

Redução no espaçamento do milho em solos de baixa altitude

Reduction in corn space in low altitude soils

Enoir Cristiano Pellizzaro¹, Leandro Paiola Albrecht^{2,*}, Fábio Henrique Krenchinski³, Alfredo Junior Paiola Albrecht² e Rafaela Alenbrant Migliavacca⁴

¹ Cooperativa Agroindustrial C.Vale, Av. Independência, 2347, Palotina, Paraná, Brasil

² Universidade Federal do Paraná, Rua Pioneiro, 2153, Palotina, Paraná, Brasil

³ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Botucatu, São Paulo, Brasil

⁴ Universidade de São Paulo, ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, Brasil

(*E-mail: lpalbrecht@yahoo.com.br)

<https://doi.org/10.19084/rca.17476>

Recebido/received: 2018.07.08

Aceite/accepted: 2019.01.08

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência do arranjo espacial, via redução de espaçamento entre linhas de plantas, na cultura do milho em dois solos de baixa altitude no Oeste do Estado do Paraná, Brasil. Os trabalhos foram conduzidos em duas áreas experimentais da Cooperativa C.Vale, no ano agrícola de 2014/15, uma situada em Palotina (solo muito argiloso) e a outra em Brasilândia do Sul (textura média), em que o delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em modo fatorial duplo 2x4 (Híbridos X Espaçamentos) e os híbridos de milho utilizados foram o 2B587PW e o 2B810PW. Os espaçamentos entre as linhas foram de 25, 50, 75 e 100 cm. Os híbridos de milho foram semeados e mantidos com uma população de 70 mil plantas por hectare. As variáveis analisadas foram: altura de plantas e diâmetro do colmo; número de plantas acamadas; número de espigas danificadas; número de espigas expostas; percentagem de grãos ardidos; massa de 100 grãos e produtividade. A melhor disposição de plantas nos solos de baixa altitude, foi conferida pela redução do espaçamento entre as linhas e o aumento do espaçamento entre plantas na linha.

Palavras chave: *Zea mays*, arranjo espacial, genótipos, ambientes de produção.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the influence of the spatial arrangement, by reducing spacing between plant lines, on maize cultivation in two low altitude soils in the western part of the State of Paraná, Brazil. The studies were conducted in two experimental areas of Cooperativa C.Vale, in the agricultural year of 2014/15, one located in Palotina (very clayey soil) and the other in South Brasilândia (medium texture), in which the experimental design was the randomized blocks with four replicates. The treatments were arranged in a 2x4 double factorial (Hybrids X Spacings) and the corn hybrids used were 2B587PW and 2B810PW. The lines spacing were 25, 50, 75 and 100 cm. Corn hybrids were sown and maintained with a population of 70 thousand plants per hectare. The analyzed variables were: height of plants and diameter of stems; number of bedded plants; number of damaged spikes; number of exposed spikes; percentage of burned grains; mass of 100 grains and productivity. The best arrangement of plants in soils at low altitude was conferred by the reduction of line spacing and the increase of plant spacing in the line.

Keywords: *Zea mays*, spatial arrangement, genotypes, production environments.

INTRODUÇÃO

No sentido de alcançar boas produtividades há a necessidade de lançarmos mão de todos os fatores que possibilitem a seleção do potencial genético do milho e atenuem os possíveis stresses (Tollenaar & Lee, 2002). Neste contexto, como a radiação fotosintética é de extrema importância, e para que a radiação solar seja melhor aproveitada, a redução do espaçamento entre as linhas de sementeira apresenta-se como um fator relevante, encontrando-se diretamente ligada ao sistema produtivo. De acordo com Kunz *et al.* (2007) um dos objetivos da redução do espaçamento entre as linhas é de reduzir o tempo necessário para que a cultura intercepte o máximo da radiação solar incidente e aumente a quantidade de energia captada por área e por tempo. Ainda segundo o mesmo autor os espaçamentos entre linhas ficaram menores nos últimos anos, devido ao ajuste da sementeira do milho com a tecnologia da soja, reduzindo questões operacionais de regulamento de máquinas e mão de obra. Outro fator importante é a versatilidade das plataformas de colheita de milho, que são mais ajustáveis a partir de 45 cm (Kunz *et al.*, 2007).

O arranjo de plantas pode interferir na fisiologia da produção, no crescimento e no desenvolvimento do milho mediante variações na densidade populacional, no espaçamento entre linhas e na distribuição espacial e temporal de indivíduos na linha (Kasperbauer & Karlen, 1994; Almeida *et al.*, 2000; Argenta *et al.*, 2001a, b; Flesch & Vieira, 2004; Lana *et al.*, 2009; Brachtvogel *et al.*, 2012), o que conduz a impactos no planejamento do sistema produtivo, na produtividade e na rendibilidade (Sangoi *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2008; Lana *et al.*, 2009).

Em estudos conduzidos por Gross *et al.* (2006), através da análise de regressão linear para o fator espaçamento, houve um comportamento linear, em qualquer população de plantas, na medida em que foi aumentado o espaçamento das entre linhas, o que ocasionou um decréscimo na produção de grãos, ocorrendo o contrário com os menores espaçamentos. Santos *et al.* (2007), realizaram um trabalho onde avaliaram a adubação azotada e a redução no espaçamento entre linhas (100 e 50cm) em três cultivares de milho. Concluíram que houve um incremento de 8% na produtividade, em todas as cultivares, quando submetidas à redução de espaçamento.

Balbinot Jr. e Fleck (2005) avaliaram a competitividade com as plantas daninhas, tendo em conta a variação do espaçamento, e obtiveram como resultado um aumento da produtividade dos genótipos estudados à medida que o espaçamento diminuía, tanto na presença como na ausência de plantas daninhas. Argenta *et al.* (2001a) também verificaram um aumento do rendimento de grãos de 9% e 26%, com a redução do espaçamento de 90 cm para 70 e 45 cm, respectivamente.

Considerando a importância do espaçamento entre linhas para o desenvolvimento adequado das plantas de milho e devido ao facto de que novas tecnologias são utilizadas com a finalidade de obter altas produtividades, o objetivo do estudo foi avaliar a influência do espaçamento entre linhas em híbridos de milho, em dois solos, no Oeste do Estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos em áreas experimentais da C.Vale Cooperativa Agroindustrial, no ano agrícola de 2014/15, nos municípios de Palotina e Brasilândia do Sul, no Oeste do Estado do Paraná, Brasil. A área situada no município de Palotina apresenta as seguintes coordenadas, latitude 24° 17' S e longitude 53° 55' W, e a área experimental em Brasilândia do Sul, latitude 24° 11' S e longitude 53° 32' W. O município de Palotina, apresenta altitude média de 310 metros, clima subtropical húmido mesotérmico (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen, como solo Latossolo Vermelho eutrófico, de textura muito argilosa (EMBRAPA, 2006). O município de Brasilândia do Sul, apresenta altitude média de 371 metros, clima classificado como subtropical húmido mesotérmico (Cfa), como solo Latossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2006).

Para fins de melhor preparação do solo e adubação foi realizada a análise química e textural dos solos, na profundidade de 0,0-20,0 cm em cada área experimental (Quadros 1 e 2).

Os tratamentos foram dispostos em modo fatorial duplo 2x4 (Híbridos x Espaçamentos), os híbridos de milho utilizados foram o 2B587PW e o 2B810PW, por apresentarem uma área de instalação significativa nos referidos municípios.

Quadro 1 - Análise química e física do solo da área experimental localizada em Palotina (Paraná, Brasil)

pH	Al	H + Al	Ca	Mg	K	P	C
CaCl ₂	----- cmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	g dm ⁻³
5,30	0,00	2,13	6,18	2,44	0,54	15,30	16
S	CTC		V%	Areia	Silte	Argila	
-----mg dm ⁻³ ----	cmol _c dm ⁻³		%	----- % -----			
18	11,30		81	23,5	5,2	71,3	

Legenda: Al – Alumínio; H + Al: hidrogênio + alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; P: fósforo; C: carbono; S: enxofre; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: porcentagem de saturação por bases.

Quadro 2 - Análise química e física do solo da área experimental localizada em Brasilândia do Sul (Paraná, Brasil)

pH	Al	H + Al	Ca	Mg	K	P	C
CaCl ₂	----- cmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	g dm ⁻³
5,80	0,00	2,36	3,87	0,92	0,25	50,72	10,05
S	CTC		V%	Areia	Silte	Argila	
mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³		%	----- % -----			
5,93	7,40		68,11	65	12	23	

Legenda: Al – Alumínio; H + Al: hidrogênio + alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; P: fósforo; C: carbono; S: enxofre; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: porcentagem de saturação por bases.

Os espaçamentos entre linhas foram de 25, 50, 75 e 100 cm. Os híbridos de milho foram semeados para gerar uma população de 70 mil plantas por hectare.

Os ensaios foram conduzidos na primeira safra de milho e ambas as áreas foram cultivadas em sistema de sementeira direta, tendo tido nas duas áreas experimentais o trigo como cultura antecessora. A data de sementeira da área experimental em Palotina foi 11/09/2014 e 12/09/2014 na área localizada no município de Brasilândia do Sul. Já a colheita ocorreu no estádio R6 (maturidade fisiológica), no dia 03/03/2015 em Palotina e no dia 06/03/2015 em Brasilândia do Sul.

A adubação de base foi de 310 kg ha⁻¹ da formulação 08-20-20 de NPK, complementada com uma adubação de cobertura de 75 kg ha⁻¹ de N, no estádio V4 (quatro folhas totalmente expandidas). As práticas de adubação, instalação da cultura e aplicação de fitossanitários, seguiram as prescrições da EMBRAPA (2015).

Nas duas áreas, foram colhidas diariamente os dados da precipitação e das temperaturas médias máximas e mínimas (Figuras 1 e 2).

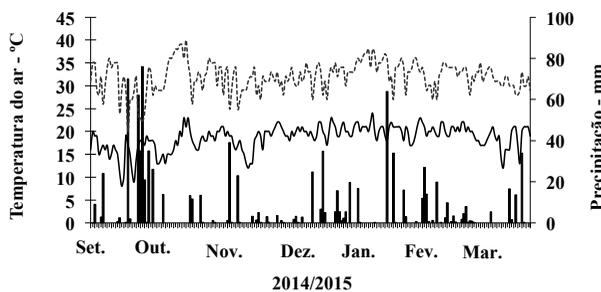


Figura 1 - Precipitação e temperaturas médias (mínima e máxima), para o período referente ao ciclo da cultura do milho, no Município de Palotina (Paraná, Brasil), na safra 2014/2015. Fonte: C.Vale Cooperativa Agroindustrial.

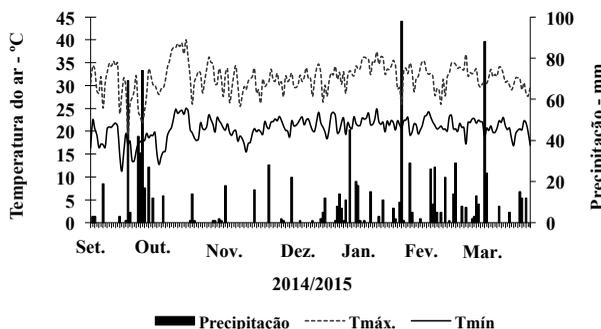


Figura 2 - Precipitação e temperaturas médias (mínima e máxima), para o período referente ao ciclo da cultura do milho, no Município de Brasilândia do Sul (Paraná, Brasil), na safra 2014/2015. Fonte: C.Vale Cooperativa Agroindustrial.

Os ensaios foram conduzidos em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas por um número de linhas conforme tratamento, totalizando seis metros de largura e cinco metros de comprimento. Para as avaliações foram consideradas apenas as fileiras centrais, eliminando-se um metro de cada extremidade das fileiras (bordaduras), obtendo-se uma área útil de nove metros quadrados.

As variáveis analisadas foram: altura de plantas (medidas nos estádios V4 e V8, de quatro e oito folhas completamente expandidas, respectivamente) e VT (apendoamento) e diâmetro do colmo (avaliadas nos estádios V4, V8 e R6, em que R6 corresponde à maturidade fisiológica), número de plantas acamadas, número de espigas danificadas, número de espigas expostas, percentagem de grãos ardidos, massa de 100 grãos (gramas) e a produtividade (kg ha^{-1}).

Para a determinação da altura das plantas, foram avaliadas 10 plantas, escolhidas ao acaso na área útil das parcelas, onde as medições foram efetuadas com o auxílio de régua milimetrada de madeira, sendo os resultados expressos em centímetros. Para o diâmetro do colmo, foi utilizado um paquímetro digital tendo as medições sido efetuadas sempre a 8 centímetros acima da superfície do solo (no entrenó de 10 plantas).

As plantas foram colhidas manualmente, as espigas debulhadas em trilhadora, limpas com o auxílio de peneiras e acondicionadas em sacos de papel. Partindo-se do rendimento dos grãos, foram estimadas as produtividades nas parcelas, em kg ha^{-1} , para cada unidade experimental e determinada a massa de 100 grãos, por pesagem de 10 subamostras. Para o cálculo do rendimento e da massa de 100 grãos, o grau de humidade foi corrigido para 13%, em base húmida.

Os resultados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$), o teste F foi conclusivo para híbridos e a análise de regressão ($p \leq 0,05$) foi aplicada para espaçamentos, pelo software SISVAR 5.3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os ensaios, ocorreu um período em que as precipitações foram aquém das necessidades para o bom desenvolvimento da cultura, facto demonstrado pelos dados das estações meteorológicas de Palotina e de Brasilândia do Sul, nas Figuras 1 e 2, respectivamente. Observou-se ainda que a deficiência ocorreu nos principais estádios de desenvolvimento da cultura. A precipitação total registada durante o período experimental foi de 363 e 357 mm, respectivamente para Palotina e Brasilândia do Sul. A cultura do milho possui uma exigência de precipitação entre 350 e 500 mm para que produza satisfatoriamente, sem a necessidade de irrigação (Fancelli & Dourado Neto, 2004), no entanto, esta precipitação não foi bem distribuída, podendo ter vindo a afetar a expressão dos genótipos avaliados.

A partir dos dados recolhidos procedeu-se a análise estatística, optando-se por analisar separadamente os locais (Brasilândia e Palotina), seja em função da relação entre os quadrados médios ou por permitir melhor individualização e clareza na interpretação. Exceção feita a variável produtividade, em que se procurou, também, comparar os locais.

No tocante às variáveis: número de plantas acamadas; número de espigas danificadas; número de espigas expostas; percentagem de grãos ardidos, não se verificou significância. Para o parâmetro altura das plantas, foram tomadas várias medidas em diferentes estádios. A altura das plantas em V4 demonstrou existirem diferenças significativas ($P \leq 0,05$) na localidade de Brasilândia (Quadro 3), entre os híbridos, em que o 2B810PW foi superior ao 2B587PW no espaçamento de 100 cm, enquanto que pela análise de regressão se verificou (Figura 3 e 4), para ambas as localidades, uma diminuição da altura com o aumento do espaçamento (modelo linear negativo ou decrescente). Os resultados mostram, portanto, que há uma relação inversa entre a altura das plantas e o espaçamento.

Quadro 3 - Altura (cm) de híbridos de milho no estágio V4, submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas, em Palotina e Brasilândia do Sul (Paraná, Brasil)

Espaçamento (cm)	Palotina		Brasilândia do Sul	
	2B587PW	2B810PW	2B587PW	2B810PW
25	36,50	34,00	34,50a	33,75a
50	34,00	32,00	33,75a	33,00a
75	33,75	32,50	34,25a	31,25a
100	28,50	28,50	27,25b	31,00a
Média	32,12	33,18	32,43	32,25
CV%	6,59		6,64	
DMS	7,19		3,16	

*Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de F ($P < 0,05$). DMS (Local X Híbrido X Espaçamento). Legenda: DMS: diferença mínima significativa; CV%: coeficiente de variação.

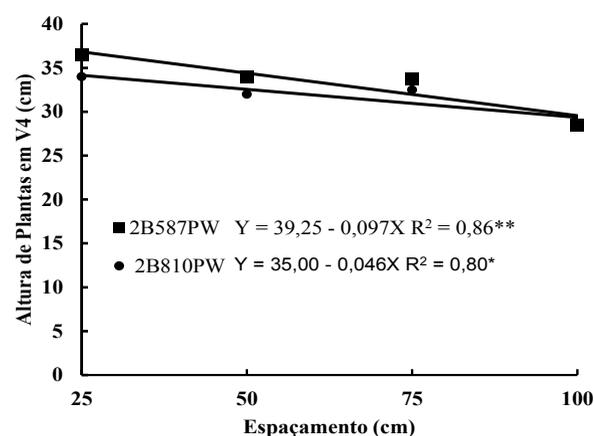


Figura 3 - Altura (cm) de híbridos de milho no estágio V4, submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas, Palotina (Paraná, Brasil). ** significativo a 1%; * significativo a 5%.

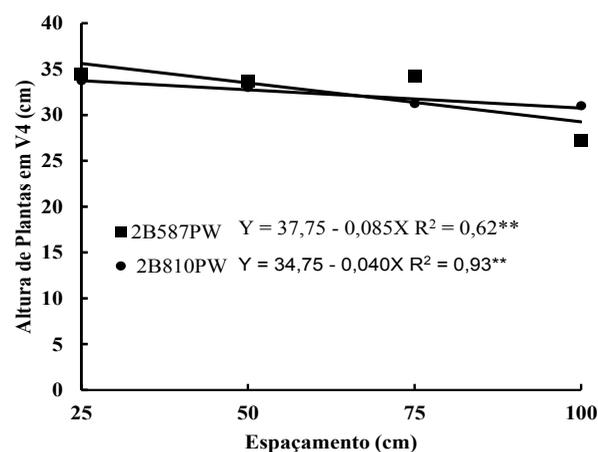


Figura 4 - Altura (cm) de híbridos de milho no estágio V4, submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas, Brasilândia do Sul (Paraná, Brasil). ** significativo a 1%.

Para as medições realizadas em estágio V8 não foi possível ajuste do modelo para as localidades, havendo apenas diferenças significativas em Palotina (Quadro 4) entre híbridos, no espaçamento de 75 cm, refletindo o comportamento do híbrido 2B810PW, por apresentar-se com média superior em espaçamentos maiores.

Quadro 4 - Altura (cm) de híbridos de milho no estágio V8, submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas, em Palotina e Brasilândia do Sul (Paraná, Brasil)

Espaçamento (cm)	Palotina		Brasilândia do Sul	
	2B587PW	2B810PW	2B587PW	2B810PW
25	131,25a	135,25a	137,25	139,50
50	126,50a	134,00a	125,00	133,75
75	132,75b	144,00a	133,25	137,75
100	126,50a	130,50a	132,50	129,50
Média	129,25	135,93	132,00	135,12
CV%	4,81		5,98	
DMS	9,38		11,75	

*Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de F ($P < 0,05$). DMS (Local X Híbrido X Espaçamento). Legenda: DMS: diferença mínima significativa; CV%: coeficiente de variação.

As aferições de altura e VT (Quadro 5) caracterizaram a superioridade do híbrido 2B810PW dentro de todos os espaçamentos, para ambas as localidades, no entanto, apenas o híbrido 2B810PW apresentou tendência significativa (Figura 5), para os resultados obtidos em Palotina, onde o

Quadro 5 - Altura (cm) de híbridos de milho no estágio VT, submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas, em Palotina e Brasilândia do Sul (Paraná, Brasil)

Espaçamento (cm)	Palotina		Brasilândia do Sul	
	2B587PW	2B810PW	2B587PW	2B810PW
25	222,00b	241,50a	224,50b	240,25a
50	220,50b	240,00a	213,50b	247,75a
75	223,15b	249,25a	224,50b	245,00a
100	220,25b	251,25a	225,25b	243,50a
Média	221,62	245,50	222,00	244,06
CV%	3,24		3,22	
DMS	11,13		11,02	

*Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de F ($P < 0,05$). DMS (Local X Híbrido X Espaçamento). Legenda: DMS: diferença mínima significativa; CV%: coeficiente de variação.

comportamento foi linear positivo, ou seja, a altura aumentou conforme ocorreu incremento no espaçamento (na proporção de aumento em 0,15 cm na altura para cada cm em espaçamento).

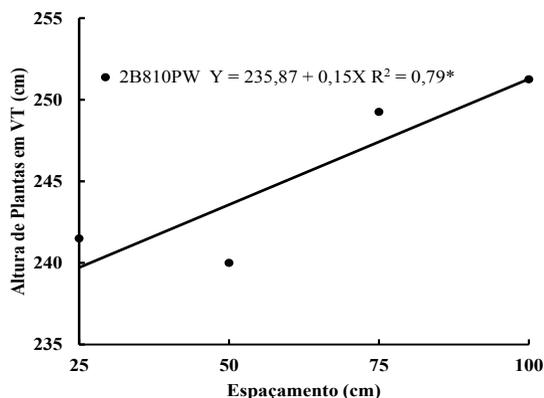


Figura 5 - Altura (cm) de híbridos de milho no estádio V4, submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas, Palotina (Paraná, Brasil). ** significativo a 1%; * significativo a 5%.

Os resultados demonstram que há uma tendência para uma relação inversa entre a altura das plantas e o espaçamento (exceto no experimento de Palotina para o híbrido 2B810PW e no estádio VT). Verifica-se o comportamento de redução da altura com o aumento do espaçamento, pelo menos nos estádios iniciais. Este facto demonstra que há uma competição entre as plantas na linha de sementeira por luz, água e nutrientes, para os híbridos avaliados. Em alguns casos o aumento do espaçamento, em condições de lavoura, pode proporcionar uma maior incidência de plantas daninhas, agravando esta competição (que deixa de ser intraespecífica e se torna interespecífica).

Esta interferência, também foi observada por Marchão *et al.* (2005) e Sangoi (2001). Este facto está relacionado com a competição intraespecífica por luz e o conseqüente estímulo à dominância apical das plantas. Argenta *et al.* (2001b) também verificaram um aumento na altura das plantas, em conseqüência do aumento a população de plantas de 40.000 para 100.000 plantas ha⁻¹. Outros autores justificam este aumento pela menor oxidação de auxinas, decorrente da proximidade das plantas, estimula o celular e, assim, os entrenós do colmo

ficam mais longos, aumentando a estatura da planta (Sangoi *et al.*, 2002).

A análise dos resultados relativos ao diâmetro do colmo (Figura 6 e Quadro 6) não identificam comportamentos significativos o suficiente para que, seja possível afirmar influências dos espaçamentos no desempenho do caractere. Apenas nos estádios V4 e R6, no ensaio de Brasilândia do Sul, e dentro do espaçamento de 25 cm, foi possível observar superioridade do híbrido 2B810PW. Já no desdobramento entre os diferentes espaçamentos e híbridos de milho, foi identificado ajuste significativo de modelo de regressão linear negativa para os dois genótipos, no ensaio de Palotina e avaliação feita no estádio V4.

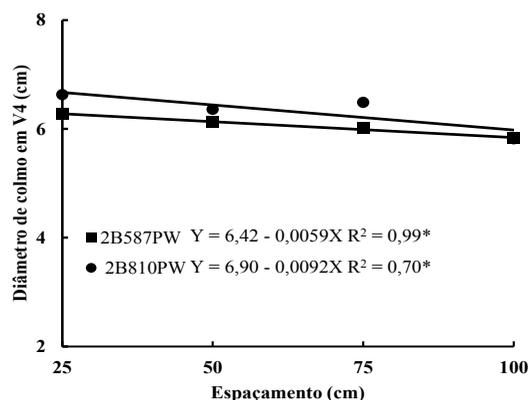


Figura 6 - Diâmetro do colmo (cm) dos híbridos de milho no estádio V4, submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas, Palotina (Paraná, Brasil). * significativo a 5%.

Quadro 6 - Diâmetro do colmo (cm) de híbridos de milho no estádio V4 e R6, submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas, Brasilândia do Sul (Paraná, Brasil)

Espaçamento (cm)	V4		R6	
	2B587PW	2B810PW	2B587PW	2B810PW
25	6,11b	7,03a	7,49b	8,34a
50	6,53a	6,00a	7,75a	8,13 ^a
75	6,33a	6,14a	7,90a	7,69a
100	5,84a	5,99a	7,36a	7,75a
Média	6,20	6,29	7,57	8,03
CV%	6,02		6,37	
DMS	0,55		0,73	

*Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de F ($P < 0,05$). DMS (Local X Híbrido X Espaçamento). Legenda: DMS: diferença mínima significativa; CV%: coeficiente de variação.

Os resultados mostram a mesma tendência da altura de plantas, onde também ocorreu uma tendência de relação inversa entre o diâmetro das plantas e o espaçamento, pelo menos no início do desenvolvimento vegetativo, ou seja, verificou-se a possibilidade de redução do diâmetro do colmo com o aumento do espaçamento. Este comportamento, com menos impacto e explícito do que na altura de plantas, demonstra que há uma competição intraespecífica de facto na linha de sementeira por luz, água e nutrientes (fatores de produção).

Nota-se que a utilização de espaçamentos, entre linhas menores, proporcionou uma tendência para a obtenção de plantas com maior diâmetro de colmo, devido à melhor interceptação da radiação solar pelo dossel da cultura nos menores espaçamentos (Sharratt & McWilliams, 2005). Esta interferência, também foi observada por Sangoi *et al.* (2002), que verificou o estiolamento e a consequente redução do diâmetro do colmo nas plantas de milho, com o aumento do espaçamento entre as linhas de plantio. Porém, através da literatura, com referência à alteração no diâmetro do colmo, observa-se que existem resultados onde esta interferência não ocorreu. Penariol *et al.* (2003), em dois anos agrícolas, não observaram alteração do diâmetro do colmo de dois genótipos (AG 9010 e BR 473), em função de modificações nos espaçamentos entre as linhas de milho.

Dourado Neto *et al.* (2003) conduziram experiências em que foram observados maiores diâmetros do colmo no menor espaçamento entrelinhas. Este fato tem sido atribuído à maior interceptação da radiação solar pelo dossel da cultura no espaçamento equidistante, minimizando a competição intraespecífica por luz em estádios iniciais e anteriores à floração (Bullock *et al.*, 1988).

A massa de 100 sementes não foi afetada pelo arranjo espacial, pois não ocorreu efeito significativo do espaçamento na análise estatística, levando a ausência de ajustes de modelo (seja linear ou quadrático) a 5% de probabilidade. Já para o tratamento qualitativo 'híbridos', fica nítida a predominância de valores superiores para o híbrido 2B587PW, dentro de todos os espaçamentos, tanto em Palotina como em Brasilândia do Sul (Quadro 7). Isso caracteriza a preponderância do fator genético na determinação da massa de 100 sementes

para os híbridos em questão, e que o ambiente diferenciado, propiciado pela modulação dos espaçamentos, não foi suficiente para influenciar no fenótipo final.

Quadro 7 - Massa de 100 sementes (gramas) de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas, em Palotina e Brasilândia do Sul (Paraná, Brasil)

Espaçamento (cm)	Palotina		Brasilândia do Sul	
	Híbridos			
	2B587PW	2B810PW	2B587PW	2B810PW
25	24,05b	24,05b	34,50a	34,50a
50	21,50b	21,50b	34,25a	33,00a
75	20,00b	20,00b	34,00a	34,25a
100	20,60b	20,60b	33,00a	32,75a
Média	21,53	21,53	33,94	33,62
CV%	17,72		6,65	
DMS	7,19		7,19	

*Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de F ($P < 0,05$). DMS (Local X Híbrido X Espaçamento). Legenda: DMS: diferença mínima significativa; CV%: coeficiente de variação.

Os resultados obtidos a partir da análise conjunta dos dados de produtividades (Quadro 8 e Figuras 7 e 8) não foram reveladores nos desdobramentos de híbridos (dentro de locais e espaçamentos) e locais (dentro de híbridos e espaçamentos), mas foram especialmente expressivos no desdobramento de espaçamentos (dentro de locais e híbridos).

Quadro 8 - Análise conjunta da produtividade (kg ha^{-1}) de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas, cultivados em Palotina e Brasilândia do Sul (Paraná, Brasil)

Espaçamento (cm)	Palotina		Brasilândia do Sul	
	Híbridos			
	2B587PW	2B810PW	2B587PW	2B810PW
25	13.828,92Aa	13.028,51Aa	12.105,37Aa	11.274,79Aa
50	9.830,58Aa	9.272,72Aa	10.363,63Aa	9.117,77Aa
75	11.435,95Aa	9.483,47Aa	9.154,96Ab	8.956,61Aa
100	8.764,46Aa	8.132,23Aa	8.380,16Aa	8.690,00Aa
Média	10964,97	9979,23	10001,03	9509,79
CV%			14,38	
DMS			2037,38	
DMS			2037,69	

* Letras maiúsculas iguais na linha entre as cultivares (2B587PW e 2B810PW) e dentro de cada local (Palotina e Brasilândia do Sul). Letras minúsculas iguais na linha entre os locais dentro de cada cultivar não diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$). DMS (Local X Híbrido X Espaçamento). Legenda: DMS: diferença mínima significativa; CV%: coeficiente de variação.

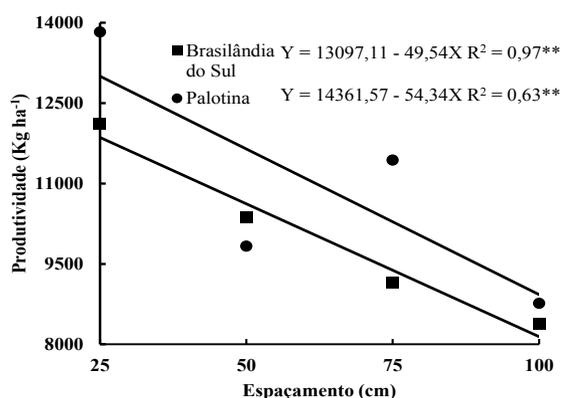


Figura 7 - Produtividade (kg ha⁻¹) do híbrido de milho 2B857PW submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas, cultivados em Palotina e Brasilândia do Sul (Paraná, Brasil). ** significativo a 1%; * significativo a 5%.

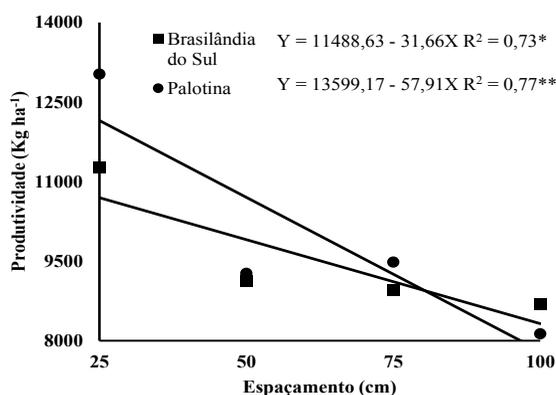


Figura 8 - Produtividade (kg ha⁻¹) do híbrido de milho 2B810PW submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas, cultivados em Palotina e Brasilândia do Sul (Paraná, Brasil). ** significativo a 1%; * significativo a 5%.

Apenas dentro do espaçamento de 75 cm, o híbrido 2B587PW, apresentou resultado significativamente inferior a Palotina na localidade de Brasilândia do Sul, o que demonstra que em ambos os ambientes de produção forneceram, exceto na condição supramencionada, condições para adaptação homogênea dos dois híbridos. Porém, pela análise de regressão (Figuras 7 e 8), a tendência foi linear negativa para as duas localidades, de entre os espaçamentos aplicados. É possível, a partir do modelo obtido, e observando o coeficiente angular, chegar às seguintes informações: para o genótipo

2B587PW, ocorreu uma redução de 49,54 kg ha⁻¹ na produtividade de grãos para cada unidade (cm) de espaçamento acrescido em Brasilândia do Sul; e 54,34 kg ha⁻¹ em Palotina, para o mesmo híbrido; 31,66 kg ha⁻¹ em Brasilândia, para o híbrido 2B810PW; e 57,91 kg ha⁻¹ em Palotina para a mesma cultivar anteriormente mencionada.

Os resultados indicam que os espaçamentos mais recomendados para os genótipos de milho e ambientes em questão estão mais próximos de 25 cm, e que a cada centímetro de aumento nesse espaçamento as perdas podem ser significativas, chegando a 57,91 kg ha⁻¹ nas condições edafoclimáticas de Palotina, e que, quando observadas as demais variáveis não analisadas conjuntamente, evidencia-se que há uma característica de relação inversa entre o desempenho agrônomico e o espaçamento. Verifica-se, portanto, a redução da produção com o aumento do espaçamento e a necessidade de adequação do arranjo espacial para as regiões e genótipos estudados.

No ensaio, verifica-se a tendência do aumento da produtividade com a redução no espaçamento entre linhas de sementeira. Esta tendência foi constatada também, por outros autores que obtiveram aumento de rendimento de grãos com a utilização do espaçamento reduzido (Argenta *et al.*, 2001a; Dourado Neto *et al.*, 2003; Penariol *et al.*, 2003; Stacciarini *et al.*, 2010). Em ensaios efetuados por Teasdale (1995, 1998) e Johnson *et al.* (1998), não foi constatado o aumento na produtividade, porém, a adoção desta técnica do espaçamento reduzido, mostrou a vantagem do sistema integrado de controle de plantas daninhas.

Cabe salientar que outros estudos são necessários, no sentido de obter informações que permitam posicionamentos mais consistentes. Mas, compreende-se que melhorar o arranjo espacial das plantas de milho, interfere diretamente na competição entre as plantas na linha e na melhor distribuição das mesmas no agroecossistema. Essa redução na competição e melhores aproveitamentos dos fatores ambientais proporcionam incrementos produtivos na cultura.

Em função dos resultados obtidos, infere-se que a melhoria do arranjo espacial das plantas de milho, contribui significativamente para o manejo

da cultura do milho. Essa contribuição tem uma influência direta na produtividade e indireta na redução nos trabalhos operacionais, por utilizar o mesmo espaçamento da cultura da soja. Pode-se ainda considerar, outras contribuições indiretas, uma delas seria a melhor distribuição dos fertilizantes, reduzindo a sua concentração junto das sementes, fator importante para altas produtividades. Cita-se ainda, a antecipação no fechamento das 'ruas' e, como consequência, reduzindo a mato-interferência, a competição por radiação solar, fertilizantes e água. Ademais, fica a incógnita, como reduzir o espaçamento a, por exemplo, 25 cm, sem ter efeito no atual sistema operacional de sementeira.

CONCLUSÕES

Nas condições em que foram desenvolvidos os trabalhos, e levando em consideração os indicativos obtidos, a redução do espaçamento na cultura do milho, por meio da redução no espaçamento entre linhas e o aumento do espaçamento de plantas na linha, mostrou ser uma tecnologia importante que possibilita o potencial incremento da produtividade desta cultura, do sistema de produção e dos solos avaliados em baixas altitudes. Para que estes resultados possam ser efetivamente levados aos produtores, torna-se necessário um amplo estudo, para que a implantação desta tecnologia se torne mais sólida e viável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M.L.; Meroto Júnior, A.; Sangoi, L.; Ender, M. & Guigdolin, A.F. (2000) – Incremento na densidade de plantas: Uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. *Ciência Rural*, vol. 30, n. 1, p. 23-29. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-8478200000100004>
- Argenta, G.; Silva, P.R.F.; Bortolini, C.G.; Forsthofer, E.L.; Manjabosco, E.A. & Beheregaray Neto, V. (2001a) – Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 36, n. 1, p. 71-78. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2001000100009>
- Argenta, G.; Silva, P.R.F. & Sangoi, L. (2001b) – Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. *Ciência Rural*, vol. 31, n. 6, p. 1075-1084. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782001000600027>
- Balbinot Jr., A.A. & Fleck, N.G. (2005) – Competitividade de dois genótipos de milho (*Zea mays*) com plantas daninhas sob diferentes espaçamentos entre fileiras. *Planta Daninha*, vol. 23, n. 3, p. 415-421. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582005000300004>
- Brachtvogel, E.L.; Pereira, F.R.S.; Cruz, S.C.S.; Abreu, M.L. & Bicudo, S.J. (2012) – População, arranjo de plantas uniforme e a competição intra-específica em milho. *Revista Tropica – Ciências Agrárias e Biológicas*, vol. 6, n. 1, p. 75.
- Bullock, D.G.; Nielsen, R.L. & Nyquist, W.E. (1998) – A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. *Crop Science*, vol. 28, n. 2, p. 254-258. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800020015x>
- Dourado Neto, D.; Palhares, M.; Vieira, P.A.; Manfron, P.A.; Medeiros, S.L.P. & Romano, M.R. (2003) – Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, vol. 2, n. 3, p. 63-77. <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v2n03p%25p>
- EMBRAPA (2006) – *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 306 p.
- EMBRAPA (2015) – *Cultivo de Milho*. 9ª ed., Sistema de Produção, Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 331 p.
- Fancelli, A.L. & Dourado Neto, D. (2004) – *Produção de milho*. 2.ed. Guaíba: Agropecuária. 360 p.
- Flesch, R.D. & Vieira, L.C. (2004) – Espaçamentos e densidades de milho com diferentes ciclos no Oeste de Santa Catarina. *Ciência Rural*, vol. 34, n. 1, p. 25-31. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000100005>
- Gross, M.R.; Von Pinho, R.G. & Brito, A.H. (2006) – Adubação nitrogenada, densidade de semeadura, espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema de plantio direto. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 30, n. 3, p. 387-393. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542006000300001>.

- Johnson, G.A.; Hoverstad, T.R. & Greenwald, R.E. (1998) – Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides, and cultivation. *Agronomy Journal*, vol. 90, n. 1, p. 40-46. <https://doi.org/10.2134/agronj1998.00021962009000010008x>
- Kasperbauer, M.J. & Karlen, D.L. (1994) – Plant spacing and reflected far-red light effects on phytochrome-regulated photosynthate allocation in corn seedlings. *Crop Science*, vol. 34, n. 6, p. 1564-1569. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400060027x>
- Kunz, J.H.; Bergonci, J.I.; Bergamaschi, H.; Dalmago, G.A.; Heckler, B.M.M. & Comiram, F. (2007) – Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos, espaçamentos e disponibilidade hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 42, n. 11, p. 1511-1520. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007001100001>
- Lana, M.C.; Woytichosk Junior, P.P.; Braccini, A.L.; Scapim, C.A.; Ávila, M.R. & Albrecht, L.P. (2009) – Arranjo espacial e adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho do milho. *Acta Scientiarum. Agronomy*, vol. 31, n. 3, p. 433-438. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i3.788>
- Marchão, R.L., Duarte, J.B.; Guimarães, C.M. & Gomes, J.A. (2005) – Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 35, n. 2, p. 93-101.
- Penariol, F.G.; Fornasieri Filho, D.; Coicev, L.; Bordin, L. & Farinelli, R. (2003) – Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, vol. 2, n. 2, p. 52-60. <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v2n02p%25p>
- Pereira, F.R.S.; Cruz, S.C.S.; Albuquerque, A.W.; Santos, J.R. & Silva, E.T. (2008) – Arranjo espacial de plantas de milho em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 12, n. 1, p. 69-74. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000100010>
- Sangoi, L. (2001) – Understanding plant density effects on maize growth and development: An important issue to maximize grain yield. *Ciência Rural*, vol. 31, n. 1, p. 159-168. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782001000100027>
- Sangoi, L.; Almeida, M.L.; Gracietti, M.A. & Bianchet, P. (2002) – Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, vol. 1, p. 60-66.
- Sangoi, L.; Gilber, A.; Silva, O.R.F.; Minetto, T.J. & Bisotto, V. (2003) – Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnico-econômica. *Ciência Rural*, vol. 33, n. 6, p. 1021-1029.
- Santos, M.M.; Galvão, J.C.C.; Miranda, G.V.; Ferreira, G.V.; Melo, A.V. & Fontanetti, A. (2007) – Espaçamento entre fileiras e adubação nitrogenada na cultura do milho. *Acta Scientiarum. Agronomy*, vol. 29, n. 4, p. 527-533.
- Sharratt, B.S. & McWilliams, D.A. (2005) – Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn. *Agronomy Journal*, vol. 97, p. 1129-1135.
- Stacciarini, T.C.V.; Castro, P.H.C.; Borges, M.A.; Guerin, H.F.; Moraes, P.A.C. & Gotardo, M. (2010) – Avaliação de caracteres agronômicos da cultura do milho mediante a redução do espaçamento entre linhas e aumento da densidade populacional. *Revista Ceres*, vol. 57, n. 4, p. 516-519. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2010000400012>
- Teasdale, J.R. (1995) – Influence of narrow row/high population corn on weed control and light transmittance. *Weed Technology*, vol. 9, n. 1, p. 113-118.
- Teasdale, J.R. (1998) – Influence of corn (*Zea mays*) population and row spacing on corn and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) yield. *Weed Science*, vol. 46, n. 4, p. 447-453. <https://doi.org/10.1017/S0043174500090883>
- Tollenaar, M. & Lee, E. (2002) – Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Research*, vol. 75, n. 2-3, p. 161-169. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00024-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00024-2)