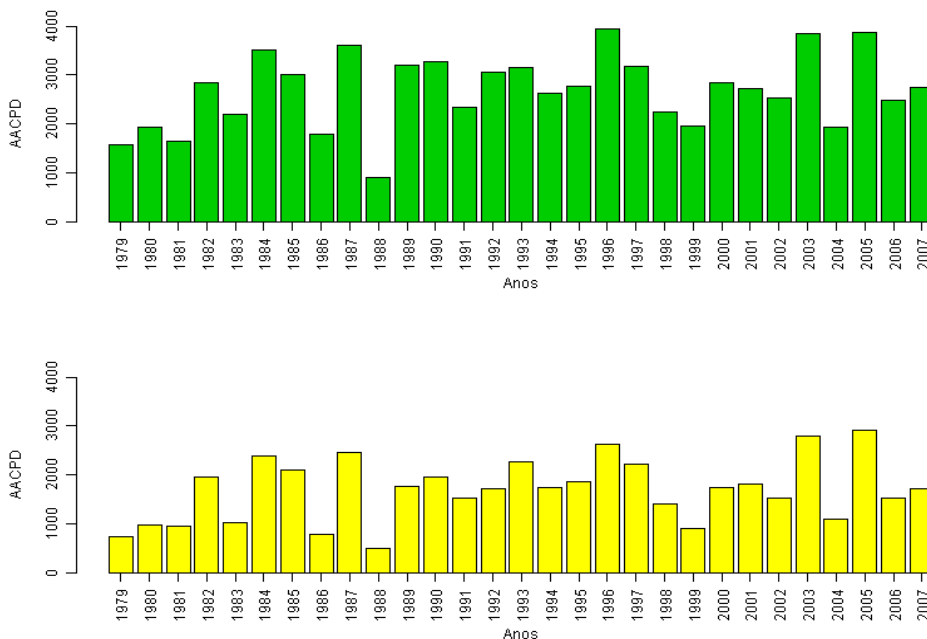


cultivar suscetível em comparação a outra parcialmente resistente para 100% da área cultivada.

A expectativa de danos na produtividade causadas pela ferrugem da folha do trigo é a principal preocupação durante a seleção de variedades. O modelo CSM-CERES-CROPSIM WHEAT acoplado ao módulo de doença foi avaliado para os anos de 1979 a 2007 fornecendo informações de produtividade da cultura com e sem doença, ou seja, resistência do hospedeiro 0,8 e zero respectivamente, registrando-se um grande impacto da doença na produtividade (Tabela 1).

A AACPD mostra uma grande variabilidade na severidade da ferrugem da folha entre os anos de 1979 a 2007 (Figura 1). Essa variabilidade encontrada na AACPD pode ser explicada devido a diferenças nas condições climáticas entre os anos, principalmente na quantidade de chuvas e de horas com umidade relativa superior a 90%.

O modelo CSM-CERES-CROPSIM WHEAT acoplado ao módulo doença, utilizado para fornecer uma tendência de resistência ou suscetibilidade de uma determinada cultivar ao patógeno, e, conseqüentemente, estimar o valor econômico de um gene de resistência no impacto da produtividade, poderá ser bastante útil num possível programa de melhoramento genético.



**Figura 1.** Área abaixo da curva do progresso da ferrugem da folha (AACPD) obtida a partir da simulação de uma condição de suscetibilidade total (verde) e parcial (amarelo) na região de Passo Fundo - RS, durante os anos de 1979 a 2007.



## Referências

ANIKSTER, Y.; BUSHNELL, W.R.; EILAM, T.; MANISTERSKI, J.; ROELFS, A.P. et al. ***Puccinia recondita* Rausing leaf rust on cultivated wheats, wild wheats, and rye.** Canadian Journal of Plant Pathology. V.75, 1997. p.2082-2086.

BARROS, B.D.C.; CASTRO, J.L.D.; PATRICIO, F.R.A. **Resposta de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) ao controle químico das principais doenças fungicas da cultura.** Summa Phytopathologica. v.32, 2006. p.239–246.

DELPONTE, E.M.; FERNANDES, J.M.C.; PAVAN, W. **A risk infection simulation model for fusarium head blight of wheat.** Fitopatologia Brasileira, sciELO, v. 30, 2005. p. 634-642.

PAVAN, W. **Técnicas de engenharia de softwares aplicadas à modelagem e simulação de doenças de plantas.** Universidade de Passo Fundo, Tese de Doutorado, 2007.

THOME, G. **Genética e análise molecular da resistência parcial a ferrugem da folha em aveia.** UFRGS, Tese de Doutorado, 1999.