



Avaliação de espaçamentos entre linhas combinados da cana-de-açúcar como estratégia para contornar a compactação do solo⁽¹⁾

Wildon Panziera⁽²⁾; Cláudia Liane Rodrigues de Lima⁽³⁾; Sergio Delmar dos Anjos e Silva⁽⁴⁾; Eloy Antonio Pauletto⁽³⁾; Leonir Aldrigui Dutra Junior⁽⁵⁾; João Roberto Pimentel⁽⁶⁾.

⁽¹⁾Trabalho executado com recursos do FINEP.

⁽²⁾Doutorando em Manejo e Conservação do Solo e da Água; Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas; Pelotas, Rio Grande do Sul; E-mail: panziera2@yahoo.com.br.

⁽³⁾Professor(a), Departamento de Solos; Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (UFPEL). ⁽⁴⁾Pesquisador; Embrapa Clima Temperado; ⁽⁵⁾Graduando em Agronomia; Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (UFPEL); ⁽⁶⁾Engenheiro Agrônomo, representante técnico de vendas; Dimicron Química do Brasil.

RESUMO: A cana-de-açúcar é uma fonte energética renovável altamente eficiente. No Brasil sua colheita migrou do tipo manual para a mecanizada, trazendo consigo novos desafios a serem superados. Um deles é a incompatibilidade do espaçamento entre linhas com a bitola do maquinário. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade e os atributos físicos em um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar nos ciclos de cana planta e primeira soca em diferentes configurações de espaçamento entre linhas. Foram coletadas amostras indeformadas no ciclo de cana planta e no ciclo de cana de 1º soca, em três tipos de espaçamentos entre linhas da cultura: simples (LS), combinado duplo (LD) e combinado triplo (LT). Foram determinados os atributos físicos do solo e a produtividade da cana. Foi realizada uma análise de variância e quando significativo realizado o teste de média para comparação das médias. Houve incremento da RP, Ds e redução da Ma, Pt e CAD nos três espaçamentos entre linhas após o primeiro corte da cana-de-açúcar. A produtividade não diferiu significativamente entre os tratamentos em ciclo de cana planta. Após o primeiro corte, o espaçamento LT apresentou produtividade significativamente menor que o LS e LD. O espaçamento LD apresentou o menor efeito da compactação do solo sobre os atributos físicos após o primeiro corte da cana-de-açúcar, sendo sua produtividade não diferente significativamente nos dois ciclos de cultivo do espaçamento LS.

Termos de indexação: *Saccharum spp*, atributos físicos do solo, tráfego controlado.

INTRODUÇÃO

Os impactos à natureza causados pelo homem e as mudanças climáticas pressionam para uma discussão da mudança da matriz energética mundial. Neste cenário, o cultivo de cana-de-açúcar é estratégico, por ser uma fonte energética sustentável.

No Brasil, a colheita da cana-de-açúcar migrou do sistema tradicional de colheita manual de cana inteira para a mecanizada de cana picada. A

mecanização da colheita implicou em alterações no manejo da lavoura. Um dos principais aspectos que deve ser considerado é o espaçamento entrelinhas de plantio da cultura. Há uma incompatibilidade do atual espaçamento com a bitola do maquinário ocasionando o tráfego no momento da colheita próximo e até sobre a linha de cultivo, gerando problemas de compactação do solo, rebrota, e perda de produtividade (Braunack et al., 2006). No cultivo de cana-de-açúcar, o tráfego de máquinas agrícolas tem sido verificado como a principal causa de degradação da qualidade física do solo (Roque et al., 2010).

Alguns autores citam que a solução seria o uso de espaçamentos entrelinhas combinados (Tullberg et al., 2001; Braunack & MCGarry, 2006; Braunack et al., 2006). Com a utilização de espaçamentos combinados há a compatibilização do espaçamento da linha da cultura com a largura da faixa do equipamento, o que garante que todo o tráfego ocorra sempre na mesma posição. Desta forma há a criação de duas zonas: as zonas de crescimento da cultura e zonas de tráfego, que são separadas fisicamente devido à configuração do espaçamento entre linhas.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a produtividade e os atributos físicos em um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar nos ciclos de cana planta e primeira soca em diferentes configurações de espaçamento entre linhas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Porto Xavier, no Rio Grande do Sul, em uma área pertencente à Cooperativa de Produtores de Cana Porto Xavier, Ltda (Coopercana). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo conforme Embrapa (2013).

O experimento foi implantado em 28 de agosto de 2012 em uma área de 200 m de comprimento por 20 m de largura. Quanto ao arranjo experimental, a área foi dividida em três partes, as quais receberam três tipos de espaçamentos entre linhas da cultura (tratamentos). Cada terço tem a



dimensão aproximada de 20 m de largura por 60 de comprimento. Os espaçamentos definidos no experimento foram: Espaçamento simples com 1,5 metros entre linhas de cultivo (LS); Espaçamento combinado duplo com 0,4 m nas linhas duplas e 1,7 m entre linhas duplas (LD) e; espaçamento combinado triplo com 0,3 m nas linhas triplas e 1,50 m entre linhas triplas (LT). A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB855156.

Em janeiro de 2013, (cinco meses após a implantação do experimento), durante o ciclo de cana planta e em setembro desse mesmo ano, durante o ciclo de cana de 1° soca (após o primeiro corte do canavial, que foi realizado de forma mecanizada) e em cada tipo de configuração de espaçamento foram coletadas amostras com estrutura preservada na camada de 0,00-0,20 m. Para isto, foi traçada uma transeção de 50 m de comprimento, paralela e distanciada a 0,01m da linha da cultura para cada um dos três tipos de configurações de espaçamentos entre linhas. A amostragem foi realizada ao longo de cada uma das transeções com pontos de amostragem equidistante de 1 m. As amostras foram coletadas em duplicata, para cada ponto de amostragem com anéis volumétricos de 0,03 m de altura e 0,0485 m de diâmetro, totalizando 300 amostras de estrutura preservada em ciclo de cana planta e mais 300 amostras em ciclo de cana de 1° soca.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Física do Solo na Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) para proceder as análises. A Ds do solo foi obtida pelo método do anel volumétrico e a Pt, Ma e Mi pelo método da mesa de tensão, ambos conforme Embrapa (1997). A resistência à penetração do solo (RP) foi determinada com um penetrômetro eletrônico de bancada modelo MA 933, fabricado pela empresa MARCONI LTDA. A determinação ocorreu em três pontos igualmente distanciados do centro da amostra com uma velocidade de penetração de 10 mmmin⁻¹ (Bradford, 1980). O conteúdo de água à base de volume correspondente à capacidade de campo (θ_{CC}) e ao ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) foi obtida em uma câmara de pressão de Richards (Klute, 1986) considerando o conteúdo de água retido nas tensão de 0,01 e 1,5 MPa como o conteúdo de água na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, respectivamente. De posse dos valores de θ_{CC} e θ_{PMP} foi calculada a capacidade de água disponível (CAD) pela diferença desses conteúdos de água dividido pela camada avaliada (0,20 m) (Reichardt & Timm, 2004).

Para determinação da produtividade, realizou-se a avaliação da massa do colmo (MC) e o número de colmos da cana-de-açúcar por unidade de área em setembro de 2013 e em agosto de 2014, no final do ciclo de cana planta e cana de primeira soca, respectivamente, ao longo da mesma transeção considerada na amostragem de solo e a cada metro.

Quanto a análise estatística, com os dados de Ds, RP, Pt, Ma, Mi, CAD e TCH realizou-se uma análise de variância para verificar o efeito do espaçamento, do ciclo e da interação entre eles. Quando houve significância ao nível de 5% de probabilidade pelo teste f, as médias foram comparadas entre si pelo teste tukey ($p < 0,05$). Foi utilizado o software R para a análise dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Percebe-se na **tabela 1** que a resistência à penetração (RP) em ciclo de cana planta no espaçamento entre linhas triplo apresentou maior valor, diferindo significativamente do espaçamento entre linhas simples, porém, não apresentou diferença significativa do espaçamento duplo. Comportamento semelhante foi observado com as médias da densidade do solo (Ds), o que vem a complementar os valores observados de RP. O comportamento de ambos os atributos em ciclo de cana planta mostra que há um estado inicial de estruturação do solo diferente em cada um dos três espaçamentos, com maiores valores de RP e Ds nos espaçamentos entre linhas triplo e duplo, respectivamente, em relação ao espaçamento simples. Esse padrão observado pode ser explicado pela forma como foi realizada a abertura e posteriormente a cobertura do sulco em cada tipo de espaçamento entre linhas para a implantação do canavial, pois houve uma adaptação do equipamento para sulcar e cobrir o sulco para os espaçamentos LD e principalmente no LT, sendo que para essas operações o trator teve que trafegar sobre as linhas para cobrir o sulco adjacente, devido a proximidade entre eles dentro da linha combinada, o que pode ter ocasionado um aumento da RP e da Ds em função desse tráfego do trator com o equipamento.

Avaliando a Ds em ciclo de primeira soca (**Tabela 1**), percebe-se que houve um incremento significativo nos espaçamentos simples e triplo e não significativo no espaçamento duplo. O maior incremento na média da Ds foi observado no espaçamento triplo e simples, respectivamente, sendo o valor da Ds no espaçamento triplo significativamente maior que no espaçamento



simples e duplo. No espaçamento duplo o valor de Ds foi significativamente menor em comparação aos outros dois espaçamentos (LS e LT).

Tabela 1 – Produtividade e atributos físicos do solo em ciclo de cana planta e primeira soca em três diferentes configurações de espaçamento entre linhas da cana-de-açúcar.

Variável ¹	Tratamento	Cana planta	1° soca
TCH (Mg)	Simple	67,0 a ^{ns}	66,8 a
	Duplo	69,3 a	60,9 a
	Tripl	64,7 a	51,0 b
Ds (kg dm ⁻³)	Simple	1,28 bB	1,41 bA
	Duplo	1,31 abA	1,33 cA
	Tripl	1,33 aB	1,47 aA
RP (MPa)	Simple	1,42 bB	2,14 bA
	Duplo	1,68 abB	2,27 bA
	Tripl	1,94 aB	4,33 aA
CAD (mm)	Simple	16,29 aA	12,10 bB
	Duplo	15,36 abA	13,95 aB
	Tripl	14,44 bA	11,97 bB
Pt (m ³ m ⁻³)	Simple	0,58 bA	0,53 bB
	Duplo	0,58 bA	0,56 aB
	Tripl	0,59 aA	0,55 aB
Ma (m ³ m ⁻³)	Simple	0,15 aA	0,09 bB
	Duplo	0,13 abA	0,12 aA
	Tripl	0,13 bA	0,08 bB
Mi (m ³ m ⁻³)	Simple	0,43 cB	0,45 bA
	Duplo	0,44 bA	0,44 bA
	Tripl	0,46 aB	0,48 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} - não significativo. ¹TCH – Tonelada de colmos por hectare; Ds – Densidade do solo; RP – Resistência à penetração; CAD – Capacidade de água disponível; Pt – Porosidade total; Ma – Macroporosidade; Mi – Microporosidade.

Os valores de RP em ciclo de primeira soca (**Tabela 1**) também apresentaram o mesmo comportamento dos valores de Ds, pois todos os tratamentos avaliados também apresentaram um incremento, sendo que o triplo apresentou maior valor, diferindo estatisticamente dos demais. Em todos os tratamentos avaliados em ciclo de cana de primeira soca, os valores foram superiores a 2 MPa que é considerado crítico para as plantas conforme Taylor et al. (1966). Esse incremento de RP e de Ds no ciclo de cana de primeira soca esta associado ao

tráfego de máquinas no momento da colheita, visto que foi realizada de forma mecanizada, onde há o transito sobre o solo da colhedora e do transbordo carregado com a cana colhida. O aumento da Ds e da RP em função do tráfego de máquinas também foi observado por Streck et al. (2004) e Collares et al. (2008). No entanto, cabe ressaltar que o menor incremento foi no espaçamento LD, devido provavelmente a compatibilidade do espaçamento entre linhas com a bitola do maquinário envolvido na colheita, proporcionando um controle de tráfego e por consequência uma compactação do solo menos expressiva.

Em relação aos valores de capacidade de água disponível (CAD) em ciclo de cana planta (**Tabela 1**), o espaçamento simples apresentou maior valor, diferindo significativamente do triplo, porém não diferindo do duplo. Em ciclo de primeira soca, houve uma redução significativa do valor de CAD nos três espaçamentos entre linhas, porém o duplo apresentou maior valor, sendo estatisticamente superior dos demais. Segundo Tormena, et al. (1998), a CAD reflete as alterações na estrutura do solo em virtude das alterações do espaço poroso, que atua na retenção de água em tensões menores e, portanto, mais facilmente disponível às plantas. Desta forma, a redução da CAD em ciclo de primeira soca é explicada pela mesma causa que originou o incremento da Ds e da RP nos três espaçamentos, ou seja, o tráfego de máquinas no momento da colheita. Já o maior valor de CAD no espaçamento duplo em ciclo de primeira soca também é explicado pela mesma causa que originou menores valores de RP e Ds nesse mesmo espaçamento e ciclo de cultivo.

Em ciclo de cana planta, todos os tratamentos apresentaram valores de Macroporosidade (Ma) superior a 0,10 m³m⁻³ (**Tabela 1**) que é considerado um valor mínimo de porosidade de aeração necessário ao desenvolvimento do sistema radicular, sendo o espaçamento simples com maior valor, não diferindo do duplo, que por sua vez, não diferiu do triplo significativamente. Em ciclo de primeira soca, os espaçamentos simples e triplo apresentaram uma redução significativa, ficando com as médias abaixo do valor considerado mínimo. Esse comportamento observado no presente estudo é devido ao tráfego de máquinas no momento da colheita, visto que parte dos macroporos foram destruídos e transformados em microporos com a aplicação de cargas sobre o solo. Já o espaçamento duplo não apresentou redução significativa da Ma após o primeiro corte, sendo estatisticamente superior aos outros dois espaçamentos nesse ciclo, o que infere em um bom



comportamento dessa configuração para contornar a compactação do solo.

Observa-se na **tabela 1**, que houve um incremento significativo nas médias da microporosidade (M_i) nos espaçamentos entre linhas simples e triplo após o primeiro corte. Esse incremento é devido à transformação de macroporos em microporos devido ao tráfego de máquinas no momento da colheita. Já no espaçamento duplo, houve uma redução não significativa dos valores de microporosidade após o primeiro corte, inferindo em uma menor perturbação do evento da colheita sobre a estrutura do solo nesse tipo de espaçamento entre linhas.

Quanto as médias da Porosidade total (P_t) em ciclo de cana planta (**tabela 1**), o espaçamento triplo apresentou maior valor, diferindo significativamente do simples e duplo. Esse maior valor da P_t no espaçamento triplo está associado ao maior valor da microporosidade, que também foi significativamente maior nesse espaçamento em ciclo de cana planta. Com relação ao ciclo de primeira soca, houve uma redução significativa da P_t no espaçamento duplo e triplo em relação ao ciclo de cana planta, diferindo do simples, o que pode ser um indicativo positivo, visto que a menor redução da P_t no espaçamento simples em comparação com os outros dois está associado ao incremento significativo da microporosidade devido a transformação de macroporos em microporos pelo tráfego de máquinas no momento da colheita.

Com relação às médias de produtividade (TCH), percebe-se na **tabela 1** que não houve diferença significativa entre os tratamentos em ciclo de cana planta. Não houve também efeito significativo de ciclo, não diferindo os três tipos de espaçamentos entre linhas entre o ciclo de cana planta e o ciclo de cana de primeira soca. Apenas o espaçamento entre linhas LT em ciclo de cana de primeira soca apresentou produtividade significativamente menor em comparação com os outros dois tipos de espaçamento (duplo e simples), sendo provavelmente devido a maior competição por luz solar, água e nutrientes.

CONCLUSÕES

O espaçamento combinado duplo apresentou o melhor comportamento para contornar a compactação do solo.

Não houve diferença de produtividade entre os espaçamentos entre linhas em ciclo de planta. Em ciclo de cana de primeira soca, o espaçamento combinado triplo foi significativamente menor aos outros dois.

REFERÊNCIAS

- BRADFORD, J. M. The penetration resistance in a soil with well-defined structural units. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:601-606, 1980.
- BRAUNACK, M. V. & MCGARRY, D. Traffic control and tillage strategies for harvesting and planting of sugarcane (*Saccharum officinarum*) in Australia. *Soil Till. Res.*, 89(1):86-102, 2006.
- BRAUNACK, M. V.; ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. *Soil Till. Res.*, 89:103-121, 2006.
- COLLARES, G.L.; REINER, D.J.; REICHERT, J.M. et al. Compactação de um latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:933-942, 2008.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2013. 374p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.
- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C. A., ed. *Methods of Soil Analysis. I. Physical and mineralogical methods*. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p.635-662.
- REICHARDT, K. & TIMM, L. C. Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações. 1.ed. São Paulo: Manole, 2004. 478p.
- ROQUE, A. A. de O.; SOUZA, Z. M. de; BARBOSA, R. S. et al. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. *Pesq. Agropec. Bras.*, 45(7):744-750, 2010.
- STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciência Rural*, 34:755-760, 2004.
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M. & PARKER, J.J. Soil strength - Root penetration relations to medium to coarse - textured soil materials. *Soil Science*, 102:18-22, 1966.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. & SA, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:301-309, 1998.
- TULLBERG, J. N.; ZIEBARTH, P. J. & LI YUXIA. Tillage and traffic effects on runoff. *Austr. J. Soil Res.*, 39:249-257, 2001.