

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO EN RESPUESTA AL USO DE LA HERRAMIENTA DE LABRANZA CONSERVACIONISTA PARAPLOW ROTATORIO

SOIL CHARACTERISTICS AFFECTED BY USING THE NEW CONSERVATIONIST TILLAGE TOOL ROTARY PARAPLOW

Daniel Albiero*, Antonio J. da Silva-Maciel, Renan D. Tunussi

Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, FEAGRI/UNICAMP. Cidade Universitária Zeferino Vaz, Caixa Postal 6011, Barão Geraldo, Campinas, CEP: 13083-875, São Paulo, Brasil. (daniel.albiero@gmail.com).

RESUMEN

Actualmente tienen gran importancia los sistemas de preparación del suelo con características conservacionistas, preservando el suelo y el ambiente. Con este fin se desarrolló el Paraplow Rotativo, una nueva herramienta conservacionista de preparación del suelo en la cual se añadió una azada rotativa vertical con un Paraplow de tracción. El objetivo de este estudio fue evaluar las características de la faja de plantío generada por la nueva herramienta de preparación de suelo conservacionista Paraplow Rotativo. El análisis de los resultados muestra que el Paraplow Rotativo produce una faja bien preparada de suelo que posee características ideales para la siembra de semillas, caracterizada por una anchura superficial pequeña y subsuperficial grande, lo que significa una menor exposición del suelo superficial a la erosión.

Palabras clave: Paraplow, herramienta de preparación del suelo, siembra conservacionista.

INTRODUCCIÓN

Las herramientas de preparación del suelo para conservar las condiciones iniciales del suelo son importantes para evitar la erosión y conservarlo. En las nuevas herramientas de preparación del suelo se debe comprobar experimentalmente sus ventajas y limitaciones. Las formas intermedias de preparación conservacionista tienen efectos intermedios entre la siembra directa y labranza convencional (Kladivko, 2001).

Según la SSSA (2005), el Paraplow es un tipo de subsolador diseñado para aumentar la resistencia a la

ABSTRACT

Soil preparation systems with conservationist features aimed at preserving soil and environment are currently very important. To this end, the Rotary Paraplow was created; namely, a new conservationist tool for soil preparation in which a vertical rotary hoe with a traction Paraplow was added. The aim of this study was to evaluate the characteristics of the planting strip generated by the new conservationist tool for the preparation of soil, the Rotary Paraplow. The analysis of the results showed that the Rotary Paraplow produces a well-prepared soil strip that has ideal characteristics for sowing seeds, characterized by a small surface and large subsurface width, which means less exposure of topsoil to erosion.

Key words: Paraplow, soil preparation tool, conservationist tillage.

INTRODUCTION

Tools for soil preparation to keep the initial conditions are important to prevent soil erosion and preserve it. The advantages and limitations of the new tools for soil preparation must be tested experimentally. The intermediate conservationist methods of preparation have intermediate effects between direct tillage and conventional tillage (Kladivko, 2001).

According to the SSSA (2005), the Paraplow is a type of subsoiling designed to increase resistance to soil breaking in the lateral direction. Its blades are inclined at a front and side angle of 45°, causing ground elevation. This leads to a breakup along the soil natural lines of weakness (Fogarty, 1984). To improve performance, Chang (2010) developed a rotary type, which is a fusion of a vertical milling cutter and a conventional Paraplow. The vertical cutter

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: Mayo, 2010. Aprobado: Febrero, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 147-156. 2011.

rotura del suelo en la dirección lateral, sus hojas están inclinadas en un ángulo frontal y lateral de 45° que provocan la elevación del suelo. Esta acción causa una ruptura a lo largo de las líneas naturales de debilidad de los suelos (Fogarty, 1984). Para mejorar el rendimiento Chang (2010) desarrolló un tipo rotatorio, que es una fusión de una fresa vertical y un Paraplow convencional. La fresa vertical permite una mejor movilidad en el subsuelo y con ello una mayor penetración de agua, mientras que el Paraplow sólo afecta al suelo en posición horizontal sin invertirlo, manteniendo los residuos en la superficie del suelo de cultivo y formando una cubierta (Albiero, 2008). Según Maciel y Albiero (2007), el Paraplow Rotativo es una nueva herramienta para preparar la línea de siembra con una práctica de conservación de la plantación en tiras.

El Paraplow Rotativo tiene una acción volumétrica en el subsuelo y sus cuchillas, debido a su geometría específica, generan una ruptura del suelo en su ángulo natural de grietas, las cuales están en la región del cuerpo de suelo que tiene menos resistencia. Debido a la rotación del Paraplow Rotativo se causan vibraciones con una gran cantidad de componentes de frecuencia (Kataoka y Shibusawa, 2002), que corresponden a la variación de la resistencia al corte del suelo debido a la presencia de grietas en las regiones. Según Maciel y Albiero (2007) el Paraplow Rotativo se puede usar en la preparación de líneas de siembra para el sistema de siembra en fajas. En dicho sistema el hábitat de la flora y fauna del suelo es destruido sólo parcialmente (Geissen *et al.*, 2003).

Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la faja de siembra formada por la nueva herramienta de preparación conservacionista del suelo, Paraplow Rotativo, que realiza una buena preparación subsuperficial de la línea de siembra y con poco movimiento de la superficie (Albiero, 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Campo Experimental de la Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, estado de São Paulo, Brasil; 22° 48' 57" S y 47° 03' 33" O y altitud media de 640 m. El suelo es un oxisol ortoxe (Freire, 2006) con textura arcillosa; su composición es 59 % arcilla, 15 % limo, 16 % arena y 10 % materia orgánica. El contenido medio de agua durante el experimento fue constante (20 %). El suelo del

allows having a better mobility in the subsurface and thus greater penetration of water, while the Paraplow only affects the soil in the horizontal position without inverting it, keeping waste on the surface of cultivation soil and forming a cover (Albiero, 2008). According to Maciel and Albiero (2007), the Rotary Paraplow is a new tool designed to prepare the planting line with the conservationist practice of planting in strips.

The Rotary Paraplow has a volumetric action in the subsoil, and its blades, due to their specific geometry, generate ground breaking in the natural angle of cracks, which are in the least resistant regions of the soil body. Due to the Rotary Paraplow rotation vibrations occur with a large number of frequency components (Kataoka and Shibusawa, 2002), corresponding to the variation of soil shear strength because of the presence of cracks in the regions. According to Maciel and Albiero (2007), the Rotary Paraplow can be used in the preparation of planting lines for the strip planting system. In this system the habitat of the soil flora and fauna is only partially destroyed (Geissen *et al.*, 2003).

Therefore, the objective of this study was to evaluate the planting strip formed by the new tool of soil conservationist preparation, the Rotary Paraplow, which makes a good subsurface preparation of the planting line and with little movement of the surface (Albiero, 2008).

MATERIALS AND METHODS

The research was conducted at the experimental field of the Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, São Paulo, Brazil, 22° 48' 57" S and 47° 03' 33" W and mean altitude of 640 m. The soil is an Oxisol ortoxe (Freire, 2006) of clayey texture; its composition is 59 % clay, 15 % silt, 16 % sand and 10 % organic matter. The average water content during the experiment was constant (20 %). The study site soil had a cone index of 1715 kPa and a bulk density of 1700 kg m⁻³; it was on top of a ramp with 3 % slope and covered with guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.) and brachiaria (*Brachiaria decumbens* Stapf.).

The Rotary Paraplow used in this experiment (Figure 1) has three separate Paraplaws at 120°, whose geometry is the same presented by Maciel and Albiero (2007) and Albiero (2008); and its structure is made of SAE 1045 steel. This Paraplow was powered by a Bertolini Model 318 rototiller, provided by the Empresa Argos Tech., with a single-cylinder diesel engine of 12 horsepower rating at 314 rad s⁻¹ (3000 rpm), with two speeds

lugar del estudio tenía un índice de cono de 1715 kPa y densidad aparente de 1700 kg m⁻³; estaba en la parte superior de una rampa con 3 % de pendiente y cubierto con pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) y brachiaria (*Brachiaria decumbens* Stapf.).

El Paraplow Rotativo usado en este experimento (Figura 1) tiene tres Paraplows separados a 120°, cuya geometría es la misma presentada por Maciel y Albiero (2007) y Albiero (2008); y la estructura es de acero SAE 1045. Este Paraplow fue accionado por un motocultor Bertolini modelo 318, proporcionado por la Empresa Argos Tech., con un motor diesel monocilíndrico con 12 CV de potencia nominal a 314 rad s⁻¹ (3000 rpm), con dos velocidades para la toma de fuerza (TDP) [V1 = 62 rad s⁻¹ (600 rpm); V2 = 94 rad s⁻¹ (900 rpm)], acoplado a un chasis porta-herramienta con un reductor de engranajes cónicos con reducción de 1.75:1.

Las variables para evaluar la faja de siembra generada por el Paraplow Rotativo fueron: anchura inferior (AI) de la faja de siembra; anchura superior (AS); profundidad efectiva (P); anchura lateral de fisura (AF); índice de cono de la región que sufrió fisuras (CIF) y región central de la faja preparada (CIC), para comparaciones con el índice de cono original de la superficie antes de la operación (CI0).

Todas las combinaciones operacionales posibles se realizaron para caracterizar la descompactación del suelo, por lo cual el diseño experimental fue completamente aleatorio. Considerando los componentes del experimento [velocidad teórica de avance - Vm = 0.36 y 0.7 ms⁻¹; profundidad de trabajo - Pr = 0.15 y 0.20 m; y velocidad de rotación - Rot = 36 rad s⁻¹ (342 rpm) y 54 rad s⁻¹ (514 rpm)] y las características de operación del motocultor

for PTO (TDP) [V1 = 62 rad s⁻¹ (600 rpm), V2 = 94 rad s⁻¹ (900 rpm)], coupled to a tool-holder chassis with bevel gear reducer with a reduction of 1.75:1

The variables to assess the planting strip generated by the Rotary Paraplow were: lower width (AI) of the planting strip; upper width (AS); effective depth (P); fissure lateral width (AF); cone index of the region affected by fissures (CIF), and central region of the prepared strip (CIC) for comparisons with the original cone index of the surface before the operation (CI0).

All possible operational combinations were made to characterize soil decompaction, so the experimental design was completely randomized. Considering the components of the experiment [theoretical forward speed - Vm = 0.36 and 0.7 ms⁻¹; work depth - Pr = 0.15 and 0.20 m; and rotational speed - Rot = 36 rad s⁻¹ (342 rpm) and 54 rad s⁻¹ (514 rpm)] and the operating characteristics of the Bertolini 318 rototiller, there are 2 variations with 8 possible operational combinations. Each combination was a treatment, each with two replicates (16 experimental lines.) Each line had a 5-point experimental data collection, with 80 sampling points of all variables. The terminology used was: theoretical forward speed (V1 = 0.36 and V2 = 0.7 m⁻¹); rotational speed of the Paraplow [(R1 = 36 rad s⁻¹ (342) and R2 = 36 rad s⁻¹ (514 rpm)]; and work setting depth (Pr1 = 0.15 and Pr2 = 0.20 m). The name of the treatment was Exyz, where x is the theoretical speed, y the tool rotation, and z the depth adjustment. The methodology for obtaining the data was cited by Albiero (2008).

In this study data were evaluated by two methods: descriptive statistics (arithmetic mean, standard deviation, coefficient of variation, range, maximum, minimum, symmetry, kurtosis), and

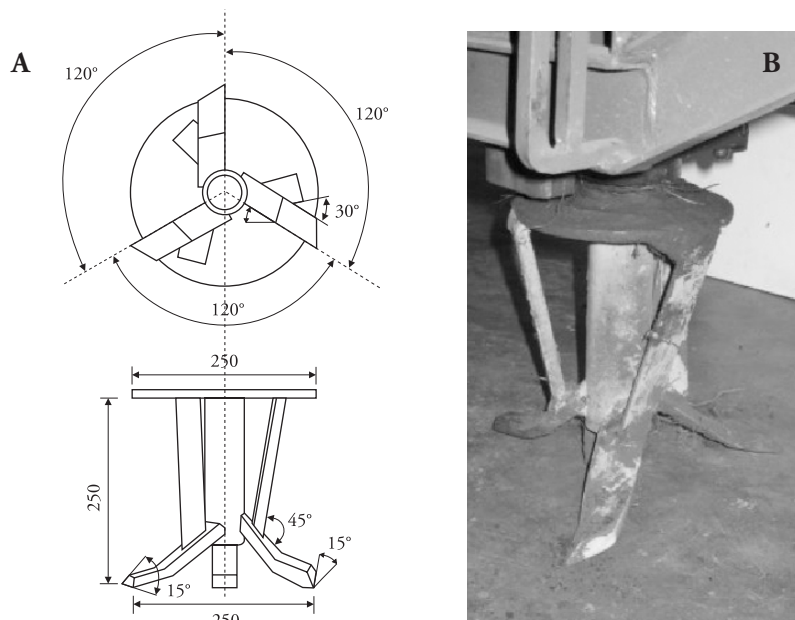


Figura 1. A) Dibujo técnico del Paraplow Rotativo; B) Paraplow Rotativo utilizado en el experimento.

Figure 1. A) Technical drawing of the Rotary Paraplow, B) Rotary Paraplow used in the experiment.

Bertolini 318, hay 2 variaciones con 8 combinaciones operacionales posibles. Cada combinación fue un tratamiento, cada uno con dos repeticiones (16 líneas experimentales). Cada línea tuvo 5 puntos de recolección de datos, con 80 puntos de muestreo de todas las variables. La terminología usada fue: velocidad teórica de avance ($V1 = 0.36$ y $V2 = 0.7 \text{ ms}^{-1}$); velocidad rotativa del Paraplow [$R1 = 36 \text{ rad s}^{-1}$ (342) y $R2 = 36 \text{ rad s}^{-1}$ (514 rpm)]; y profundidad de reglaje de trabajo ($Pr1 = 0.15$ y $Pr2 = 0.20 \text{ m}$). La denominación del tratamiento fue Exyz, donde x es la velocidad teórica, y la rotación de la herramienta, y z la profundidad de reglaje. La metodología para obtener los datos fue la citada por Albiero (2008).

En este estudio los datos fueron evaluados por dos métodos: estadística descriptiva (media aritmética; desviación estándar; coeficiente de variación; amplitud; máximo; mínimo; simetría; curtosis) y análisis de variancia (prueba F; $p \leq 0.05$). Como prueba de normalidad de las distribuciones de medias se usaron las medidas de curtosis y simetría, adoptando como valores para rechazo de la normalidad: curtosis ($k > 2$ o $k < -2$); simetría ($g > 2$ o $g < -2$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados muestra una óptima configuración del surco preparado, según Maciel y Albiero (2007) El Paraplow Rotativo genera una pequeña faja superficial preparada y una gran faja subsuperficial con fisuras transversales a la línea de suelo preparado, combinada con un ancho mayor en la base del surco mayor, formando un trapecio (Figura 2).

Los datos de anchura superior del surco, anchura inferior, profundidad efectiva y anchura lateral de las fisuras se muestran en los Cuadros 1 a 4. El ancho de las líneas de suelo fue 0.12 a 0.13 m superior

analysis of variance (F test, $p \leq 0.05$). As evidence of the normal distribution of means, the measures of kurtosis and symmetry were used, taking as values for rejection of normality: kurtosis ($k > 2$ or $k < -2$); symmetry ($g > 2$ or $g < -2$).

RESULTS AND DISCUSSION

The analysis of the results shows an excellent configuration of the furrow prepared, according to Maciel and Albiero (2007). The Rotary Paraplow generates a small surface strip and a large subsurface strip with cracks transversal to the soil line prepared, combined with a greater width at the base of the major furrow, forming a trapezoid (Figure 2).

The data of the furrow upper width, lower width, effective depth and the lateral width of cracks are shown in Tables 1 to 4. The width of the soil lines was 0.12 to 0.13 m above and 0.2 to 0.22 m below, forming a trapezoid of average height (0.12 to 0.17 m) depending on the setting of the machine. The cracks had an average width of 40 to 45 cm forming two inverted trapezoids, one on each side of the area involved. All data presented a normal probability graph of linear waste, resulting in a normal distribution.

The F test revealed that there was no significant difference statistically ($p > 0.05$) between the upper and lower width because the same tool was used in all treatments. Between the effective depth means and the width of cracks there was a statistically significant difference ($p \leq 0.05$), but the magnitude of the difference was small due to different operating configurations adopted, testing two work depths.



Figura 2. Conformación de la faja de siembra preparada con el Paraplow Rotativo.
Figure 2. Conformation of the planting strip prepared with the Rotary Paraplow.

y 0.2 a 0.22 m inferior, formando un trapecio de altura media (0.12 a 0.17 m), según el reglaje de la máquina. Las fisuras tuvieron una anchura media de 40 a 45 cm formando dos trapecios invertidos, uno de cada lado del área trabajada. Todos los datos presentaron un gráfico de probabilidad normal de residuos lineales, comprobando una distribución normal.

La prueba F no mostró una diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) entre la anchura superior y la inferior porque se usó la misma herramienta en todos los tratamientos. Entre las medias de profundidad efectiva y anchura de las fisuras hubo una diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$), pero la diferencia fue poca debido a las distintas configuraciones operativas adoptadas probando dos profundidades de reglaje.

El análisis de los datos (Cuadros 1 a 4) muestra que el Paraplow Rotativo alcanzó el objetivo de una faja bien preparada con profundidad suficiente para

The data analysis (Tables 1 to 4) shows that the Rotary Paraplow reached the target of a well prepared strip with enough depth for planting the selected crops (beans, *Phaseolus vulgaris* L.; maize, *Zea mays* L.; soybean *Glycine max* L.; castor beans, *Ricinus communis* L). This shows the propagation of cracks generated in the soil due to the dynamic rotation of the Rotary Paraplow, according to the phases of propagation of fissures described by Karmakar and Kushwaha (2005).

This confirms the conclusions by Albiero (2008), who pointed out that the Rotary Paraplow produces a range of well prepared soils with ideal characteristics for sowing seeds, with a small surface width and a broad one on the subsurface. This means less exposure of the soil surface to erosion, and a greater area of land well suited to plant roots in the subsoil, as well as very wide lateral cracks along the planting strip, which favors water filtration into the ground (Maciel and Albiero, 2007).

Cuadro 1. Estadística descriptiva de la anchura superior (AS).
Table 1. Descriptive statistics of the top width (AS).

Tratamiento	Media (cm)	Desviación estándar (cm)	Simetría	Curtosis
E111	12.80	0.63	0.17	0.12
E112	12.80	0.42	-1.30	0.91
E121	12.70	0.95	-0.30	-0.22
E122	12.20	0.42	1.30	0.91
E211	13.10	0.32	1.08	1.45
E212	12.60	0.52	-0.63	-1.47
E221	12.80	0.63	0.17	0.12
E222	13.00	0.67	0.00	0.05

La denominación del tratamiento fue Exyz, donde x es la velocidad teórica, y la rotación de la herramienta, y z la profundidad de reglaje. ❖ The name of the treatment was Exyz, where x is the theoretical speed, y the rotation of the tool, and z the adjustment depth.

Cuadro 2. Estadística descriptiva de la anchura inferior (AI).
Table 2. Descriptive statistics of the lower width (AI).

Tratamiento	Media (cm)	Desviación estándar (cm)	Simetría	Curtosis
E111	21.20	1.32	0.36	-1.27
E112	21.20	1.40	0.61	-1.24
E121	21.50	1.18	-0.33	-0.93
E122	20.80	1.03	1.60	0.61
E211	21.60	1.71	0.58	-1.16
E212	22.30	1.57	-0.52	-0.83
E221	22.40	2.01	0.70	-0.32
E222	22.30	0.67	-0.56	-0.18

La denominación del tratamiento fue Exyz, donde x es la velocidad teórica, y la rotación de la herramienta, y z la profundidad de reglaje. ❖ The name of the treatment was Exyz, where x is the theoretical speed, y the rotation of the tool, and z the adjustment depth.

Cuadro 3. Estadística descriptiva de la profundidad efectiva (P).**Table 3. Descriptive statistics of the effective depth (P).**

Tratamiento	Media (cm)	Desviación estándar (cm)	Simetría	Curtosis
E111	12.80	2.35	0.30	-1.04
E112	15.40	1.35	0.56	0.84
E121	13.10	1.91	1.00	0.40
E122	15.30	2.71	0.41	-0.64
E211	12.40	1.17	0.05	-0.94
E212	17.50	2.07	-1.82	0.85
E221	12.50	1.35	0.22	0.70
E222	13.80	1.87	0.46	-0.45

La denominación del tratamiento fue Exyz, donde x es la velocidad teórica, y la rotación de la herramienta, y z la profundidad de reglaje
 ❖ The name of the treatment was Exyz, where x is the theoretical speed, y the rotation of the tool, and z the adjustment depth.

Cuadro 4. Estadística descriptiva de la anchura lateral de fisura (AF).**Table 4. Descriptive statistics of the fissure lateral width (AF).**

Tratamiento	Media (cm)	Desviación estándar (cm)	Simetría	Curtosis
E111	40.10	2.23	0.09	0.62
E112	44.10	2.08	-0.69	-0.61
E121	41.20	1.75	-0.29	-0.04
E122	40.40	2.22	0.26	2.00
E211	41.80	3.97	1.26	0.43
E212	42.50	3.69	0.62	1.11
E221	45.90	7.17	1.26	0.05
E222	43.90	2.77	0.78	-0.25

La denominación del tratamiento fue Exyz, donde x es la velocidad teórica, y la rotación de la herramienta, y z la profundidad de reglaje
 ❖ The name of the treatment was Exyz, where x is the theoretical speed, y the rotation of the tool, and z the adjustment depth.

sembrar los cultivos seleccionados (frijol, *Phaseolus vulgaris* L.; maíz, *Zea mays* L.; soya, *Glycine max* L.; mamona, *Ricinus communis* L). Esto muestra la propagación de fisuras generadas en el suelo debido a las acciones dinámicas de la rotación del Paraplow Rotativo, según las fases de propagación de fisuras descritas por Karmakar y Kushwaha (2005).

Lo anterior confirma las conclusiones de Albiero (2008) quien indica que la Paraplow Rotativo produce una gama de suelos bien preparados que poseen características ideales para sembrar semillas, con un ancho superficial pequeño y un ancho del subsuelo grande. Esto significa una menor exposición de la superficie del suelo a la erosión, y un área mayor de tierra bien preparada para plantar raíces en el subsuelo, así como una gran anchura de las grietas laterales a lo largo de la franja de plantación, lo cual mejora la infiltración del agua en el suelo (Maciel y Albiero, 2007).

The data for the original cone index, the crack central region cone index and the cone index of the cracks are shown in Tables 5 to 7. The stratum of soil depth analyzed in this study ranged from 0 to 10 cm. Before and after the operation there was a significant statistical difference between the means ($p \leq 0.05$). Before the operation there were differences between the averages of the original cone index in the regions, confirming the great variability of the soil. This trend was observed after the operation, revealing the great differentiation in the cone rates of the region of fissures.

The original cone index dropped drastically (Table 7) after the Rotary Paraplow; thus in the upper width of the experimental strip, about 12 cm, the cone index decreased (2 to 10 kPa). This effect is attributed to the action of volumetric subsoiling of the Rotary Paraplow; Zhang *et al.* (2001) conclude that clayey soils suffering from severe

Los datos para índice de cono original, índice de cono de la región central de la fisura e índice de cono de las fisuras están en los Cuadros 5 a 7. El estrato de profundidad del suelo analizado fue de 0 a 10 cm. Antes y después de la operación hubo una

shear stress have a significant resistance decrease to water penetration. The Rotary Paraplow rotation amplifies these actions due to the vibrations the soil receives in each rotary shear because, according to Kataoka and Shibusawa (2002), the soil is regularly

Cuadro 5. Estadística descriptiva del índice de cono original (CIO).
Table 5. Descriptive statistics of the original cone index (CIO).

Tratamiento	Media (kpa)	Desviación estándar (kpa)	Simetría	Curtosis
E111	1744	130	-0.42	-0.56
E112	1643	92	-0.38	-1.41
E121	1812	163	-0.12	-1.18
E122	1786	33	-0.27	-0.88
E211	1816	178	0.00	-0.91
E212	1547	13	-1.48	-0.15
E221	1665	60	-0.27	-0.69
E222	1714	66	-0.12	-1.25

La denominación del tratamiento fue Exyz, donde x es la velocidad teórica, y la rotación de la herramienta, y z la profundidad de reglaje
 ❖ The name of the treatment was Exyz, where x is the theoretical speed, y the rotation of the tool, and z the adjustment depth.

Cuadro 6. Estadística descriptiva del índice de cono del centro del surco (CIC) después de la operación.
Table 6. Descriptive statistics of the cone index of the furrow central part (CIC) after the operation.

Tratamiento	Media (kpa)	Desviación estándar (kpa)	Simetría	Curtosis
E111	3.5	0.66	0.28	-0.29
E112	2.5	1.26	0	-1.13
E121	8.9	5.44	-0.65	-1.19
E122	2.5	0.81	0	0.52
E211	9.8	5.95	0.64	-0.65
E212	3.2	4.04	1.97	1.96
E221	2.4	1.34	0.99	-0.08
E222	7.0	6.16	1.48	0.51

La denominación del tratamiento fue Exyz, donde x es la velocidad teórica, y la rotación de la herramienta, y z la profundidad de reglaje
 ❖ The name of the treatment was Exyz, where x is the theoretical speed, y the rotation of the tool, and z the adjustment depth.

Cuadro 7. Estadística descriptiva del índice de cono de la región de fisuras (CIF) después de la operación.
Table 7. Descriptive statistics of the cone index of the fissure region (CIF) after the operation.

Tratamiento	Media (kPa)	Desviación estándar (kPa)	Simetría	Curtosis
E111	257	73	-0.90	-0.21
E112	215	11	-0.26	-1.36
E121	258	25	0.41	-0.66
E122	158	52	0.98	-0.96
E211	203	44	0.05	-1.05
E212	192	53	-0.84	-0.27
E221	146	39	0.17	-0.90
E222	180	51	0.08	-0.80

La denominación del tratamiento fue Exyz, donde x es la velocidad teórica, y la rotación de la herramienta, y z la profundidad de reglaje
 ❖ The name of the treatment was Exyz, where x is the theoretical speed, y the rotation of the tool, and z the adjustment depth.

diferencia estadística significativa entre las medias ($p \leq 0.05$). Antes de la operación hubo diferencias entre las medias del índice de cono original en las regiones, confirmando la gran variabilidad del suelo. Esta tendencia se observó después de la operación y muestra la gran diferenciación de los índices de cono de la región de fisuras.

El índice de cono original tuvo una reducción drástica (Cuadro 7) después del Paraplow Rotativo; así, entre la anchura superior de la faja experimental, alrededor de 12 cm, este índice de cono disminuyó (2 a 10 kPa). Este efecto se atribuye a la acción de subsolado volumétrico del Paraplow Rotativo; Zhang *et al.* (2001) concluyen que los suelos arcillosos que sufren estrés severo de corte tienen una disminución significativa en la resistencia a la penetración del agua. La rotación de la Paraplow Rotativo amplifica estas acciones debido a las vibraciones que el suelo recibe en cada corte rotatorio porque, según Kataoka y Shibusawa (2002), el suelo se corta periódicamente y puede haber cambiado la dirección debido a la rotación de la cuchilla, ampliando las acciones de las fracturas y la hendidura del suelo con mayor amplitud.

Los valores observados en las cercanías de la faja preparada, alrededor de 40 cm, se presentan en el Cuadro 7. Este efecto se atribuye también a la acción de subsolado volumétrico del Paraplow Rotativo. Así, este Paraplow puede ser una óptima solución para casos extremos de compactación, cuando la recomendación de la ASAE (1997) no se cumple con relación al valor máximo para el índice de cono para no limitar el crecimiento de las raíces (2.25 MPa). Al considerar los valores iniciales de índice de cono y los valores resultantes en la faja de 40 cm dañada por fisuras, en esas malas situaciones el índice de cono será reducido hasta valores inferiores al nivel mencionado.

Otra observación interesante es que los datos del Cuadro 7 confirman la afirmación de Justino (2010) de que con los sistemas de labranza mínima, el índice de cono de las grietas superficiales es mayor que aquel en mayores profundidades. Todos los tratamientos con menor profundidad de trabajo tenían índices de cono más altos (Cuadro 7).

Según Maciel y Albiero (2007), el Paraplow Rotativo al operar en un suelo con densidad aparente de 1160 kg m^{-3} y un índice de cono de 2600 kPa, usa una potencia total de 2.65 kW para un trabajo

cut and may have changed direction due to the blade rotation, extending the action of soil fractures and widening the cleft.

The values observed in the vicinity of the strip prepared, about 40 cm, are presented in Table 7. This effect is also attributed to the action of the Rotary Paraplow volumetric subsoiling. Thus, this Paraplow can be an excellent solution for extreme cases of compaction, when the recommendation of the ASAE (1997) is not met in relation to the maximum value for the cone index so as not to limit the growth of roots (2.25 MPa). Considering the initial values of the cone index and the resulting values in the strip of 40 cm damaged by cracks, in such bad conditions, the cone index will be reduced to values below the level mentioned.

Another interesting observation is that Table 7 data confirm the statement by Justino (2010) that with the minimum soil tillage systems the cone index of surface cracks is greater than that at greater depths. All the treatments showing a lower work depth recorded higher cone indices (Table 7).

According to Maciel and Albiero (2007), when operating in a soil with bulk density of 1160 kg m^{-3} and a cone index of 2600 kPa, the Rotary Paraplow uses a total power of 2.65 kW to operate at 0.2 m deep, with a speed of 0.3 ms^{-1} . In such conditions the Paraplow had a cut rate of $0.0061 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, which represents a specific power of $433 \text{ kW m}^{-3} \text{ s}^{-1}$.

It is possible to make an estimate of the powers used in the Rotary Paraplow treatments varying the cutting rates depending on the cut depth and forward speed, as these variables determine the data exhibited in Tables 1, 3 and 5: upper width, lower width and effective depth, which are a function of the specific power proposed by Maciel and Albiero (2007).

The estimated power of the treatments with forward speed 2 was approximately twice that of speed 1 (Table 8). This is corroborated by theory, as Halliday *et al.* (2008) argue that power is proportional to the travel speed and the force applied in a linear relationship.

The E111 treatment had the lowest demand of energy, which represents a slower advance and lower cutting relationship. However, the treatment with a high demand of energy was not E222, which represents the biggest gain speed and the highest

a 0.2 m de profundidad con una velocidad de 0.3 ms⁻¹. En tales condiciones el Paraplow tuvo una tasa de corte de 0.0061 m³ s⁻¹ lo que representa una potencia específica de 433 kW m⁻³ s¹.

Una estimación de las potencias utilizadas en los tratamientos con Paraplow Rotativo se puede hacer variando las tasas de corte en función de la profundidad de corte y velocidad de avance, ya que estas variables determinan los datos de los Cuadros 1, 3 y 5: anchura superior, anchura inferior y profundidad efectiva, que son función de la potencia específica propuesta por Maciel y Albiero (2007).

La potencia estimada de los tratamientos con la velocidad de avance 2 fue aproximadamente el doble del que tiene la velocidad 1 (Cuadro 8). Esto es corroborado por la teoría, ya que Halliday *et al.* (2008) sostienen que la potencia es proporcional a la velocidad de desplazamiento y la fuerza aplicada en una relación lineal.

El tratamiento E111 tuvo la menor demanda de energía lo que representa un avance más lento y menor relación de corte. Sin embargo, el tratamiento con alta demanda de energía no fue el E222, que representa el mayor avance de velocidad y la tasa más alta de corte. Esto indica que la rotación de Paraplow Rotatorio tiene una influencia significativa en la potencia requerida (Cuadro 8). Así, el tratamiento E212 tuvo el mayor poder de movilización, mayor profundidad y velocidad de avance, pero la menor rotación de la herramienta. Esta menor rotación puede haber causado un desequilibrio entre la velocidad de avance y velocidad de rotación, provocando un arrastre de la herramienta, aumentando la fuerza de

cutting rate. This indicates that the rotation of the Rotary Paraplow has a significant influence in the power required (Table 8). Thus, treatment E212 recorded the highest power of mobilization, greater depth and forward speed, but a lower tool rotation. This lower rotation may have caused an imbalance between the forward speed and rotational speed, causing a drag of the tool, increasing the strength of resistance to traction and rotation, all of which increased the demand for power. This is consistent with the findings by Maciel (2010) regarding the strength and torque required to operate rotary hoes.

CONCLUSIONS

The Rotary Paraplow produces a well-prepared soil strip with ideal characteristics for seed planting. It is characterized by a small surface area and a large subsurface one, which means less exposure of surface soil to erosion and a larger well-prepared soil area for plant roots on the surface. It also has a large width of lateral cracks in the planting strip, which allows greater filtration of water into the soil. The average cone index in the seeding strip showed the decompacting effect of this tool. In the central region of the furrow prepared, this index was 1 % of the original value, while in the region of cracks was 10 %.

—End of the English version—



Cuadro 8. Estimación de las potencias utilizadas en los tratamientos con el Paraplow Rotatorio.
Table 8. Estimation of the powers used in the treatments with the Rotary Paraplow.

Tratamiento	Área (cm ²)	Área (m ²)	Velocidad (m s ⁻¹)	Relación de corte (m ³ s ⁻¹)	Potencia estimada (kW m ⁻³ s)
E111	217	0.0217	0.36	0.0078	3.39
E112	261	0.0261	0.36	0.0094	4.08
E121	224	0.0224	0.36	0.0081	3.49
E122	252	0.0252	0.36	0.0091	3.93
E211	215	0.0215	0.70	0.0150	6.52
E212	305	0.0305	0.70	0.0214	9.25
E221	220	0.0220	0.70	0.0154	6.66
E222	243	0.0243	0.70	0.0170	7.38

La denominación del tratamiento fue Exyz, donde x es la velocidad teórica, y la rotación de la herramienta, y z la profundidad de reglaje
 ❖ The name of the treatment was Exyz, where x is the theoretical speed, y the rotation of the tool, and z the adjustment depth.

la resistencia a la tracción y la rotación, todo lo cual aumentó la demanda de potencia. Esto concuerda con las conclusiones del Maciel (2010) para la fuerza y el par necesario para operar las azadas rotativas.

CONCLUSIONES

El Paraplow Rotativo produce una faja bien preparada de suelo con características ideales para la siembra de semillas. Se caracteriza por una área superficial pequeña y una subsuperficial grande, lo que significa menor exposición del suelo superficial a la erosión y mayor área de suelo bien preparado para raíces de plantas en la superficie. Además tiene una gran anchura de fisuras laterales en la faja de siembra, que permite una mayor infiltración de agua en el suelo. El índice de cono medio en la faja de siembra mostró el efecto descompactador de esta herramienta. En la región central del surco preparado este índice fue 1 % del valor original, mientras que en la región de fisuras fue 10 %.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor de este trabajo agradece a CAPES, CNPQ y FINEP del Gobierno Federal Brasileño, por la concesión de las becas de estudios y por la financiación del proyecto.

LITERATURA CITADA

Albiero, D. 2008. Avaliação do preparo empregando o sistema de cultivo conservacionista em faixas com "Paraplow" Rotativo usando análise dimensional. <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000385362>. (Consultado: diciembre, 2008).

ASAE (American Society of Agricultural Engineers). 1997. ASAE Standards 1997. ASAE, St. Joseph. 1105 p.

Chang, C. S. 2010. Patente UNICAMP (PI 0204930-9): Dispositivo arador rotativo com cortador de ervas para cultivo

conservacionista. <http://pesquisa.inpi.gov.br/MarcaPatente/servlet/PatenteServletController>. (Consultado: octubre, 2010).

Coelho, J. L. D. 2008. Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras adubadoras em sistemas conservacionistas de manejo de solo. <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000188942>. (Consultado: diciembre, 2008).

Freire, O. 2006. Solos das Regiões Tropicais. Fepaf, Botucatu. 410 p.

Fogarty, B. 1984. Paraplow: fracturing soil along natural lines. Implement and Tractor. October: 15-25.

Geissen V., R. Y. Kim, A. Schoning, S. Schutte, and G. W. Brummer. 2003. Effects on strip wise tillage in combination with liming on chemical and physical properties of acidic spruce forest soils after clear cutting. For. Ecol. Management. 180: 75-83.

Halliday, D., R. Resnick, and J. Walker 2008. Fundamentals of Physics. Wiley, New York. 995 p.

Justino, A. 2010. Desenvolvimento e avaliação de alguns parâmetros operacionais de um protótipo de máquina de preparo mínimo de solo. <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls0009423>. (Consultado: octubre, 2010).

Kataoka, T., and S. Shibusawa 2002. Soil blade dynamics in reverse rotational rotary tillage. J. Terramechanics 39: 95-113.

Karmakar, S., and R. L. Kushwaha 2005. Dynamic modeling of soil tool interaction: an overview from a fluid flow perspective. J. Terramechanics 43: 90-110.

Kiehl, E. J. 1979. Manual de Edafologia. 1o Ed. Ceres, São Paulo. 280 p.

Kladivko, E. J. 2001. Tillage systems and soil ecology. Soil and Tillage Res. 61: 61-76.

Maciel, A. J. S. 2010. Enxada rotativa: análise dimensional, requerimento energético e efeitos no solo utilizando diferentes geometrias de lâminas. <http://www.athena.biblioteca.unesp.br>. (Consultado: octubre, 2010).

Maciel, A. J. S., and D. Albiero 2007. Avaliação de ferramenta de preparo conservacionista de solo para plantio em pequenas propriedades. Braz. J. Biosystems Eng. 1: 1-12.

SSSA (Soil Science Society of America). Internet glossary of soil science terms. www.soils.org. (Consultado: noviembre, 2005).

Zhang, B., R. Horn, and T. Baumgartl 2001. Changes in penetration resistance of Ustisols from southern China as affected by shearing. Soil and Tillage Res. 57: 193-202.